



PFG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

**Jahrgang 2010
Heft 4**

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Indexed in Science Citation Index Expanded (SciSearch®)
Journal Citation Reports / Science Edition



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart

PFG – Jahrgang 2010, Heft 4

Inhaltsverzeichnis

Fernerkundung für forstliche Aufgabenstellungen

WEICHELT, H. & KLEINSCHMIT, B.: Editorial	231
HILDEBRANDT, G.: Anfänge der forstlichen Luftbildmessung und -interpretation in Deutschland nach 1945	235
MARX, A.: Erkennung von Borkenkäferbefall in Fichtenreinbeständen mit multi-temporalen RapidEye-Satellitenbildern und Datamining-Techniken.	243
FÖRSTER, M., SPENGLER, D., BUDDENBAUM, H., HILL, J. & KLEINSCHMIT, B.: Ein Überblick über die Kombination spektraler und geometrischer Modellierung zur Anwendung in der forstlichen Fernerkundung	253
FRANKEN, F. & HOFFMANN, K.: Anforderungen an das digitale / digitalisierte Luftbild – Ein Leitfaden der Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten.	267
BRAUN, A.C., WEIDNER, U. & HINZ, S.: Support Vector Machines for Vegetation Classification – A Revision	273
URBAN, M., HESE, S., HEROLD, M., PÖCKING, S. & SCHMULLIUS, C.: Pan-Arctic Land Cover Mapping and Fire Assessment for the ESA Data User Element Permafrost	283

Aus Wissenschaft und Technik

FAISST, G., SEITZ, R. & TROYCKE, A.: Fernerkundung an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) – Umsetzung von Forschungsergebnissen in die forstliche Praxis	295
---	-----

Prof. Friedrich Ackermann zum 80sten Geburtstag

FRITSCH, D.: Professor Dr.-Ing. Dr. E.h. mult. Fritz Ackermann 80 Jahre – Hochschullehrer, Innovator und Entwickler der modernen Photogrammetrie	305
---	-----

Berichte und Mitteilungen

Berichte von Veranstaltungen 3D-Welten in Wissenschaft und Wirtschaft am 4. Mai 2010 in Potsdam	315
Hochschulnachrichten Technische Universität München: Dissertation JOSEF REITBERGER	316
Buchbesprechung VOSSELMAN, G. & MAAS, H.-G. (Airborne and Terrestrial Laser Scanning)	317
Veranstaltungskalender	318
Zum Titelbild	320
Korporative Mitglieder	321

Zusammenfassungen der „Originalbeiträge“ und der Beiträge „Aus Wissenschaft und Technik“
(deutsch und englisch) sind auch verfügbar unter www.dgpf.de/neu/pfg/ausgaben.htm



Editorial: Aktuelle Entwicklungen in der Fernerkundung für forstliche Aufgabenstellungen – Workshop des Arbeitskreises “Auswertung von Fernerkundungsdaten”

HORST WEICHELT, Potsdam & BIRGIT KLEINSCHMIT, Berlin

Der Arbeitskreis „Auswertung von Fernerkundungsdaten“, früher „Interpretation von Fernerkundungsdaten“, arbeitet bereits seit über 25 Jahren im Rahmen der DGPF und ist innerhalb des fachlichen Spektrums der DGPF auf alle Fragen im Zusammenhang mit der Bearbeitung, Auswertung, Analyse und Interpretation von Fernerkundungsdaten fokussiert. Die Breite des Diskussionsangebotes in unserem Arbeitskreis zeigt sich dabei sowohl bei den einbezogenen Wellenlängenbereichen, die das gesamte Spektrum vom sichtbaren Spektralbereich (VIS), dem nahen und kurzwelligen Infrarot (NIR, SWIR), dem thermischen Infrarot (TIR) und dem Mikrowellen- bzw. Radarbereich umfassen, als auch den unterschiedlichen Sensortypen wie analoge und digitale Kameras, passive und aktive (SAR, Laserscanner) Systeme, sowie panchromatische, multispektrale und hyperspektrale Sensoren. In erster Linie geht es um bildhafte Daten, die von flugzeug- und satellitengestützten Plattformen aus aufgenommen werden, und die für die Auswertung und Interpretation benötigten Zusatzinformationen und Referenzdaten.

Schwerpunkte der Diskussionen im Arbeitskreis bilden so u. a.:

- Methoden und Algorithmen der digitalen Bildprozessierung (Geo-Referenzierung, Segmentierung, Hierarchische Klassifikationsansätze, Neuronale Netze, Prozessautomatisierung) unter unterschiedlichsten Anwendungsaspekten
- Thematische Analysen und Interpretationen auf der Basis moderner Fernerkundungssensoren
- Multitemporale und Multi-Sensorauswertungen

- Neue Anwendungsfelder von Fernerkundungsdatenauswertungen
- Genauigkeitsuntersuchungen und Qualitätsanalysen der Fernerkundungsdatenauswertung

Der Arbeitskreis versteht sich als Diskussionsplattform für Wissenschaftler, Studierende und Anwender von Fernerkundungsdaten. Er unterstützt den Diskurs innerhalb der Wissenschafts-Community sowie den Gedankenaustausch zwischen Forschung/Entwicklung und Anwendung in der privaten Wirtschaft und im öffentlichen Dienst. Dazu führt der Arbeitskreis seit mehreren Jahren regelmäßig zwischen den Hauptveranstaltungen auf der DGPF Jahrestagung kleinere thematisch orientierte Workshops durch. So wurde im Mai 2006 im Rahmen der internationalen Luftfahrtausstellung ILA in Berlin eine Veranstaltung zum Thema „Landschaft und Klima – Erfassung der Wechselwirkungen mit modernen Fernerkundungstechnologien“ durchgeführt, im November 2008 stand der Workshop am GFZ in Potsdam unter dem speziellen Thema „Fernerkundung in der Geologie“.

Für den im Oktober 2009 durchgeführten Workshop wurde die Thematik „Aktuelle Entwicklungen bei der Auswertung von Fernerkundungsdaten für forstliche Aufgabenstellungen“ in den Mittelpunkt gestellt. Die Veranstaltung fand am 20. Oktober 2009 am Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung der Technischen Universität in Berlin statt. Insgesamt nahmen mehr als 50 interessierte Fachkolleginnen und Kollegen am Workshop teil, darunter bekannte Pioniere der forstlichen Fernerkundung in Deutschland wie Professor Gerd HILDEBRANDT aus Freiburg, Professor Hartmut KENNEWEG aus Ber-

lin und Professor ALPARSLAN AKÇA aus Göttingen.

Die Themenschwerpunkte des Workshops orientierten sich an aktuellen anwendungsbezogenen Forschungsthemen und befassten sich in drei Sitzungen mit methodischen Aspekten und Ideen für die Praxis forstlicher Fernerkundungsanwendungen, mit Beiträgen zur Waldinventur und Baumartenerfassung basierend auf Fernerkundungsmethoden, sowie mit Möglichkeiten zum Monitoring von Waldflächen, auch unter Nutzung von Multi-Sensordaten. Hervorzuheben ist dabei, dass die Teilnehmer des Workshops sowohl aus wissenschaftlichen Instituten und von Universitäten, aus mit forstlichen Fragen befassten Behörden sowie auch aus kommerziellen Firmen kamen, was sich auch in der Zusammensetzung der Beiträge zum Workshop widerspiegelte.

Einleitend konnten die Teilnehmer des Workshops in einem außerordentlich interessanten Beitrag von Professor HILDEBRANDT aus Freiburg an einer Zeitreise in die Anfänge der forstlichen Luftbildinterpretation in Deutschland teilnehmen, die der Vortragende durch Details und Ereignisse aus persönlichem Erleben sehr anschaulich darstellen konnte. Eine Zusammenfassung eröffnet das vorliegende Themenheft.

In der anschließenden ersten Sitzung wurden in vier Vorträgen praxisnahe Anforderungen, Konzepte und Anwendungsbeispiele vorgestellt. Insbesondere in diesem ersten Teil konnten durch Beiträge aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, der Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpretation, des Instituts für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung der Technischen Universität Berlin, und der EFTAS GmbH einem wichtigen Anliegen des Workshops, das insbesondere in der Förderung und Unterstützung der Kommunikation zwischen wissenschaftlicher Forschung, Behörden und kommerziellen Diensteanbietern besteht, Rechnung getragen werden. Mit Ausnahme der von EFTAS vorgestellten Optimierungspotenziale bei der Windwurfkartierung sind diese Vorträge auch im vorliegenden Heft enthalten.

Am Nachmittag wurden im zweiten und dritten Abschnitt des Workshops in insgesamt zwölf Beiträgen fernerkundungsbasierte Ansätze und Forschungsergebnisse zu verschie-

denen forstlich relevanten Fragestellungen wie Waldmonitoring, Baumartenerkennung und Holzvorratsschätzung vorgestellt. Die Breite der dabei untersuchten Fragestellungen zeigte sich sowohl im Untersuchungsgegenstand, als auch in den für die Untersuchungen verwendeten Sensoren und Fernerkundungsdatentypen. Thematische Schwerpunkte waren zum Beispiel die Erfassung von Waldstruktur, Biomasse im Wald und Holzvorrat, die Baumartenklassifizierung in Mischwaldbeständen, die Bestandserfassung in Eukalyptusplantagen und Identifizierung von Palmen, die Früherkennung von Insektenschäden, die Nutzung von Fernerkundungsdaten für das FFH Monitoring von Waldgebieten, das Waldmonitoring in Permafrostgebieten sowie die Landnutzungsinventur für Klimamodelle. Als Datengrundlage kamen sowohl optische Satellitenbilder als auch SAR Daten, flugzeuggetragene optische Scannerdaten sowie Laserdaten zum Einsatz, wobei insbesondere auch der gleichzeitige Einsatz mehrerer unterschiedlicher Sensoren (Multi-Sensoranwendungen), zum Beispiel durch Datenfusion optischer RapidEye Daten mit TerraSAR Daten, untersucht wurde. Potenzielle Anwendungen der Ergebnisse können unter anderem Beiträge zur Unterstützung des Waldmanagements und forstlicher Maßnahmen im Bestand, aber auch die Abschätzung von Kohlenstoffbilanzen im Zusammenhang mit Klimaschutzaktivitäten sein.

Die Vorträge wurden von wissenschaftlichen Arbeitsgruppen der Technischen Universität Berlin sowie von den Universitäten Göttingen, Hamburg, Jena, Düsseldorf, Freiburg, Karlsruhe und Salzburg erarbeitet und vorgestellt. Jeweils ein Beitrag kam von der EFTAS GmbH sowie der RapidEye AG. Informationen zu den Autoren und Titeln sowie ein Download der einzelnen Vorträge als PDF-Dokument sind auf der Internet-Seite des Arbeitskreises (www.dgpf.de/neu/dgpf/interpretation.htm) zu finden.

Für das vorliegende PFG Themenheft konnten hier leider nur drei der Vorträge aus der zweiten und dritten Sitzung mit einer teilweise veränderten inhaltlichen Ausrichtung aufgenommen werden. So befasst sich der von der RapidEye AG eingereichte Beitrag im Heft mit der Erkennung von Borkenkäferbefall auf

der Basis multi-temporalen Fernerkundungsdaten. Der Beitrag vom Karlsruhe Institute of Technology ist der Anwendung von Support Vector Machines für die Vegetationsklassifizierung am Beispiel von Waldflächen gewidmet. Dennoch geben alle im vorliegenden Heft enthaltenen sieben Beiträge einen guten Überblick über die Breite der im Workshop behandelten Themenfelder und spiegeln insbesondere das spezielle Anliegen des Arbeitskreises, die Verbindung und den Informationsaustausch von wissenschaftlicher Forschung, kommerzieller Dienstleistung und nutzungsorientierter Anwendung, wider.

Abschließend möchten wir uns bei Herrn Professor MANFRED BUCHROITHNER, Herrn Dr. SÖREN HESE, Herrn Professor JOACHIM HILL, Herrn Professor EKKEHARD JORDAN, Herrn

Professor HARTMUT KENNEWEG, Herrn Professor MICHAEL KÖHL, Frau Professor BARBARA KOCH, Herrn Dr. ANDREAS MÜTERTHIES, Herrn Professor MATHIAS SCHARDT und Herrn Dr. UWE WEIDNER für die Unterstützung bei der Fertigstellung des vorliegenden Heftes als Reviewer bedanken.

Dr. habil. HORST WEICHELT, RapidEye AG, Molkenmarkt 30, 14776 Brandenburg an der Havel, Tel. +49-3381-8904-311, Fax: -101, e-mail: dgpf-akfe@h-weichelt.de.

Prof. Dr. BIRGIT KLEINSCHMIT, TU Berlin, Fakultät VI, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung, Straße des 17. Juni 145, EB5, 10623 Berlin, Tel. +49-30-314-72847, Fax. -23507, e-mail: birgit.kleinschmit@tu-berlin.de.



Anfänge der forstlichen Luftbildmessung und -interpretation in Deutschland nach 1945

GERD HILDEBRANDT, Freiburg

Keywords: Historie, forstliche Luftbildmessung und -interpretation

Summary: *The Beginnings of Aerial Photogrammetry and Interpretation in German Forestry after 1945.* A short overview is first given of the early stages of aerial photography and terrestrial photogrammetry use for forest purposes in Germany and Austria in the late 19th century. The use of aerial photographs from 1919 until World War II in Germany is touched upon here as well. Subsequently, the paper elaborates on the laborious and diverse re-establishment of forest photogrammetry and -interpretation in the both postwar parts of Germany (FRG and GDR) and thereby also the different developments within the (old) FRG.

Zusammenfassung: Es wird zunächst ein kurzer Blick auf die frühen Anfänge von Luftbildaufnahmen und der terrestrischen Photogrammetrie für forstliche Zwecke in Deutschland und Österreich Ende des 19. Jahrhundert sowie auf die forstlichen Anwendungen von Luftbildern in der deutschen Forstwirtschaft nach 1919 bis zum 2. Weltkrieg geworfen. Danach erzählt und berichtet der Beitrag ausführlicher über die mühevollen und unterschiedlichen Wiedereinführung von Luftbildmessung und -interpretation in den beiden deutschen Nachkriegsstaaten (BRD und DDR) und dabei auch den unterschiedlichen Entwicklungen innerhalb der alten Bundesrepublik.

1 Die Ausgangslage

Geschichte sollte man kennen und bewahren – generell, aber ganz speziell auch die Genese einer Wissenschaft oder einer Technologie und ihrer Anwendung. Jeder steht ja auf den Schultern seiner Vorgänger, jeder hat ja von ihnen irgendeinen Staffelstab übernommen.

Wie also war die Situation 1945 und 1946, als die Überlebenden nach und nach wieder nach Hause und die Älteren, die den Krieg in der Heimat überlebt hatten, langsam wieder zur Besinnung und Vernunft kamen? Das Land lag in Trümmern und war in vier Besatzungszonen geteilt. Die Souveränität lag in den Händen des Alliierten Kontrollrats und der von diesem befugten Obersten Militärischen Administration der jeweiligen Besatzungsmacht. Zu den Weisungen bzw. Befehlen der Militärregierungen gehörte auch ein Verbot jeglicher Betätigung auf dem Gebiet der Luftfahrt für Deutsche und damit auch jeglicher Art von Luftbildaufnahme und -auswer-

tung. In den vier Besatzungszonen wurde das in den folgenden Jahren unterschiedlich streng gehandhabt und auch zu unterschiedlichen Zeiten gelockert und schließlich aufgehoben.

Im Laufe des Jahres 1946 wurde in den Besatzungszonen die territoriale Neugliederung in Länder vollzogen. Der Aufbau der Verwaltungen, und damit auch die Einrichtung der neuen Forstverwaltungen, konnten beginnen. Die Kriegsjahre mit ihren großen Übernutzungen, aufgeschobenen Pflegemaßnahmen und örtlich durch Kampfhandlungen zerstörten Wäldern hatten einen Waldzustand hinterlassen, der „zu den schlimmsten Befürchtungen Anlass gab“ (MANTEL 1961). Sehr bald nach Kriegsende setzten dann in der französischen und englischen Besatzungszone auch noch erhebliche Reparationshebe ein, die die forstwirtschaftliche Situation zusätzlich belasteten. Die schwere Borkenkäferkalamität 1947/1949 tat in den Fichtenrevieren Mittel- und Süddeutschlands ein übriges.

Auch die Forsteinrichtung begann 1946/1947, zögerlich zwar und z. T. provisorisch, die Arbeit wieder aufzunehmen. An Luftbildauswertungen war dabei zunächst wegen des Verbots der Militärregierungen nicht zu denken. Um so erstaunlicher ist es, dass schon Anfang 1946 WILHELM V. LAER in „Der Forst- und Holzwirt“ für die Verwendung von Luftbildern bei der Forsteinrichtung warb und Anfang 1947 mitteilen konnte: „Kürzlich wurde unsGelegenheit gegeben, auf dem Gebiet der forstlichen Luftbilderkundung einen, wenn auch natürlich zur Zeit nur bescheidenen neuen Anfang zu machen Von der Militärregierung wurden auf Antrag des Landesforstamtes in Sarstedt einige Luftbildabzüge für laufende Forsteinrichtungsarbeiten zur Verfügung gestellt.“ (V. LAER 1947). Das war der ganz zarte Anfang forstlicher Luftbildauswertung in Deutschland nach dem Zweiten Weltkrieg. Er blieb freilich zunächst noch ein Einzelfall.

Es war nicht zufällig, dass es WILHELM V. LAER war, der diese ersten Schritte machte, der den Staffelnstab (von dem ich eingangs sprach) aufhob und weitertrug. Er wurde in Westdeutschland in den folgenden Jahren der Protagonist der forstlichen Luftbildauswertung. Dabei knüpfte er an das an, was er vor dem Kriege als Forstmeister schon getan hatte, nämlich für den Luftbildeinsatz bei Forsteinrichtungen zu sorgen und an das, was er im Kriege bei der Sonderluftbildabteilung der Luftwaffe (SOBIA) praktizieren musste, die Erkundung der Wälder in den besetzten Ostgebieten mittels Luftbildauswertung (V. LAER 1942, 1943).

2 Die Vorgeschichte

An dieser Stelle muss in aller Kürze daran erinnert werden, dass die ersten Anfänge forstlicher Luftbildauswertung sehr viel weiter zurückliegen. In Deutschland gibt es als frühesten Beleg dafür einen Artikel im Berliner Tageblatt vom 10. September 1887. Unter der Überschrift „Die Verwendung der Ballonphotographie zu forstwirtschaftlichen Zwecken“ wird berichtet dass ein „angehenden Jünger des Waldes“ versucht hat, von einem Fesselballon aus aufgenommene Luftbildaufnahmen

zur Bestandeskartierung zu benutzen (HILDEBRANDT 1974).

Wichtiger als dieser älteste und für diese Zeit noch singuläre Beleg forstlicher Luftbildauswertungen sind die Anwendungen der Messtisch-Photogrammetrie seit den späten 1880er Jahren. Österreichische Forstleute nahmen noch unzugängliche Berghänge der Alpen stereophotographisch vom Gegenhang aus auf und kartierten sie terrestrisch-photogrammetrisch um Planungsgrundlagen für die Wildbach- und Lawinenverbauung zu gewinnen (z. B. WANG 1892). Diese Arbeiten sind die ältesten wirklich operationellen Anwendungen forstlicher Fernerkundungs-Methoden. Seit 1890 wurden an der Wiener Hochschule für Bodenkultur regelmäßige Lehrveranstaltungen für Forststudenten über die Messtisch-Photogrammetrie abgehalten.

Als REINHARDT HUGERSHOFF 1911 das Geodätische Institut der Forstakademie in Tharandt übernahm, hielt er seine Antrittsvorlesung über „Die Photogrammetrie und ihre Bedeutung für das Forstwesen“ (HUGERSHOFF 1911). Da inzwischen das stereophotogrammetrische Messprinzip mit einer wandernden Marke gefunden war und auch erste Stereoauswertegeräte zur Verfügung standen, konnte er sich dabei mit einer (terrestrischen) Photogrammetrie befassen, die schon über die Messtisch-Photogrammetrie hinausgewachsen war.

Zwei technische Entwicklungen brachten dann in den ersten zwei Jahrzehnten des zwanzigsten Jahrhunderts für die Luftbildaufnahme den Durchbruch: die Erfindung von lenkbaren Flugzeugen und die Entwicklung von Reihenbildkameras. Beider Einsatz (auf allen Seiten) im ersten Weltkrieg hatte schlagartig die große Bedeutung des neuen Mediums „Luftbild“ für die Erderkundung unter Beweis gestellt.

Hugershoff war es dann auch, der nach dem ersten Weltkrieg in Tharandt in Zusammenarbeit mit der Sächsischen Forstverwaltung sofort die Frage nach der Verwendung von Luftbildplänen als Waldkarten und den Möglichkeiten der Luftbildmessung für die Bestandesbeschreibung und die Holzvorratsermittlung aufgriff. In seiner Ägide entstanden in Tharandt bis 1939 sechs Dissertationen und mehrere Diplomarbeiten zu diesem Thema (KIR-

WALD 1941). Sein Institut war seit 1933 gleichzeitig auch die „Abteilung Forstvermessung und Luftbildmessung“ der Sächsischen Forstlichen Versuchsanstalt.

Auch in Bayern begann unmittelbar nach dem 1. Weltkrieg eine rege Tätigkeit Forstlicher Luftbildauswertung. Schon 1918 wurden Luftbilder vom Perlacher Forst und verschiedenen Alpenrevieren aufgenommen und für die Forsteinrichtung und -vermessung verwendet. Initiator war der damalige Chef der bayerischen Forsteinrichtung KARL REBEL. Er sagte damals: „Das Luftbild zeigt und trägt den Stempel der Wirtschaft (eines Forstbetriebs) besser und vollkommener als es der besten Beschreibung mit dickstem Tabellenwerk gelingen könnte“ (REBEL 1924).

Bescheidenere Ansätze sind in diesen Jahren auch in Preußen zu finden. Das brandenburgische Forstamt Biesenthal wurde 1923 aufgenommen, ebenso wie das bekannte Dauerwaldrevier Bärenthoren im Fläming. Letzteres freilich durch die Sächsische Forsteinrichtung, die hier 1923/24 eine intensive Bestandaufnahme durchführte. HERMANN KRUTZSCH, der diese Arbeiten leitete, erkannte dabei den hohen Wert von Luftbildern auch als Dokument der Bestandesgeschichte. Er schlug vor, durch periodisch wiederholte Luftbildaufnahmen eine „Stereokarthotek“ anzulegen, um kontinuierlich Bestandesentwicklungen zu beobachten und zu dokumentieren (KRUTZSCH 1925).

Wie sehr die Luftbildauswertung bei deutschen Forstleuten ins Gespräch gekommen war, zeigt, dass sich der Deutsche Forstverein 1923 und dann nochmals 1924 und 1939 auf seinen Jahrestagungen speziell und ausführlich mit Fragen der forstlichen Luftbildauswertung beschäftigte. Trotzdem: Der Einsatz von Luftbildern blieb in der deutschen Forstwirtschaft noch auf Einzelfälle beschränkt. Auf der Tagung von 1939 begegnen wir nun übrigens auch dem Forstmeister WILHELM V. LAER. Er war damals mit der Vorbereitung des Themenschwerpunktes „Luftbild“ der Tagung befasst.

3 Die Entwicklung bis 1960 in der Bundesrepublik

1949 lockerten die drei westlichen Besatzungsmächte das Verbot von Luftbildaufnahmen. Unmittelbar danach standen mit „Plan und Karte“ in Münster (vor- und nachmals „Hansa-Luftbild“) und der „Photogrammetrie GmbH“ in München zwei traditionsreiche und bald danach weitere neue Firmen für Luftbildaufnahmen und photogrammetrische Auswertungen zur Verfügung. Zu den ersten „Kunden“ zählten 1949 deutsche Forstbehörden. Die zuvor schon erwähnten ersten Vorstöße WILHELM V. LAERS von 1946/1947 fanden nun auch in anderen Bundesländern ein Echo. Die bayerische Forstverwaltung ließ schon 1949 wieder einzelne Waldflächen durch die Photogrammetrie GmbH aufnehmen und knüpfte so an ihre frühere Tradition an.

Der Durchbruch auf breiterer Front geschah dann ab 1951, wenn auch in den einzelnen Bundesländern in sehr unterschiedlicher Intensität, auf verschiedenartige Weise und auch zeitverzögert. Eine folgenreiche, von V. LAER angeregte Fachtagung für forstliche Photogrammetrie in Koblenz im Herbst 1951 wirkte dabei wie ein Katalysator. Auf ihr wurde – in loser Form – ein Arbeitskreis „Forstliches Luftbildwesen“ gegründet. Landforstmeister a.D. BACK übernahm dessen Vorsitz und führte ihn 1952 als Arbeitskreis „Forstliches Luftbild und Kartenwesen“ in die im gleichen Jahr gegründete Arbeitsgemeinschaft „Forsteinrichtung“ der Bundesrepublik.

Vorreiter war zunächst Rheinland Pfalz, wo V. LAER inzwischen als Oberforstmeister zweiter Mann im Forsteinrichtungsreferat Koblenz saß, und wo mit 1951 beginnend „das Luftbild in großzügiger Weise in die Forsteinrichtung des Landes ... eingeführt“ und „sehr schnell zum unentbehrlichen Hilfsmittel für die Forstvermessung sowie die Durchführung und Kontrolle der verschiedenen Forsteinrichtungsarbeiten“ wurde. Sechs Jahre später stellte V. LAER (1957) fest, dass die Anwendung des Luftbilds in Rheinland Pfalz „bei allen Forsteinrichtungsarbeiten, Zwischenprüfungen, Standortkartierungen usw. zur Selbstverständlichkeit geworden ist. Auch in der forstlichen Verwaltung findet das Luftbild in zunehmendem Maße vielseitige Verwen-

dung“. Ein interessanter Sonderfall war die Entwicklung eines speziellen, weitgehend auf Luftbilder gestützten Verfahrens einer Waldflächeninventur für den Kleinprivatwald im Kreise Prüm durch FRITZ LOETSCH (1955).

Besonders beherzt und konsequent ging man in Württemberg-Baden und Württemberg-Hohenzollern, bzw. im Anfang 1952 geschaffenen Baden-Württemberg vor. 1951 ließ man erste Luftbilder im Forstamt Neuenstadt zur Probe aufnehmen. Die freundschaftlich-kollegiale Verbindung v. LAERS zu MARTIN SPIECKER, dem Vorstand dieses Forstamts, hatte dazu den Anstoß gegeben. Noch im gleichen Jahr richtete man bei der Forstdirektion Tübingen dann auch schon eine eigene – noch heute bestehende – Luftbildstelle für das ganze Land ein.

Bis 1956 sind dann im Auftrag der Forstverwaltung Baden-Württembergs für die Forsteinrichtung etwa 75 % der Waldfläche des Landes, zumeist im Maßstab 1 : 10.000, aufgenommen worden. Das Urteil auch hier: „Die Anwendung des Luftbildes hat sich in Baden-Württemberg sehr rasch durchgesetzt Die Verwendung des Luftbildes ist in der baden-württembergischen Forsteinrichtung zur Selbstverständlichkeit geworden. Bei der Bestandausscheidung und -beschreibung sowie bei repräsentativen Holzvorratsaufnahmen dient es als wertvolles Hilfsmittel. Vor allem bietet die kleinflächenweise Entzerrung in den meisten Fällen eine ausreichende Vermessungsgrundlage, so das etwa 80 % der Vermessungsarbeiten bei der Forsteinrichtung eingespart werden können...“ (SPIECKER 1957).

Zwei Dinge sind im Zusammenhang mit diesen frühen Entwicklungen in Baden-Württemberg noch der Erinnerung wert: Einmal die Entwicklung von Doppel-Stereobildreihen durch SPIECKER und die von Einfach-Stereobildreihen durch BAUMANN (HILDEBRANDT 1996) – beide Entwicklungen sollten dazu dienen, dem Forsteinrichter wie dem Betriebsleiter die Stereobetrachtung von Luftbildpaaren im Gelände zu erleichtern. Solche Stereobildreihen wurden danach in großer Zahl durch die Luftbildstelle des Landes hergestellt und den Forsteinrichtern, aber auch den Betriebsleitern zur Verfügung gestellt. Und zum Zweiten die Dissertation von HUGO BAUMANN (1957) – zu dieser Zeit Forsteinrich-

ter bei der FD Tübingen – die die Forstliche Luftbildinterpretation und den Einsatz des Luftbildes bei Forsteinrichtungsarbeiten thematisierte. Sie belebte die Entwicklung damals sehr.

In Bayern ließ die Forstverwaltung – nach den o. a. ersten Bildflüge 1949 – ab 1952 zuerst die ausgedehnten, südlich und südöstlich Münchens gelegenen Waldgebiete des Grünwälder, Forstenrieder und Ebersberger Forstes für die Forsteinrichtung, die Waldkartierung und -vermessung aufnehmen. Danach folgten Luftbildaufnahmen des 50.000 ha großen Nürnberger Reichswaldes, des Forstamtes Oberammergau und danach anderer Hochgebirgsforstämter. Nach einem Bericht von BACKMUND (1957) machten in den Revieren der Ebene und des Hügellandes die Nachtragskartierung nach Luftbildplänen terrestrische Vermessungen bis auf wenige Ergänzungen entbehrlich. Bei der Luftbildauswertung für die Hochgebirgsforstämter erwies sich die Möglichkeit einer klaren Abgrenzung von Alpenwaldteilen, der Latschenfelder oberhalb der Baumgrenze als Nichtwaldbodenflächen und der Geröllhalden, Felspartien u.a. Nichtholzbodenflächen als besonderer Gewinn. Sie führte hier zur Einsparung terrestrischer Vermessungen von ca. 80 %. Von 1951–1956 wurde im Auftrag der Bayerischen Forstverwaltung eine Fläche von 6.094 km² aufgenommen.

Sehr engagiert ging man auch in dem bis 1956 unter französischer Verwaltung stehenden Saargebiet zu Werke. Hier hatte 1953 das Institute Géographique National (IGN) im Auftrag der Behörde des Kataster- und Vermessungswesen das gesamte Land (2.567 km²) mit Luftbildern 1 : 12.000 – 1 : 15.000 aufgenommen. Die Forstverwaltung erwarb einen kompletten Satz dieser Bilder zur Verwendung bei den Forsteinrichtungen ihrer Forstämter und für die Überprüfung der neu erarbeiteten Betriebswerke. Die Luftbilder dienten aber auch der Erfassung und Einschätzung der forstlichen Verhältnisse bei Waldgrundstückgeschäften, bei Arrondierungsfragen von Jagdbezirken und der Beurteilung von Raucheinwirkungen auf Waldbestände. Auch im Saarland kam man nach fünfjährigem Einsatz des Luftbildes zu dem Urteil: „Das Luftbild hat sich im Bereich der saarländischen Forst-

verwaltung bei den verschiedensten Anlässen bestens bewährt und kann insbesondere bei der Forsteinrichtung nicht mehr weggedacht werden.“ (OCHS 1957).

Wegen des Interesses vieler Behörden an Luftbildern in Nordrhein-Westfalen koordinierte hier in den fünfziger Jahren die Landesplanungsbehörde die Luftbildaufnahmen. Von 1951 bis Ende 1956 wurden dabei ca. 60 % der Landeswaldfläche durch Luftbildaufnahmen abgedeckt. Auch hier fanden die Luftbilder bei der Forsteinrichtung einschließlich der Forstvermessung Anwendung. In dem stark industrialisierten Land zog man sie aber darüber hinaus „in immer stärkerem Maße“ auch für viele forstpolitische Entscheidungen sowie für Aufgaben der Landes- und Regionalplanung heran: z.B. im Grundstücksverkehr, bei der Vergabe von Fördermitteln für die Niederwaldumwandlung und Ödlandaufforstung, bei wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, für die Untersuchung der Verbreitung von damals schon aktuellen Immissionsschäden in den Wäldern, bei der Ausweisung von Erholungswald und Naturschutzparks. Überall zeigte es sich, dass sich „neben dem Kartenwerk das Luftbild, insbesondere der Luftbildplan, unentbehrlich machen“ (PETERS 1957).

In Hessen, Niedersachsen und in Schleswig-Holstein verhielten sich die Forstverwaltungen bis Mitte der fünfziger Jahre mit verschiedenen Begründungen noch abwartend. In Niedersachsen legte man dann 1956 die Zurückhaltung ab. Im eigenen Auftrag wurden danach, beginnend mit Bildflügen im Solling, dem Weserbergland und im Mündener Raum, regelmäßig Luftbilder für die Forsteinrichtung aufgenommen. Die hessische Forstverwaltung blieb weiter reserviert. Aus dem walddarmen Schleswig-Holstein ist aus diesen Jahren nur die Befliegung des v. Bismarckschen Waldes Friedrichsruh bekannt.

In Erinnerung gebracht wird noch, dass Ende der fünfziger Jahre H. W. EULE (1959) am Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Hann.-Mündener Fakultät Fragen zur ertrags- und holzmesskundlichen stereophotogrammetrischen Baum- und Baumkronenmessungen nachging. An der gleichen Fakultät hatte VOLKERTS (1952) schon 1952 Belege für den nützlichen Luftbildeinsatz bei Standorterkundungen geliefert.

Das Luftbild hatte sich also nach der Freigabe durch die Besatzungsbehörden ab 1949 zögerlich, dann ab 1951 in den südlichen und westlichen Teilen der Bundesrepublik recht schwungvoll und schließlich auch im Norden als Arbeits- und Informationsmittel auf breiter Front in der Forstwirtschaft durchgesetzt. Im gleichen Tenor wurde es gegen Ende des Jahrzehnts als Arbeits- und Informationsmittel mit Prädikaten von „selbstverständlich“ bis „unentbehrlich“ bedacht.

4 Die Entwicklung bis 1960 in der DDR

Wie verlief aber nun die frühe Entwicklung im anderen Teil Deutschlands, in der DDR? Sehr viel rigider als die drei westlichen Siegermächte legte die Sowjetische Militärregierung (SMAD) das Verbot jeglicher Luftfahrt für Deutsche aus. Anders als in den Westzonen erstreckte es sich auch auf die Verwendung von Luftbildern bei allen kartographischen Arbeiten, einschließlich von Nachtragskartierungen in vorhandene Karten. Ausgeschlossen war damit zunächst auch die Verwendung älterer oder von der Besatzungsflugwaffe aufgenommener Luftbilder.

1951 bildete sich unter dem Dach der „Kammer der Technik“ ein Fachunterausschuss „Photogrammetrie“, der sich zunächst nur mit terrestrischer Photogrammetrie beschäftigen konnte. 1953 stieß ich als zunächst einziger Nicht-Photogrammeter zu diesem Ausschuss, der bald aber zu einer treibenden Kraft im Bemühen um die allmähliche Lockerung der bestehenden Verbote wurde. Einen Verbündeten hatte der Unterausschuss dabei in dem im Wiederaufbau begriffenen Carl-Zeiss-Werk in Jena. Dort gab es seit 1949 wieder ein Bildmesslabor und es bestand ein erhebliches wirtschaftliches, bald auch vom Staat gefördertes Interesse, die Entwicklung und Herstellung von photogrammetrischen Mess- und Kartiergeräten und auch von Reihemesskameras wieder aufzunehmen. Man wollte auf dem Markt wieder – wie früher – zur Weltspitze gehören.

Nachdem die UdSSR am 25. März 1954 der DDR die volle Souveränität gewährt hatte, hob sie am 6. August des Jahres alle Befehle

und Anordnungen der SMAD und der Sowjetischen Kontrollkommission auf. Die Luftbildaufnahme blieb aber weiter der Besatzungsluftwaffe vorbehalten. Die hatte 1953 die gesamte DDR (mit kleinen Ausnahmen) für eigene Zwecke flächendeckend mit Luftbildern im Maßstab 1 : 22.000 aufgenommen und stellte diese ab 1954 unter bestimmten und kontrollierten Umständen deutschen Behörden oder Instituten zur Verfügung. So konnten ab 1955 die Vermessungsdienststellen die topographische Karte 1 : 10.000 auf der Grundlage von Luftbildplänen herstellen. Die Forstbehörde bekam erst zwei Jahre später Zugang zu Luftbildern.

Soweit die allgemeine Lage in der Mitte der fünfziger Jahre. Nolens volens muss nun etwas eigene Geschichte eingeflochten werden; sie hängt ganz direkt mit dem Beginn der Forstlichen Luftbildauswertung in der DDR zusammen. Seit Herbst 1950 arbeitete ich als Assistent von ALBERT RICHTER am Institut für Forsteinrichtung in Eberswalde. 1953 übertrug mir RICHTER die gesamten Lehraufgaben im Fach Forstvermessung. Nach meinem Verständnis gehörte dazu auch die Luftbildmessung und -interpretation. Als ich dann im Wintersemester 1954/55 offiziell „mit der Wahrnehmung einer Dozentur“ beauftragt wurde, hieß die Dozentur auf unser Drängen hin schon „für Geodäsie und Luftbildmessung“. Es war die erste Dozentur dieser Art nach 1945 an einer deutschen Forstfakultät. Gleichzeitig berief man mich zum Leiter einer an unserem Forsteinrichtungsinstitut neugeschaffenen, eigenständigen Abteilung gleichen Namens. In mein Tagebuch schrieb ich damals dazu: „Wichtig und herausfordernd ist es für mich, nun die Verantwortung für ein eigenes Lehr- und Forschungsgebiet zu haben, auch wenn es nur eine Hilfswissenschaft der Forstwirtschaft ist. Ich will das Beste daraus machen. Man soll uns und unsere Arbeit in der Fachwelt bald wahrnehmen.“

Mein Ziel war vor allem, das Luftbild als Arbeitsmittel in die Forsteinrichtung und Forstvermessung der Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebe der DDR einzubringen. Beides wurde seit 1954 nach der an unserem Institut unter RICHTERS Leitung entwickelten (vorläufigen) Betriebsregelungsanweisung (VBRA 53) praktiziert. In der VBRA 53 stand

noch kein Wort über Luftbilder. Das wollte ich ändern. Es schwebte mir auch vor, für den Einsatz von Luftbildern bei künftigen großräumigen Waldinventuren methodische Vorarbeiten zu leisten.

Eines musste aber als erstes erreicht werden: endlich Luftbilder in die Hand zu bekommen und damit zu arbeiten. Nur wenn man eigene Erfahrungen einbringen konnte, schien es mir wahrscheinlich, den gesetzten Zielen näher zu kommen. Der Schlüssel, um an Luftbilder heranzukommen, konnte nach Lage der Dinge nur im Hauptquartier der Roten Armee in der DDR liegen. Ich beschloss daher in die Höhle des Löwen zu gehen. An einem schönen Frühlingstag im Mai 1955 fuhr ich nach Strausberg, dem Sitz des Oberkommandos. Es gelang, für die beiden Forsteinrichtungsinstitute in Eberswalde und Tharandt einige aktuelle Luftbilder zu beschaffen und die Erlaubnis zu erhalten, sie bei Lehrveranstaltungen zu benutzen und sie für Forschungsarbeiten zur forstlichen Luftbildauswertung zu verwenden. Es war ein sehr bescheidener Anfang – aber eben nun auch ein Anfang in der DDR.

Inzwischen war auch ein kleines, gut funktionierendes „Netzwerk“ zur Förderung der Einführung der Forstlichen Luftbildauswertung in der DDR aufgebaut worden. Dazu gehörten GERD HILDEBRANDT und seine Assistenten GUNTER WOLFF und GÜNTER SCHULZ, der Assistent am Forsteinrichtungsinstitut in Tharandt ARTHUR REINHOLD, der sich dort seit kurzen auch mit den Fragen des forstlichen Luftbildeinsatzes beschäftigte, und (etwas später) RONALD TÖTEL vom Institut für Forsteinrichtung und Standorterkundung in Potsdam, der zentralen Forsteinrichtungsbehörde der DDR. Unterstützung fanden wir in unseren beiden Fakultäten, der Potsdam Behörde und durch den schon erwähnten Fachunterausschuss der Kammer der Technik.

1955 stellte sich ein erster Erfolg der Bemühungen des Netzwerkes ein. Auf Anregung des wissenschaftlichen Beirats für das Forstudium beim Staatssekretariat für Hochschulwesen wird eine einstündige obligatorische Vorlesung „Einführung in die forstliche Luftbildmessung“ in den Lehrplan für das 5. Semester der beiden Fakultäten Eberswalde und Tharandt aufgenommen. Der Weg war 1955 nun auch frei, in der DDR über die forst-

liche Anwendung des Luftbildes zu publizieren. Wir nutzten dies sofort, um die Forstpraktiker und -wissenschaftler der DDR auf den im Ausland und im anderen Teil Deutschlands erreichten Stand zu bringen, für das Luftbild als Arbeits- und Informationsmittel zu werben und dessen Anwendung bei der Forsteinrichtung, Forstvermessung und Waldkartierung zu fördern (HILDEBRANDT 1956, 1957a/b, REINHOLD 1956).

1956 gelingt es den gemeinsamen Bemühungen und hartnäckigem Drängen aller Beteiligten, dass auf der II. Zentralen Konferenz für Forstwirtschaft der Beschluss gefasst wird, das Luftbild in die forstliche Praxis einzuführen. Ein solcher Beschluss, einer vom Staat und der Partei gelenkten und kontrollierten Konferenz, war unter den herrschenden politischen Bedingungen notwendig, um in der Sache weiter zu kommen. Er machte den Weg dafür frei, dass nun auch für Forsteinrichtung, Forstvermessung und Standorterkundung von sowjetischer Seite aufgenommene Luftbilder zur Verfügung gestellt wurden, freilich zunächst in jedem Falle nach Zustimmung des Ministeriums des Innern und auf dessen Antrag.

Mit Beginn des Jahres 1957 standen der Potsdamer Forsteinrichtungsbehörde nun endlich auch erstmalig Luftbilder zur Verfügung u.zw. für die Forsteinrichtung in Suhl und Eisfeld und für die Standorterkundung auf Rügen und in Wismar. Das Eis war endlich gebrochen. 1958 konnte TOTEL das erstmalig in der Zeitschrift *Forst und Jagd* über die Einführung des Luftbildes in die Forstwirtschaft der DDR berichten (TOTEL 1958).

Das kleine inoffizielle Netzwerk derer, die sich in den letzten Jahren um die Einführung des Luftbildes in die Forstwirtschaft bemüht hatte, konnte sich 1957, unterstützt durch die beiden Forstfakultäten, nun offiziell als „Fachgruppe Luftbildwesen in der Land- und Forstwirtschaft“ bei der Akademie für Landwirtschaftswissenschaften etablieren.

Bemerkenswert erscheint mir in der Nachbetrachtung, dass der erste Anstoß und die Initiative zur Einführung des Luftbildes in die Forstwirtschaft der DDR von Universitätsinstituten ausging und nicht wie in Westdeutschland von einzelnen Forstverwaltungen. Zum Zweiten, dass die Arbeiten mit dem Luftbild

in der DDR noch lange durch die hier geltenden besonderen gesetzlichen Bestimmungen bei Benutzung von Luftbildern erschwert wurden – ängstliche Gemüter ließen lieber die Hände davon. Dass man dagegen in der Bundesrepublik schon zu dieser Zeit ganz ungezwungen und völlig freizügig mit Luftbildaufnahme und -auswertung umging. Und Drittens, dass aber in Eberswalde und auch Tharandt früher als an den westdeutschen Forstfakultäten, die Luftbildmessung und -interpretation reguläres Lehrgebiet des Forststudiums wurde.

Zum Abschluss noch dies. Der Vortragende hat die Entwicklung in der DDR nur noch bis Weihnachten 1957 beeinflussen und begleiten können. Er verließ die DDR, nachdem gegen ihn die Staatsanwaltschaft wegen „Wissenschaftsspionage“ ermittelte. Er hatte (autorisiert durch die tschechoslowakischen Kollegen) vor dem bundesdeutschen Arbeitskreis Luftbild und Kartenwesen über „Die photogrammetrischen Arbeiten der tschechoslowakischen Forsteinrichtung“ vorgetragen. Er setzte seine einschlägigen Arbeiten in Freiburg fort.

Literatur

- BACKMUND, F., 1957: Bericht über den Stand der forstlichen Luftbildverwendung in Bayern. – Forstliche Luftbildauswertung, BMELF, Abt V: 37–38.
- BAUMANN, H., 1957: Forstliche Luftbildinterpretation. – Schriftenreihe Landesforstverw. Baden-Württemberg **B. 2**, 109 Seiten.
- EULE, H.W., 1959: Verfahren zur Baumkronenmessung und Beziehungen zwischen Kronengröße, Stammstärke und Zuwachs bei Rotbuche, dargestellt an einer nordwestdeutschen Durchforschungsreihe. – *Allg. Forst- u. Jagdzeitung* **130**: 181–201.
- HILDEBRANDT, G., 1956: Der Stand der forstlichen Luftbildauswertung für die Forsteinrichtung und Forstvermessung. – *Archiv f. Forstwesen* **5**: 126–152.
- HILDEBRANDT, G., 1957a: Forsteinrichtungsarbeiten mit Hilfe des Luftbildes. – *Forst und Jagd* **7**: 58–64.
- HILDEBRANDT, G., 1957b: Zur Frage des Bildmaßstabs und der Filmwahl bei Luftbildaufnahmen für forstliche Zwecke. – *Archiv f. Forstwesen* **6**: 285–306.

- HILDEBRANDT, G., 1974: Luftbildauswertung 1887 – zwei Dokumente aus den Anfängen der forstlichen und landeskundlichen Luftbildinterpretation. – Symp. on Remote Sensing and Photointerpretation, ISP Comm. VII, Banff, Kanada, 507–513.
- HILDEBRANDT, G. 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung. – 1. Aufl., Herbert Wichmann Verlag, Hüthig Gruppe Heidelberg, 200–202.
- HUGERSHOFF, R., 1911: Die Photogrammetrie und ihre Bedeutung für das Forstwesen. – Tharandter Forstl. Jahrbuch **84**: 159–166.
- KIRWALD, E. 1941: Institut für Forstliche Vermessung und Luftbildmessung. – Bericht der Forstlichen Hochschule Tharandt. – Verlagsbuchhandlung Paul, Berlin 1941, Sonderdruck aus dem Tharandter Forstl. Jahrbuch **11** (4/6): 270–276.
- KRUTZSCH, H. 1925: Das Luftbild im Dienste der Forsteinrichtung. – Tharandter Forts. Jahrbuch 1925 **98**: 97–150.
- LAER, W.V., 1942: Das Luftbild zur Lösung gegenwärtiger und zukünftiger Aufgaben. – Deutscher Forstwart **24**: 125–127.
- LAER, W.V., 1943: Die forstliche Erkundung in den besetzten Ostgebieten mit besonderer Berücksichtigung der Luftbilderkundung. – Deutscher Forstwart **25** (25/26): 113–115.
- LAER, W.V., 1947: Neue Luftbilder für die Forsteinrichtung. – Der Forst- und Holzwirt **2**: 31.
- LAER, W.V., 1957: Die Entwicklung des forstlichen Luftbildwesens in Rheinland-Pfalz. – Forstliche Luftbildauswertung, BMELF, Abt. **V**: 42–44.
- LOETZSCH, F., 1955: Waldflächeninventur im Kleinprivatwald mit Stichprobeverfahren und weitgehender Benutzung des Luftbildes. – Forstarchiv **26**: 173–182.
- MANTEL, W., 1961: Wald und Forst. – Rowohlts deutsche Enzyklopädie **H. 123**: 45.
- OCHS, 1957: Die forstliche Anwendung des Luftbildes im Saarland. – Forstliche Luftbildauswertung, BMELF, Abt. **V**: 50–52.
- PETERS, 1957: Das Forstliche Luftbildwesen in Nordrhein-Westfalen. – Forstliche Luftbildauswertung, BMELF, Abt. **V**: 44–46.
- REBEL, K., 1924: Forsteinrichtung mit Hilfe des Flugbildes. – Bericht 21. Hauptvers. d. Deutschen Forstvereins Bamberg **1924**: 180–189.
- REINHOLD, A., 1956: Bemerkungen über die Bedeutung des Luftbildes für die Forstwirtschaft unserer Republik. – Forst und Jagd **6**: 130–132, 185–186, 234–236, 253–256.
- SPIECKER, M., 1957: Entwicklung der Anwendung des Luftbildes in Baden-Württemberg. – Forstliche Luftbildauswertung, BMELF, Abt. **V**: 38–40.
- TOTEL, R., 1958: Zur Einführung des Luftbildes in die Forstwirtschaft der DDR. – Forst und Jagd **8**: 177–179.
- VOLKERTS, E. 1952: Das Luftbild als Hilfsmittel der forstlichen Standortskartierung. – Forstarchiv **23**: 188–192.
- WANG, F.V., 1892: Die Anwendung der Photogrammetrie im forstlichen Haushalt. – Österreichische Forstzeitung **10**: 123–124, 129–130, 135–136.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. Dr. GERD HILDEBRANDT, Lichtenbergstr. 94, 79114 Freiburg

Manuskript eingereicht: Dezember 2009
Angenommen: März 2010



Erkennung von Borkenkäferbefall in Fichtenreinbeständen mit multi-temporalen RapidEye-Satellitenbildern und Dataming-Techniken

ALEXANDER MARX, Brandenburg an der Havel

Keywords: Borkenkäfer-Monitoring, Decision Trees, C5, Dataming

Summary: *Detection and Classification of Bark Beetle Infestation in Pure Norway Spruce Stands with Multi-temporal RapidEye Imagery and Data Mining Techniques.* The article at hand reveals the methodology and results of a research and development project in the field of applied remote sensing in forest protection and bark beetle monitoring. It was found that using multi-temporal RapidEye imagery, the ground truth data of bark beetle infestation and the application of dataming techniques allow for the recognition and separation of different infestation stages. The analysis suggests a weak trend for the identification of infested groups of trees, which are still widely green. In contrast, the classification of reddish-coloured deteriorating or dead tree groups shows a high accuracy (97 % user's, 82 % producer's, kappa: 0.89).

Zusammenfassung: Der vorliegende Artikel stellt die im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes verwendeten Methoden und erzielten Ergebnisse auf dem Gebiet der angewandten Fernerkundung im Waldschutz, im Speziellen dem Borkenkäfer-Monitoring, dar. Es zeigte sich, dass unter Verwendung multi-temporaler RapidEye Satellitenbilder, terrestrischer Stichproben des Borkenkäferbefalls und der Anwendung von Dataming-Techniken eine Erkennung und Differenzierung unterschiedlicher Befallsstadien möglich ist. Die Auswertungen zeigen einen schwachen Trend zur Erkennbarkeit frisch befallener, noch weitgehend grüner Baumgruppen. Dagegen werden bei der Klassifikation der bereits rot verfärbten absterbenden und toten Baumgruppen hohe Genauigkeiten erreicht (97 % Nutzergenauigkeit, 82 % Herstellergenauigkeit, Kappa: 0,89).

1 Einleitung

1.1 Relevanz der Borkenkäferschäden für die Forstwirtschaft

Massenbefall von Fichtenbeständen durch die Borkenkäferarten Buchdrucker (*Ips typographus*) und Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*) sind ein ernstzunehmendes ökonomisches Problem in europäischen Wirtschaftswäldern (EPPO). So fielen beispielsweise im deutschen Bundesland Thüringen 2003, einem Jahr mit einem sehr heiß-trockenen Sommer und daher idealen Vermehrungsbedingungen für den Buchdrucker, 473384 Efm¹ Käferholz

an (TMLNU 2006). Auch in Übersee herrschen schwerwiegende Probleme mit anderen Borkenkäferarten. In British Columbia, Kanada, hatte das Befallsgebiet der fortschreitenden Gradation des Mountain Pine Beetles (*Dendroctonus ponderosae*) im Jahre 2006 eine Fläche von 130.000 km² erreicht. Der kumulative Verlust an Holz belief sich auf etwa 435 Millionen Kubikmeter (CBCNEWS 2008).

In Deutschland existieren etablierte Systeme zum Monitoring des Borkenkäferbefalls. Pheromon-Käferfallen, Fangbäume und vor allem die Begehung der Bestände durch die Revierförster liefern Daten über aktuelle Befallssituationen und Gradationsentwicklungen. Diese Monitoring-Techniken sind sehr arbeitsintensiv und heutzutage bei Reviergrößen, die oft 2.000 ha übersteigen, nicht mehr effektiv genug. Aus genannten Gründen be-

¹ Efm = Erntefestmeter. Entspricht dem gemessenen Derbholzvolumen, abzüglich 10 % Rindenverlust und 10 % Verlust bei der Holzernte.

steht ein großes Interesse daran, alternative Möglichkeiten zu untersuchen, welche die bereits bestehenden Methoden wirksam und kostengünstig unterstützen könnten.

1.2 Aktueller Stand der Forschung

Zur Detektion von Borkenkäferschäden mit Hilfe optischer Sensoren wurden in der Vergangenheit zahlreiche Forschungsprojekte durchgeführt. Insbesondere die Früherkennung spielte dabei eine bedeutende Rolle, da die Maßnahmen, die der Ausbreitung des Borkenkäfers entgegenwirken sollen nur dann wirksam sind, wenn die befallenen Bäume noch vor dem Ausflug der neuen Generation aus dem Waldbestand entfernt werden. Um dies zu verstehen, ist ein Blick auf den Ablauf der Gradation sowie die physiologischen Auswirkungen des Befalls auf die Bäume notwendig.

Im Frühjahr (April/Mai) beginnen die adulten Käfer ab Tagestemperaturen von etwa 16,5 °C zu schwärmen, die Fichten zu befallen und ihre Eier unter der Rinde abzulegen, worauf die Larven schlüpfen und mit dem Fraß im Bast der betroffenen Bäume beginnen. Die Fraßaktivität greift das Phloem an. Dies ist das Transportgewebe für die Nährstoffe von den Blättern zur Wurzel. Der sekundäre Nährstoffmangel in den Blättern führt unter anderem zum allmählichen Zerfall des Chlorophylls. Im Zeitraum von Mitte Juni bis Ende Juli verlassen die aus den Puppen hervorgegangenen Imagos ihre Wirtsbäume, um neue Fichten zu befallen (NIERHAUS-WUNDERWALD & FORSTER 2004). Daher erfasst ein im April aufgenommenes Satellitenbild den Zustand vor dem Befall und ein Anfang/Mitte Juni aufgenommenes Bild den Befallszustand kurz vor dem Ausflug. So lässt sich theoretisch der Änderungsvektor in Bezug auf das sich verringerende Chlorophyll erfassen.

Das Problem besteht jedoch darin, dass das rotbraune Verfärben der Baumkronen erst einsetzt, nachdem die Käfer die Brutbäume verlassen haben. Frisch befallene Bäume sind daher noch grün und zeigen nur schwache Anzeichen des Rückgangs der grünen Blattpigmente.

Die in der jüngsten Vergangenheit (nach 2000) publizierten Studien zu Untersuchungen der Erkennung des Frühbefalls konzentrierten sich insbesondere auf den nordamerikanischen Kontinent und das dortige Mountain Pine Beetle Problem. HEATH (2001) versuchte mit dem Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI), einem Hyperspektralscanner, Frühbefall in *Pinus ponderosa* Beständen zu detektieren. Ein positiver Trend zeigte sich im grünen Spektralbereich bei 540 nm und im Red Edge bei 706 nm. Die spektralen Signaturen der gesunden und der frisch befallenen Bäume überlappten sich jedoch sehr stark. Gemäß WULDER et al. (2005) blieben alle bisherigen Untersuchungen dieser Art weitgehend erfolglos. Dagegen ist die Erkennung von bereits verfärbten Baumkronen mit unterschiedlich hohen Genauigkeiten vielfach nachgewiesen worden. So erreichten FRANKLIN et al. (2003) bei der Auswertung monotonaler Multispektraldaten eine Genauigkeit von 73 %. SHANKUN et al. (2003) zeigten, dass die Auswertung multi-temporaler Aufnahmen die Fehlerquote verringert. Sie untersuchten darüber hinaus die Genauigkeiten in Abhängigkeit von der Größe der geschädigten Baumgruppen: Für Gruppen von 10–29 Bäumen betrug die Genauigkeit 76 %, für 30–50 Bäume 81 %.

1.3 Zielstellungen

Mit der RapidEye Konstellation, betrieben von der RapidEye AG, die ihren Sitz in Brandenburg an der Havel hat, steht ein System von fünf hochauflösenden Erdbeobachtungssatelliten zur Verfügung. Alleinstellungsmerkmale sind das RedEdge Band und die hohe Wiederholrate, welche die Chance erhöht, wolkenfreie Aufnahmen im gewünschten Zeitfenster zu erhalten. Motiviert von den im Abschnitt 1.1 beschriebenen Zusammenhängen führten die RapidEye AG und ihr Projektpartner, die Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (TLWJF), gemeinsam ein Forschungsprojekt durch, um folgende Fragestellungen zu untersuchen:

1. Sind RapidEye Daten eine geeignete Datenquelle zur Erkennung von durch Borkenkäfer geschädigten Fichtenbeständen?

2. Können unterschiedliche Befallsklassen erfasst werden?
3. Welche Genauigkeiten können mittels multi-temporalen Datenauswertung und Data-mining Techniken erzielt werden?

Die Methoden und Ergebnisse des Forschungsprojektes sind Gegenstand dieses Beitrages und werden in den folgenden Abschnitten dargestellt. Es ist die erste Untersuchung dieser Art unter Verwendung von RapidEye Daten.

2 Methode

2.1 Untersuchungsgebiet

Das Projektgebiet befindet sich im Bundesland Thüringen und bedeckt hauptsächlich die Forstämter Gehren, Sonneberg und Neuhaus (Koordinatenmittelpunkt: 11d11'38" E; 50d35'15" N). Es erstreckt sich über eine Fläche von 886 km², wobei die Gesamtwaldfläche 570 km² beträgt. Als Hauptbaumart dominiert *Picea abies* (Gemeine Fichte) mit 84 %. Außerdem sind *Fagus sylvatica* (Gemeine Buche) mit 7 %, *Pinus sylvestris* (Wald-Kiefer) mit 4 %, *Larix decidua* (Europäische Lärche) mit 2 % und sonstige Baumarten mit 3 % vorhanden.

2.2 Verwendete Geodaten

Satellitenbilddaten

Das Untersuchungsgebiet wurde mit zwei wolkenfreien Gebietsabdeckungen mit den RapidEye Satelliten (siehe Tab. 1) aufgenommen. Bei beiden Aufnahmen beträgt der Schwenkwinkel -6° . Die Zeitreihe ist definiert durch die beiden Zeitpunkte T1 = 13. 04. 2009 und T2 = 13. 06. 2009. Dabei wurde die Wahl der Aufnahmezeitpunkte dem Lebenszyklus des Borkenkäfers angepasst (vgl. Abschnitt 1.2, zweiter Absatz).

Forstliche Grundlagendaten und Geodaten (bereitgestellt von der Thüringer Landesforstverwaltung):

- Ein Vektor-Layer aller Fichtenreinbestände, wobei ein Fichtenreinbestand durch einen Fichtenanteil größer gleich 90 % definiert ist,

Tab. 1: Eigenschaften der RapidEye Konstellation.

Kennzeichen des RapidEye-Systems	5 baugleiche Satelliten
Spektrale Auflösung	Blau (410–510 nm) Grün (520–590 nm) Rot (630–685 nm) Red Edge (690–730 nm) NIR (760–850 nm)
Radiometrische Auflösung	12 Bit
Geometrische Auflösung	6,5 m (nadir)
Schwadbreite	77,25 km
Wiederholungsrate	ab 1 Tag

- ein Wegelayer, der alle Forstwege im Bestand darstellt,
- Ortho-Luftbilder (1 m Auflösung) und
- Digitales Geländemodell, 5 m Auflösung.

Befallsstichproben

Der Projektpartner stellte ein Vektor-Layer zur Verfügung, das die von den Revierförstern aufgenommenen Stichproben des Borkenkäferbefalls enthält. Die zugehörige Tabelle führt die Attribute „OBJEKT“ (Befallsklasse, vgl. Abschnitt 2.5 Zielklassen und Indexbildung) und „BEFALL“ (die Anzahl der befallenen Bäume). Die Geometrien liegen als Polygone (Kreise) mit 10 m Radius vor.

2.3 Bildkorrekturen

Unter Nutzung der vom TLWJF (Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei) bereitgestellten Geodaten (Ortho-Luftbilder, Digitales Geländemodell, vgl. Abschnitt 2.2) wurden die Satellitenbilder ortho-rektifiziert und in eine Lagegenauigkeit überführt, deren Genauigkeit im Sub-pixelbereich liegt (RMS = 4 m). Zur Unterdrückung reliefbedingter Beleuchtungsunterschiede sowie zur Reduktion atmosphärischer Einflussfaktoren wurde eine Atmosphärenkorrektur durchgeführt und Reflektanzen berechnet.

2.4 Aktualisierung des Fichten-Layers

Eine Analyse der Vektordaten, welche die Grenzen der reinen Fichtenbestände markieren, zeigte, dass sie zum Teil nicht mehr den aktuellen Gegebenheiten entsprachen. 47% aller Bestandeskartierungen und ihrer Attributierungen stammen aus einer Inventur aus dem Jahre 1993. Beispielsweise haben die Stürme Lothar (1999) und Kyrill (2007) in der Zwischenzeit zahlreiche Kahlflecken verursacht. Außerdem enthalten die bezeichneten Reinbestände immerhin noch Laubbäume mit einem Durchmischungsanteil von bis zu 10%. Daher musste vor der Analyse des Borkenkäferbefalls zunächst eine aktualisierte Fichtenmaske hergestellt werden. Über den Anteil der Kiefern in den Fichtenreinbeständen lagen keine Informationen vor.

Für die Unterscheidung von Laubwald, Fichten und Kahlflecken innerhalb der Grenzen des nicht mehr aktuellen Bestandesdaten-Layers wurde zunächst davon ausgegangen, dass sich die Fichten am besten vom Rest des Bildes abgrenzen lassen, wenn dafür die April-Szene (T1) verwendet wird, da sie immergrün sind und sich daher von den zu diesem Zeitpunkt noch nicht sprießenden Laubbäu-

men und der restlichen Vegetation markant durch ihr Vegetationssignal abheben. Mittels einer unüberwachten Klassifikation (kmeans clustering) der April-Szene wurden auf Basis des NDVI 20 Klassen gebildet. Als Klassifikationsmaske wurde das Bestandesdaten-Layer verwendet. Durch eine folgende visuelle Interpretation wurden die Klassen aggregiert und danach durch das Setzen eines Schwellenwertes in die Klassen „Fichte“ und „nicht Fichte“ aufgeteilt. In die Klasse „nicht Fichte“ wurden die in Frage kommenden Kandidaten für die Klassen „Kahlflecke“ und „Laubwald“ übernommen. Wasser und Schatten wurden wie alle außerhalb des Bestandesdatenlayers liegenden Pixel in die „Null-Klasse“ aggregiert. Die Klasse „nicht-Fichte“ diente im Weiteren als Bearbeitungsmaske für die Analyse des zweiten Zeitschnittes (Juni). Auch hier erfolgte die Bearbeitung sequenziell wie bei der April-Szene: kmeans-clustering, visuelle Interpretation, Klassenaggregation und Unterscheidung in „Laubwald“ und „Kahlflecken“ sowie Schwellenwertverfahren zur Herstellung der entsprechenden Bitmaps. Zuletzt wurden mittels SIEVE-Verfahren Einzelpixel eliminiert (Schwellwert 4 Pixel), um den Salz- und-Pfeffer Effekt zu reduzieren. Abschließend wurden alle Bitmaps in ein Raster-Layer

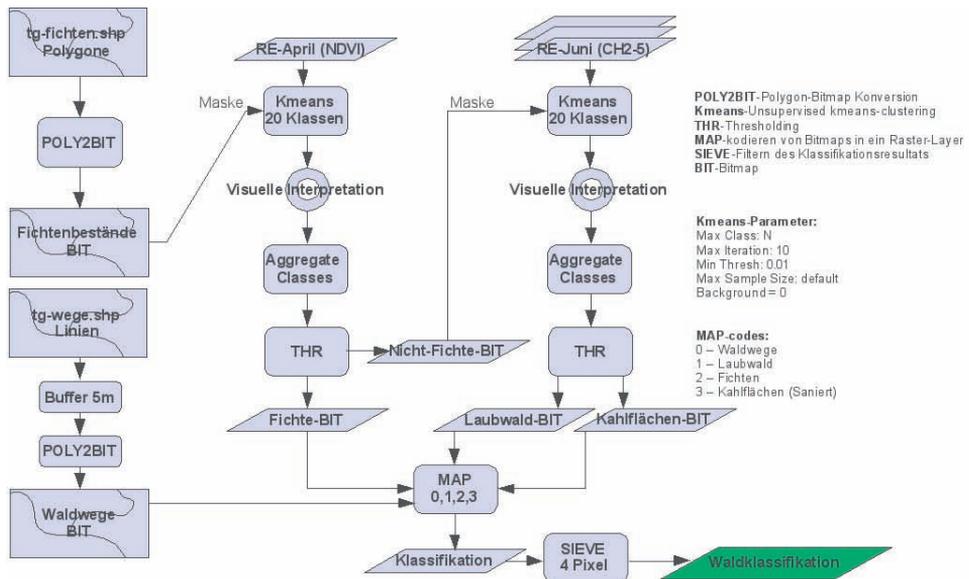


Abb. 1: Überblick multi-temporale Waldklassifikation (Aktualisierung des Fichten-Layers).

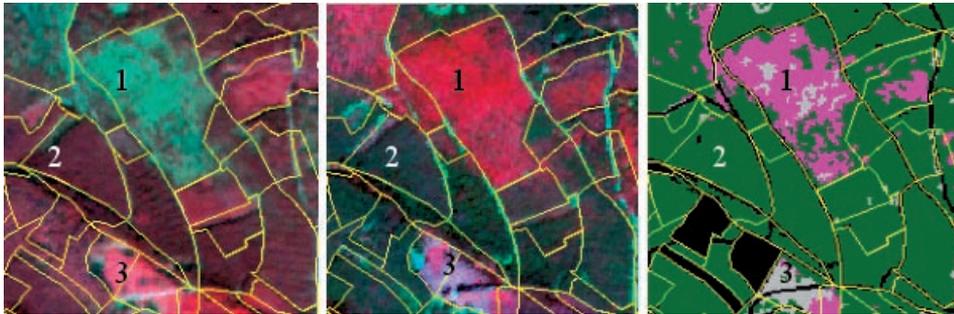


Abb. 2: Durch alle Jahreszeiten hindurch bleiben die Fichtenbestände (2, grün) phänologisch gesehen vergleichsweise stabil und sind von Laubbäumen und Kahlflächen gut unterscheidbar. Dagegen stehen die Laubholzbestände (1, violett), in diesem Falle Buchen, Mitte April erst kurz vor dem Austrieb und reflektieren noch kein Blattgrün. Im Juni sind die Blätter dann bereits voll entwickelt. Die Kahlflächen (3, grau) tragen im April, sofern sie nicht durch blanken Boden definiert sind, häufig eine von Kräutern, Gräsern, bisweilen auch Gebüsch und Baumanwuchs geprägte Vegetation. Sie lassen sich zumeist gut von den Fichten und Laubbäumen unterscheiden.

kodiert. Das Resultat der Prozedur ist die Waldklassifikation. Abb. 1 visualisiert das beschriebene Vorgehen.

Beispiele für die Erfassung der Waldklassen mittels multi-temporalen Datenanalyse zeigt Abb. 2.

Da die existierenden Bestandesdaten nicht mehr aktuell sind, können sie auch nicht zur Qualitätsbewertung verwendet werden. In Abstimmung mit dem Auftraggeber (TLWJF) wurden die Klassengenauigkeiten durch rein visuelle Beurteilung der Satellitenbilder wie folgt geschätzt: Fichten > 90 %, Laubwald: > 80 %, Kahlflächen > 90 %.

2.5 Analyse des Borkenkäferbefalls

Zielklassen und Indexbildung

Die Zielklassen wurden in Absprache mit dem Projektpartner definiert (siehe Tab. 2).

Für die weitere Analyse wurden nur Stichproben ausgewählt, die mehr als 30 befallene Bäume („BEFALL“ > 30) enthielten. Die Geometrien dienten alsdann der Extraktion der Trainingspixel aus der Zeitreihe. Neben den RapidEye-Kanälen wurden Indizes in die Analyse mit einbezogen, die sensitiv für Veränderungen des Chlorophyllgehaltes (vgl. Abschnitt 1.2) sind (siehe Tab. 3).

Nach der Selektion der geeigneten Probestellen enthält K1 = 9309, K2 = 127 und K3 = 217 Trainingspixel. K4 wurde bereits erfasst (vgl. Abschnitt 2.4 Aktualisierung des Fichtenlayers) und in der weiteren Analyse nicht weiter berücksichtigt.

In der Folge wurde eine explorative Datenanalyse durchgeführt, die dazu diente, die extrahierten Trainingspixel zu beurteilen. Die Analyse ergab, dass die untersuchten spektralen Merkmale in den Stichproben der Zielklassen weder normalverteilt waren (Kolmogorov-Smirnov-Test, $\alpha = 0,05$), noch ähnliche

Tab. 2: Zielklassen.

Klasse	Attribut	Eigenschaften
K1	Gesund	Nadeln der Fichten grün und vital
K2	Befallen	Nadeln der Fichten grün und vermindert vital
K3	Rot	Nadeln der Fichten rotbraun verfärbt, mit oder ohne Nadelverlust, absterbend oder bereits abgestorben
K4	Saniert	Kahlflächen

Tab. 3: Indizes.

Index	Formel	Referenz
Red Edge NDVI	$\text{NDVI}_{\text{RedEdge}} = \frac{\text{Nir} - \text{RedEdge}}{\text{Nir} + \text{RedEdge}}$	GITELSON et al. 1994
Green NDVI	$\text{NDVI}_{\text{Green}} = \frac{\text{RedEdge} - \text{Green}}{\text{RedEdge} + \text{Green}}$	BUSCHMANN und NAGEL 1993
RATIO	$\text{RATIO} = \frac{\text{NDVI}_{\text{RedEdge}}}{\text{NDVI}_{\text{Green}}}$	k.A.
Chlorophyll Green Model	$\text{CGM} = \frac{\text{Nir}}{\text{Green}} - 1$	GITELSON et al. 2005
Chlorophyll Red Edge Model	$\text{CRM} = \frac{\text{Nir}}{\text{RedEdge}} - 1$	GITELSON et al. 2005

Streuungen besaßen (Test auf Homogenität der Varianzen, Levene Statistik, $\alpha = 0,05$). Daher musste von überwachten Klassifikationsmethoden, welche Normalverteilung sowie Varianzgleichheit in den untersuchten Gruppen verlangen (BACKHAUS et al. 2003, JENSEN 1998), Abstand genommen werden (z.B. Maximum Likelihood Klassifikation).

Datamining – Erzeugung des Entscheidungsbaum-Modells

Als gültiger Ansatz zur Unterscheidung der Befallsklassen wurde daher auf die Datamining Software C5 der Firma RULEQUEST® zurückgegriffen. C5 erstellt regelbasierte, induktive Entscheidungsbaummodelle. Gegeben sein muss dabei ein Trainingsdatensatz, der alle potenziell zur Klassifikation beitragenden Merkmale enthält. Im Gegensatz zum Maximum Likelihood Klassifikator wird in den Trainingsdaten weder eine Normalverteilung der Merkmalsausprägungen vorausgesetzt, noch eine Homogenität der Varianzen. Es ist demnach ein nicht-parametrisches, also verteilungsfreies Verfahren. Bei dem Trainingsdatensatz ist die Klassenzugehörigkeit jedes Pixels bekannt (*supervised*).

Im vorliegenden Fall entspricht dies der Borkenkäferbefallsklasse. Der selbstlernende Algorithmus (*machine learning algorithm*) basiert auf dem Prinzip der sogenannten rekursiven Partitionierung. Der Lernprozess beginnt (*Induktion*) mit der Betrachtung der heterogenen Grundgesamtheit aller Daten (*start*

node). Bestimmten Regeln zufolge werden die am besten geeigneten Variablen ausgewählt (*black box*) und der Datensatz an Knotenpunkten (*nodes*) so oft multipel gegabelt, bis die Endknoten (*end nodes*) so homogen wie möglich sind und die günstigste Zuordnung der Fälle in ihre jeweilige Klasse gewährleistet wird. Dabei muss der beste Kompromiss gefunden werden zwischen „Übertrainieren“ und „Generalisieren“. Das so erzeugte Entscheidungsbaummodell wird dann auf den bisher ungesehenen Eingangsdatensatz, der alle im Modell verwendeten Merkmale enthalten muss, angewendet (*Deduktion*), und für jedes Pixel die Klassenzugehörigkeit vorhergesagt. Abb. 3 und 4 illustrieren das grundlegende Prinzip. Stichproben der Klasse „Saniert“ (Kahlflächen) wurden nicht in die Trainingsphase aufgenommen, da diese Klasse bereits mit hoher Genauigkeit als Nebenprodukt während der Erstellung der Fichtenmaske erzeugt wurde. Das Erzeugen und Trainieren des Entscheidungsbaum-Modells erfolgte getrennt für den 3-Klassen-Fall (Befallen, Rot, Gesund), und für den 2-Klassen Fall (Rot, Gesund). Aus der Trainingsphase resultierte die automatische Auswahl folgender Variablen: T1Green, T1Red, T1NDVIRE, T1RATIO, T2Green, T2Red, T2NDVIRE, T2RATIO. Nach dem Trainieren wurde das Modell auf die entsprechenden Datensätze angewendet. Zuletzt erfolgte eine Kodierung der Klasse „Saniert“ in die thematischen Ergebnismasken.

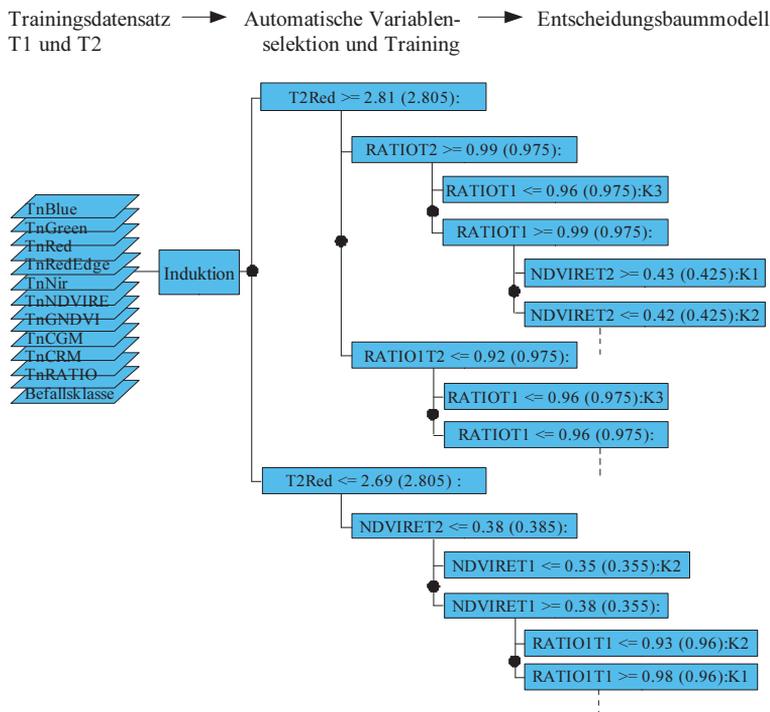


Abb. 3: Prinzip der Generierung des Entscheidungsbaummodells. An den Enden der multiplen Verzweigungen stehen die durch unterschiedliche Variablen und Regeln definierten Zielklassen (K1 = Gesund, K2 = Befallen, K3 = Rot).

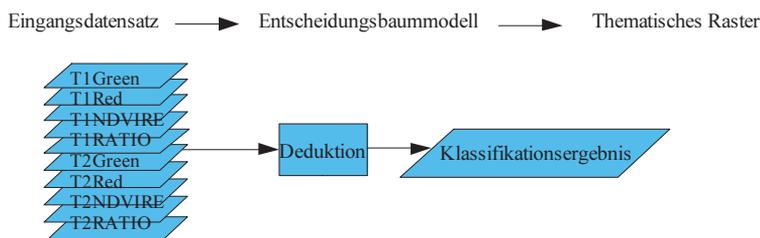


Abb. 4: Anwendung des Modells auf den bisher ungesehenen Datensatz.

3 Klassifikationsergebnisse und Qualitätsbewertung

Abb. 5 und 6 zeigen Ausschnitte aus den thematischen Ergebnisrastern.

Die Qualitätsbewertung (siehe Tab. 4 und 5) basiert auf einer 10-fachen Kreuzvalidierung der Trainingspixel, wobei bei jedem Durchlauf zufällig 10 % der Trainingspixel ausgewählt und zur Validierung des Modells zurückgehalten wurden. Daher ist sie auch ein

zulässiger Indikator für die Bewertung der Klassifikationsergebnisse.

Im 3-Klassen Fall ist ersichtlich, dass befallene Fichten hauptsächlich mit gesunden verwechselt werden. Von den insgesamt 127 Referenz-Pixeln der Klasse „Befallen“ werden 59 fälschlicherweise als „Gesund“ und 16 als „Rot“, klassifiziert (Herstellergenauigkeit). Demnach wurden 47 % der Klasse „Befallen“ nicht erkannt. 12,5 % der Klasse „Befallen“ wurden der Klasse „Rot“ zugeordnet. Umge-

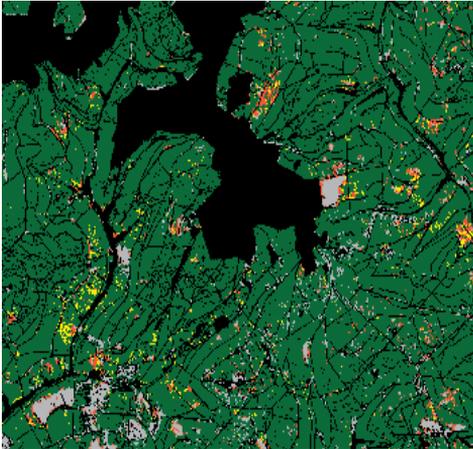


Abb. 5: Klassifikation in 4 Klassen: Gesund (grün), Befallen (gelb), Rot (rot), Saniert (grau).



Abb. 6: Klassifikation in 3 Klassen: Gesund (grün), Rot (rot), Saniert (grau).

Tab. 4: Confusion-Matrix der Befallsklassifikation (3 Klassen-Fall).

3 Klassen-Fall	Klassifikation				Herstellergenauigkeit
	Befallen	Rot	Gesund	Summe	
Referenz (Probeflächenpixel)	Befallen	Rot	Gesund	Summe	
Befallen	52	16	59	127	40,94 %
Rot	10	174	33	217	80,18 %
Gesund	6	9	9294	9309	99,84 %
Summe	68	199	9386	9653	
Nutzergenauigkeit	76,47 %	87,44 %	87,44 %		Kappa: 0,78

Tab. 5: Confusion-Matrix der Befallsklassifikation (2 Klassen-Fall).

2 Klassen-Fall	Klassifikation			Herstellergenauigkeit
	Rot	Gesund	Summe	
Referenz (Probeflächenpixel)	Rot	Gesund	Summe	
Rot	178	39	217	82,03 %
Gesund	6	9303	9309	99,94 %
Summe	194	9342	9526	
Nutzergenauigkeit	96,74 %	99,58 %		Kappa: 0,89

kehrt gehören von 68 als „Befallen“ klassifizierten Fällen 10 in Wirklichkeit der Klasse „Rot“ und 6 der Klasse „Gesund“ an (Nutzergenauigkeit). Im 2-Klassen Fall fällt die durchschnittliche Genauigkeit der Klasse „Rot,“ mit

einer Herstellergenauigkeit von 82% und einer Nutzergenauigkeit von 97% höher aus als im 3-Klassen Fall. Bisher nicht quantifiziert wurden Fehlklassifikationen an den Bestandesrändern.

4 Diskussion

Multi-temporale RapidEye Daten sind eine geeignete Datenquelle, um rot verfärbte, absterbende oder bereits abgestorbene Fichten (Klasse K3) zu erfassen (vgl. Abschnitt 2.5 Zielklassen und Indexbildung). Befallene Fichten (Klasse K2) zeigen zwar einen Trend zur Detektierbarkeit, jedoch mit einer für die forstliche Praxis nicht verwertbaren Genauigkeit. Die erreichten Genauigkeiten für die Klasse K3 fallen dagegen wesentlich höher aus. Mit der Kartierung der Klasse K3 und ihrer alleinigen Abgrenzung von der Klasse K1 (gesund) ist eine operationelle Unterstützung des Borkenkäfer Monitoring in sofern möglich, als dass die Chancen für das Auffinden der befallenen Fichten erhöht werden, da die Besiedlung neuer Brutbäume im Frühjahr weitgehend in der Nähe der Schadstellen aus dem Vorjahr geschieht und im Vorjahr nicht alle Befallsnester durch Begehungen aufgefunden werden können.

Das Datamining, hier umgesetzt mit der Software C5, ist eine geeignete Methode, um basierend auf terrestrischen Referenzdaten und den verwendeten Bändern und Indices (vgl. Abschnitt 2.5 Zielklassen und Indexbildung) ein Entscheidungsbaummodell zu generieren, mit dem sich die Zielklassen (K1, K3) mit der beschriebenen Qualität abbilden lassen. Offen bleibt die Frage, ob sich das Modell auf das Folgejahr übertragen lässt. Um dies zu testen, müssten zu den gleichen Zeitpunkten T1 und T2 Daten aufgenommen werden. Ginge man davon aus, für jede Auswertung aktuelle Bodenreferenzdaten zur Verfügung zu haben, müsste untersucht werden, wie die Mindestgröße der Stichprobe sein muss, um dieselben Nutzer- und Herstellergenauigkeiten zu leisten.

Als positiver Nebeneffekt ist die Aktualisierung und Präzisierung der Fichtenvorkommen und deren Abgrenzung von laubabwerfenden Baumarten und Kahlflächen zu werten. Hier hat sich die Verwendung multi-temporaler Daten (ein Datensatz unmittelbar vor dem Beginn der Vegetationsperiode, ein Datensatz nach dem Einsetzen der Vegetationsperiode) als besonders gewinnbringend erwiesen. Als weiterführende Untersuchung wird hier die Detektierbarkeit der in den Fichten-

reinbeständen eingemischten Kiefern als sinnvoll erachtet.

Literatur

- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. & WEIBER, R., 2003: Multivariate Analysemethoden – Eine Anwendungsorientierte Einführung. – 10. Auflage, 818 Seiten, Springer, Berlin.
- BUSCHMANN, C. & NAGEL, E., 1993: In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. – *International Journal of Remote Sensing* **14**: 711–722.
- CBCNEWS 2008: In Depth Science, The beetle and the damage done. – www.cbc.ca/news/background/science/beetle.html (18.2.2010).
- EPPO: Data Sheets on Quarantine Pests, *Ips typographus*, Prepared by CABI and EPPO for the EU under Contract 90/399003. – EPPO: European and Mediterranean Plant Protection Organization, www.eppo.org/QUARANTINE/insects/Ips_typographus/IPSXTY_ds.pdf (18.2.2010).
- FRANKLIN, S.E., LAVIGNE, M.B., MOSKAL, L.M., WULDER, M.A. & McCAFFREY, T.M., 2001: Interpretation of forest harvest conditions in New Brunswick using Landsat TM enhanced wetness difference imagery (EWDI). – *Canadian Journal of Remote Sensing* **27**: 118–128.
- GITELSON, A.A. & MERZLYAK, M.N., 1996: Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. – *International Journal of Remote Sensing* **18** (12): 2691–2697.
- GITELSON, A.A., VIÑA, A., CIGANDA, V., RUNDQUIST, D.C. & ARKEBAUER, T.J., 2005: Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. – *Geophysical Research Letters* **32**: L08403.
- HAN, J. & KAMBER, M., 2001: *Data Mining-Concepts and Techniques*. – Simon Fraser University, Morgan Kaufmann Publishers.
- HEATH, J., 2001: The detection of mountain pine beetle green attacked lodgepole pine using Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI) data. – M.Sc. Thesis, Univ. British Columbia, Vancouver, B.C., Kanada.
- JENSEN, J.R., 1996: *Introductory Digital Image Processing*. – Pearson Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- NIERHAUS-WUNDERWALD, D. & FORSTER, B., 2004: Zur Biologie der Buchdruckerarten – Merkblatt für die Praxis. – Eidg. Forschungsanstalt WSL CH-8903 Birmensdorf, Bibliothek WSL, Schweiz.
- SKAKUN, R.S., WULDER, M.A. & FRANKLIN, S.E., 2003: Sensitivity of the thematic mapper en-

- hanced wetness difference index to detect mountain pine beetle red-attack damage. – *Remote Sensing of Environment* **86**: 433–443.
- TMNLU 2006: Forstbericht 2006. – Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, Beethovenstraße 3, 99096 Erfurt.
- WULDER, M.A., WHITE, J.C., BENTZ, B., ALVAREZ, M.F. & COOPS, N.C., 2005: Estimating the probability of mountain pine red-attack damage. – *Remote Sensing of Environment* **101**: 150–166.

Adresse des Autors:

ALEXANDER MARX M.Sc. Forest Information Technology, RapidEye AG, Molkenmarkt 30, Brandenburg an der Havel, Tel: +49-3381-8904-326, Fax -101, e-mail: marx@rapideye.de, colax@gmx.de.

Manuskript eingereicht: Februar 2010

Angenommen: April 2010



Ein Überblick über die Kombination spektraler und geometrischer Modellierung zur Anwendung in der forstlichen Fernerkundung

MICHAEL FÖRSTER, Berlin, DANIEL SPENGLER, Potsdam, HENNING BUDDENBAUM, JOACHIM HILL, Trier & BIRGIT KLEINSCHMIT, Berlin

Keywords: Geometrisch-optische Modelle, Strahlungstransfermodelle, Raytracing, Radiosity

Summary: *A review of the combination of spectral and geometric modelling for the application in forest remote sensing. Focus of this paper is to give an overview of the motivation, design, and development of spectral and geometric models for application in forestry. Therefore, the main types of models, geometric-optical (GO), radiative transfer (RT), combination of GO and RT (GORT), and utilization of computer graphics, are introduced. A selection of the most influential models is named and shortly described. With RAMI (RAdiation transfer Model Intercomparison), an initiative to evaluate the results of the models is introduced. Additionally, models explicitly used in forestry are compared in respect to 3D simulation of vegetation and the distribution within the model.*

Zusammenfassung: Ziel dieses Artikels ist es, einen Überblick über die Motivation, den Aufbau und die Entwicklung von spektralen und geometrischen Modellen für die Anwendung in der forstlichen Fernerkundung zu geben. Es werden die Hauptmodelltypen (geometrisch-optisch (GO), Strahlungstransfer (RT), Kopplung von GO und RT (GORT) und Ansätze mittels Computergraphik) vorgestellt. Weiterhin wird eine Auswahl der einflussreichsten Modelle benannt und kurz beschrieben. Mit RAMI (Vergleich von Strahlungstransfermodellen) wird eine Initiative zum Vergleich der verschiedenen Modelle vorgestellt. Zusätzlich werden die Modelle, welche explizit forstliche Anwendung haben noch bezüglich ihrer Verwendung von Pflanzenmodellen und deren Verteilung verglichen.

1 Einleitung

Das Hauptziel der Auswertung spektral hochauflösender optischer Fernerkundungsdaten ist es, ein grundlegendes Verständnis über die durch den Sensor gemessene Strahlung und deren Interaktion mit der Atmosphäre und der Oberfläche zu erlangen. Dieses Wissen kann dann zur Entwicklung von Algorithmen und operationellen Verfahren zur Auswertung des gemessenen Signals für verschiedene Anwendungen genutzt werden (PINTY & VERSTRAETE 1998). Um die Information in der gemessenen Strahlung genau und störungsfrei nachvollziehen zu können, werden Fernerkundungsdaten für verschiedene Anwendungen simuliert. Aus dieser Zielsetzung ergeben sich eine Rei-

he von Aufgabenstellungen der Modellierung (NILSON et al. 2003). Sie können dazu dienen:

- Verständnis vom reflektierten Signal zu erwerben. Welche Faktoren des spektralen Signals haben welchen Einfluss auf den gemessenen spektralen Wert?
- Simulation von Änderungen des Signals vorzunehmen, um Prognosen zu errechnen. Die Änderungen ergeben sich aus dem Jahresverlauf, Schädigungen (z. B. Trockenschäden) oder der Änderung der Landnutzung.
- quantitative Beziehungen zwischen terrestrisch kartierten Werten und Fernerkundungswerten abzuleiten (z. B. von Ernteträgern). Dies kann durch eine Modellinver-

sion dazu führen, dass spektrale Werte genutzt werden, um beispielsweise Informationen zum forstlichen Bestandesalter und zur Baumanzahl abzuleiten.

- die Qualität von Auswertungsalgorithmen unter kontrollierten Rahmenbedingungen zu prüfen, d. h. ohne wechselnde Beleuchtung, atmosphärische Bedingungen, radiometrische, spektrale und geometrische Auflösungen (VAN COILLIE et al. 2006).
- geplante Sensormissionen zu unterstützen.
- Auswertelgorithmen zu trainieren. Um eine Erkennung zu verbessern, werden häufig empirische Methoden (z. B. neuronale Netze) verwendet. Für komplexe Fragestellungen werden dafür meist große Mengen Trainingsdaten benötigt, die durch Modellierungen bereitgestellt werden können (HAGNER & OLOFSON 2004).

Die ersten Forschungsarbeiten mit modellierten Daten wurden bereits in den 1970er gemacht (SUITS 1972, TUCKER & GARRATT 1977). Dabei wurde zunächst das Ziel der Modellinversion am stärksten verfolgt, da die Sensoren auf längere Sicht noch nicht die gewünschte geometrische und spektrale Auflösung liefern konnten. Es sollten Modelle entwickelt werden, die die terrestrisch gemessenen Werte (Kartierung, Spektrometernmessungen) möglichst physikalisch basiert nachbilden können. Auf eine Fernerkundungsszene angewandt, sollten dann aus der generalisierten Information des Pixels quantifizierbare Werte (z. B. Baumanzahl, Blattflächenindex) durch zuverlässige numerische Algorithmen abgeleitet werden (Modellinversion).

Eine Vielzahl solcher Modellierungen wurden im Forschungsfeld der Fernerkundung für verschiedene Anwendungen durchgeführt und verglichen (WIDLÓWSKI et al. 2007). Dabei können fünf Typen von Signaturen innerhalb der Fernerkundung charakterisiert werden (LIANG & STRAHLER 1994):

- spektrale Information,
- räumliche Information auf der makroskopischen Ebene (Objekte sind wesentlich größer als die Wellenlänge),
- zeitliche Information (Änderung durch Jahreszeiten etc.),
- Winkelinformation,
- Polarisation.

Ein besonderer Bedarf, die charakterisierten Informationen modellbasiert zu erheben, entstand in der forstlichen Fernerkundung. Im Gegensatz zu anderen Vegetationsarten beinhalten empirische spektrometrische Messungen von Bäumen eine Vielzahl von technischen und praktischen Herausforderungen, die der Größe der Objekte und deren komplexen Aufbau geschuldet sind. Es gibt bisher nur wenige Untersuchungen, in denen Waldbäume als gesamtes Objekt von Leitern, Zeppelinen oder Klimatürmen aus spektral vermessen werden, um die grundlegenden Zusammenhänge zwischen spektraler Information und forstlichen Eigenschaften zu ermitteln. Durch solche empirisch erhobenen Daten können am genauesten die Einflüsse von Parametern wie Strahlungswinkel, Schattenwurf, Jahreszeit und Vergilbungserscheinungen sowie Degradationszustand und Alter der Bäume berücksichtigt werden (KOCH 1987). Leider werden aus Kostengründen auch in näherer Zukunft empirische Untersuchungen höchstens unterstützend zu Modellen Verwendung finden können. Deshalb soll dieser Artikel den bisherigen Forschungsstand aufbauend auf bestehenden Zusammenfassungen zur Modellierung von Vegetation (ATZBERGER 2003) und speziell für die Modellierung in forstlicher Anwendung vermitteln.

2 Arten physikalisch basierter Modelle

Für die Generierung von Reflektanzwerten in Modellen kann man zwischen vier grundlegenden Ansätzen unterscheiden, die oft kombiniert werden (GOEL 1988):

- Modellierung heterogener Vegetation einzelner Objekte, z. B. Bäume oder Bebauung (LI & STRAHLER 1985). Dabei wurden die makroskopischen Eigenschaften von Objekten einbezogen, ohne deren spektralen Eigenschaften korrekt widerzugeben (siehe Abb. 1 rechts) → **Geometrisch-Optische Modelle (GO)**.
- Modellierung von zumeist homogener Vegetation wie z. B. landwirtschaftliche Kulturen (VERHOEF 1984). Dabei wurde das gesamte Pflanze/Boden-System als Oberfläche mit bestimmten Streuungseigenschaf-

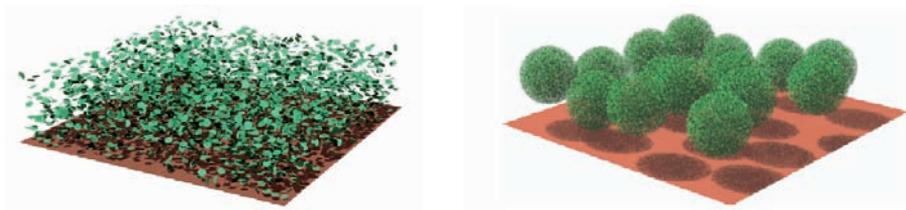


Abb. 1: Beispiel für homogene (links) und heterogene (rechts) Vegetation (PINTY et al. 2001).

ten betrachtet, aber die spektralen Eigenschaften sehr detailliert einbezogen (siehe Abb. 1 links) → **Strahlungstransfermodelle** (RT).

- Kopplung von geometrisch-optischen Modellen und Strahlungstransfermodellen → **GORT-Modelle**.
- Verwendung von **computergraphischen Methoden** zur Modellierung von Vegetationsbeständen und deren Eigenschaften mittels **Ray Tracing** und **Radiosity** Modellen.

2.1 Geometrisch-optische Modelle (GO)

In der forstlichen Anwendung wurde versucht, die Struktur eines Bestandes durch einfache geometrische Figuren nachzubilden. Anhand kartierter Daten werden Kronenmodelle konzipiert, meist aus Kegeln oder Ellipsoiden bestehend, deren Parameter wie Höhe, Stammdurchmesser, Bestandesdichte oder Baumart variiert und verteilt werden (NILSON et al. 2003). Die Anzahl der Parameter wird oft erweitert um den Blattflächenindex (LAI), Bodenart sowie biophysikalische Parameter (Baumschichtung, Blattdicke). Die Komplexität dieser Modelle ist begrenzt, da sie anhand bestehender Daten erstellt und kalibriert werden. Auch die terrestrische Validierung der Modelle kann aus diesem Grund nur begrenzt durchgeführt werden.

Das erste für Baumkronen entwickelte Modell bestand zunächst aus Kegeln für einzelne Bäume (LI & STRAHLER 1985). Es gab innerhalb des Modells daher vier Objekte: beleuchteter Kegel (C), beschatteter Kegel (T), beleuchtete Bodenoberfläche (G) und beschattete Bodenoberfläche (Z). Es wird dabei ein Lambert'sches Reflexionsverhalten angenommen. Durch Monte-Carlo-Simulationen soll

evaluiert werden, wie viele Bäume innerhalb eines LANDSAT-Pixels (damals 80 x 80 m) stehen. Das zunächst undurchsichtige (opake) Baummodell wurde in einem nächsten Schritt abhängig von der Baumgröße mit einem Faktor für die Lichtdurchlässigkeit durch die Baumkrone ergänzt. Dabei wird das Licht, welches durch die Vegetationsschicht noch den Boden erreicht und nicht reflektiert oder absorbiert wird durch eine negativ exponentielle Funktion der Pfadlänge durch die Krone berechnet und so ein korrigierter Wert für den Teil der beschatteten Bodenoberfläche errechnet (LI & STRAHLER 1986).

In einem weiteren Schritt wurden die bisher verwendeten Ganzkörpermodelle mit kleineren Bestandteilen, z. B. Ästen und Blättern ergänzt, welche zunächst zufällig in die Grundgeometrie des Baumes verteilt wurden (STRAHLER & JUPP 1990). Auch die schematischen Grundkörper der Bäume als Vegetationselemente wurden variiert (Kugeln und Halbkugeln auf Zylinder, Ellipsoide, Kegel mit Zylinder). Geometrisch-optische Modelle wurden weiterhin verwendet, um unterschiedliche Baumgrößen und -abstände als strukturelle Variabilität in Versuchsreihen zu ermitteln. Darüber hinaus wurde, im Gegensatz zu den ersten Modellen mit einer zufälligen Verteilung der Bäume, nun deren Verteilung im Raum simuliert (COOPS & CULVENOR 2000). Abb. 2 (rechts) zeigt dabei die unterschiedlichen Möglichkeiten der Kombination von Modellwahl, Struktur der Vegetation und Verteilung der Bäume (CHEN & LEBLANC 1997). So kann allein ein Strahlungstransfermodell genutzt werden (1), ein geometrisch-optisches Modell mit zufälliger (2) oder nicht-zufälliger (3) Baumverteilung, welches durch die Einbeziehung von Aststrukturen (4) und der Modellierung des Strahlungstransfers von Einzelblättern (5) ergänzt werden kann.

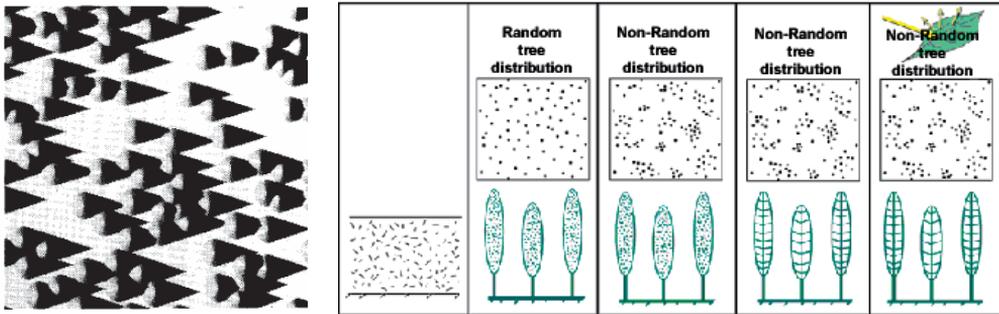


Abb. 2: Links: erstes simuliertes geometrisch-optisches Modell (Li & STRAHLER 1985) Rechts: 5-skalgiges geometrisch-optisches Modell (CHEN & LEBLANC 1997).

Das Grundproblem der geometrisch-optischen Ansätze blieb aber, dass die spektrale Signatur der Objekte hergeleitet werden musste, um diese auf die modellierten Objekte zu übertragen. Dies kann durch Feldmessung mit Spektrometern oder durch spektrale Analyse von zusätzlichen (meist hyperspektralen) flugzeuggestützten Bilddaten geschehen.

2.2 Strahlungstransfermodelle (RT)

Eines der bekanntesten Strahlungstransfermodelle (Radiative transfer (RT) models) ist das SAIL-Modell (VERHOEF 1984). Es war zunächst nicht räumlich explizit und nur für homogene Medien anzuwenden, da es konzeptionell von einer großen Anzahl unendlich kleiner, zufällig verteilten Vegetationskomponenten (z. B. Blättern) ausgeht. Im einfachsten Fall kann so ein Modell durch eine Photonen-transportgleichung (ähnlich des Photonen-transport in der Atmosphäre) mit bestimmten Randannahmen umgesetzt werden. Diese klassische und rein analytische RT-Theorie stößt aber speziell dann an Grenzen, wenn es sich um eine kleine Anzahl von relativ großen Objekten handelt, also eine stärkere 3-Dimensionalität implizit ist (SAICH et al. 2003). Seit Beginn der 90er Jahre wurden deshalb die Modelle in einzelne Komponenten für verschiedene Vegetationsbestandteile zerlegt (QIN & LIANG 2000).

Obwohl die Lösung der RT-Modelle für komplexe Vegetationsvorkommen bisher nicht realisiert wurde, sollten zumindest die Faktoren mit einbezogen werden, die den RT am

stärksten beeinflussen. Die RT-Modelle wurden schrittweise auf diskrete Objekte angewandt und dabei Spezifizierungen bezüglich der Bidirektionalen Reflektanzverteilungsfunktion (BRDF), etwa durch die Einbeziehung der Verteilung der Orientierung der Blätter (ROSS 1981) gemacht. Weiterhin erzeugen große Vegetationsobjekte (finite-size scatterer) einen Schatten, welcher wiederum ein Maximum der Reflektanz erzeugt, wenn Betrachtungswinkel und Illuminationswinkel identisch sind. Diesem Hot-Spot Effekt wird der größte Einfluss in den RT-Modellen zugeschrieben (QIN & GERSTL 2000). Auch das Auftreten von gegenseitiger Beschattung (mutual shadowing) zeigt, dass die Reflektanz durchaus von Form, Größe und Ausrichtung von einzelnen dreidimensionalen Objekten abhängt (BOLSTAD & LILLESAND 1992). In vielen Modellen wird diesen Einflüssen durch Korrekturfaktoren Rechnung getragen oder die Ansätze mit GO-Modellen oder computergraphischen Modellen kombiniert (oft auf verschiedenen Skalierungsebenen).

2.3 Kombination von geometrisch-optischen und Strahlungstransfermodellen (GORT)

Die Notwendigkeit der Integration des spektralen Signals führte zu der Kombination von geometrisch-optischen und RT Modellen (GORT). Bei diesen Modellen wurde berücksichtigt, dass speziell größere Vegetationselemente mindestens zwei Ebenen haben können.

Einerseits können strukturelle Komponenten des gesamten Objektes sehr gut von GO-Modellen abgebildet werden, andererseits sind einzelne Teile des Objektes (z. B. Blätter eines Baumes) eher mit RT-Modellen zu beschreiben (SAICH et al. 2003). Ein erster Ansatz der Kopplung wurde durch das Modell FLIM (forest-light interaction model) realisiert (ROSEMA et al. 1992). Eng an das RT-Modell SAIL gekoppelt wurden dort geometrische Komponenten wie die Anzahl der Bäume pro ha und Kronendurchmesser als Wahrscheinlichkeitsgrößen angenommen, die als Boden- oder Kronenreflektanz wieder ähnlich einer homogenen Oberfläche eines RT-Modell beschrieben wurden. In FLIM wurden die Effekte der gegenseitigen Beschattung der Objekte (multiple scattering) anfangs nicht berücksichtigt. Deshalb wurden verschiedene Ansätze entwickelt, bei denen aufbauend auf einem GO-Modell, die gegenseitige Beschattung mit einem RT-Modell gelöst wurde (LEWIS 1999).

Eine feinere Unterteilung der inneren Baumarchitektur (als GORT Modell) in Triebe und Äste wurde für Fichtenwald im Modell 4SCALE modelliert (CHEN & LEBLANC 1997). Dieses Modell wurde mit dem Modell LIBERTY (Leaf Incorporating Biochemistry Exhibiting Reflectance and Transmittance Yields), welches die biochemischen Parameter einzelner Blätter simuliert (DAWSON et al. 1998) noch zum Modell 5SCALE erweitert. In diesem Modell wird auch eine nicht-zufällige Verteilung (Neyman Distribution) der Bäume berücksichtigt, ohne konkrete Wachstumsmodelle der Arten zu verwenden. Ähnlich zu LIBERTY kann auch PROSPECT einzelne Blätter modellieren (FERET et al. 2008, JACQUEMOUD & BARET 1990). Dabei ist LIBERTY für Nadeln und PROSPECT für Laubblätter besser geeignet. In einer Vielzahl von Ansätzen konnte PROSPECT u.a. für die Modellierung einzelner Baumkronen der Rosskastanie verwendet werden (DAMM 2008).

Das Forstbestands-Reflexionsmodell FRT (Forest Reflectance and Transmittance) modelliert mehrstöckige Bestände und den Unterwuchs in einem GORT-Ansatz (KUUSK & NILSON 2000, KUUSK et al. 2008). Für die Blatt- oder Nadelreflexion können Prospect oder Liberty verwendet werden. FRT kann beispielsweise genutzt werden, um Blattflächenindizes

aus Spot-Daten abzuleiten (RAUTIAINEN 2005).

Eine weitere Kombination von geometrisch-optischen und Strahlungstransfermodellen ist in INFORM (Invertible Forest Reflectance Model) umgesetzt (ATZBERGER 2000). Dort werden mit FLIM (GO-Komponente), SAIL (RT-Komponente) und PROSPECT / LIBERTY (Variablen der Blattstruktur) sogar drei bereits existierende Ansätze gekoppelt. Die Inversion des Modells mit Hilfe eines künstlichen neuronalen Netzwerkes (Artificial Neural Network) und HyMap-Daten für verschiedene Parameter der Forststruktur (u.a. LAI, Kronendichte) konnte dabei nachgewiesen werden (SCHLERF & ATZBERGER 2006). Ähnliche Ansätze wurden auch für mediterrane Baumbestände (Oliven) getestet (ZARCO-TEJADA et al. 2004b).

Weitere geometrisch-optische Modelle arbeiten mit Voxeln unter Berücksichtigung des Strahlungsflusses (HAGNER & OLOFSON 2004, OLOFSSON & HAGNER 2006). Dies hat den Vorteil, dass der Strahlungsfluss für einzelne Objekte berechnet werden kann. Jedem Objekt wird so sein individuelles Strahlungsverhalten zugewiesen. Damit sind besonders bessere Ergebnisse zu erwarten, wenn es um die gegenseitig Beschattung von Objekten geht, die teilweise transmittieren. Auch hier ist die Geometrie der Bäume allerdings relativ einfach konzipiert (Ellipsoide auf Zylindern).

2.4 Verwendung der Computergraphik

Ab Mitte der 90er Jahre verschiebt sich der Fokus der Simulation von den RT-Modellen hin zur Lösung der Interaktion von einzelnen Objekten in Kombination mit Aussagen zum spektralen Verhalten (GOVAERTS & VERSTRAETE 1998). Um genauere Aussagen über den Strahlungstransfer innerhalb von komplexen mehrschichtigen Vegetationsobjekten zu bekommen, werden die bisherigen Lösungen um die explizite 3D-Modellierung aller Teilelemente der Vegetationskörper ergänzt. Die Berechnung ist zwar erheblich aufwändiger als bei herkömmlichen RT- und GO-Modellen, aber die Ergebnisse bilden auch den in der Realität gemessenen Wert wesentlich besser ab. Pro-

blematisch ist jedoch eine inverse Modellierung, die aufgrund der großen Anzahl zu spezifizierende Parameter oft nicht möglich ist. Eine Reihe solcher „simulierter Szenen“ wurden schon in verschiedenen Modellen getestet. Diese beruhen hauptsächlich auf den Methoden des Raytracing und der Radiosity-Berechnung.

Raytracing

Aus den Ansätzen zum Strahlungstransfer oder den geometrisch-optischen Modellen entstanden Mitte der 90er erste operationelle Methoden zur Simulation mittels Raytracing. Dabei werden Photonen (Rays) auf Objekte mit spezifischen radiometrischen Eigenschaften „geschossen“ und die Flugbahn (trajectory) des Photons ermittelt. Die Richtung und Energie eines gestreuten Photons hängt von den radiometrischen Verhalten (Absorption, Transmission, Reflexion) der Oberfläche am Punkt des Auftreffens ab. Dabei können sowohl Polygone als auch Volumenobjekte (Voxel) verwendet werden (SAICH et al. 2003). Voraussetzung für das Raytracing ist die Entwicklung von Pflanzenobjekten und deren Teilen (die unterschiedliche Detaillierung haben). Weiterhin werden zur Erstellung eines Raytracing-Modells Monte-Carlo (MC) Methoden eingesetzt, um den rechnerischen Aufwand einer „ray by ray“-Berechnung mit einer benötigten Genauigkeit zu einer konvergenten Lösung zusammenzufassen (DISNEY et al. 2000).

Das Modell Forest LIGHT (FLIGHT) lieferte erste komplexere Ansätze zur Verwendung von Raytracing/MC Methoden zur Simulation von Fernerkundungsszenen in Wäldern (GERARD & NORTH 1997, NORTH 1996). Dabei wird eine Makrostruktur aus einfachen geometrischen Objekten definiert (Kronen-Ellipsoide mit Stamm). Innerhalb der Kronenstruktur wird Blattwerk mit den strukturellen Parametern Dichte, Winkelverteilung, Blattgröße und spektraler Eigenschaft simuliert. Die Parameter sind in der Krone homogen, können aber von Krone zu Krone variieren.

Das Modell RAYTRAN nutzt nur geometrische Objekte, um diese mit MC/Forward Raytracing Methoden zu simulieren (GOVAERTS & VERSTRAETE 1998). Das Modell ist

daher nicht auf Baumkronen adaptiert und kann auf alle Pflanzenarten angewendet werden, sofern diese genau genug definiert und dargestellt werden. Dabei wird auf das L-System (ein grammatikalisches Modell zur Darstellung einfacher Zellorganismen vom Botaniker Lindenmayer) zur Pflanzengenerierung verwiesen (PRUSINKIEWICZ 1999).

Das Botanical Plant Modelling System (BPMS) nimmt die Idee der L-Systeme auf und implementiert diese in ein computergraphisches 3-D Pflanzenmodell (LEWIS 1999). Zunächst wird dafür die Pflanzengeometrie konstruiert. Dies geschieht durch eine Pflanzentopologie, eine Pflanzengeometrie, eine eventuelle Kronendefinition und Materialeigenschaften (also spektrale Eigenschaften – siehe Abb. 3). Das bestehende Modell wurde auch schon mit Pflanzenwuchsmodell TREE-GROWTH getestet (DISNEY et al. 2006). Das BPMS-Modell wurde anschließend mit einem 3-D Vegetationsmodell gekoppelt, welches meist aus photogrammetrisch oder terrestrisch vermessenen Pflanzen besteht, aber auch mit Wuchsregeln für Pflanzenarten erprobt wurde (getestet für Kiefer, Weizen, Hirse). Dabei werden auch Boden und Terraineigenschaften mit einbezogen. Das BPMS-Modell wird dann mit dem Reverse Raytracer DRAT (ADvanced Radiometric Ray Tracer) gekoppelt.

Die bisher vorgestellten Modelle beruhen auf Entwicklungen von einzelnen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen. Mittlerweile werden zu Simulation auch freeware Raytracer wie Pov-Ray verwendet, die zwar nur Kro-



Abb. 3: Darstellung einer Kiefer in verschiedenen Alterstufen bei 850nm (DISNEY et al. 2006).

nenstrukturen wiedergeben und auch keine spektralen Merkmale der Vegetation aufgreifen, aber schnelle Ergebnisse von zur Analyse von Waldstrukturen oder Beschattungseffekten geben können (VAN COILLIE et al. 2006). Obwohl dieser Ansatz nicht in der Detailliertheit des BPMS/DRAT-Modells getestet wurde, ist dort der Anhaltspunkt zur Auswertung nicht nur von biophysikalischen Parametern sondern auch Pflanzenstrukturen von höchstauflösenden Daten gegeben.

Radiosity-Modelle

Im Kontrast zu den Raytracing-Modellen (wo verschieden Blick- und Illuminationbedingungen simuliert werden) wird bei Radiosity-Modellen alle emittierte oder reflektierte Energie der Oberflächen einer Szene für die Berechnung der Reflexion oder Absorption der anderen Oberflächenbestandteile herangezogen.

Bisher wurden zwei Modelle mit Radiosity-Ansätzen getestet. Das Modell RGM (Radiosity Graphics Method) koppelt dafür ein L-System-basiertes Pflanzenmodell, um Vegetation in einer semi-ariden Steppenlandschaft zu simulieren (QIN & GERSTL 2000) und aufbauend darauf auch für Mais (DONGHUI et al. 2005). Das Modell DART (Discrete Anisotropic Radiative Transfer) nutzt sowohl Raytracing als auch Radiosity-Ansätze (GASTELLU-ETCHEGORRY et al. 2003). In DART werden heterogene (also nicht nur aus einer Pflanzenart bestehende) Szenen als 3D-Matrix von Voxeln dargestellt. Dementsprechend wird auch Wald als Teil der Landschaft modelliert. Die Illumination und die Streuung zwischen den Voxeln ist weiter als Raytracing Ansatz simuliert aber innerhalb der Voxel wird ein Radiosity-Ansatz verwendet.

Modellierung virtueller Pflanzen

Die im vorangegangenen Absatz beschriebenen Methoden der Computersimulation zur Modellierung des Strahlungsverhaltens eines Pflanzenbestandes sind in höchstem Maße von den darin verwendeten Pflanzenmodellen abhängig. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Ansätze, komplexe organische Strukturen zu modellieren, wobei man sich grundlegend an unterschiedlichen Abstraktionsebenen orien-

tieren kann. Es wird dabei von einzelnen Individuen ausgegangen, die sich zu Pflanzengesellschaften zusammenfügen. Je nach Abstraktionsniveau können entweder Einzelpflanzen modelliert werden, um geometrische Details in den Vordergrund zu rücken, oder statistische Ansätze Verwendung finden, die Eigenschaften wie z. B. die Abschattungsverhältnisse in den Hintergrund rücken (DEUSSEN & LINTERMANN 2005). Die vielfältigen Ansätze zur Modellierung organischer Strukturen, die sich in den letzten Jahrzehnten herausbildeten, können in regelbasierte und prozedurale Verfahren differenziert werden.

Die regelbasierten Verfahren nutzen eine formale Regelbasis, um einen definierten Ausgangszustand in einen Endzustand umzuwandeln. Die Regelsysteme wurden von Aristid Lindenmayer in den so genannten L-Systemen formalisiert. Diese beschreiben die Geometrie einer Pflanze durch Zeichenketten, bei denen durch die Anwendung von Ersetzungsregeln und darauf aufbauenden speziellen Verzweigungsmechanismen zeitabhängige und spezifisch zu erzeugende Geometrien definiert werden können, die auch das Wachstum eines Individuums beschreiben (KURTH 1994, PRUSINKIEWICZ & LINDENMAYER 2004). Die prozeduralen Verfahren nutzen im Gegensatz dazu parametrisierbare Algorithmen zur Generierung eines Pflanzenmodells. Ein Beispiel hierfür ist der sich an botanischen Wachstumsregeln orientierende Ansatz AMAP – botAnique et bioInforMatique de l'Architecture des Plantes (DE REFEYE et al. 1988), bei dem das Pflanzenwachstums in diskreten Zeitschritten von Knoten zu Knoten simuliert wird. Mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit verzweigen sich, ruhen oder sterben diese Knospen bei jedem Zeitschritt ab. Beide Methoden eignen sich, um virtuelle Pflanzenmodelle, deren Aussehen und Entwicklung simuliert werden kann, für die Einbindung in Strahlungstransfermodelle zu generieren.

Dem gegenüber steht die Modellierung von „statischen“ Pflanzenmodellen, ohne Integration von Wachstumsregeln, wie sie beispielsweise für die Visualisierung virtueller Landschaften Verwendung finden. Ein Programm, das in diesem Zusammenhang angewandt wird, ist Xfrog, mit dem auch einige der Pflanzenmodelle der im nächsten Kapitel beschrie-

benen RAMI-Testreihe generiert wurden. Diese Programme bieten die Möglichkeit optisch sehr ansprechende Pflanzmodelle hoher Komplexität zu erzeugen, deren botanische Korrektheit jedoch dabei nicht im Vordergrund steht. Das Wachstum eines Individuums kann nur durch Einzelsimulationen nachempfunden werden.

3 Vergleichende Betrachtung der vorgestellten Modelle

Da es wie beschrieben eine Vielzahl von Modellen zur Simulation von Fernerkundungsdaten gibt, wurde eine Initiative zum Vergleich der Ansätze gegründet (Radiation transfer Model Intercomparison = RAMI; rami-benchmark.jrc.it). Schon in der ersten Phase (1999) wurden 8 Modelle mit verschiedenen definierten virtuellen homogenen und heterogenen Szenen getestet (PINTY et al. 2001). Dabei sollen die Modelle den total spectral Bidirectional Reflectance Factor (BRF) ermitteln, welcher dann verglichen wird, um generelle Übereinstimmung oder Abweichung festzustellen. Die dafür verwendeten virtuellen Szenen haben eine Vielzahl von Spezifizierungen. Die zweite Phase (2002) beinhaltet zusätzlich ein drei-dimensionales Modell, welches eine komplex simulierte heterogene Szene eines Forstes mit einfachen Objektstrukturen und einer simulierten Topographie beinhaltet (PINTY et al. 2004). Spätestens an dieser Stelle treffen sich auch die Bemühungen der RT- und der GO-Modelle, da beide Komponenten für eine ausreichend genaue Modellierung von kom-

plexen Szenen benötigt werden. Die Spezifizierungen der 3D-Szenen wurden natürlich umfangreicher, damit ein reeller Test der RT-Modelle möglich wurde. Speziell für diese 3D-Szenen wurden verschiedene Modelle unter Verwendung von Monte-Carlo-Methoden, Radiosity und auch verschiedene GO-Modelle getestet.

Auch in der dritten RAMI-Phase (2005) wurden neue Szenarien entworfen (WIDLÓWSKI et al. 2007), unter anderem ein Birkenzenario (siehe Abb.4), um den strukturellen Realismus der Szenen zu erhöhen.

Generell ist anzumerken, dass durch die Tests innerhalb der RAMI-Initiative komplexe Modelle zum Einsatz kommen, deren Ziel der Vergleich der BRF-Werte ist. Die RAMI-Initiative ist aber nicht auf die forstliche Anwendung konzentriert, auch wenn die Beispiele darauf hindeuten könnten. Die strukturelle Qualität der einzelnen Modelle wird so nicht berücksichtigt. Die in diesem Text vorgestellten Ansätze, welche sich hingegen vornehmlich mit Simulation von Bäumen beschäftigen, sind fast vollständig in der RAMI-Initiative aktiv. In Tab. 1 sind die spezifisch forstlichen Ansätze entnommen, um einen weitergehenden Einblick in die Struktur der Simulationen dieser Anwendungen zu bekommen. Dabei wurde gesondert aufgeführt, ob einzelne Baumobjekte in welcher Detaillierung modelliert wurden, ob die Verteilung der Objekte (falls diese explizit modelliert wurden) einbezogen wurde und ob zusätzlich bestimmte (sich gegenseitig bedingende) Wuchscharakteristika berücksichtigt wurden.

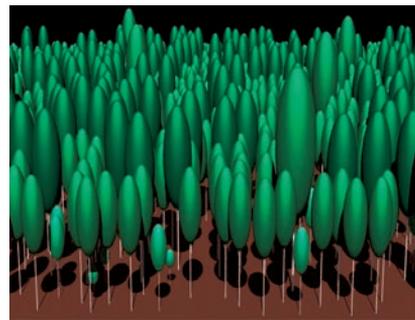
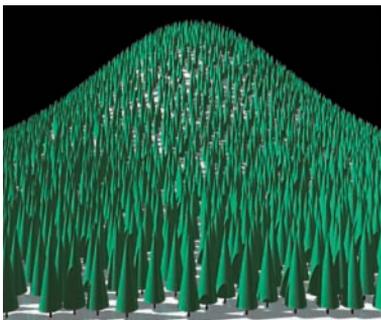


Abb. 4: Verwendete Testszenen für die RAMI-Initiative für RAMI-2 als Nadelwaldszene mit Topographie (links) und als „Birken“ (rechts), (PINTY et al. 2004, WIDLÓWSKI et al. 2007)

Tab. 1: Vergleich verschiedener physikalisch-basierter Forst-Modelle.

Modellname	Methode	Simulierte Objekte	Spektrale Auflösung [nm]	Geometrische Komplexität	Verteilung der Objekte/Wuchsmodelle
5SCALE	GORT	Fichtenwald	Full (400 – 2500)	Einfaches Kronenmodell (Zylinder mit Stamm) mit internen Strukturen (Triebe und Äste) und Reflexionsverhalten einzelner Blätter	Neyman Distribution
INFORM	GORT (fw, rev)	Norwegische Fichte	Full	Keine explizite räumliche Modellierung	k. A.
Hagner 04	GO + VOX	Wald (Art nicht spezifiziert)	k. A.	Einfaches Kronenmodell (Ellipsoid mit Stamm) mit einem Voxel-Ansatz	werden verteilt, aber Ansatz nicht erklärt
FRT	GO	Wald (Art nicht spezifiziert)	Full	Einfaches Kronenmodell (Zylinder mit Stamm) mit internen Strukturen (Triebe und Äste) und Reflexionsverhalten einzelner Blätter	k. A.
DART	RT (fw) + VOX	Grundsätzlich alle Objekte (von Objektdefinition abhängig)	Full	Von Größe der Voxel abhängig	k. A.
FLIGHT	MC / RT (fw, rev)	Wald (Art nicht spezifiziert)	Full	Einfaches Kronenmodell (Ellipsoid mit Stamm) mit intern definierten strukturellen Parametern	Poisson (unterschiedliche Baumabstände) Distribution
DRAT / BPMS	MC / RT (rev)	Kiefer, Schilf, Weizen (keine „Landschaften“)	Full	L-System mit vollständig ausmodellierten Pflanzen und Pflanzenteilen	TREE-GROWTH (für Kiefer)
RAYTRAN	MC / RT (fw)	k. A. (auf L-System wird verwiesen)	k. A.	Als „virtuelles Labor“ geplant – verschiedene Szenen können verwendet werden (Skalen vom einzelnen Blatt bis zur Landschaft)	k. A.

GO = geometrisch-optisch; VOX = Voxel; MC = Monte-Carlo; RT = Raytracing (fw = forward; rev = reverse), RA = Radiosity

4 Diskussion

Der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebene Forschungsstand zeigt, dass speziell im Bereich der Simulation von biophysikalischen Parametern bereits mit hoch entwickelten computergraphischen und GORT-Modellen gearbeitet wird, die bis in sehr detaillierte Bereiche der Pflanzenphysiologie reichen (z. B. einzelne Blätter).

Zur Ableitung von Forstparametern mittels Modellinversion existieren zahlreiche Studien (ATZBERGER 2004, HEDLEY et al. 2009, ZARCO-TEJADA et al. 2004a). Ein Hauptproblem bei der Modellinversion ist, dass unterschiedliche Eingangsparameter (annähernd) identische Spektren ergeben können. Daher bildet die Inversion ein sogenanntes ill-posed problem. Dies kann durch Festsetzen einzelner Parameter mit Hilfe externer Information (z. B. aus Laserscanning) abgemildert werden.

Trotzdem ergeben sich aus den bisherigen Forschungen Defizite seitens der Fernerkundung, die vor allem mit der Verfügbarkeit von geometrisch höchstauflösenden Daten in Verbindung stehen. Die spektral und geometrisch sehr hoch aufgelösten Modelle speziell der Ansätze der Computergraphik haben meist nur eine Pflanzenart, die explizit modelliert wird. Daraus lässt sich ableiten, dass mit sehr guten (und physikalisch basierten) Raytracern gerade im Bereich von komplexen und biologisch nachprüfbaren Pflanzenverteilungen, wie sie beispielsweise im Modell SILVA (PRETZSCH et al. 2002) verwendet werden, noch Forschungsbedarf besteht. Dies beinhaltet speziell die Integration von Wuchsmodellen, welche bisher nur in einem Fall und für eine Pflanzenart implementiert wurde (DISNEY et al. 2006). Selbst eine Kombination der räumlichen Verteilung einer Pflanzenart in Kombination mit einem Wuchsmodell ist bisher noch nicht realisiert worden.

Bisher wurden vornehmlich winkelabhängige korrekte biophysikalische Parameter durch die Simulationen erzeugt (BRDF-Simulationen), um inverse Modellierungen möglich zu machen. Durch die Entwicklung geometrisch höchstauflösender Satellitensysteme ist die Herausforderung der Fernerkundung nun auch eine automatisierte Erkennung einzelner (Pflanzen)objekte und deren Interaktion. Sy-

stematische Klassifizierungen von simulierten Pflanzenverteilungen wurden bisher noch nicht durchgeführt. Wenn diese systematischen Klassifikationen mit Lernalgorithmen (z. B. Neuronale Netze) gekoppelt werden und dann auf reale Satellitenbildklassifikationen übertragen werden, können daraus wieder Rückschlüsse für die Verbesserung von Wuchsmodellen gezogen werden. Bisher wurde die simulierten Szenen fast nie zum trainieren von Auswertalgorithmen genutzt. Bei der Auswertung von Fernerkundungsszenen sind die Kriterien innerhalb eines Klassifikationsprozesses nicht klar voneinander unterscheidbar (spektrale Reflexion, Textur, Form von Vegetation überlagern sich z. B. mit dem Zustand einer Vegetationsform). Diese werden häufig an kleine Untersuchungsgebiete angepasst, um Umweltauswirkungen dort identifizieren zu können. Eine übertragbare Methode zur Auswertung anderer Bereichen (mit geringfügig unterschiedlicher naturräumlicher Ausstattung) ist damit häufig nicht gegeben. Abhilfe könnte diesem Mangel besonders durch eine genauere Analyse der einzelnen Parameter geschaffen werden. Da die real aufgenommenen Fernerkundungsdaten immer nur eine Mischung der Einflussgrößen darstellen, ist eine Simulation von Fernerkundungsdaten in Versuchsreihen hilfreich, um einzelne Indikatoren genauer zu bestimmen, die besonderen Einfluss auf die Umwelt besitzen.

References

- ATZBERGER, C., 2000: Development of an invertible forest reflectance model: The INFOR-Model. – 20th EARSeL Symposium, Dresden, 39–44.
- ATZBERGER, C., 2003: Möglichkeiten und Grenzen der fernerkundlichen Bestimmung biophysikalischer Vegetationsparameter mittels physikalisch basierter Reflexionsmodelle. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **1**: 51–61.
- ATZBERGER, C., 2004: Object-based retrieval of biophysical canopy variables using artificial neural nets and radiative transfer models. – *Remote Sensing of Environment* **93**: 53–67.
- BOLSTAD, P. & LILLESAND, T.M., 1992: Rule-Based Classification Models: Flexible Integration of Satellite Imagery and Thematic Spatial Data. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **58**: 965–971.

- CHEN, J.M. & LEBLANC, S.G., 1997: A Four-Scale Bidirectional Reflectance Model Based on Canopy Architecture. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **35**: 1316–1337.
- COOPS, N. & CULVENOR, D., 2000: Utilizing Local Variance of Simulated High Spatial Resolution Imagery to Predict Spatial Pattern of Forest Stands. – *Remote Sensing of Environment* **71**: 248–260.
- DAMM, A., 2008: Hyperspektrale Fernerkundung zur Ableitung pflanzenphysiologischer Parameter von Stadtbäumen – Strahlungstransfermodellierung für Berliner Kastanienbestände. – Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II. Humboldt Universität Berlin, 179 Seiten.
- DAWSON, T.P., CURRAN, P.J. & PLUMMER, S.E., 1998: LIBERTY—Modeling the Effects of Leaf Biochemical Concentration on Reflectance Spectra. – *Remote Sensing of Environment* **65**: 50–60.
- DE REFEYE, P., EDELYN, C., FRANCON, J., JÄGER, M. & PUECH, C., 1988: Plant Models Faithful to Botanical Structure and Development. – *Computer Graphics* **22**: 151–158.
- DEUSSEN, O. & LINTERMANN, B., 2005: Digital Design of Nature – Computer Generated Plants and Organics. – Springer, Berlin.
- DISNEY, M., LEWIS, P. & NORTH, P., 2000: Monte Carlo Ray Tracing in Optical Canopy Reflectance Modelling. – *Remote Sensing Reviews* **18**: 163–196.
- DISNEY, M., LEWIS, P. & SAICH, P., 2006: 3D modelling of forest canopy structure for remote sensing simulations in the optical and microwave domains. – *Remote Sensing of Environment* **100**: 114–132.
- DONGHUI, X., QIJIANG, Z. & JINDI, W., 2005: BRF of the scene of corn simulated by radiosity-graphic combined model. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **3**: 1882–1885.
- FERET, J.B., FRANCOIS, C., ASNER, G.P., GITELSON, A.A., MARTIN, R.E., BIDEL, L.P.R., USTIN, S.L., LE MAIRE, G. & JACQUEMOUD, S., 2008: PROSPECT-4 and 5: advances in the leaf optical properties model separating photosynthetic pigments. – *Remote Sensing of Environment* **112**: 3030–3043.
- GASTELLU-ETCHEGORRY, J.-P., GASCON, F., BELOT, A., LEFEVRE, M.J., BOYAT, P., GENTINE, P., ADER, G., DESCHARD, J., TORRUELLA, P. & CHOURAK, K., 2003: DART: 3-D model of optical satellite images and radiation budget. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **5**: 3242–3244.
- GERARD, F. & NORTH, P., 1997: Analyzing the Effect of Structural Variability and Canopy Gaps on Forest BRDF Using a Geometric-Optical Model. – *Remote Sensing of Environment* **62**: 46–62.
- GOEL, N., 1988: Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. – *Remote Sensing Reviews* **4**: 1–212.
- GOVAERTS, Y. & VERSTRAETE, M.M., 1998: Raytran: A Monte Carlo Ray-Tracing Model to Compute Light Scattering in Three-Dimensional Media. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **36**: 493–505.
- HAGNER, O. & OLOFSON, K., 2004: A high resolution geometric-optical forest model for development of single tree direction algorithms. – In: KLEINN, C., NIESCHULZE, J. & SLOBODA, B. (Eds.): GGRS, Göttingen: Sauerlaenders, 43–52.
- HEDLEY, J.C., ROELFSMA, C. & PHINN, S.R., 2009: Efficient radiative transfer model inversion for remote sensing applications. – *Remote Sensing of Environment* **113**: 2527–2532.
- JACQUEMOUD, S. & BARET, F., 1990: PROSPECT: A Model of Leaf Optical Properties Spectra. – *Remote Sensing of Environment* **34**: 75–91.
- KOCH, B., 1987: Untersuchungen zur Reflexion von Waldbäumen mit unterschiedlichen Schadsymptomen auf der Grundlage von Labor- und Geländemessungen. – Ludwig-Maximilians-Universität München.
- KURTH, W., 1994: Morphological models of plant growth: possibilities and ecological relevance. – *Ecological Modelling* **75–76**: 299–308.
- KUUSK, A. & NILSON, T., 2000: A Directional Multi-spectral Forest Reflectance Model. – *Remote Sensing of Environment* **72**: 244–252.
- KUUSK, A., NILSON, T., PAAS, M., LANG, M. & KUUSK, J., 2008: Validation of the forest radiative transfer model FRT. – *Remote Sensing of Environment* **112**: 51–58.
- LEWIS, P., 1999: Three-dimensional plant modelling for remote sensing simulation studies using the Botanical Plant Modelling System (BPMS). – *Agronomie, Agriculture and Environment* **19**: 185–210.
- LI, X. & STRAHLER, A., 1985: Geometric-Optical Modeling of a Conifer Forest Canopy. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **GE-23**: 705–721.
- LI, X. & STRAHLER, A., 1986: Geometric-Optical Bidirectional Reflectance Modeling of a Conifer Forest Canopy. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **GE-24**: 906–919.
- LIANG, S. & STRAHLER, A., 1994: Retrieval of surface BRDF from multiangle remotely sensed data. – *Remote Sensing of Environment* **50**: 18–30.
- NILSON, T., KUUSK, A., LANG, M. & LÜCK, T., 2003: Forest Reflectance Modeling: Theoretical Aspects and Applications. – *Ambio* **32**: 535–541.

- NORTH, P., 1996: Three-Dimensional Forest Light Interaction Model using a Monte Carlo Method. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **34**: 946–956.
- OLOFFSON, K. & HAGNER, O., 2006: Single Tree Detection in High Resolution Satellite Images and Digital Aerial Images using Artificial Neural Networks and a Geometric-Optical Forest Model. – *3D Remote Sensing in Forestry*, Vienna, 194–198.
- PINTY, B., GOBRON, N., WIDLÓWSKI, J.-L., GERSTL, S.A.W., VERSTRAETE, M.M., ANTUNES, M., BACOUR, C., GASCON, F., GASTELLU, J.-P., GOEL, N., JACQUEMOUD, S., NORTH, P., QIN, W. & THOMPSON, R., 2001: RADIATION Transfer Model Intercomparison (RAMI) Exercise. – *Journal of Geophysical Research* **106**: 11937–11956.
- PINTY, B. & VERSTRAETE, M.M., 1998: Modeling the Scattering of Light by Homogeneous Vegetation in Optical Remote Sensing. – *Journal of the Atmospheric Sciences* **55**: 137–150.
- PINTY, B., WIDLÓWSKI, J.-L., TABERNER, M., GOBRON, N., VERSTRAETE, M.M., DISNEY, M., GASCON, F., GASTELLU, J.-P., JIANG, L., KUUSK, A., LEWIS, P., LI, X., NI-MEISTER, W., NILSON, T., NORTH, P., QIN, W., SU, L., TANG, S., THOMPSON, R., VERHOEF, W., WANG, H., WANG, J., YAN, G. & ZANG, H., 2004: RADIATION transfer Model Intercomparison (RAMI) exercise: Results from the second phase. – *Journal of Geophysical Research* **109**: D06210.
- PRETZSCH, H., BIBER, P. & DURSKEY, J., 2002: The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. – *Forest Ecology and Management* **162**: 3–21.
- PRUSINKIEWICZ, P., 1999: A look at the visual modeling of plants using L-systems. – *Agronomie* **19**: 211–224.
- PRUSINKIEWICZ, P. & LINDENMAYER, A., 2004: *The Alogirithmic Beauty of Plants*. – Springer, New York.
- QIN, W. & GERSTL, S.A.W., 2000: 3-D scene modeling of semi-desert vegetation cover and its radiation regime. – *Remote Sensing of Environment* **74**: 145–162.
- QIN, W. & LIANG, S., 2000: Plane-Parallel Canopy Radiation Transfer Modeling: Recent Advances and Future Directions. – *Remote Sensing Reviews* **18**: 281–305.
- RAUTIAINEN, M., 2005: Retrieval of leaf area index for a coniferous forest by inverting a forest reflectance model. – *Remote Sensing of Environment* **99**: 295–303.
- ROSEMA, A., VERHOEF, W., NOORBERGEN, H. & BORGESIU, J.J., 1992: A New Forest Light Interaction Model in Support of Forest Monitoring. – *Remote Sensing of Environment* **42**: 23–41.
- ROSS, J., 1981: *The Radiation Regime and Architecture of Plant Stands*. – W. Junk.
- SAICH, P., LEWIS, P., DISNEY, M., OEVELEN, P., WOODHOUSE, I., ANDRIEU, B., FOURNIER, C. & LJUTOVAC, 2003: Development of architectural vegetation growth models for remote sensing applications. – Final Report ESA.
- SCHLERF, M. & ATZBERGER, C., 2006: Inversion of a forest reflectance model to estimate structural canopy variables from hyperspectral remote sensing data. – *Remote Sensing of Environment* **100**: 282–294.
- STRAHLER, A. & JUPP, D., 1990: Modelling Bidirectional Reflectance of Forests and Woodlands using Boolean Model and Geometric Optics. – *Remote Sensing of Environment* **34**: 153–166.
- SUITS, G.H., 1972: The Calculation of the Directional Reflectance of Vegetative Canopy. – *Remote Sensing of Environment* **2**: 117–125.
- TUCKER, C.J. & GARRATT, M.W., 1977: Leaf Optical System Modeled as a Stochastic Process. – *Applied Optics* **16**: 635–642.
- VAN COILLIE, F., VERBEKE, L. & DE WULF, R., 2006: Semi-Automated Forest Stand Delineation Using Wavelet-Based Segmentation of Very High Resolution Optical Imagery in Flanders, Belgium. – In: LANG, S., BLASCHKE, T. & SCHÖPFER, E. (Eds.): *1st International Conference on Object-based Image Analysis*. Salzburg, Austria: ISPRS.
- VERHOEF, W., 1984: Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: The SAIL model. – *Remote Sensing of Environment* **16**: 125–141.
- WIDLÓWSKI, J.-L., TABERNER, M., PINTY, B., BRUNIQUEL-PINEL, V., DISNEY, M., FERNANDES, R., GASTELLU-ETCHEGORRY, J.-P., GOBRON, N., KUUSK, A., LAVERGNE, S., LEBLANC, S.G., LEWIS, P., MARTIN, E., MOTTUS, M., NORTH, P., QIN, W., ROBUSTELLI, M., ROCHDI, N., RUILOBA, R., SOLER, C., THOMPSON, R., VERHOEF, W., VERSTRAETE, M.M. & XIE, D., 2007: The third RADIATION transfer Model Intercomparison (RAMI) exercise: Documenting progress in canopy reflectance modeling. – *Journal of Geophysical Research*.
- ZARCO-TEJADA, P.J., MILLER, J.R., HARRON, J., HUB, B., NOLAND, T.L., GOEL, N., MOHAMMED, G.H. & SAMPSON, P., 2004A: Needle chlorophyll content estimation through model inversion using hyperspectral data from boreal conifer forest canopies. – *Remote Sensing of Environment* **89**: 189–199.
- ZARCO-TEJADA, P.J., MILLER, J.R., MORALES, A., BERJON, A. & AGÜERA, J., 2004B: Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops. – *Remote Sensing of Environment* **90**: 463–476.

Anschriften der Autoren:

Dr.-Ing. MICHAEL FÖRSTER, Prof. Dr. BIRGIT KLEIN-SCHMIT, Technische Universität Berlin, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung, D-10623 Berlin, Tel.: +49-30-314-72798, e-mail: michael.foerster@tu-berlin.de, birgit.kleinschmit@tu-berlin.de.

Dipl.-Geogr. DANIEL SPENGLER, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam, Tel.: +49-331-288-1763, e-mail: daniel.spengler@gfz-potsdam.de.

Dipl.-Umweltwiss. HENNING BUDDENBAUM, Prof. Dr. JOACHIM HILL, Universität Trier, Fernerkundung – Remote Sensing Department, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4729, -4592, e-mail: Buddenbaum@uni-trier.de, hillj@uni-trier.de.

Manuskript eingereicht: Februar 2010

Angenommen: April 2010



Anforderungen an das digitale / digitalisierte Luftbild – Ein Leitfaden der Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten

FRANK FRANKEN, Gießen & KARINA HOFFMANN, Pirna

Keywords: Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten, digitales / digitalisiertes Luftbild, digitale Kameras, Luftbilddauswertung, Standardisierung

Summary: *Requirements for Digital / Digitized Aerial Imagery – A Manual of the Working Group of Forest Interpreters of Aerial Photographs.* The working group of forest interpreters of aerial photographs (AFL) is an association of mainly forest specialists of remote sensing, working for forest administrations, research centres and institutes, universities as well as for private enterprises in German-speaking countries. The article gives a summarizing overview of the interpretation-keys of aerial photographs developed by AFL as well as a preview of the guide for “requirements of the digital / digitized aerial photography”. The development of the guide is still in progress.

Zusammenfassung: Die Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten (AFL) ist ein Zusammenschluss von zumeist forstlich ausgebildeten Fernerkundungsspezialisten von Forstverwaltungen, von Versuchs- und Forschungsanstalten, von Universitäten und von privaten Firmen im deutschsprachigen Raum. Der Beitrag gibt eine zusammenfassende Übersicht über die von der AFL entwickelten Luftbild-Interpretationsschlüssel sowie eine Vorschau auf den sich derzeit in Bearbeitung befindlichen Leitfaden „Anforderungen an das digitale / digitalisierte Luftbild“.

1 Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten

Die ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN (AFL) ist ein Zusammenschluss forstlicher Luftbildinterpreten aus dem deutschsprachigen Raum, der sich vorwiegend mit Fragen der Standardisierung, Anwendung und Qualitätskontrolle von analogen und digitalen Luftbildinterpretationen sowie der Optimierung der Luftbilddaufnahme beschäftigt.

Die Arbeitsgruppe entstand im Jahre 1986. Zu dieser Zeit fand eine intensive Diskussion über die neuartigen Waldschäden und die Verfahren zur Erfassung des Waldzustandes statt. Hierbei wurde deutlich, dass bei der Interpretation von Luftbildern eine intensive Kalibrierung der Methoden und Abstimmung der Experten unabdingbar sind. Zum Zweck der gegenseitigen Abstimmung der Interpretationsergebnisse fanden sich Luftbildexperten aus unterschiedlichen Projekten und Regionen zu-

sammen. Die regelmäßigen Arbeitstreffen mündeten in der Gründung der ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN (AFL).

Bei den Gründungsmitgliedern handelt es sich zumeist um forstlich ausgebildete Fernerkundungsspezialisten von Forstverwaltungen, von Versuchs- und Forschungsanstalten, von Universitäten und von einschlägigen privaten Firmen in Deutschland, Österreich, der Schweiz und Italien. Sie alle bringen ihre praktischen, regional sehr unterschiedlichen Erfahrungen zur Erhebung der Phänologie der Bäume, der Struktur der Waldbestände und zu den Einsatzmöglichkeiten verschiedener Fernerkundungsmethoden in die konkrete Arbeit ein. Tab. 1 veranschaulicht die derzeit in der AFL aktiven Institutionen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz.

Die Aufgabenfelder der AFL umfassen die Erstellung von Arbeitsanleitungen, Interpretationsschlüsseln, Vorgaben zur Qualitätssicherung sowie den Informationsaustausch und

Tab. 1: Derzeit in der ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN aktive Institutionen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz.

D	– Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising
E	– Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Inst. für Forstökologie und Walderfassung, Eberswalde
U	– HESSEN-FORST, Forsteinrichtung und Naturschutz, Gießen
T	– Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz,
S	Trippstadt
C	– Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, Freiburg
H	– Landesforst Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin
L	– Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen
A	– Sachverständigenbüro für Luftbildauswertung und Umweltfragen (SLU), Gräfelfing
N	– Staatsbetrieb Sachsenforst, Graupa
D	– Technische Universität Berlin, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung
	– Universität Freiburg, Abteilung Fernerkundung und Landinformationssysteme
	– Universität Göttingen, Institut für Waldinventur und Waldwachstum
ÖSTERREICH	– Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Wien
	– Universität für Bodenkultur Wien, Inst. für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation
SCHWEIZ	– Eidgen. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf
	– Scherrer Ingenieurbüro AG, Nesslau

Wissenstransfer über praxisrelevante Anwendungen im Bereich Luftbildinterpretation und Fernerkundung.

Zunächst beschäftigte sich die AFL vor allem mit der problematischen Qualität des Color-Infrarot (CIR)-Luftbildmaterials. Im Interesse einer weitgehenden Standardisierung bzw. überregionalen oder zeitlichen Vergleichbarkeit verschiedener Auswertungen wurden von der AFL Luftbild-Interpretationsschlüssel zur Auswertung von CIR-Luftbildern für Schadbilder zur Kronenzustandsbeurteilung von verschiedenen Baumarten in Mitteleuropa (EUROPÄISCHE KOMMISSION 1992, VDI 1993, EUROPEAN COMMISSION 2000) erstellt. Deren einheitliche Terminologie und ihr gleicher Aufbau gewährleisten, dass zeitlich und räumlich unterschiedliche Luftbildinterpretationen vergleichbar werden.

Zur Unterstützung von regionalen, überregionalen und vor allem periodisch zu wiederholenden forstlichen Planungen, Waldinventuren oder auch Biotopkartierungen wurde von der AFL ein Luftbild-Interpretationsschlüssel zur Bestimmung der natürlichen Altersklasse von Waldbeständen im CIR-Luftbild erarbeitet (AFL 1998). Er beschreibt die luftbildsichtbaren Merkmale zur Erkennung der natürlichen Altersklasse für überwiegend gleichaltrige, einheitliche, zumeist bewirt-

schaftete Hochwaldbestände und Bestandesteile getrennt nach Laub- und Nadelwald.

Der Luftbild-Interpretationsschlüssel II, Bestimmung der natürlichen Altersklassen und der Baumarten von Waldbeständen im CIR-Luftbild, bezieht zusätzlich die baumartenspezifischen Merkmale bei der Erkennung der natürlichen Altersklassen mit ein und erleichtert damit deren Abgrenzung (AFL 1999).

Mit der wachsenden Bedeutung des Waldes für nicht wirtschaftliche Aspekte wie Biodiversität, Biotopmonitoring, Naturwaldforschung, Habitatsuntersuchungen sowie Schutzwald- und Landschaftsmonitoring trat die nachvollziehbare Beschreibung von naturnahen, ungleichaltrigen und stark differenzierten Wäldern immer mehr in den Vordergrund. Der von der AFL erstellte Luftbildinterpretationsschlüssel (AFL 2003) unterstützt die Bestimmung, Schätzung bzw. Messung struktureller Elemente in strukturreichen Beständen und Bestandesteilen.

Die Qualitätssicherung bei traditionellen wie neuen Auswertungsverfahren und Ergebnissen stellt kontinuierliche Herausforderungen an die Arbeitsgruppe.

Aktuell arbeitet die AFL an dem im Folgenden vorab vorgestellten Leitfaden: Anforderungen an das digitale / digitalisierte Luftbild.

2 Leitfaden „Anforderungen an das digitale / digitalisierte Luftbild“

2.1 Ziel des Leitfadens

In den letzten Jahren hat die rasante technische Weiterentwicklung im Bereich der digitalen Photographie dazu geführt, dass digitale flugzeuggestützte Aufnahmesysteme standardmäßig zur Verfügung stehen. Zusätzlich existieren aktuell leistungsfähige Programme für die digitale Bildverarbeitung und die digitale Bildauswertung. Einer größeren Gruppe wird es dadurch ermöglicht, sich mit digitalen Bilddaten zu beschäftigen und digitale Luftbildauswertung durchzuführen. Ein breiter Anwenderkreis ohne oder mit nur geringen photogrammetrischen Basiskenntnissen setzt daher mittlerweile digitale Luftbildprodukte ein.

Der Leitfaden soll aus diesem Grund für forstliche Praktiker und Entscheider einen Überblick über dieses komplexe Thema liefern, ohne den Anspruch eines Lehrbuches zu haben. Die einzelnen Kapitel sind kurz und kompakt gehalten, wobei theoretische Grundlagen nur eingeflossen sind, wenn diese für das Verständnis notwendig sind. Es wurde weiter versucht, alle notwendigen Richtwerte, die sich aktuell bewährt haben, in die einzelnen Kapitel zu integrieren.

2.2 Grundsätzliches

Digitale oder digitalisierte Luftbilder haben gegenüber analogen Luftbildern einige Vorteile. Sie beinhalten z. B. mehr Informationen und können durch Bildbearbeitungsschritte für die jeweilige Auswertung optimiert werden. Zusätzlich können Folgeprodukte, wie z. B. Orthophotos oder digitale Höhenmodelle mit wenig Aufwand hergestellt werden. Besonders Orthophotos lassen sich sehr vorteilhaft in GIS-Projekten oder Online-Suchmaschinen, wie z. B. Google Earth®, zur besseren Visualisierung der Ergebnisse einsetzen. Orientierte Bilddaten und daraus abgeleitete Auswertungsergebnisse können jederzeit mit bereits vorliegenden Geobasisdaten und Geo-

fachdaten in einer GIS-Umgebung dargestellt und analysiert werden.

Die Bereitstellung und Präsentation von digitalen Bilddaten wird durch die generell unkomplizierte Kopierbarkeit von digitalen Daten gefördert. Dieses führt gleichzeitig zu einem höheren Aufwand bei der Arbeit mit digitalen Bilddaten, da höhere Anforderungen an das Datenmanagement gestellt werden. Zwei wichtige Aspekte sind dabei die Datensicherheit und die Datenhaltung.

Bildflüge werden heute viel schneller als früher geplant und durchgeführt; außerdem erfolgt die Vergabe einer Befliegung nicht mehr nur durch Experten. Bedingt durch die Komplexität des Themas werden aber deutlich höhere Anforderungen an die Planung von Befliegungen mit digitalen Kameras gestellt, da zum einen mehr Vorüberlegungen und Expertenwissen notwendig und zum anderen exakte Formulierungen von Ausschreibungen unabdingbar sind.

Diese Thematik hat die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen (AdV) aufgegriffen und einen Anforderungskatalog für die Ausschreibungen von digitalen Luftbildbefliegungen und einen Produktstandard für digitale Orthophotos herausgegeben. Diese Kataloge sind sehr umfangreich und komplex und für den forstlichen Praktiker und Entscheider weniger geeignet. Um diese Lücke zu schließen, hat die AFL einen für forstliche Anwender verständlichen Leitfaden entworfen.

Bei der Datenauswertung werden auch höhere Anforderungen an den Auswertenden / Interpreten gestellt, da die Daten einerseits mehr Informationen beinhalten, es aber andererseits viel mehr Möglichkeiten gibt, die Bilddaten zu verändern. Die forstliche Bildinterpretation digitaler Orthophotos folgt dabei weitgehend der analoger Orthophotos, jetzt nur am Bildschirm. Je nach Bodenauflösung und radiometrischer Auflösung können Merkmale auf Bestandes- oder Einzelbauebene differenziert und erfasst werden. Die fehlende Höheninformation erlaubt nur eingeschränkte Auswertungen von vertikalen und horizontalen Bestandes- bzw. Strukturmerkmalen. Der Informationsgehalt wird bei den Orthophotos nicht voll ausgeschöpft; dies gilt insbesondere in Schattenbereichen. Bei der Orthophotoherstellung kann es zu Farbveränderungen kom-

men, die das Ergebnis der Interpretation beeinflussen.

Die stereoskopische Auswertung ist im Vergleich zur Orthophotoauswertung leistungsfähiger, aber zeitaufwendiger und stellt höhere Anforderungen an Erfahrung und Sachkenntnis der Interpreten.

In Luftbildern sind vor allem im Randbereich Verkippungseffekte vorhanden. In 2D-Darstellungen werden hierdurch Objekte nicht lagegenau abgebildet oder sogar verdeckt. Bei der stereoskopischen Betrachtung werden Kippereffekte ausgeglichen, so dass eine geometrisch korrekte Digitalisierung möglich ist. Durch den räumlichen Eindruck können Einzelbäume und Waldbestände wesentlich differenzierter und zuverlässiger interpretiert werden (AFL 2003). In Stereoluftbildern können Objekte nicht nur in ihrer Lage, sondern zusätzlich auch in ihrer räumlichen Ausprägung beurteilt werden.

Digitale Luftbilder eröffnen die Möglichkeit des Einsatzes automatisierter oder teilautomatisierter Arbeitsschritte. Vollautomatisch ablaufende Auswerteprozesse für Waldvegetation sind aufgrund der stark differenzierten Bildeigenschaften und Bildinhalte von Luftbildern (Auflösung, Beleuchtung) nicht möglich. Allerdings können im Rahmen derartiger Prozesse einzelne Arbeitsschritte (z. B. Oberflächenmodellberechnung, Waldlückendekktion) automatisiert durchgeführt werden.

Der Leitfaden soll dem forstlichen Anwender helfen, einen ersten Einstieg in die forstliche Auswertung digitaler Bilddaten zu finden. Eindeutige Handlungsempfehlungen können allerdings nicht gegeben werden, da bei der Konzeptionierung digitaler Prozessketten eine Vielzahl von Rahmenbedingungen zu berücksichtigen sind und sie dem jeweiligen Arbeitsumfeld angepasst werden müssen.

2.3 Gliederung des Leitfadens

Der Leitfaden besteht aus insgesamt zehn Kapiteln (siehe Tab. 2), die in der folgenden Tabelle aufgelistet sind. Die einzelnen Kapitel decken die wichtigsten thematischen Bereiche im Zusammenhang mit dem digitalen / digitalisierten Luftbild ab. Die einzelnen Kapitel beinhalten sowohl Grundlagewissen als auch

Tab. 2: Auflistung der einzelnen Kapitel des Leitfadens.

Kapitel	Überschrift
1	Präambel
2	Digitale Luftbildkameras
3	Digitalisieren von analogen Luftbildern
4	Anforderungen an den digitalen Bildflug
5	Bildorientierung
6	Orthophotoerstellung
7	Auswertung digitaler Luftbilder
8	Datenmanagement
9	Hard- und Software
10	Referenzen

Erfahrungen, die im Umgang mit digitalen Bilddaten gewonnen wurden. Die Kapitel können nacheinander aber auch unabhängig voneinander betrachtet und gelesen werden, da für den einzelnen Leser sicherlich nicht alle Kapitel gleichermaßen relevant sind.

2.4 Beispielkapitel

Beispielhaft soll hier das Kapitel 3 „Digitalisieren von analogen Luftbildern“ beschrieben werden. Analoge Luftbilder liegen häufig in sehr langen Zeitreihen bei vielen Behörden und Institutionen vor und stellen einen Informationspool dar, der unbedingt für die Aufgaben der Verwaltung/Institution bereitgestellt werden sollte. Oftmals sind auch Luftbildzeitreihen als Beweismaterial bei unterschiedlichsten Verfahren unabdingbar. Das dritte Kapitel gliedert sich in neun Unterkapitel auf, die im folgendem kurz beschrieben werden.

- *Einführung:* Hier wird kurz beschrieben, was den Leser in den folgenden Unterkapiteln erwartet, und warum es je nach Fragestellung sinnvoll sein kann, den Scanvorgang durch Spezialfirmen durchführen zu lassen.
- *Scannertypen:* Welche Scannertypen gibt es, mit welcher Genauigkeit arbeiten die Geräte und welche Fehlerquellen können auftreten.

- *Bildauflösung und Dateigrößen*: Welche Faktoren spielen bei der Auswahl der Scanparameter eine Rolle.
- *Maßeinheiten und Umrechnung*: Umrechnungsfaktoren und Maßeinheiten.
- *Scanauflösung*: Richtwerte für die maximale Auflösung beim Scannen.
- *Farbtiefe*: Beschreibung, was hinter dem Begriff Farbtiefe steht.
- *Dateigrößen*: Die zu erwartenden Dateigrößen je nach Scan- bzw. Bodenauflösung.
- *Bildbearbeitung beim Scannen*: Welche Parameter können beim Scannen von Luftbildern beeinflusst werden.
- *Kosten für Luftbildscans*: Wovon hängen die Kosten eines Luftbildscans ab?

Dieses beispielhaft beschriebene Kapitel zeigt die Komplexität der Thematik, und verdeutlicht auf anschauliche Weise, was der Leitfaden sein soll, eine Unterstützung für Praktiker und Entscheider in allen Bereichen des digitalen / digitalisierten Luftbildes.

3 Ausblick

Das in dieser Konstellation als ambitioniert anzusehende Leitfaden-Projekt startete im Jahr 2005. Dabei kommt es durch die hohen Arbeitsbelastungen der Mitglieder der AFL in ihren eigentlichen Aufgabenbereichen zu einer unterschiedlichen Bearbeitungsgeschwindigkeit der einzelnen Kapitel. Derzeit sind 90 % (60 Seiten) des Leitfadens fertig gestellt. Als Veröffentlichungstermin hat sich die AFL das Ende des dritten Quartals 2010 zum Ziel gesetzt, da die vielen Anfragen unterschiedlicher Institutionen aus dem Forst- und Umweltbereich die Notwendigkeit eines Leitfadens verdeutlichen. Aufgrund der ständigen Weiterentwicklung der Aufnahmesysteme und der digitalen photogrammetrischen Auswerteprodukte wird die permanente Aktualisierung/Adaption des Leitfadens als eine Daueraufgabe der AFL gesehen.

Danksagung

Der vorliegende Beitrag war nur durch die stetige konstruktive Zusammenarbeit aller akti-

ven und ehemaligen Mitglieder der Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten möglich.

Literatur

- ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN (AFL), 1998: Luftbild-Interpretationsschlüssel, Bestimmung der natürlichen Altersklasse von Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild. – LÖBF-Mitteilungen **1/1998**: 45–50.
- ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN (AFL), 1999: Luftbild-Interpretationsschlüssel II, Bestimmung der natürlichen Altersklassen und der Baumarten von Waldbeständen im CIR-Luftbild. – LÖBF-Mitteilungen **4/1999**: 51–56.
- ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN (AFL), 2003: Luftbildinterpretationsschlüssel – Bestimmungsschlüssel für die Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild. – Landesforstpräsidium Sachsen, Schriftenreihe **26**, ISBN 3-932967-29-3.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.) (1992): Anwendung der Fernerkundung zur Beurteilung des Gesundheitszustandes der Wälder. – Verlag Walphot S.A., Belgien.
- EUROPEAN COMMISSION (Hrsg.), 2000: Remote Sensing Applications for Forest Health Status Assessment – Second edition, ISBN 92-828-8144-X.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI), 1993: VDI 3793 Messen von Vegetationsschäden am natürlichen Standort, Blatt 1 Verfahren der Luftbildaufnahme mit Color-Infrarot-Film, Blatt 2 Interpretationsschlüssel für die Auswertung von CIR-Luftbildern zur Kronenzustandserfassung von Nadel- und Laubgehölzen; Fichte, Buche, Eiche und Kiefer.

Adressen der Autoren:

FRANK FRANKEN, HESSEN-FORST, Forsteinrichtung und Naturschutz, D-35394 Gießen, Europastraße 10-12, Tel. +49-641-4991-257, Fax: -260, e-mail: frank.franken@forst.hessen.de.

KARINA HOFFMANN, Staatsbetrieb Sachsenforst, Kompetenzzentrum für Wald und Forstwirtschaft, Referat FGIS, Kartografie, Vermessung, D-01796 Pirna, OT Graupa, Bonnewitzer-Strasse 34, Tel.: +49-3501-542-260, Fax: -213, e-mail: karina.hoffmann@smul.sachsen.de.

Manuskript eingereicht: Februar 2010
Angenommen: April 2010



Support Vector Machines for Vegetation Classification – A Revision

ANDREAS CHRISTIAN BRAUN, UWE WEIDNER & STEFAN HINZ, Karlsruhe

Keywords: Support vector machines, vegetation classification, kernel learning, pattern recognition

Summary: Within the last decade, a new classification method from the field of machine learning, has found increased application in remote sensing. So called support vector machines (SVM) are being used for the classification of virtually all kinds of data used in remote sensing. They achieve special attention in the field of hyperspectral datasets. For these, SVMs are especially well suited, as they cope very well with their high number of dimensions. This contribution gives a thorough introduction into the topic, outlines fields of applications – thereby focussing on classifying vegetation – and presents a comparison of results with other methods such as maximum likelihood and spectral angle mapper.

Zusammenfassung: Über den Einsatz von Support-Vektor-Maschinen (SVM) für Vegetationsklassifizierung. Im letzten Jahrzehnt hat ein neues Klassifizierungsverfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens vermehrt Anwendung im Bereich der Fernerkundung gefunden. Die so genannten Support-Vektor-Maschinen (SVM) werden für die Klassifizierung praktisch aller Datentypen der Fernerkundung eingesetzt. Sie erhalten eine besondere Aufmerksamkeit im Bereich hyperspektraler Datensätze, für die SVMs besonders geeignet sind, da sie sehr gut mit der hohen Anzahl an Dimensionen zurechtkommen. Dieser Beitrag gibt eine ausführliche Einführung in das Thema, stellt Anwendungsgebiete – vor allem aus dem Bereich der Vegetationsklassifizierung – dar und präsentiert einen Vergleich anhand von Klassifizierungsergebnissen mit anderen Verfahren (Maximum-Likelihood und Spectral Angle Mapper).

1 Introduction

In recent years, a new technique of pattern recognition has found broad acceptance in the remote sensing community. Support vector machines (SVM), have been developed by VAPNIK et al. (1992) as a method of supervised classification. Since then, the potential of different types of SVM classifiers has been improved and adapted to a large number of tasks. Classification procedures based on SVM have been applied to multispectral (MITRA et al. 2004), hyperspectral (GUALTIERI & CROMP 1998, CAMPS-VALLS et al. 2004) data, synthetic aperture radar (SAR) data (TAN et al. 2007), and light detection and ranging (LiDAR) data

(LODHA et al. 2006). In a large number of publications, SVMs outperformed other classifiers (like Maximum-Likelihood, Minimum distance, Spectral angle mapper, but also neural networks, FOODY & MATHUR 2004) in terms of accuracy and robustness. The main advantage of SVM is given by the fact that they abstain from a statistical description of the data, but find optimal separation (hyper-)planes learnt from the spatial distribution of training data in the feature space.

The paper is organized as follows. At first, we will give a non-mathematical introduction to SVM, then we will give some examples of applications in the field of vegetation and forestry. After that, we will present results from

our own work. Finally, we will give a short summary and outlook.

2 Brief Revision of SVM

The basic drawback of common classifiers that led to the development of SVM was to find a classifier that generalizes well and is less susceptible to non-Gaussian distributed and deviant patterns than statistically motivated methods (VAPNIK et al. 1992, CORTES & VAPNIK 1995). Consider the situation given in Figs. 1 and 2. The set of points for the class marked by crosses, contains outliers. Thus, a classifier based on the class centres (like Minimum Distance) is strongly affected by the location of these outliers, resulting in a separation plane that cuts off some of the points which are close to the other class. Effectively, points that lie behind a front of other points from the same class, are the ones that should least affect the position of the separating plane. It is evident, that the only points that should affect the position of the plane, are the ones that lie opposed to the closest points from the other class, (marked by small squares in Fig. 2). These are called support vectors. If the two classes can be separated linearly, it is possible to find an infinite set of lines to separate the classes (imagine rotating the dashed line in Fig. 2 by a few degrees). As we cannot be sure, that the training data describe their class perfectly, it should be aimed to find a line which leaves a broad area (called margin in SVM) between classes to leave space for the test data. According to the statistical learning theory (for an overview cf., e. g., VAPNIK 1999), a classifier maximizing the free space between point

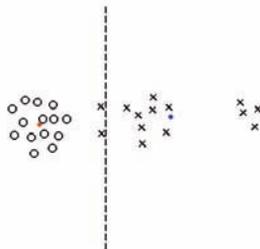


Fig. 1: K-means Separation.

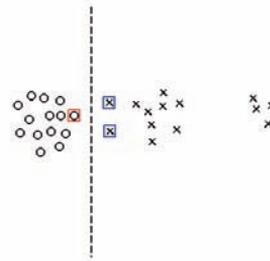


Fig. 2: SVM Separation.

clouds generalizes well, i. e., runs a low risk of classifying unknown patterns falsely.

These considerations led to the development of SVM (VAPNIK et al. 1992). Given an p -dimensional feature space, we choose a couple of m training samples x_i with p features $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ and a class label $y_i \in [-1, +1]$ to form a dataset $T = \{x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_m, y_m\}$. Considering Fig. 2, it becomes clear that there exists a separation plane, given in the normal form $w \cdot x + b = 0$, which correctly assigns all of the training data in T into the classes defined by their labels y_i , leaving a broad margin for data with unknown label. Here, w is the normal vector on the plane and the bias b is the distance from the closest point on the hyperplane to the origin. The task is now to solve an optimisation problem, thus, finding an optimal separation hyperplane (OSH). Mathematical foundations can be found in (BURGES 1998, IVANCIUC 2007). A very comprehensive, yet more intuitive description is given in (BENNETT & CAMPBELL 2000). Numerical solutions are described in (BOTTOU & LIN 2007). Within the optimisation problem, patterns from T appear in dot products – an important feature to keep in mind. After w and b have been found, deciding the class membership of new data is done by simply checking, on which side of the hyperplane they are situated.

2.1 Relieving the Constraints by Soft Margin SVM

However, in many cases it may not be possible, or wanted, to find a plane which separates all the training samples into the right classes.

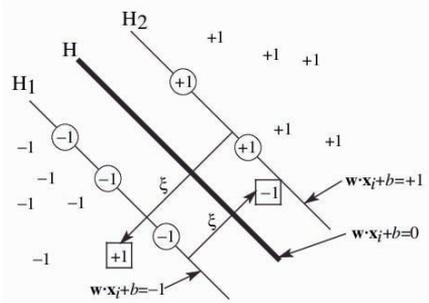


Fig. 3: Soft-margin SVM by using slack variables ξ , w represents the normal vector of the plane, b is the distance of the closest point to the origin.

As shown in Fig. 3, for each class there exists one pattern (marked by squares) to be on the opposite site of the separating plane. These might be known exceptions, like pixels from falsely assigned training areas. In this case it could be allowed for these pixels to be on the wrong side of the plane. This is realized by introducing slack variables $\xi_i \geq 0$ to each data point, which equal zeros if the points are located correctly and has a positive value if the point is on the wrong side. These slack variables are summed up, penalized by a weighting factor and added to the optimisation problem. Various concepts of this so called *Soft Margin* approach have been proposed in literature, the most common ones being *C* (Cost) SVM (CORTES & VAPNIK 1995). However, in recent publications, a promising new approach named ν -SVM (SCHÖLKOPF et al. 2000) is used. It can be applied to achieve separation of one class regardless of the other classes (One-class SVM).

2.2 Finding a Solution in High-dimensional Spaces by Kernels

Fig. 4 gives an example, where using a statistical description can lead to linearly infeasible separation problems. Although it is clear that the two classes can perfectly be separated, using a criterion like the class centres is not adequate to solve the problem. As in this case linear SVM, even using slack variables, also fails to separate the data linearly, this situation leads us to the next stage.

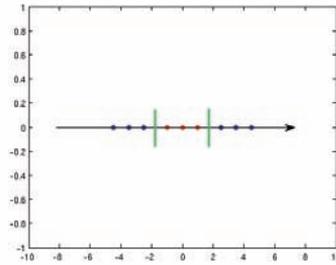


Fig. 4: Original feature space.

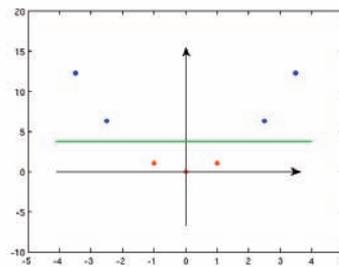


Fig. 5: Higher dimensional space.

For exactly this kind of cases, the SVM approach has been enhanced. Separating the two classes is merely a question of increasing the dimensionality of the feature space. This is done by introducing a non-linear feature space mapping $\Phi(x)$ (like the square distance to the origin in this case, see Fig. 5) that makes the data linearly separable in the higher-dimensional space. $\Phi(x)$ is not required to be calculated explicitly, though. Instead the so called „kernel-trick“ (IVANCIUC 2007) is applied, which reformulates the mapping and evaluating of two data points x_i and x_j by $K(x_i, x_j) = \Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j)$. Kernels operate in the original feature space but act like dot products in the high-dimensional space (BURGES 1998). Thus, they compute the solution implicitly, making the problem resolvable in a much easier way. There exists a large variety of kernels, yet the most frequently used ones – apart from the linear kernel, which equals to not performing any transformation – are the following:

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(\frac{x_i \cdot x_j}{\sigma^2}\right)$$

Radial Basis Function (RBF) Kernel (1)

$$K(x_i, x_j) = (x_i \cdot x_j + 1)^d$$

Polynomial Kernel of d^{th} degree (2)

2.3 Methods for More than Two Classes by Multi-class SVM Strategies

Up to now we have only discussed two class problems. Within the field of remote sensing, it is merely the case, to have only two classes of interest. What is needed is a method to adapt SVMs to the classification of problems with more than two classes. Some research has been made using specialized algorithms to treat more than two classes at once (WESTON & WATKINS 1999, ASHARAF et al. 2007, SOMAN et al. 2007). However, until now these methods are still on an experimental level. The approach widely used is to subdivide the n class problem into several 2 class problems. A number of specific strategies have been developed, and the three most important ones are presented here. The first adaptation of SVM to multiple classes was the One-against-all approach. For each of the n given training classes, a OSH is optimised, labelling the recent class as +1 and all the pixels from the other classes as -1. During the classification phase, each pixel is passed on to each of the n SVM classifiers. It is assigned as member of a class, if labelled as +1 by the respective SVM classifier and left without class membership if labelled as -1. As this approach has a couple of inconveniences (e. g., the existence of a not meaningful rejection class), One-against-one has been invented. It refuses to consider all n classes at the same time, but finds for all the $n(n-1)/2$ combinations of classes a suitable hyperplane. This means, that a certain hyperplane is only meaningful for two classes, ignoring all the other classes. In the classification phase, each pixel is checked by all the $n(n-1)/2$ classifiers, recording the label attributed by each classifier. After finishing this process, the max wins strategy assigns the pixels to the classes, they have received most votes from. There has been a number of publications using hierarchy-based approaches. The most common one is the DAG (directed acyclic graph) by PLATT et al. (2002). It can be

considered as a special case of One-against-one, due to the identical training procedure. In contrast to One-against-one, the data set is split up during the classification phase by following a graph. Thus, the data set which is passed on to a certain SVM model gets ever smaller on each layer of the graph, shortening classification times significantly.

2.4 One-class SVM

A major drawback of these approaches is the lack of methods to train and classify images, using only a subset of the classes present in the image. If, for example, out of n classes in a rural area, only two (e. g., forests and meadows) are of interest, one none the less has to train SVM models, considering all the classes. This drawback can be solved using One-class SVM. This strategy is effectively not a multi-class strategy, but a different type of error penalization (ν -SVM) which can be exploited to overcome the drawbacks of the *Cost-SVM* based multi-class strategies given in Section 2.3. Instead of finding a hyperplane, that separates a class from the other classes, a hypersphere is found, which optimally hulls in the points from one class. This enables the user, to find a separating criterion for a given class *without* explicitly assigning training areas for other classes.

3 Performance of SVM for Forest and Vegetation Classification

In this section, we will show the applicability of SVM in the field of vegetation classification and forestry. At first, an overview on the work of other authors from the field of forestry will be given. In the next step, we will present some results from our own work that was achieved using the classical multi-class approaches, presented in Section 2.3. We will conclude by comparing a One-against-all classification, using the traditional *Cost-SVM* approach, with the newer One-class SVM. The reason for this is, that One-class SVM is a promising approach, which has not been used widely in remote sensing so far.

3.1 Related Work

In this section, we present some related work on the application of SVMs in the field of forestry. WIJAYA & GLOAGUEN (2007) classify two different Landsat ETM7+ scenes of tropical rainforests (South Ecuador, Central Indonesia) into five classes. Using SVM, they achieve 73 % of overall accuracy for Ecuador and 81 % for Indonesia. In their study, ZAMMIT et al. (2006) present classifications of burnt forest areas using after-fire scene in France from SPOT5. In their comparison, SVM outperforms K-Means, and K-Nearest-Neighbours regarding overall accuracy (96.5 % for SVM) and false positives (3.1 % for SVM). LAFARGE et al. (2004) apply a specialized kernel to detect forest fires with SPOT5. Applying SVM, the authors are able to detect fire through smoke formation using only the panchromatic channel. Through a combination of Landsat classification with climate data and other ecological data, GUO et al. (2005) develop a prediction map for areas, threatened by sudden oak death (*Phytophthora ramorum*) in California. The authors report that, due to the high true-positive rates yielded (0.91), SVM can be recommended for ecological niche classification. YANG et al. (2006) use SVMs to predict gross primary production of forested and non-forested areas at a continental-scale using data from the MODIS sensor. The results of SVM were competitive to the standard MODIS GPP/NPP algorithm.

3.2 Performance Analysis for Different Data, Kernels and Strategies

The capability of SVM shall be shown by comparing the classification accuracy of SVM to those achieved by other methods. In this section, we will present the classification results for different data types. For some results, we will only give the Overall accuracy (OAA) and cappa statistics in Tab. 1. Three results, however, will be discussed in detail. The first scene was taken by the QuickBird satellite in 2005. Secondly, a dataset, taken by the HyMap sensor in 2003 was worked on. The scenes show the urbanized area of Karlsruhe, Ger-

many. The last scene was a subset of the RapidEye Demonstration scene, showing the urbanized area of Griffith, New South Wales, Australia. For each scene, the same training areas were used to perform both an SVM classification, and another classification approach (Maximum likelihood for QuickBird and RapidEye, Spectral angle mapper for HyMap). Maximum likelihood classification (MLC) was performed using a commercial software package, Spectral angle mapper (SAM) was carried out, using Hypertools (PACLİK et al. 2005) for Matlab. The SVM classification was performed, using an adapted version of LibSVM (CHANG & LIN 2008). Afterwards, control areas were defined by field survey, using our knowledge of the scenes and aerial imagery available at the institute. For each land cover class, various control areas from different locations in the scene where assigned. We used at least two times more pixels for control areas, than for training areas and made sure, that no class had significantly more control area pixels than others. These control areas where used to calculate confidence matrices for both the SVM classification as well as for the comparison (MLC or SAM).

Comparison with Maximum likelihood – QuickBird

From the entire QuickBird scene, a 1.000 per 1.000 pixel subset, showing the forested area north west of Karlsruhe castle, was taken. 13 different land cover classes, covering a wide range of vegetation, as well as urban classes, were chosen. Concerning the forested areas, two different kinds of mixed beech groves (*Fagetalia*), two different kinds of meadows (one in good conditions, one slightly degraded by trespassing) and an alley of lime-tree (*Tilia europaea*) on gravel were taken into account. Training was performed for both MLC and Cost-SVM (with RBF kernel, applying the One-against-one strategy). Hence, for each of the $n(n-1)/2$ training steps, a different SVM model was obtained. Considering overall accuracy and cappa coefficient, the SVM outperformed MLC (see Tab. 1). Comparing results (given in Figs. 11 to 13) visually, it can be noted, that SVM delivered a more consistent image. Many surfaces (like, e. g., red roofs, or

the area around the castle) appear more coherent in SVM than in MLC. The same accounts for the lake. The MLC result seems too much dominated by the cyan class for alleys. The reason for this might be, that alleys are composed of trees and the sand beyond. This results in a class with two class centres, which deviates strongly from the normal distribution recommended for MLC classification. Furthermore, SVM seems to be better suited to distinguish between dark-grey roofs and light-grey streets.

Comparison with Maximum Likelihood – RapidEye

As for QuickBird, a *Cost-SVM* approach with RBF Kernel and One-against-one was compared to MLC. The subset size was 1.000 per 1.000 pixels and 13 landuse classes have been assigned. (Figs. 14 to 16) show the visual results. As can be seen, MLC assigned much more pixels to the dark-green fields class, which seems only partly justified. There are obvious differences in the urbanized areas. The SVM assigned less pixels in the city to vegetation classes. Industry and other urban classes are much more dominant, reinforcing the impression of higher coherence, that the SVM result for QuickBird gave. Just as for QuickBird, Overall Accuracy and kappa statistics of SVM exceeded those of MLC (see Tab. 1).

Comparison with spectral angle mapper – HyMap

To compare SVM with a traditional method for classification of hyperspectral data, a 281 per 169 pixel subset from a HyMap scene was chosen and processed with SAM and SVM. For the latter, a *Cost-SVM* approach with the One-against-one strategy was chosen. We

used a linear kernel, as due to the high number of dimensions (126) in the input space, we hoped to be able to find a linear OSH without transforming the data to higher dimensional spaces. As the comparison of overall accuracy and kappa (Tab. 1) reveals, this assumption was justified. As well as for the QuickBird classification, the visual results (Figs. 17 to 19) seem more coherent for SVM, than for SAM. Within the forests, SVM could distinguish better between the different tree classes. Shrublands marked in yellow have been identified more clearly and also buildings are not so much mixed up with pixels from other classes.

Comparison One-Against-all versus One-Class SVM

As described in Section 2.4, a major advantage of One-class SVM is, that training and classification can be performed for each class independently of the other classes. Despite this obvious advantage, One-class SVM has found few applications in remote sensing so far, none of the work presented in Section 3.1 has used it. To illustrate the difference between One-class SVM, we performed a short comparison. For a very small (338 per 291 pixels) subset of the QuickBird scene, different classifications were performed. The goal was to achieve a good separation for three *vegetation classes only*: dark trees like beech (*Fagus sylvatica*) and hornbeam (*Carpinus betulus*), light trees like lime-tree (*Tilia europaea*) and birch (*Betula spec.*) and meadows, see Fig. 6). At first, a One-against-all classification was performed, assigning trainings areas for the three vegetation classes only. Fig. 7 shows that the outcome was quite poor. This is exactly what we had expected, as the One-against-all strategy is unable to perform well if not trained for all classes. Next, we assigned training ar-

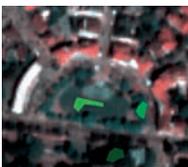


Fig. 6: Training areas.



Fig. 7: O-a-a 3 classes.



Fig. 8: O-a-a all classes.

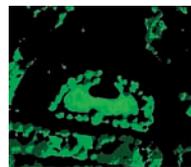


Fig. 9: O-a-a set to black.

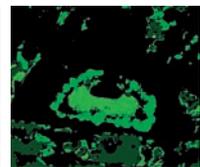


Fig. 10: One-class-SVM.

	Dark Trees (<i>Fagus</i> , <i>Carpinus</i> etc.)	Light Trees (<i>Tilia</i> , <i>Betula</i> etc.)	Meadows
One-class SVM	28.3 %	51.8 %	65.1 %
One-against-all	33.5 %	75.8 %	76.3 %

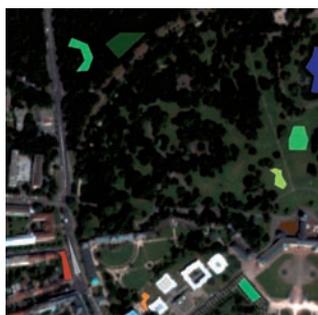


Fig. 11: QuickBird training areas.



Fig. 12: SVM result.



Fig. 13: MLC result.



Fig. 14: RapidEye training areas.



Fig. 15: SVM result.



Fig. 16: MLC result.



Fig. 17: HyMap training areas.



Fig. 18: SVM result.



Fig. 19: SAM result.

reas to *all the classes* present in the scene and classified with One-against-all again. Fig. 8 shows the outcome for all classes, in Fig. 9 all classes apart from the vegetation classes have been set to black to ensure visual comparability with the next result. At last, we trained a One-class SVM for each of the three vegetation classes, ignoring of course all the other

classes. In contrast to Fig. 7, Fig. 10 shows that this strategy *can indeed* be followed, using One-class SVM.

However, comparing results quantitatively, One-class SVM failed to outperform One-against-all. By assigning user-defined control areas, the rates of true positives were calculated. One-class SVM achieved poorer accu-

Tab. 1: Comparison of different classifications (results in bold letters are described in this report).

Scene	SVM		MLC		SAM	
	OAA	Cappa	OAA	Cappa	OAA	Cappa
QuickBird	87.5 %	0.86	80.8 %	0.78	---	---
RapidEye	79.4 %	0.77	62.7 %	0.59	---	---
Landsat TM	80.1 %	0.8	65.4 %	0.6	---	---
HyMap subset 1	72.0 %	0.7	---	---	48.5 %	0.4
HyMap subset 2	82.6 %	0.8	---	---	48.6 %	0.4

racy for all of the three vegetation classes. One-class SVM found in total fewer pixels for each class, this might have led to the worse accuracy rates. A possible reason for this might be overfitting. As the training areas for each class were very small, classes could probably not be described well enough. Another reason might be, that the differences between dark and light trees have not been well distinguished by One-class SVM. The rows of dark trees in the south of the scene are too much mixed up with pixels classified as light trees in the result of One-class SVM.

4 Summary and Outlook

The results presented here confirm the statements of other authors (FOODY & MATHUR 2004, MELGANI & BRUZZONE 2004, LODHA et al. 2006, TAN et al. 2007) that SVMs are promising and capable classifiers for remotely sensed data of different kinds. The method delivers reliably well results for data of different dimensionality and origin (LiDAR, SAR, multi- and hyperspectral). It outperformed MLC and SAM in a direct comparison. Especially in the case of hyperspectral data, a linear kernel is worth trying. Due to the high dimensionality of the hyperspectral input space, there might be no need to chose a non-linear functions to achieve separation. According to (VAPNIK et al. 1992) the more complex the kernel function is, the SVM classifier produces higher generalization errors.

A lot of work is currently being done in developing specialized kernels (CAMPS-VALLS et al. 2005), better training algorithms (SU 2009, KEERTHI & LIN 2003) and combination of SVM with feature extraction (CAO et al. 2003). How-

ever, we consider, that the usage of One-class SVM is a promising field of work, as it allows the user to classify only the classes of interest to him, without having to keep in mind each of the n occurring classes in the entire scene.

References

- ASHARAF, S., NARASIMHA MURTY, M. & SHEVADE, S.K., 2007: Multiclass Core Vector Machines. – Computer Science and Automation, Indian Institute of Science, Bangalore, India – 560012.
- BENNETT, K. & CAMPBELL, C., 2000: Support Vector Machines: Hype or Hallelujah? – Math Sciences Department Rensselart Polytechnic Institute, Troy, NY 12180.
- BOSER, B., GUYON, I. & VAPNIK, V., 1992: A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers. – AT&T Bell Laboratories, Crawford Corner Road, Holmdel, NJ 07733.
- BOTTOU, L. & LIN, C.J., 2007: Support Vector Machine Solvers. – Large Scale Kernel Machines, MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1–28.
- BURGES, C., 1998: A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition. – Kluwer, Boston, USA.
- CAMPS-VALLS, G., GÓMEZ-CHOVA, L., CALPE-MARAVILLA, J., MARTÍN-GUERRERO, J., SORIA-OLIVAS, E., ALONSO-CHORDÁ, L. & MORENO, J., 2004: Robust Support Vector Method for Hyperspectral Data Classification and Knowledge Discovery. – IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.
- CAMPS-VALLS, G., GOMEZ-CHOVA, L., MUÑOZ-MARÍ, J., VILA-FRANCÉS, J. & CALPE-MARAVILLA, J., 2005: Composite Kernels for Hyperspectral Image Classification. – IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters.
- CAO, L.J., CHUA, K.S., CHONG, W.K., LEE, H.P. & GU, Q.M., 2003: A comparison of PCA, KPCA and ICA for dimensionality reduction in support

- vector machine. – *Neurocomputing* **55**: 321–336.
- CHANG, C.C. & LIN, C.J., 2008: LIBSVM: A Library for Support Vector Machines. – Department of Computer Science, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan.
- CORTES, C. & VAPNIK, V., 1995: Support-Vector Networks. – AT&T Labs Research, USA.
- FOODY, G. & MATHUR, A., 2004: A Relative Evaluation of Multiclass Image Classification by Support Vector Machines. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **42** (6).
- GUALTIERI, J. & CROMP, R., 1998: Support Vector Machines for Hyperspectral Remote Sensing Classification. – *SPIE*, **3584**, 27th AIPR Workshop, Advances in Computer Assisted Recognition.
- GUO, Q.H., KELLY, M. & GRAHAM, C., 2005: Support vector machines for predicting distribution of Sudden Oak Death in California. – *Ecological Modelling* **182**: 75–90.
- IVANCIUC, O., 2007: Applications of Support Vector Machines in Chemistry. – *Reviews in Computational Chemistry* **23**, Wiley-VCH.
- KEERTHI, S. & LIN, C.J., 2003: Asymptotic Behaviours of Support Vector Machines with Gaussian Kernels. – *Neural Computation* **15**: 1667–1689.
- LAFARGE, F., DESCOMBES, X. & ZERUBIA, J., 2004: Textural kernel for SVM classification in Remote Sensing: Application to forest fire detection and urban area extraction. – Ariana Project, INRIA, 2004 – route de Lucioles – BP93, 06902 Sophia Antipolis, France.
- LODHA, S., KREPS, E., HELMBOLD, D. & FITZPATRICK, D., 2006: Aerial LiDAR Data Classification using Support Vector Machines (SVM). – Department of Computer Science, University of California, Santa Cruz, CA 95064, USA.
- MELGANI, F. & BRUZZONE, L., 2004: Classification of Hyperspectral Remote Sensing Images With Support Vector Machines. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **42** (8).
- MITRA, P., SHANKAR, B. & PAL, S., 2004: Segmentation of multispectral remote sensing images using active support vector machines. – *Pattern Recognition Letters* **25**: 1067–1074.
- PACLIK, P., VERZAKOV, S. & DUIN, R., 2005: Hyper-tools: the toolbox for spectral image analysis.
- PLATT, J., CRISTIANINI, N. & SHAWE-TAYLOR, J., 2000: Large Margins DAGs for Multiclass Classification. – MIT Press, 547–553.
- SCHÖLKOPF, B., SMOLA, A., WILLIAMSON, R. & BARTLETT, P., 2000: New Support Vector Algorithms. – *Neural Computation* **12**: 1207–1245.
- SOMAN, K.P., LOGANATHAN, R., VIJAYA, M.S., AJAY, V. & SHIVSUBRAMANI, K., 2007: Fast Single-Shot Multiclass Proximal Support Vector Machines and Perceptrons. – *International Conference on Computing: Theory and Applications (ICCTA'07)*, 2007.
- SU, L., 2009: Optimizing support vector machine learning for semi-arid vegetation mapping by clustering analysis. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **64**: 407–413.
- TAN, C., KOAY, K., LIM, K., CHUAH, E. & CHUAH, H., 2007: Classification of Multi-Temporal Images for Rice Crops using Combined Entropy Decomposition and Support Vector Machine Technique. – *Progress In Electromagnetics Research*, PIER **71**, 19–39.
- VAPNIK, V., BOSER, B. & GUYON, I., 1992: A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers. – AT&T Bell Laboratories, 50 Fremont Street, San Francisco, CA 94105, USA.
- VAPNIK, V., 1999: An Overview of Statistical Learning Theory. – *IEEE Transactions on Neural Networks*, **10** (5).
- WESTON, J. & WATKINS, C., 1999: Support Vector Machines for Multi-Class Pattern Recognition. – *ESANN'1999 proceedings – European Symposium on Artificial Neural Networks*, 219–224.
- WIJAYA, A. & GLOAGUEN, R., 2007: Comparison of Multisource Data Support Vector Machine Classification for Mapping of Forest Cover. – Remote Sensing Department, TU-Bergakademie Freiberg.
- YANG, F.H., ICHII, K., WHITE, M., HASHIMOTO, H., MICHAELIS, A., VOTAVA, P., ZHU A.X., HEUTE, A., RUNNING, S. & NEMANI, R., 2006: Developing a continental-scale measure of gross primary production by combining MODIS and AmeriFlux data through Support Vector Machine approach. – *Remote Sensing of Environment* **110**: 109–122.
- ZAMMIT, O., DESCOMBES, X. & ZERUBIA, J., 2006: Burnt Area Mapping using Support Vector Machines. – *V International Conference on Forest Fire Research*, 2006.

Address of the Authors:

Dipl.-Geoökol. ANDREAS CHRISTIAN BRAUN, Dr.-Ing. UWE WEIDNER, Prof. Dr.-Ing. habil. STEFAN HINZ, Karlsruhe Institute of Technology (KIT) Karlsruhe, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, 76128 Karlsruhe, Tel.: +49-721-608-6994, -3945, -2314, Fax: -8450, e-mail: andreas.ch.braun@kit.edu, uwe.weidner@kit.edu, stefan.hinz@kit.edu.

Manuskript eingereicht: Februar 2010
Angenommen: April 2010



Pan-Arctic Land Cover Mapping and Fire Assessment for the ESA Data User Element Permafrost

MARCEL URBAN, SÖREN HESE, Jena, MARTIN HEROLD, Wageningen, Niederlande, STEFAN PÖCKING & CHRISTIANE SCHMULLIUS, Jena

Keywords: Land cover harmonization, pan boreal, vegetation continuous field, burned area, GlobCarbon, MODIS.

Summary: The paper presents first results of a pan-boreal scale land cover harmonization and classification. A methodology is presented that combines global and regional vegetation datasets to extract percentage cover information for different vegetation physiognomy and barren for the pan-arctic region within the ESA Data User Element Permafrost. Based on the legend description of each land cover product the datasets are harmonized into four LCCS (Land Cover Classification System) classifiers which are linked to the MODIS Vegetation Continuous Field (VCF) product. Harmonized land cover and Vegetation Continuous Fields products are combined to derive a best estimate of percentage cover information for trees, shrubs, herbaceous and barren areas for Russia. Future work will concentrate on the expansion of the developed methodology to the pan-arctic scale.

Since the vegetation builds an isolation layer, which protects the permafrost from heat and cold temperatures, a degradation of this layer due to fire strongly influences the frozen conditions in the soil. Fire is an important disturbance factor which affects vast processes and dynamics in ecosystems (e. g. biomass, biodiversity, hydrology, etc.). Especially in North Eurasia the fire occupancy has dramatically increased in the last 50 years and has doubled in the 1990s with respect to the last five decades. A comparison of global and regional fire products has shown discrepancies between the amounts of burn scars detected by different algorithms and satellite data.

Zusammenfassung: *Pan-arktische Landbedeckungskartierung und Feuerbeurteilung für das ESA Daten Nutzelement Permafrost.* In diesem Paper werden die Ergebnisse einer land cover Harmonisierung und Klassifikation verschiedener Vegetationsprodukte auf pan-borealer Ebene dargestellt. In der vorgestellten Methodik werden globale und regionale Produkte kombiniert und Bedeckungsinformationen verschiedener Vegetationstypen und brachliegenden Flächen auf pan-arktischer Ebene als Teil des ESA Data User Element Permafrost abgeleitet. Anhand von produktspezifischen Legendenbeschreibungen werden die Landbedeckungsklassen zu vier LCCS Klassifikatoren zusammengefasst, die mit dem MODIS VCF Produkt kombiniert werden. Ziel dieser Kombination von land cover und VCF, ist die Ableitung einer so genannten „best map“, die Bedeckungsinformationen über Bäume, Sträucher, Gräser und brachliegende Flächen in Russland beinhaltet. Für zukünftige Arbeiten ist die Ausweitung der Methodik auf den pan-borealen Bereich vorgesehen.

Die Vegetation stellt eine Isolationsschicht dar, die den Permafrostboden vor Wärme- und Kälteeinflüssen nachhaltig schützt. Eine Degradation der Vegetationsdecke, durch beispielsweise Feuerereignisse, hat großen Einfluss auf die Temperaturdynamiken des Permafrostes. Feuer spielen einen entscheidenden Faktor in der Veränderung von Ökosystemprozessen (z. B. Biomasse, Biodiversität, Hydrologie, usw.). In Nordeurasien ist ein dramatischer Anstieg von Feuerereignissen in den letzten 5 Dekaden zu verzeichnen, der sich in den 90er Jahre bezüglich der letzten 50 Jahre verdoppelte. Ein Vergleich von globalen und regionalen Feuerprodukten, abgeleitet aus Fernerkundungsdaten, zeigten Diskrepanzen in der Detektion von Brandnarben durch verschiedene Produkte.

1 Introduction

In permafrost regions the vegetation and also the land surface texture is strongly affected by the uppermost soil layer (active layer) which is influenced by seasonal freeze/thaw dynamics (Fig. 1). This layer varies in depth from several centimeters in high northern latitudes to a few meters in the sporadic permafrost zones. All permafrost zones have a defined characterization of the existing landform respectively their vegetation structure. The land cover varies from lower vegetation species to shrublands and large boreal forest areas due to the dynamic of the active layer (ANISIMOV & RENEVA, 2006). Primary tundra areas are the typical landform in permafrost regions. Due to global warming aspects shifting of vegetation zones will impact the organic vegetation layer.

The usage of Earth observation instruments is showing that changes in the pan-boreal tundra ecosystems are forced by increasing temperatures and this also alters the land cover and vegetation structure in different forms (Fig. 1). The vegetation and distribution of water bodies are primary important because of their spatio-temporal dynamics. Furthermore by continuous and consistent monitoring of the physical surface (land cover) in permafrost regions, an integrated observation and assessment system could be generated.

Fire is an important disturbance factor which affects all processes and dynamics in ecosystems. The influence of fires on the land surface parameters like biomass, biodiversity and hydrological processes has been analyzed over the last decades (LANGMANN et al. 2009,

CSISZAR et al. 2004, LOBODA & CSISZAR 2004). Especially in northern Eurasia the fire occupancy has dramatically increased in the last 50 years and has doubled in the 1990s with respect to the last five decades. The global climate change, which is strongly prevalent in these regions, is one of the major factors which affects the duration, frequency and the intensity of fires (ACIA 2004). The conversion of organic matter into carbon dioxide and the release of greenhouse gases to the atmosphere are resulting in a feedback reaction of the global climate and the fire occurrence frequency (SCHUUR et al. 2008, CUEVAS-GONZALES et al. 2009). Due to the large regions the fire protection is very limited which results in inconsistencies in fire statistics of Russia (SOJA et al. 2004, CONARD & INVANOVA 1997). APPS et al. (1993) highlighted that the analysis of fires in Russia need to have high priority since the boreal region is one of the largest carbon sinks.

Fire products from MODIS and GlobCarbon which are based on remote sensing data shows high potential to detect fire affected areas over large regions. International programs like IGBP, GOF-C-GOLD and GTOS use remote sensing capabilities for the monitoring of fires and their impacts to global climate change. In this paper a comparison of two global and two regional burned area products is done to analyze similarities and differences between different types of data.

The proposed concepts in this work are linked towards a monitoring system (Permafrost Information System) as part of the ESA "Data User Element Permafrost" (DUE Per-

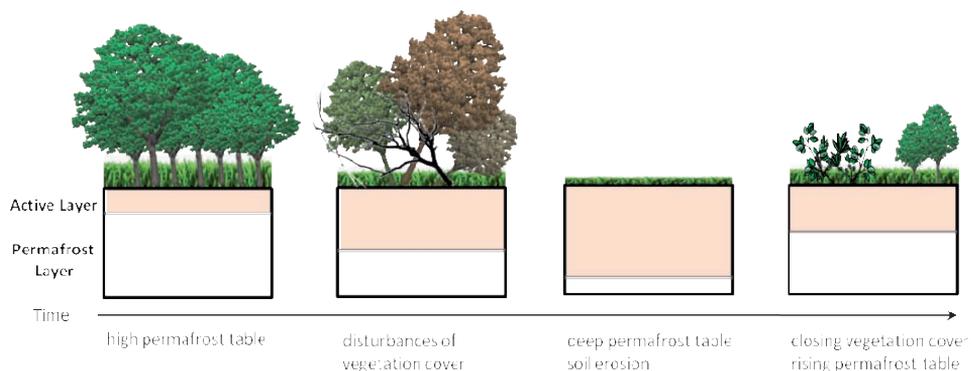


Fig. 1: Permafrost-Vegetation Interactions in time redrawn after (BENNINGHOFF 1952).

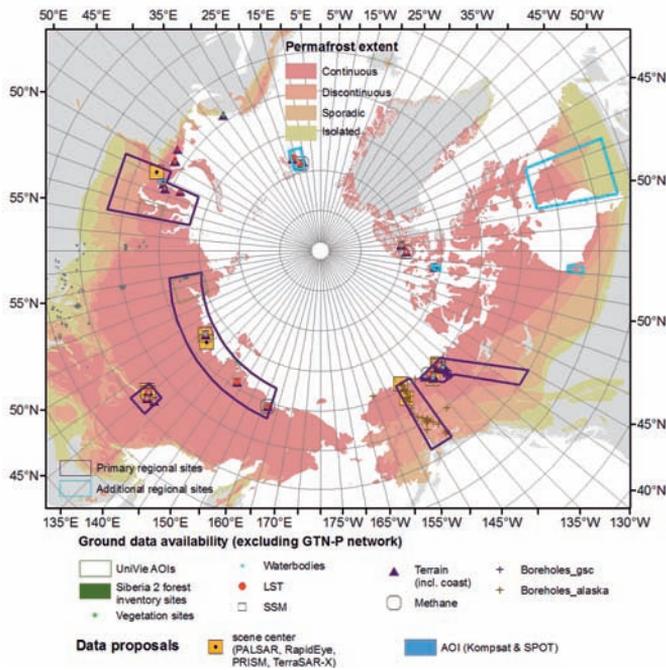


Fig. 2: Circum Arctic-Layer Permafrost System (CAPS) Version 1.0 (note: not a product from the DUE PF) northern hemisphere with indicated preliminary service case regions of the DUE Permafrost (local and regional test sites for lake change and vegetation mapping) (Source: Observation Strategy Paper).

mafrost) on the basis of 5–7 high resolution local sites, regional study sites and a pan-boreal scale monitoring level (Fig. 2).

The local monitoring sites are situated in specific regions of the pan-arctic zone with multitemporal very high resolution data coverage using Key-Hole data sets from Corona and Hexagon missions (1960–70s), RapidEye data, Komsat-2 data, Landsat MSS and Landsat ETM+ data. The pan-boreal land cover product is based on the harmonization of available global and regional vegetation products. The final purpose of the local scale water body/change and vegetation mapping concept for the DUE Permafrost is (1) to provide a snapshot based overall lake change information with a resolution that detects fine scale thermokarst lake change, (2) to provide detailed information for upscaling analysis for regional and pan-arctic land cover levels and (3) to compliment process understanding and permafrost degradation modeling with information derived on sites with ground measurements and process understanding.

To create a comprehensive modeling framework for the permafrost state a list of other Earth observation (EO) based land surface products has been proposed (ESA User Requirement Document – URD). Water bodies and land cover have been defined as one of the key EO-based requirements. Other important parameters for permafrost monitoring are land surface temperature, soil moisture, snow cover extend, snow water equivalent, terrain elevation, elevation change/subsidence and methane emissions. The challenge of creating these products can be explained with the temporal and spatial resolution requirements of these products and the needed spatial coverage (e. g. for methane).

2 Pan-Boreal Land Cover Analysis

The analysis of vegetation structures and dynamics on pan-boreal scale in the Data User Element Permafrost will be carried out by us-

ing global and regional vegetation as well as fire products (e. g. GlobCarbon). Based on the user requirements of the DUE Permafrost it is the aim to use existing products to identify and regionalize patterns and processes through integrating and synthesizing Earth observation information from multiple information sources. The main goal will be to (1) detect large cumulative land change, spatial indicators and hot spot areas, (2) analyze inter-annual, intra-annual dynamics and long-term trends and (3) support to analysis on local scale as well as field surveys and the investigation of the relationships on different observation variables. The integration of global and regional vegetations and fire products into the observation strategy for land cover on pan-boreal scale depends strongly on the requirements defined by the user group in the DUE Permafrost. These needs which were defined by the user group for the pan-boreal scale are area percentage of vegetation physiognomy, barren and disturbance regimes (e. g., fire).

2.1 Data and Products

The land cover and fire products which are used in the DUE Permafrost are based on different product algorithm, input satellite data, legends as well as spatial and temporal resolution. One of the key issues will be the harmonization of global and regional products to meet the requirements of the user group.

For the parameter land cover global products like GlobCover, MODIS Land Cover and Vegetation Continuous Fields (VCF), SYNMAP and additional regional products are analysed. GlobCover is derived from MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) multi-temporal satellite data of the years 2005 and 2006. This product, with a spatial resolution of 300 m, represents the Earth surface by 22 land cover classes based on the Land Cover Classification System (LCCS) by Di GREGORIO & JANSEN (2005) (ARINO et. al 2007a). The product generation is performed by supervised and unsupervised classification approaches for each of the so called equal-reasoning areas. The yearly MODIS land cover product (17 classes – IGBP) with a spatial resolution of 500 m uses the MLCCA (MODIS Land Cover

Classification Algorithm) to extract land cover information from multitemporal MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) satellite data on board of Terra and Aqua. The MLCCA uses a supervised classification approach by extracting land cover information from a training database. Additional information like BRDF, texture, land surface temperature, etc. are integrated into the algorithm (FRIEDL et al. 2002, 2010). The SYNMAP product (48 classes) is a best estimate classification which was developed by the synergetic combination of the land cover products GLCC (Global Land Cover Characterization), GLC2000 (Global Land Cover 2000) and MODIS. In the algorithm the land cover information from each dataset is used to convey an affinity score, which describes the similarities and discrepancies between the products (JUNG et al. 2006). MODIS VCF provides information about the cover percentage of trees, herbaceous and barren within a 500 m pixel. The principles of the algorithm is based on DEFRIES et al. (2000) but was improved in recent years. A regression tree uses MODIS reflectance as well as training data and NDVI values to extract the cover percentage for each pixel (HANSEN et al. 2002).

Different global and regional fire products will be used in the DUE Permafrost. The MODIS (500 m) and GlobCarbon (1 km) products are showing regions of burn scars over the pan-arctic area since 1998. The World Fire Atlas (WFA) makes it possible to identify fire hotspots since 1995. Two regional products based on satellite data from NOAA/AVHRR and SPOT representing burned areas since 1996 (AVHRR) and 2000 (SPOT) (BARTALEV et al. 2007, SUKHININ et al. 2004). The MODIS product identifies burned area by using information of the reflectance changes in different spectral channels (ROY et al. 2002, ROY et al. 2005). GlobCarbon is using different algorithms to extract burned areas out of ATSR-2, AATSR and SPOT-Vegetation satellite data (ROY & BOSCHETTI 2008, SIMON et al. 2004). The active fire product (WFA) is derived to identify fire hotspots by using satellite data from ATSR-2, AATSR (ARINO et al. 2007b).

2.2 Land Cover Harmonization Methodology

The user requirements have shown the need of information about percentage area of vegetation physiognomy and barren on pan-arctic scale. The aim will be to extract this information from different land cover products by harmonizing existing land cover products to a synergetic product. In the context of land cover characterization a harmonization can be understood as a process whereby the similarities between existing datasets are emphasized and inconsistencies are reduced (HEROLD et al. 2006).

A first step of the processing chain will be the aggregation of land cover products to predefined LCCS classifier (trees, shrubs, herbaceous, barren – Fig. 3). In this context an extraction of minimal and maximal percentage cover information for each classifier from the legend description of the land cover products is done. The range between the minimal and maximal cover information will be used as weighting factor in the harmonization process. In example, MODIS (IGBP) defines a tree cover threshold from 60% to 100%. This results in a factor of the thematic precision (Tpre) of 0.6, which is higher than the definition for forest classes in LCCS with a tree canopy

> 15% (Tpre = 0.15). The narrower the class description, the higher will be the weight of that land cover class during the product combination. The calculation will be done for each classifier (trees, shrubs, herbaceous, barren). After the conversion of land cover products to percentage cover information the datasets will be linked to the MODIS VCF products. The information of the minimal, maximal and the mean percentage cover will be correlated to the VCF product which belongs to each classifier. The pair which is showing the highest correlation is used for the combination of land cover and VCF datasets. Since MODIS VCF only provides information for trees, herbaceous and barren cover our aim is to extract information of shrub cover by using the percentage relationship between the classifier shrubs and herbaceous harmonized from the land cover products. The final synergy product consists of four components where each of them describes the percentage cover of the classifier.

The fire products are integrated by the identification of fire affected hot spot areas based on the information of burn scars and active fires. Due to different temporal and spatial resolutions it is useful to combine these products to build a fire affected area database for the pan-arctic scale (Fig.4). Therefore it is

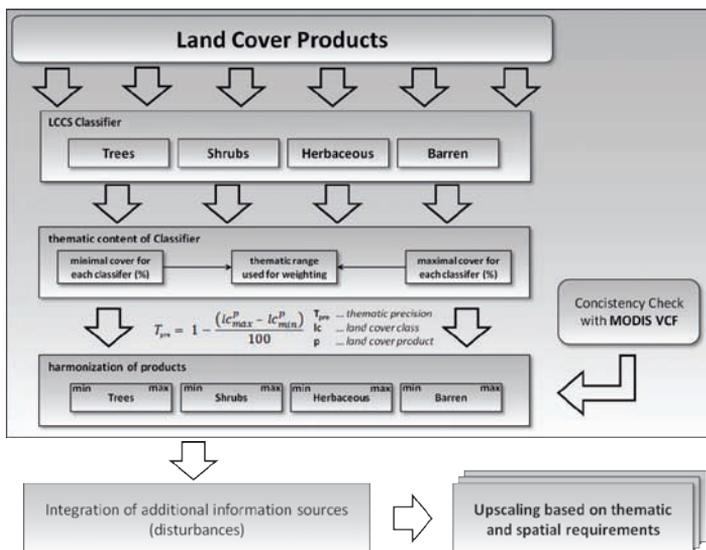


Fig. 3: Harmonization approach of different global and regional vegetation products.

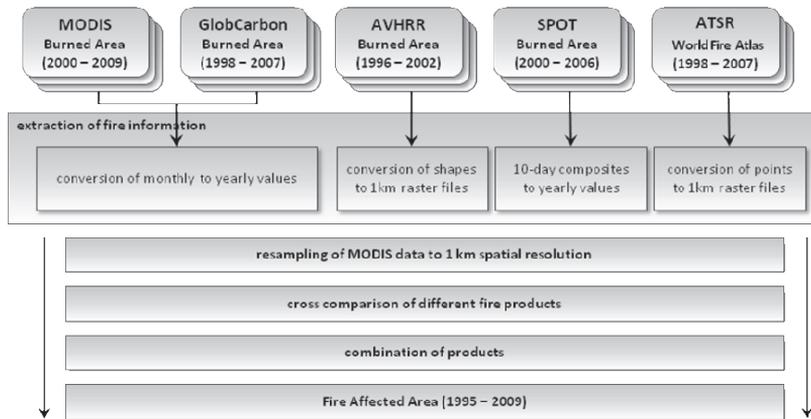


Fig. 4: Building a fire affected area database on pan-arctic scale using global and regional fire products.

mandatory to take similarities and disagreements of the products into account which can be extracted by cross comparison of the products. For each fire affected area a quality flag dataset will generated which is based on the agreement between the products.

2.3 Results

Harmonization of vegetation products to LCCS classifier

The results of the harmonization of the land cover products to LCCS classifier were corre-

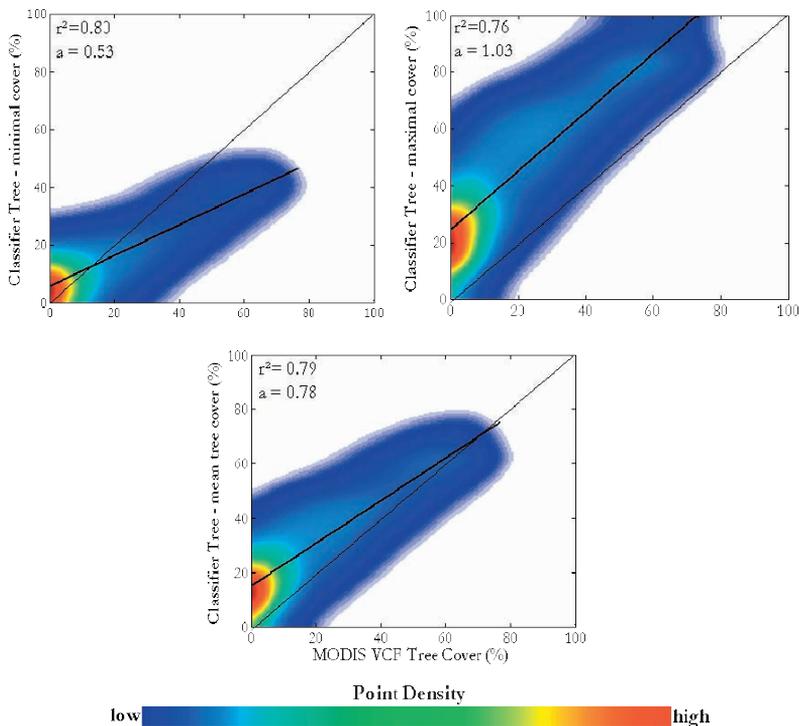


Fig. 5: Comparison of tree cover percentage extracted from land cover products with MODIS VCF tree cover.

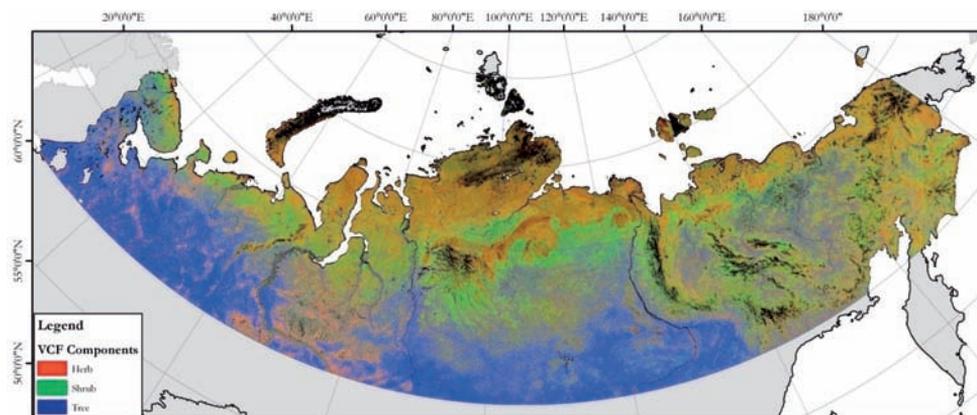


Fig. 6: Final synergy product showing the percentage cover of trees (blue), shrubs (green), herbaceous (red) and barren (black).

lated to MODIS Vegetation Continuous Fields datasets. In Fig. 5 a comparison of the minimum, maximum and mean percentage cover of the classifier tree and the VCF tree component for Russia above 60 degree north is shown in a point density cloud. The minimal (upper left) and maximal (upper right) classifier seems to be under- and overestimating the VCF tree cover values, respectively. The mean tree cover values (lower middle) from the land cover classifier are showing the best correlation with the VCF product for all three components. Based on the described methodology the mean component of the classifier and the VCF product for trees will be used for the synergy product by calculating the mean between these datasets. The same approach was used for the classifier herbaceous and barren. Both, herbaceous and barren classifiers are showing lower correlation with the VCF components.

To extract the percentage cover of shrublands the information from the classifier shrub was correlated to all VCF components to identify where the information of shrub cover is comprised. The highest dependency was detected with the VCF herbaceous dataset. Since MODIS VCF only provides information about trees, herbaceous and barren areas, the goal is it in terms of insulation of the permafrost soil to extract information of shrublands by the harmonization. By using the percentage relationship between the classifier shrub and herbaceous a dataset which provide percentage cover information for

shrublands was calculated. The final synergy product consists of the four LCCS classifiers which are representing the percentage cover information for trees (blue), shrubs (green), herbaceous (red) and barren (black) in each pixel (Fig. 6). Each Pixel equals to 100 % by summarizing all components. This product will be used as boundary condition for the modeling of permafrost distributions by the integration of different parameters like land surface temperature, soil moisture and disturbances (e. g., fire).

Comparison of global and regional fire products in Russia

In this study four burned area products for Russia were compared. Two global (MODIS and GlobCarbon), two regional burned area datasets (AVHRR and SPOT) and the active fire product (World Fire Atlas) were used to create a fire affected area database for the years 1995 to 2009. This database is a combination of all available datasets and provides information about (1) the amount of fire affected areas which can be identified in all products in Russia during the last 14 years, (2) the agreement between the products which can be used as quality information for the detected burn scar and (3) it permits the identification of hot spot areas where a high frequency of fires can be observed.

Fig. 7 is showing the variability of burned areas and active fire as well as the agreement

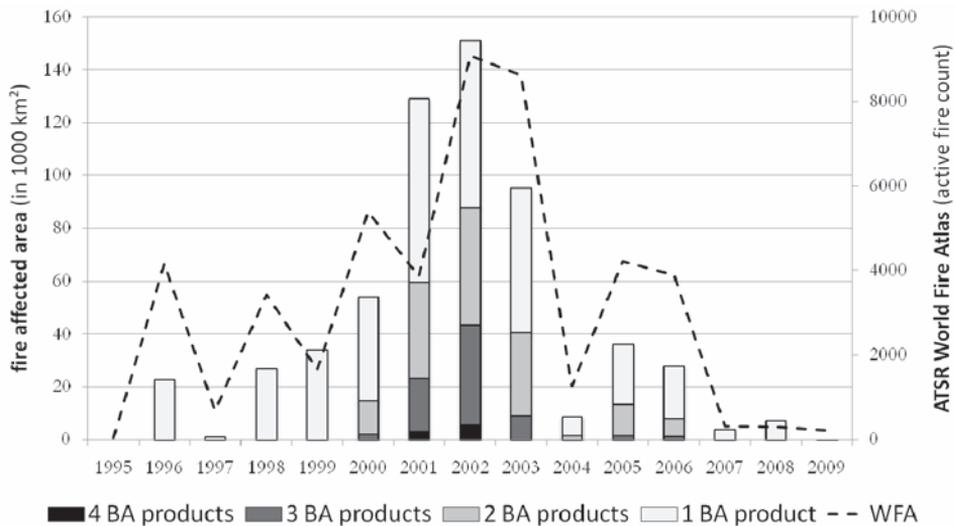


Fig. 7: The agreement of four burned area products for the area of Russia for the years 1995–2009.

between the global and regional burned area products during the last 14 years. It is distinct, that the period from 2001 to 2003 shows the highest fire activity. In contrast, the years at the end of the 1990s and from 2004 up to now showing a fairly lower fire occurrence.

The agreement between the burned area products can be defined as fairly poor during the whole time period. It is to mention that not all four products are available for whole time span. As a reason for the product availability an agreement between all products is only available for the years 2000 to 2002 and an agreement of three products for seven years (2000 to 2006). Fig. 7 shows that the highest amount of burn scars, which can be observed in the fire affected area database, are the result of the detection of only one product algorithm. Especially the years 2001 to 2003, which shows the largest abundance of burned areas seem to be dominated by the detection of only one product. Furthermore a trend can be identified which can be described as: the higher an agreement between burned area products, the lower will be area of the burn scar in the fire affected area database.

The poor agreement between the different fire products can have many reasons. (1) The raw data, which is used for the identification of burn scars, can be contaminated by clouds,

smoke or aerosols which are prevalently existent in fire regions. (2) The data availability of useful images can be limited due to weather condition and satellite tracks especially in the high northern latitudes. (3) The majority of burn scar detection algorithms utilize fixed thresholds for different spectral channels for the extraction in multispectral images. The use of robust classification features, like image specific adjusted thresholds, can avoid misclassification of fire scars. (4) Furthermore, the coarse spatial resolution of 1 km can be a reason for a poor agreement between the fire products. Mixed pixels which include both non-burned and burned areas can be detected in a different way by different algorithms, which lead to a poor agreement between the products.

3 Conclusions

The proposed methodology shows the ability of global and regional vegetation datasets to extract cover percentage information for different vegetation physiognomy and barren areas. Based on the legend descriptions of each global and regional land cover product it was possible to harmonize the datasets to four pre-defined LCCS classifiers which were linked to

the MODIS Vegetation Continuous Field product. Through synergetic combination of the harmonized land cover information and VCF products it was feasible to derive a best estimate dataset which provides information about percentage cover for trees, shrubs, herbaceous and barren areas.

A validation for all utilized products is not available. This leads to a propagation of errors from each dataset to the synergy product. Nevertheless, an advantage of a harmonization and combination is to reduce uncertainties and inconsistencies of different products. The extraction of percentage cover information seems to be a useful harmonization approach. However a definition of percentage cover values for different land cover units depends strongly on the products legend description. The Land Cover Classification System (LCCS) has a high potential as it is working with different hierarchy level. This enables to adjust the described methodology in that way, that each class can contain different vegetation information which can be differentiate. With the conversion of land cover classes to percentage cover information for vegetation physiognomy and barren the possibility and quality of scaling could be improved. As this product will be used for modeling approaches on pan-arctic scale which requires a very coarse resolution of approximate 25 km the information of higher resolution products (1 km) are integrated. Future work will concentrate on the expansion to the pan-arctic scale as only the area of Russia was tested with this methodology.

The comparison of different burned area products in the permafrost regions of Russia has shown low agreements. These products are based on different satellite data and algorithms. A combination of all datasets and the World Fire Atlas was used to create a fire affected area database. In this database the amount of fire affected regions was comprised. The agreement between these products is used to provide confidence information. The more products showed an agreement, the more confident is the burn scar detection.

Future work will be the expansion of the introduced methodologies to the pan-boreal scale as well as the integration to the Permafrost Information System and modeling ap-

proaches in the DUE Permafrost. One key issue will be the update of the Circum Arctic Vegetation Map by WALKER et al. (2005) with the derived land cover information.

Acknowledgements

The ESA DUE Permafrost project is a joint effort of the Friedrich-Schiller-University Jena (Department of Earth Observation), Vienna University of Technology (Institute of Photogrammetry and Remote Sensing), GAMMA Remote Sensing (Switzerland), University of Waterloo (Canada) and Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI – Potsdam/Germany).

References

- ACIA (ARCTIC CLIMATE IMPACT ASSESSMENT), 2004: Impacts of a warming arctic. – Cambridge: Cambridge University Press.
- ANISIMOV, O.A. & RENEVA, S., 2006: Permafrost and Changing Climate: The Russian Perspective. – *Ambio* **35**: 169–172.
- APPS, M., KURZ, W., LUXMOORE, R.J., NILSSON, L.O., SEDJO, R.A., SCHMIDT, R., SIMPSON L.G. & VINSON, T.S., 1993: Boreal Forests and Tundra. – *Water, Air & Soil Pollution* **10** (1–4): 39–53.
- ARINO, O., LEROY, M., RANERA, F., GROSS, D., BICHERON, P., NINO, F., BROCKMANN, C., DEFOURNY, P., VANCUTSEM, C., ACHARD, F., DURIEUX, L., BOURG, L., LATHAM, J., GREGORIO, A.D., WITT, R., HEROLD, M., SAMBALE, J., PLUMMER, S., WEBER, J., GORYL, P., & HOUGHTON, N., 2007a: Globcover – a global land cover service with MERIS. – *Envisat Symposium 2007*, Montreux, Switzerland.
- ARINO, O., PLUMMER, S. & CASADIO, S. 2007b: Fire Disturbance: The Twelve Years Time Series of ATSR World Fire Atlas. – *Envisat Symposium 2007*, Montreux, Switzerland.
- BARTALEV, S.A., EGOROV, V.A., LOUPIAN, E.A. & UVAROV, I.A., 2007: Multi-year circumpolar assessment of the area burnt in boreal ecosystems using SPOT-VEGETATION. – *International Journal of Remote Sensing* **28** (6): 1397–1404.
- BENNINGHOFF, W.S., 1952: Interaction of vegetation and soil frost phenomena. – *Arctic* **5** (1): 34–44.
- CONARD, S.G. & IVANOVA, G.A., 1997: Wildfire in Russian Boreal Forests – Potential Impacts of Fire Regime Characteristics on Emissions and Global Carbon Balance Estimates. – *Environmental Pollution* **98** (3): 305–313.

- CSISZAR, I., JUSTICE, C.O., MCGUIRE, A., COCHRANE, M., ROY, D., BROWN, F., CONARD, S., FROST, P., GIGLIO, L., ELVIDGE, C., FLANNIGAN, M., KASISCHKE, E., MCCRAE, D., RUPP, R., STOCKS, B. & VERBYLA, D., 2004: Land Use and Fires. – Land Change Science: Observing, Monitoring, and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface, Springer, Berlin.
- CUEVAZ-GONZALEZ, M., GERARD, F., BALTZER, H. & RIANOS, D., 2009: Analysing forest recovery after wildfire disturbance in boreal Siberia using remotely sensed vegetation indices. – *Global Change Biology* **15** (3): 561–577.
- DEFRIES, R.S., HANSEN, M.C., TOWNSHEND, J.R., JANETOS, A. & LOVELAND, T.R., 2000: A new global 1-km dataset of percentage tree cover derived from remote sensing. – *Global Change Biology* **6**: 247–254.
- DI GREGORIO, A. & JANSEN, L.J.M., 2005: Land Cover Classification System (LCCS). Classification concepts and user manual – Software Version 2. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- FRIEDL, M.A., MCIVER, D.K., HODGES, J.C., ZHANG, X.Y., MUCHONEY, D., STRAHLER, A.H., WOODCOCK, C.E., GOPAL, S., SCHNEIDER, A., COOPER, A., BACCINI, A., GAO, F. & SCHAAF, C., 2002: Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. – *Remote Sensing of Environment* **83**: 287–302.
- FRIEDL, M.A., SULLA-MENASHE, D., TAN, B., SCHNEIDER, A., RAMANKUTTY, N., SIBLEY, A. & HUANG, X., 2010: MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. – *Remote Sensing of Environment* **114**: 168–182.
- HANSEN, M., DEFRIES, R.S., TOWNSHEND, J.R.G., SOHLBERG, R., DIMICELI, C. & CARROLL, M., 2002: Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: examples using AVHRR and MODIS data. – *Remote Sensing of Environment* **83**: 303–319.
- HEROLD, H., WOODCOCK, C., MAYAUX, P., BELWARD, A., LATHAM, J. & SCHMULLIUS, C., 2006: A joint initiative for harmonization and validation of land cover datasets. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **44**: 1719–1727.
- JUNG, M., HENKEL, K., HEROLD, M. & CHURKINA, G., 2006: Exploiting synergies of global land cover products for carbon cycle modeling. – *Remote Sensing of Environment* **101**: 534–553.
- LANGMANN, B., DUNCAN, B., TEXTOR, C., TRENTMANN, J. & VANDERWERF, G., 2009: Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate. – *Atmospheric Environment* **43**: 107–116.
- LOBODA, T.V. & CSISZAR, I.A., 2004: Estimating burned area from AVHRR and MODIS: validation results and sources of error. – Moscow: Current Aspects of Remote Sensing Earth Space Conference, 415–421, www.iki.rssi.ru/earth/articles/sec9_13.pdf.
- ROY, D. & BOSCHETTI, L., 2008: MODIS Collection 5 Burned Area Product MCD45. – User Guide, V 1.
- ROY, D., LEWIS, P.E. & JUSTICE, C.O., 2002: Burned area map-ping using multi-temporal moderate spatial resolution data – a bi-directional reflectance model-based expectation approach. – *Remote Sensing of Environment* **83**: 263–286.
- ROY, D., FROST, P.G., JUSTICE, C.O., LANDMANN, T., ROUX, J.L., GUMBO, K., MAKUNGA, S., DUNHAM, K., TOIT, R.E., MHWANDAGARA, K., ZACARIAS, A., TACHEBA, B., DUBE, O.P., PEREIRA, J.M., MUSHOVE, P., MORISSETTE, J.T., VANNAN, S.K. & DAVIES, D., 2005: The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned-area product-validation protocol. – *International Journal of Remote Sensing* **26**: 4265–4292.
- SCHUR, E.A., BOCKHEIM, J., CANADELL, J.G., EUSKIRCHEN, E., FIELD, C.B., GORYACHKIN, S.V., HAGEMANN, S., KUHR, P., LAFLEUR, P.M., LEE, H., MAZHITOVA, G., NELSON, F.E., RINKE, A., ROMANOVSKY, V.E., SHIKLOMANOV, N., TARNOCAI, C., VENEVSKY, S., VOGEL, J.G. & ZIMOV, S.A., 2008: Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change: Implications for the Global Carbon Cycle. – *BioScience* **58** (8): 701–714.
- SIMON, M., PLUMMER, S., FIERENS, F., HOELZEMANN, J.J. & ARINO, O., 2004: Burnt area detection at global scale using ATSR-2: The GLOBSCAR products and their qualification. – *Journal of Geophysical Research* **109**: 1–16.
- SOJA, A.J., SUKHININ, A.I., CAHOON JR., D.R., SHUGART, H.H. & STACKHOUSE JR., P.W., 2004: AVHRR-derived fire frequency, distribution and area burned in Siberia. – *International Journal of Remote Sensing* **25** (10): 1939–1960.
- SUKHININ, A.I., FRENCH, N.H.F., KASISCHKE, E.S., HEWSON, J.H., SOJA, A.J., CSISZAR, I.A., HYER, E., LOBODA, T., CONARD, S.G., ROMASKO, V.I., PAVLICHENKO, E.A., MISKIV, S.I. & SLINKINA, O.A., 2004: AVHRR-based mapping of fires in Russia: New products for fire management and carbon cycle studies. – *Remote Sensing of Environment* **93** (4): 546–564.
- WALKER, A.D., RAYNOLDS, M.K., DANIELS, F.J., EINARSSON, E., ELVEBAKK, A., GOULD, W.A., KATENIN, A.E., KHOLOD, S.S., MARKON, C.J., CARL, J., MELNIKOV, E.S., MOSKALENKO, N.G., TALBOT, S.S. & YURTSEV, B.A., 2005: The Circumpolar Arctic vegetation map. – *Journal of Vegetation Science* **16**: 267–282.

Addresses of the Authors:

MARCEL URBAN M.Sc., SÖREN HESE, STEFAN PÖCKING & CHRISTIANE SCHMULLIUS, Friedrich Schiller Universität Jena, Institut für Geographie, Department of Earth Observation, D-07745 Jena, Tel.: +49-3641-9-48887, Fax: 48882, e-mail: Marcel.Urban@uni-jena.de

MARTIN HEROLD, Wageningen University, Laboratory of Geo-Information Science and Remote Sensing, Droevendaalsesteeg 3 Gaia, 6708 PB Wageningen, Niederlande, e-mail: Martin.Herold@wur.nl

Manuskript eingereicht: Februar 2010

Angenommen: April 2010



Fernerkundung an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) – Umsetzung von Forschungsergebnissen in die forstliche Praxis

GU DRUN BUCK, RUDOLF SEITZ & ARMIN TROYCKE, Freising-Weihenstephan

Keywords: Stereointerpretation, digitale Luftbilder, objektbasierte Klassifizierung, Airborne Laserscanning, semi-automatische Baumartenklassifizierung

Summary: *Remote Sensing at Bavarian State Institute of Forestry – Transfer of Research Results in Forestry Practice.* The publication focuses on the presentation of remote sensing activities of the Bavarian State Institute of Forestry (LWF). The LWF primarily uses aerial, digital photography for the assessment of various forest parameters. Therefore, stereoscopic approaches are in use as well as the semi-automatic method of object-based image analysis. Besides that, airborne laserscanning data are used for the discrimination of various forest parameters like stand height and canopy gaps. Mid-resolution satelliteborne data like TerraSAR-X and RapidEye are taken into consideration for the creation of fast response systems answering to the information requirements of forest practice in the aftermath of abiotic and biotic calamities.

Zusammenfassung: Die Veröffentlichung gibt einen Überblick über die Fernerkundungsaktivitäten der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Die LWF benutzt in erster Linie digitale Luftbilddaten zur Erhebung verschiedener forstlicher Parameter wie z. B. die Waldzusammensetzung. Zu diesem Zweck werden sowohl stereoskopische Auswertungen als auch semi-automatische Verfahren auf Basis von objektbasierter Bildanalyse durchgeführt. Daneben werden Airborne Laserscanning-Daten zur Erhebung von Parametern wie Bestandeshöhen und Kronenlücken genutzt. Satellitendaten mittlerer bis hoher Auflösung, wie z. B. TerraSAR-X und RapidEye, werden zur Erstellung von Unterstützungssystemen im Anschluss an biotische und abiotische Kalamitäten herangezogen.

1 Einführung

Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über die an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) mit Fernerkundungsmethoden bearbeiteten Fragestellungen und die dabei eingesetzten Daten.

1.1 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Die LWF ist die Ressortforschungseinrichtung des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

(StMELF). Sie unterstützt die Forstbehörden bei der Erfüllung ihrer Aufgaben. Sie betreibt national und international vernetzte Wald-Forschung. Die LWF arbeitet unter dem Dach des Zentrums Wald-Forst-Holz eng mit der Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement der TU München und der Fakultät Wald und Forstwirtschaft der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf zusammen und kooperiert zudem mit zahlreichen Fachbehörden, Forschungsanstalten und den bayerischen Nationalparks (Bayerischer Wald und Berchtesgaden) über gemeinsame Projekte.

1.2 Wald und Forstwirtschaft in Bayern

Die Landesfläche Bayerns ist zu rund 36 % von Wald bedeckt, dies entspricht ca. 2,6 Mio. ha bestockter Fläche. Die Wälder Bayerns sind zu ca. 30 % in staatlichem Besitz. Der weit überwiegende Teil der Waldfläche ist in privatem und in geringeren Anteilen auch in kommunalem und Bundes-Besitz. Mit rund 46 % stellt die Fichte (*Picea abies*) die Hauptbaumart dar, gefolgt von Kiefer (18%) und Buche (16%) (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 2009). Mit rund 250.000 ha in den Bayerischen Kalkalpen verfügt Bayern als einziges deutsches Bundesland über Waldflächen in Hochgebirgslagen.

Die Bewirtschaftung der staatlichen Wälder obliegt den Bayerischen Staatsforsten AöR. Die Bayerische Forstverwaltung berät und unterstützt private Waldbesitzer und deren Zusammenschlüsse, übernimmt im Körperschaftswald Betriebsleitung und -ausführung und nimmt hoheitliche Aufgaben wahr.

1.3 Rahmenziele zum Einsatz von Fernerkundungsmethoden und -daten

Die Anwendung und Erforschung von Fernerkundungstechnologien an der LWF orientiert sich maßgeblich an vier Rahmenzielen:

- Unterstützung und Vereinfachung von Praxisabläufen und -verfahren wo möglich.
- Ausrichtung der angewandten und zu entwickelnden Methoden an den Anforderungen der Praxisverfahren.
- Überwiegende Einbeziehung von Daten die nachhaltig im Rahmen einer Ressortvereinbarung mit der Bayerischen Vermessungsverwaltung oder durch Projektkooperationen zur Verfügung stehen.
- Orientierung am Bedarf der Bayerischen Forstverwaltung sowie der bayerischen Forstwirtschaft.

Der Praxisbedarf an Fernerkundungsmethoden und -daten wurde beispielsweise im Jahr 2009 von der Technischen Universität München im Rahmen eines Projektes erhoben (FELBERMEIER 2010). Die Ergebnisse weisen in

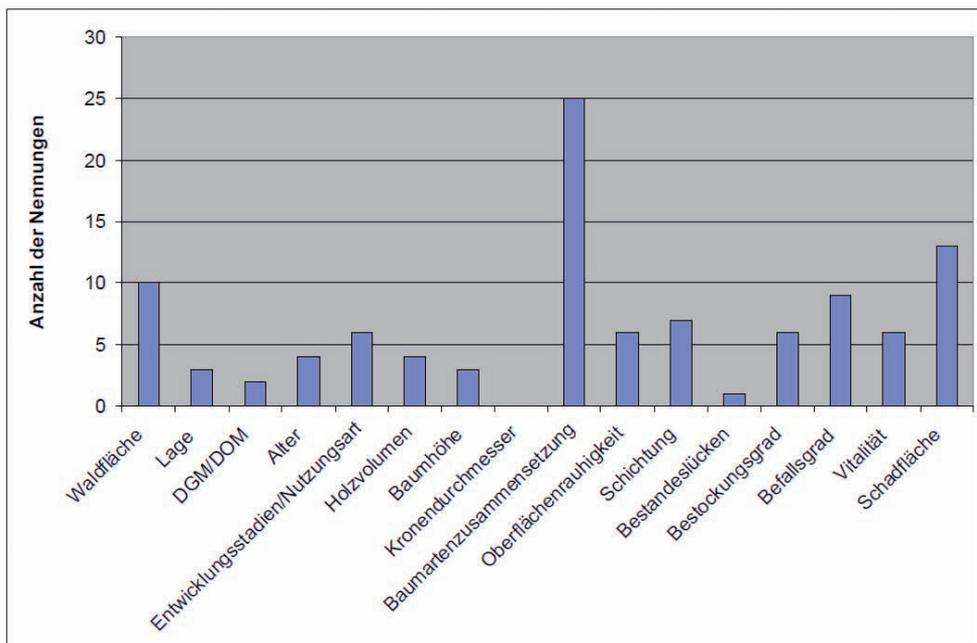


Abb. 1: Bedarf an Fernerkundungsdaten nach forstlichen Parametern gegliedert; Nennungen im Rahmen eines Workshops an der LWF (FELBERMEIER 2010).

den Aufgabengruppen „Waldbau“ und „Waldschutz“ den größten Bedarf an aktuellen, mit Fernerkundungsmethoden erhobenen Informationen auf. Im Bereich „Waldbau“ dominieren Parameter wie: „Baumartenzusammensetzung“, „Flächen und Grenzen des Waldes“, „Entwicklungsstadien“, „Schichtung“, „Baumhöhe“, „Holzvorrat“, „Alter“ und „Bestockungsgrad“. In der Aufgabengruppe „Waldschutz“ dominiert der Bedarf nach Aussagen zu: „Vitalität“, „Befallsgrad“ und „Schadensfläche“ von Waldbeständen (vgl. Abb. 1).

2 Nutzung von Fernerkundungsdaten und -methoden an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Die Nutzung von Fernerkundungsdaten an der LWF orientiert sich aus Kosten- und Synergieaspekten strikt an Luftbildern und Laserscanningdaten, die im Rahmen einer Ressortvereinbarung mit der Bayerischen Vermessungsverwaltung zur Verfügung stehen. Satellitengebundene Sensorsysteme werden derzeit im Rahmen von Projektkooperationen verwendet. Die Fernerkundungsaktivitäten an der LWF sind im Sachgebiet „GIS und Fernerkundung“ angesiedelt und erfolgen in enger Kooperation mit den fachlich zuständigen Kollegen der Abteilungen Waldökologie, Waldbewirtschaftung und Wald und Gesellschaft.

2.1 RGB-Orthophotos

Das Bayerische Landesamt für Vermessung und Geoinformation (LVG) stellt seit 2002 RGB- (Echtfarben-) Orthophotos zur Verfügung. Im Dreijahres-Turnus wird dabei die gesamte Landesfläche Bayerns einmal befliegen. 2009 wurden im Rahmen dieser Befliegung erstmals digitale Kamerasysteme (Matrixkameras) verwendet. Die Auflösung dieser Luftbilddaten beträgt mittlerweile 20 cm, die Auslieferung erfolgt als tif-File bzw. komprimiert im mrSID- bzw. jpg2000-Format. Als orthorektifizierte Luftbilder stellen die Daten

den Hauptteil der angeforderten Fernerkundungsprodukte dar.

Seit 2009 stellt das LVG die RGB-Orthophotos auch in Originalauflösung im Rahmen eines Web Map Services (WMS)-Dienstes zur Verfügung.

2.2 Einsatz von CIR-Luftbildern im Rahmen von Natura 2000

Die Aussagekraft der RGB-Luftbilder ist bedingt durch die verhältnismäßig schwache und gering differenzierende Reflektion der Vegetation im Bereich des sichtbaren Lichts nur begrenzt (vgl. z. B. Huss et al. 1984). Zur eingehenderen Interpretation, insbesondere der Interpretation von Baumarten, werden daher üblicherweise Farbinfrarot (Colour Infrared – CIR)-Luftbilder verwendet. Aufgrund der ausgeprägten Differenzierung der Vegetationsformen im Bereich des nahen Infrarots eignet sich diese Datenquelle besonders zur Unterscheidung unterschiedlicher Baumarten sowie zur Detektion von Vitalitätseinschränkungen lebender Vegetation (HILDEBRANDT 1996; siehe Abb. 2).

An der LWF wird diese Datenquelle im Moment schwerpunktmäßig zur Erfassung und Bewertung von Lebensraumtypen des Hochgebirges im Rahmen des europäischen Biotopverbundnetzes Natura 2000 eingesetzt. Im bayerischen Hochgebirge ist die im Flachland übliche Vorgehensweise der terrestrischen Kartierung des Erhaltungszustandes der Lebensraumtypen gemäß der FFH-Richtlinie nur auf Teilflächen möglich. Die kurze Vegetationsperiode und die teils extreme Topographie erfordern hier auf ca. 120.000 ha Schutzgebietsfläche ein alternatives Vorgehen.

Aus dieser Motivation heraus entwickelte die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf in Zusammenarbeit mit der LWF sowie der damaligen Forstdirektion Oberbayern-Schwaben eine Methode zur Modellierung von potentiellen FFH-Lebensraumtypen für die Bereiche, für die ausreichende Informationen aus der Standortserkundung und der forstlichen Betriebsplanung fehlten. Durch eine Verschneidung von Geoparametern wie Exposition, Hangneigung und Höhe über NN aus digitalen

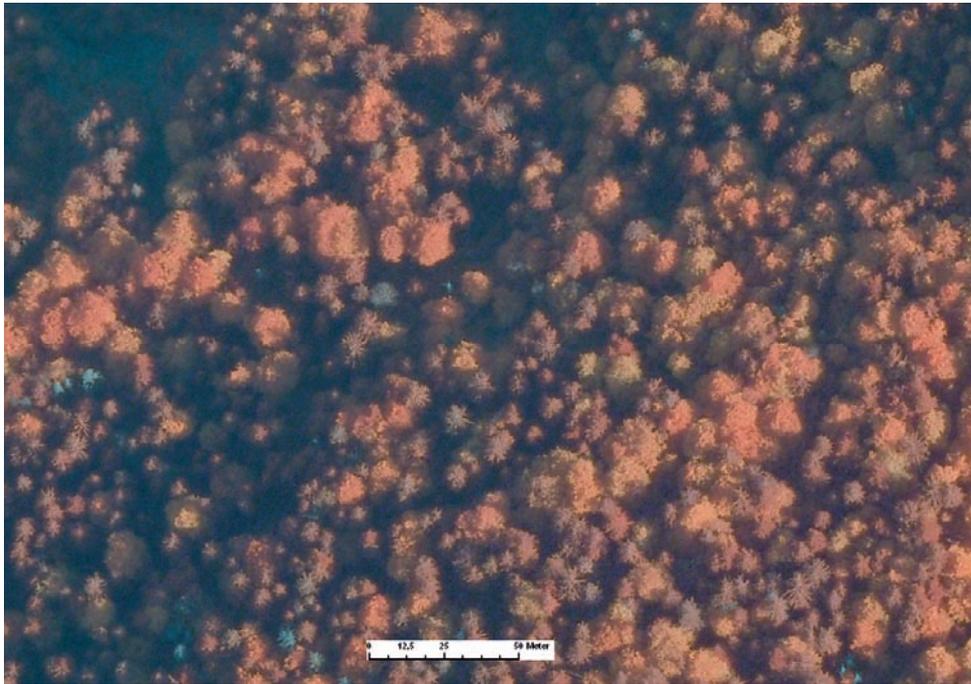


Abb. 2: Digitales Farbinfrarot-Luftbild, Befliegung 2009, Vexcel UltraCam-X; Quelle: Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation.

Geländemodellen mit Standortsinformationen der geologischen Karte wurden dabei potentiell vorkommende Lebensraumtypen abgeleitet (BINNER & SEITZ 2009). Der notwendige Abgleich dieser Modellergebnisse, einer Karte über die potentiellen Lebensraumtypen des FFH-Gebietes, mit dem Status Quo der Baumartenverteilung wurde im Rahmen eines Pilotprojektes zunächst mit amtlichen stereoskopischen RGB-Luftbildern und Orthophotos, ab 2005 mit gescannten, analogen CIR-Luftbildern durchgeführt. Da im Hochgebirge neben der Geologie die Topographie und die Baumartenzusammensetzung die ausschlaggebenden Einflussgrößen auf die Ausprägung der Lebensraumtypen darstellen, kann mit dieser Methode ein bedeutender Teil der großflächig vorkommenden, zonalen Buchenwald-Lebensraumtypen mit hinreichender Genauigkeit bereits im Stereoluftbild identifiziert werden. Zweifelsfälle bzw. die prioritären und azonalen Lebensraumtypen werden der terrestrischen Kartierung zur abschließenden Klärung übergeben.

Zur Vermeidung umfangreicher Digitalisierungsarbeiten wird die notwendige Abgrenzung der Waldflächen gegenüber den nicht bestockten Offenlandbereichen im Rahmen einer objektbasierten Klassifikation der orthorektifizierten Luftbilder unter Verwendung der Software Definiens eCognition durchgeführt. Im Gegensatz zu pixelbasierten Klassifizierungsansätzen erweist sich der objektbasierte Algorithmus im Rahmen der Klassifizierung als stabiler.

Die Vorstratifizierung der Luftbildinhalte im Rahmen der Segmentierung ermöglicht im Gegensatz zu pixelbasierten Verfahren eine Klassifizierung der hochauflösenden Luftbilder ohne die Ausweisung einer übermäßigen Anzahl an Klassen bzw. Mischpixeln.

Die Interpretationsarbeiten innerhalb der dabei erfassten Waldfläche werden an einer digitalen Stereo-Auswertungsstation durchgeführt. Hierzu wird die Software Stereo Analyst für ArcGIS benutzt. Dabei werden auch Erkenntnisse aus der digital vorliegenden Alpenbiotopkartierung (ABK) des bayerischen

Landesamtes für Umwelt (LfU) übernommen. Die ABK liefert eine aktuelle Inventur wertvoller Landschaftsteile der Bayerischen Alpen, die für die Erhaltung der Artenvielfalt, für die Erhaltung speziell angepasster Tier- und Pflanzenarten und damit für den Naturhaushalt von Bedeutung sind. Sie ist eine vegetationskundlich-floristisch ausgerichtete Kartierung. Ob eine Fläche als Biotop erfasst wird, richtet sich danach, ob ihr Erscheinungsbild einem oder mehreren der in der Kartieranleitung des LfU beschriebenen Biotoptypen zuordnen lässt.

Das Verfahren der stereoskopischen Luftbildinterpretation ermöglicht es, ca. 80 % der Lebensraumtypen bei einem durchschnittlichen Flächenfortschritt von 250 ha/Tag zu interpretieren. Für die abschließenden Geländearbeiten werden speziell geschulte Natura 2000-Kartierer der Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten mit Begangsunterlagen auf der Grundlage von CIR-Orthophotos ausgestattet.

Die Erhebung der Parameter im Rahmen der Bewertung der FFH-Lebensraumtypen erfolgt ebenfalls in weiten Bereichen auf der Basis von stereoskopischen CIR-Luftbildern. Hierzu wurde 2009 ein entsprechendes Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit der Abteilung „Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme“ (FeLIS) der Ludwig-Albrecht-Universität Freiburg abgeschlossen (KOCH et al. 2009). Insbesondere die Kenngrößen „Baumartenzusammensetzung“, „Entwicklungsstadien“, „luftbildsichtbares Totholz“, „luftbildsichtbare Biotopbäume“ und mehrere relevante Beeinträchtigungen des Erhaltungszustandes der Lebensraumtypen können dem Stereo-CIR-Luftbild entnommen werden. Hierzu werden sowohl Stichprobenverfahren als auch polygonbasierte Auswertungen durchgeführt (BAUER & SEITZ 2010).

2.3 *Semi-automatische Baumartenerkennung*

Die vom Bayerischen Landesamt für Vermessung und Geoinformation bereitgestellten Luftbilder der regelmäßigen Bayernbefliegung werden seit 2009 mit digitalen Matrixkameras angefertigt. Die Bilddaten stehen in einer

Farbtiefe von bis zu 16 bit kanalgetrennt in den Spektralbändern Rot, Grün, Blau und nahes Infrarot (NIR) zur Verfügung. Durch die verbesserten Bildeigenschaften im Bereich der Farbwiedergabe und Kontrastierung besitzen sie eine deutlich höhere Aussagekraft als analoge, gescannte Luftbilder. Neben der stereoskopischen Verwendung im Bereich Natura 2000 (siehe Abschnitt 2.2) werden die Bilddaten für objektbasierte Strukturerkennung herangezogen. Dieser Forschungsansatz basiert auf konkreten Anforderungen aus der forstlichen Praxis, die im Verlauf eines Projektes in Kooperation mit der TU München, Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung, durch Umfragen erhoben wurden (FELBERMEIER et al. 2010).

Demnach herrscht vor allem Bedarf an Aussagen über die Baumartenverteilung, die Waldfläche sowie die Waldgrenzen.

Eine alternative Methode zur visuellen Stereo-Luftbildinterpretation stellt die Erfassung der Baumartenverteilung durch eine objektbasierte Luftbildanalyse dar. Dieses Verfahren konnte im Rahmen eines Forschungsprojektes 2009 für die Baumart Fichte (*Picea abies*) erstellt und getestet werden (GEOCREATIV 2009). Die 4-Kanal-Luftbilder des LVG mit 20 cm Auflösung wurden zu diesem Zweck zunächst bezüglich ihrer Histogramme homogenisiert. Durch eine daran anschließende Klassenbildung konnten homogene Baumartenflächen erzeugt werden. In einem abschließenden Schritt wurden diese segmentiert und als Polygonflächen aus den Luftbilddaten extrahiert (siehe Abb. 3). Das Verfahren lieferte Trefferquoten von rund 80 %. Dabei konnten erwartungsgemäß ältere Bestände mit höherer Genauigkeit erfasst werden als Jungbestände. Jedoch wurden auch junge Fichtenbestände (jünger als 40 Jahre) mit Genauigkeiten um 80 % korrekt angesprochen. Sogar in dieser Altersklasse konnten z. B. einzeln beigemischte Fichten in Douglasien-Dickungen erkennbar gemacht werden. Dies ist im Rahmen einer herkömmlichen 3D-Luftbildinterpretation nicht möglich.

Damit kann das Verfahren zukünftig wichtige Grundlagen für die gemeinwohlorientierte Beratung liefern. Vor dem Hintergrund des Klimawandels ließen sich durch eine Verschneidung mit Standortinformationen bei-



Abb. 3: Semi-automatische Klassifizierung von Fichte (*Picea abies*) auf der Grundlage digitaler Luftbilder des Bayerischen Landesamtes für Vermessung und Geoinformation. Gelb: Erfasste Fichtenkronen. Quelle: GEOCREATIV (2009).

spielsweise besonders umbaudringliche Fichtenflächen identifizieren. Darüber hinaus können die Projektergebnisse auch unmittelbar bei der Erfassung und Bewertung von FFH-Wald-Lebensraumtypen sowie der Abgrenzung von Arten-Habitaten im Hochgebirge eingesetzt werden.

2.4 Verwendung von amtlichen Airborne Laserscanning-Daten

Seit 1996 werden am Bayerischen Landesamt für Vermessung und Geoinformation Airborne Laserscanning-Daten zur Erstellung hochpräziser Geländemodelle erhoben. Die Erfassung der Landesfläche Bayerns wird im Win-

ter 2010/11 voraussichtlich abgeschlossen sein (mündl. Mitteilung LVG 2009). Der LWF stehen sowohl die Geländemodelle in 2 bzw. 5 m-Auflösung als auch die Rohdaten (first and last pulse) zur Verfügung.

Die Verwendbarkeit dieser amtlichen Daten mit einer durchschnittlichen Punktedichte von ca. 1,8 Punkte/m² wurde von FeLIS im Rahmen eines Forschungsauftrags der LWF 2008 untersucht (KOCH et al. 2008). Die Ergebnisse bescheinigten den Daten eine Vielzahl von forstlichen Anwendungsbereichen wie z. B. Wald/Offenlandabgrenzung, Bestandsabgrenzung über die Oberhöhe, Lückendetektion und Erfassung der Bestandsschichten. Diese Ergebnisse wurden im Rahmen der in Abschnitt 0 beschriebenen Vorgehensweise zur Bewertung von FFH-Lebensraumtypen im Hochgebirge wieder aufgegriffen.

Ermöglicht die Stereointerpretation von CIR-Luftbildern systembedingt lediglich die Interpretation des oberen Kronenraumes, ist es demgegenüber mit den im blattfreien Zu-

stand der Baumschicht erfassten Laserscanningdaten möglich, darunter liegende Bestandsschichten sowie Höhen in ausreichender Präzision zu erheben. So können über eine Klassifizierung der reflektierten Laserimpulse Anzahl und Höhe von Vegetationsschichten und diverse Strukturen (Grate, Gräben etc.) erfasst werden. Die Aussage über die Bestandshöhen ermöglicht einen Rückschluss auf die in den Lebensraumtypen vorkommenden Entwicklungsstadien der Baumkollektive (siehe Abb. 4).

2.5 Integration von Satellitendaten in einem Entscheidungs- und Unterstützungssystem für die forstliche Betriebsplanung und des forstlichen Katastrophenmanagements

Im Anschluss an großflächige Schadereignisse aufgrund von Schadinsekten bzw. Wind-

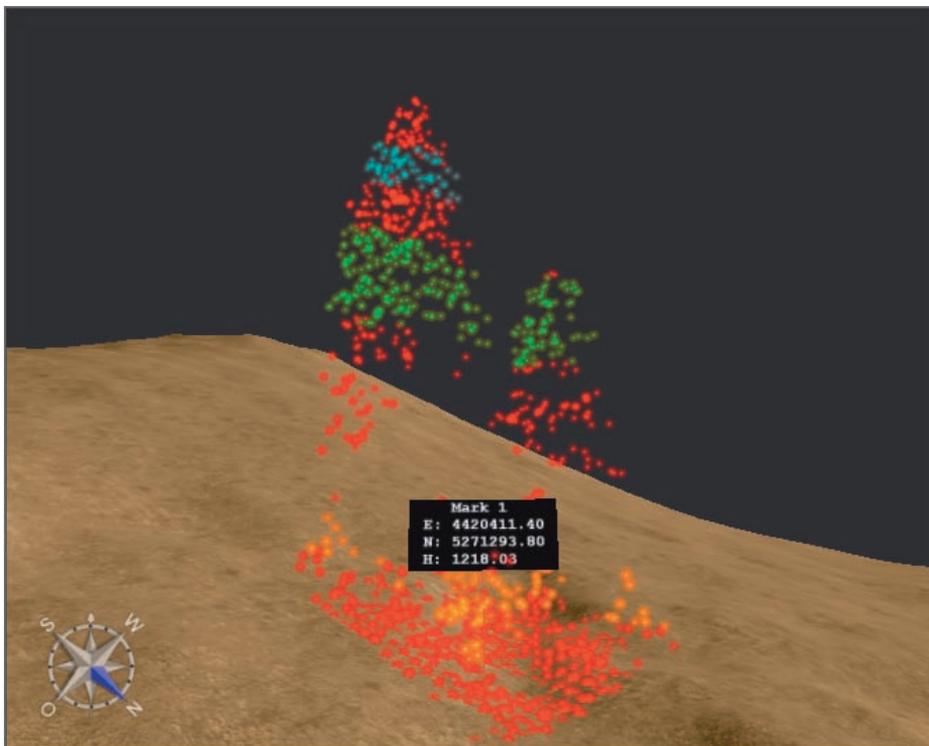


Abb. 4: Bestandsschichten in einer Laserscanning-Zelle von 20 x 20 m. Blau, grün, orange: Erfasste Bestandsschichten; rot: nicht als Schicht klassifizierte Reflektionen (KOCH et al. 2009).

wurf oder Schneebruch werden schnellstmöglich Informationen über die Masse und die räumliche Verteilung, Zusammensetzung und Holzvolumen der geschädigten Waldbestände benötigt. Dabei steht die witterungsunabhängige, möglichst zeitnahe Durchführung der Veränderungsdetektion im Vordergrund.

Vor diesem Hintergrund führt die LWF als Projektpartnerin des Fachgebiets Waldinventur und nachhaltige Nutzung (IFM) und des Institutes für Photogrammetrie und Fernerkundung der Universität Karlsruhe (IPF) ein entsprechendes Forschungsprojekt durch. Finanziert mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie werden dabei die Satellitensysteme RapidEye und TerraSAR-X auf ihre Verwendbarkeit geprüft. Beiden Systemen gemein sind ihre Verfügbarkeit für zivile Zwecke, die hohe zeitliche Wiederholungsfrequenz ihrer Aufnahmen sowie die Auflösung von deutlich unter 10 Meter. Während TerraSAR-X auf Radarbasis arbeitet und auch bei ungünstiger Witterung bzw. nachts einsatzfähig ist, operiert RapidEye auf optischer Grundlage und deckt das gesamte sichtbare und NIR-Spektrum der von der Erdoberfläche reflektierten Strahlung ab.

Ziel des Projektes ist die Schaffung eines Entscheidungs- und Unterstützungssystems für Katastrophenfälle. Durch die möglichst zeitnahe Erfassung der Waldflächenveränderung sollen Managementinformationen wie betroffene Flächen, Waldbesitzarten, Baumarten und Holzmenen bereitgestellt werden.

3 Ausblick

Die Nutzung von Fernerkundungsdaten und -methoden an der LWF wird auch zukünftig zwei zentrale und eng miteinander verknüpfte Aufgabenfelder umfassen. Zum Einen die unmittelbare Einbindung in die operative Aufgabenerfüllung der Bayerischen Forstverwaltung (Bsp. Natura 2000) und zum Anderem die Weiterentwicklung von Methoden im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Anwendung und Entwicklung orientieren sich dabei strikt an der erforderlichen Aussagequalität und dem Ziel Praxisabläufe und -verfahren zu unterstützen und zu vereinfachen.

Anwendungs- und Entwicklungsschwerpunkte sind dabei insbesondere die Kombination aus pixel- und objektbasierter Klassifizierung sowie die Substitution voraussichtlich nicht periodisch aktualisierter amtlicher Laserscanning-Daten durch die Erstellung digitaler Oberflächenmodelle aus Stereoluftbildern. Weiterhin soll im Rahmen eines fachlichen Austauschs mit der Vermessungsverwaltung die Standardisierung und Homogenisierung von digitalen Luftbildern gemeinschaftlich vorangetrieben werden.

Referenzen

- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 2009: Baumartenverteilung in Bayern. – www.forst.bayern.de/forstpolitik/wald_in_zahlen/28097/index.php.
- BAUER, C. & SEITZ, R., 2010: FFH-Schutzobjekte aus der Luft bewerten – Luftbilder und Airborne Laserscanning-Daten ermöglichen die effiziente Bewertung großflächiger Wald-Lebensraumtypen in den Bayerischen Alpen. – LWF aktuell **76**, im Druck.
- BINNER, S. & SEITZ, R., 2009: Natura 2000-Kartierung im Bergwald – Mit Fernerkundung und GIS zuverlässig und kostensparend FFH-Gebiete erfassen und bewerten. – LWF aktuell **69**, Freising, 67 Seiten.
- FELBERMEIER, B., 2010: Bedarfsanalyse zum Einsatz der Fernerkundung in der bayerischen Forstwirtschaft. – Unveröffentlichter Bericht, Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung, TU München, 140 Seiten.
- GEOCREATIV, 2009: Semi-automatische Erfassung von Fichtenbeständen (*Picea abies*) aus digitalen Luftbildern für den klimagerechten Waldbau. – Unveröffentlichter Bericht, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 30 Seiten.
- HILDEBRANDT, G., 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. – 1. Auflage, Wichmann Verlag, Heidelberg, 676 Seiten.
- HUSS, J. (Hrsg.), 1984: Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. – Wichmann Verlag, Karlsruhe, 406 Seiten.
- KOCH, B., BALIC, N., FASSNACHT, F., DEES, M., HEINZEL, J., STRAUB, C., WANG, Y. & WEINACKER, H., 2006: Untersuchung der Nutzungsmöglichkeiten von amtlichen Laserscannerdaten für den Wald-Forst-Bereich – Entwicklung von

Methoden zur Parametrisierung zur Beantwortung von Fragestellungen aus forstlichen Inventur- und Monitoringaufgaben. – Unveröffentlichter Bericht, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 68 Seiten.

KOCH, B., DEES, M., GROSS, C.P., WANG, Y. & ZIELWSKA, K., 2009: Entwicklung eines GIS- und fernerkundungsgestützten Verfahrens zur Bewertung des Erhaltungszustandes von Wald-Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie in den FFH-Gebieten der Alpenen Biogeografischen Region Bayerns. – Unveröffentlichter Bericht, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 139 Seiten.

Adresse der Autoren:

GUDRUN BUCK, RUDOLF SEITZ, ARMIN TROYCKE, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Sachgebiet GIS und Fernerkundung, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, D-85534 Freising, Tel.: +49-8161-71-0, Fax: -4971, e-mail: Gudrun.Faisst@lwf.bayern.de, Armin.Troycke@lwf.bayern.de, Rudolf.Seitz@lwf.bayern.de.

Manuskript eingereicht: Februar 2010
Angenommen: April 2010



Professor Dr.-Ing. Dr. E. h. mult. Fritz Ackermann 80 Jahre – Hochschullehrer, Innovator und Entwickler der modernen Photogrammetrie

DIETER FRITSCH, Stuttgart

Keywords: Analytical Photogrammetry, Digital Photogrammetry, Image Matching, GPS-supported Bundle Block Adjustment, Airborne Laser Profiling, Digital Terrain Models

Summary: *Professor Dr.-Ing. Dr. E. h. mult. Fritz Ackermann 80 Years – Professor, Innovator and Developer of Modern Photogrammetry.* Professor FRITZ ACKERMANN belongs to a group of internationally well-known professors, researchers and developers of analytical and digital photogrammetry. His name joins a list of prominent representatives like Duane C. BROWN, FRED DOYLE, GOTTFRIED KONECNY, UNO V. HELAVA – just to name few of this generation. During a seminar at Stuttgart University on the occasion of his 80th birthday his works were reflected and an insight into the present and future photogrammetric research and developments was given.

Zusammenfassung: Professor FRITZ ACKERMANN gehört zu einer Gruppe weltweit bekannter Hochschullehrer, Forscher und Entwickler der analytischen und digitalen Photogrammetrie. Sein Name reiht sich ein in eine Liste prominenter Vertreter wie DUANE C. BROWN, FRED DOYLE, GOTTFRIED KONECNY, UNO V. HELAVA, um nur einige Namen dieser Generation aufzuführen. Anlässlich seines 80. Geburtstags wurden im Rahmen eines Kolloquiums an der Universität Stuttgart sein Werk reflektiert und Einblicke in die gegenwärtige und zukünftige photogrammetrische Forschung und Entwicklung gegeben.

1 Einleitung

Am 1. November 2009 vollendete Professor FRIEDRICH ACKERMANN in guter Gesundheit sein 80. Lebensjahr. Der Gründer des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart (1966) und Direktor bis Ende März 1992 hat die Entwicklungen der analytischen und digitalen Photogrammetrie wesentlich beeinflusst. Aus diesem Grund veranstaltete das Institut für Photogrammetrie am 6. November 2009 ein Festkolloquium, an dem mehr als 220 Gäste aus dem In- und Ausland teilnahmen. Neben Grußworten des Dekans der Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie, Herrn Professor ALFRED KLEUSBERG, dem Vorsitzenden des Vereins der Freunde des Studiengangs Geodäsie und Geoinformatik an der Universität Stuttgart (F2GEOS), Präsident HANSJÖRG SCHÖNHERR, der Präsidentin der Deutschen Gesellschaft für Photo-

grammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF), Frau Professor CORNELIA GLÄSSER, des Präsidenten der Europäischen Gesellschaft für Geodaten-Forschung (EuroS-DR), Herrn Dr. ANTONIO AROZARENA (Abb. 1) und des Präsidenten der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS), Herrn Professor ORHAN ALTAN (Abb. 2) gab es drei Festvorträge, die die Entwicklungslinien von den 1960er Jahren über das Jahr 2010 hinaus aufzeigten. Hierzu kamen die Herren Professoren EDWARD M. MIKHAIL, ein langjähriger Wegbegleiter von Professor ACKERMANN, WOLFGANG FÖRSTNER, Professor an der Universität Bonn und ehemaliger Mitarbeiter am Institut für Photogrammetrie und der Nachfolger von Prof. ACKERMANN, DIETER FRITSCH, zu Wort. In einer Abschlussrede bedankte sich Prof. ACKERMANN für die Grußworte, bei den Festrednern für ihre Beiträge sowie bei allen Anwesenden für



Abb. 1: Professor FRITZ ACKERMANN (Mitte), Dr. ANTONIO AROZARENA, Präsident EuroSDR, Prof. DIETER FRITSCH (Kolloquium am 6. 11. 2009).



Abb. 2: Prof. ORHAN ALTAN, Präsident ISPRS, Prof. FRITZ ACKERMANN, Frau PAULA MAURMAIR (Kolloquium am 6. 11. 2009).

ihre Teilnahme am Geburtstagskolloquium. Anschließend lud das Institut für Photogrammetrie (ifp) im Foyer des Tiefenhörsaals 17.01 (Stadtmitte Universität Stuttgart) zu einem kleinen Empfang ein, um die Festveranstaltung in zwangloser Atmosphäre abzurunden.

Herr Professor FRITZ ACKERMANN ist für viele Photogrammeter der jüngeren Generation nach wie vor ein Vorbild. Durch enge Verbindung von Grundlagenforschung und Anwendung hat er es verstanden, nicht nur immer wieder neue Themen aufzugreifen, in ihren Grundlagen auszuarbeiten und Pilotprojekte zu initiieren, sondern auch umfangreiche Softwareentwicklungen in Auftrag zu geben und der Praxis anzubieten. Genau diese Form von Technologietransfer hat erst der analytischen, dann der digitalen Photogrammetrie geholfen, ihr Leistungspotenzial in der photogrammetrischen Praxis täglich immer wieder neu zu entdecken und anzuwenden. Nicht zuletzt ist damit auch die Automation bei der Auswertung von Messprozessen permanent weiterentwickelt worden.

Das Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart ist seinem Gründer und langjährigen Direktor dafür sehr dankbar. Wir haben diese Art des wissenschaftlichen Arbeitens weitergeführt und konnten das Erbe von Herrn Professor ACKERMANN weiter ausbauen. Das ifp Stuttgart steht heute noch immer weltweit als wissenschaftlicher Berater für viele Bereiche der Photogrammetrie und Geoinformatik zur Verfügung. Eine große Anzahl nationaler und internationaler Doktoranden forscht und entwickelt an spannenden Themen in den Bereichen photogrammetrische Bildaufzeichnung, LiDAR (Flugzeug, terrestrisch und mobil), 3D-Stadtmodellen mit Anwendungen, 3D-Generalisierung, Qualitätsbeschreibung von Geodaten sowie die digitale Konservierung von Weltkulturdenkmälern. Dabei steht stets die Automation im Vordergrund.

2 Verdienste von Professor Fritz Ackermann

FRITZ ACKERMANN wurde am 1. November 1929 in Moosbeuren (Ehingen) an der Donau geboren. Infolge des zweiten Weltkriegs war

seine Schulausbildung wie die von vielen seiner Generation nicht ganz einfach. Er besuchte die Volksschule Moosbeuren und Ehingen (1936–1940) und danach das Gymnasium Ehingen, wo er 1949 mit dem Abitur abschloss. Nur wenige kennen seine Neigung zur Physik. So war es für ihn erst einmal ein logischer Schritt, mit Physik sein Studium zu beginnen. Er schrieb sich an der Universität Tübingen ein und konnte so seine Vorliebe vertiefen. Ein Jahr später war er jedoch Student des Diplomstudiengangs Vermessungswesens an der damaligen Technischen Hochschule Stuttgart (heute Universität), ein Glücksfall für die Photogrammetrie. Sein Studium beendete er 1954 und beschloss, als junger Diplomingenieur erste Praxisluft zu schnuppern. Hierzu trat er in die Fa. Zeiss-Aerotopograph, München und Oberkochen ein und konnte mithelfen, die filmbasierte Luftbildphotogrammetrie sowie photogrammetrische Auswertegeräte weiter zu entwickeln.

Nach fast vier Jahren Praxiserfahrung beschloss er, in die internationale Forschung und Entwicklung der Photogrammetrie einzutreten. 1958 bewarb er sich als wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Internationalen Trainingszentrum für Erdwissenschaften (ITC), zu der Zeit in Delft angesiedelt, heute in Enschede, wo er – ganz nebenbei – 1961 auch noch mit einem Mastergrad in Photogrammetrie graduierte. Hier lernte er weitere Wegbegleiter der internationalen photogrammetrischen Forschung kennen, wie H.G. JERIE und C.M.A. VAN DEN HOUT, die zu diesem Zeitpunkt bereits erste Experimente der analytischen Blockausgleichung durchführten. Die analytische Formulierung der Blockausgleichung war erstmals von D.C. BROWN, damals Mitarbeiter von Prof. H.H. SCHMID am NOAA (National Oceanic and Aeronautics Administration), gearbeitet und veröffentlicht worden. Prof. SCHMID hatte seinerzeit in den USA den Auftrag, mittels Photogrammetrie eine weltumfassende Triangulation zur geometrischen Bestimmung der Erdfigur durchzuführen – ein Projekt, welches bis in die 1970er Jahre andauerte. Hierzu wurden mittels ballistischer photogrammetrischer Kameras die Fixsterne beobachtet und photogrammetrisch ausgewertet.

Die analytische Blockausgleichung faszinierte auch den jungen Forscher FRITZ ACKERMANN, der am ITC seine Doktorarbeit zu „Fehlertheoretische Untersuchungen über die Genauigkeit photogrammetrischer Streifenriangulationen“ (DGK Reihe C, Heft-Nr. 87) fertigstellen konnte und diese 1964 an der Universität Stuttgart verteidigte. Für diesen Beitrag erhielt er den Otto von Gruber Preis der ISP, der damaligen Gesellschaft für Photogrammetrie (seit 1980 trägt sie den Zusatz „und Fernerkundung“ und nennt sich ISPRS) auf dem Kongress in Lissabon. Sein früherer akademischer Lehrer und Doktorvater an der Universität Stuttgart, Prof. ERNST GOTTHARDT, wechselte 1965 an die Technische Universität München, so dass die Professur für Photogrammetrie und Vermessungswesen an der Universität Stuttgart vakant wurde. FRITZ ACKERMANN erhielt den Ruf und konnte am 1. April 1966 seine Professur in einem von ihm neu zu gründenden Institut - dem Institut für Photogrammetrie - antreten.

Als erste Entwicklungslinie in der photogrammetrischen Forschung wurde die analytische Behandlung von Streifenriangulationen und unabhängigen Modellen untersucht. Prof. ACKERMANN erkannte, dass die photogrammetrische Praxis zwar von den neuen analytischen Entwicklungen wusste, diese infolge fehlender Computerinfrastruktur jedoch nicht umsetzen konnte. So initiierte er gleichzeitig mit den wissenschaftlichen Untersuchungen zu den zuvor genannten Forschungslinien die

Entwicklung von Software, um damit einen wichtigen Beitrag des Technologietransfers zu leisten. Auf diese Weise entstanden die weltweit noch immer angewendeten photogrammetrischen Software-Pakete PAT-M und PAT-B (Photogrammetrische Blockausgleichung unabhängiger Modelle bzw. Bündel). Hierzu wurde in den späten 1960er Jahren das Testfeld Oberschwaben eingerichtet, um für die OEEPE, den Vorgänger von EuroSDR, erste Tests zur operationellen Anwendung der photogrammetrischen Blockausgleichung durchzuführen. Dieses Testfeld (Abb. 3) sollte noch lange Jahre als Experimentierfeld für viele Doktorarbeiten und wissenschaftliche Untersuchungen dienen.

Anfängliche Entwicklungen zu Streifenriangulationen und der Blockausgleichung mit unabhängigen Modellen, später jedoch umfangreiche Untersuchungen zur photogrammetrischen Bündelblockausgleichung und damit Genauigkeitssteigerung der Aerotriangulation sollten nicht unhonoriert bleiben. So erhielt Prof. ACKERMANN auf dem Helsinki-Kongress 1976 der ISP die höchste Auszeichnung: die Brock-Goldmedaille.

Mit dem Einzug der Computer ins Vermessungswesen in den 1960er Jahren kam eine andere Entwicklungslinie zum Vorschein: Das Digitale Geländemodell (DGM). Obwohl die Fa. IBM bereits zu Anfang der 1960er Jahre ein umfangreiches DGM-Programmpaket für Anwendungen im Straßenbau und der Flurbereinigung anbot, der Zeitpunkt offensichtlich



Abb. 3: Testfeld Oberschwaben (Punktsignalisierung, Luftbild).

jedoch viel zu früh gewählt war und damit das Produkt keinen Erfolg hatte, richteten die Universitäten erst zu Beginn der 1970er Jahre ihr Augenmerk auf die flächenhafte Darstellung des Geländes. KARL KRAUS (verst. 2006), einer der ersten wissenschaftlichen Assistenten von Prof. ACKERMANN und ab 1974 Professor für Photogrammetrie und Fernerkundung an der TU Wien, nahm sich dieser Entwicklung an und startete gemeinsam mit Prof. ACKERMANN eine weitere nachhaltige Entwicklungslinie: Das Stuttgarter Contour Programm (SCOP), welches ebenso noch heute weiter entwickelt wird und am Markt sehr erfolgreich ist.

Mit den Beiträgen zur Genauigkeitssteigerung der Aerotriangulation wie auch des Digitalen Geländemodells hätte sich Prof. ACKERMANN eigentlich schon gegen Ende der 1970er Jahre aus der Wissenschaft zurückziehen können, da diese Impulse durchaus für ein erfolgreiches Wirken als Hochschullehrer ausgereicht hätten. Aus dieser Zeit stammt ein kerniger Ausspruch von ihm: *„Wenn ich mich jetzt zurückziehe, wird es der Welt nichts ausmachen, doch für meine Mitarbeiter wäre es ein Desaster“*.

Die Automatisierung der photogrammetrischen Datenerfassung (punktuell für die Blockausgleichung wie auch flächenhaft für das DGM) war ihm Anfang der 1980er Jahre ein neues Anliegen. So setzten er und seine Mitarbeiter ihr Hauptaugenmerk auf die automatische Zuordnung von homologen Bildausschnitten, um die Bildparallaxen zu messen. Im Rahmen eines DFG-Projekts wurde erfolgreich nach neuen Verfahren der Bildkorrelation gesucht. Auf der Photogrammetrischen Woche 1983 konnte erstmalig der Ansatz zur „Hochpräzisen Bildkorrelation durch Kleinst-Quadrate Zuordnung“ der Fachwelt präsentiert werden. Es folgte dann eine enge Zusammenarbeit mit der Fa. Carl Zeiss, Oberkochen, um diese Idee in eine Software am analytischen Plotter umzusetzen. Hierzu wurde eine digitale Kamera zur numerischen Erfassung von Bildausschnitten eingebaut und TOPSURF als Software angewendet (dem Vorgänger des weltweit bekannten Programmpakets Match-T) – diese Umgebung diente seinerzeit mit einer ähnlichen Algorithmen auch der Qualitätskontrolle im Automobilbau (INDUSURF). Dem Vorschlag zur flächenbasierten

Bildkorrelation kam wenig später der merkmalsbasierte Ansatz hinzu, so dass auf diese Weise zwei voneinander unabhängige Ansätze die weiteren Entwicklungen im Bereich der Bildzuordnung wesentlich beeinflussten.

In dieser Zeit (1981) wurde von Prof. ACKERMANN auch die INPHO GmbH gegründet, eine kleine Softwareschmiede, die die wissenschaftlichen Erkenntnisse und existierende Softwarepakete dem Industriestandard anpasste und seit dem sehr erfolgreich weltweit vertreibt. Die INPHO wurde 2008 Mitglied der Trimble-Gruppe, eine der großen weltweit agierenden Firmen neben Hexagon/Leica Geosystems und Topcon.

Die Bildzuordnung wurde in sogenannten Bild- und Merkmalspyramiden hierarchisiert und damit wesentlich beschleunigt – die von der INPHO neu entwickelten Programme MATCH-T und MATCH-AT setzten auf dieser Datenstruktur auf. Neben der automatischen Erzeugung von digitalen Gelände- und Oberflächenmodellen setzte Prof. ACKERMANN schon sehr früh auf die Einbeziehung von zusätzlichen Kamerainformationen in die Bündelblockausgleichung. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 228 „Hochpräzise Navigation“ (von der DFG gefördert in den Jahren 1984–1995) wurden DGPS-eingemessene Kameraprojektionszentren als weitere Beobachtungen genutzt. Damit konnte erstmals die Anzahl der Kontrollpunkte (Passpunkte) auf ein Minimum reduziert werden.

Als weiteres Projekt im SFB 228 wurde das Flugzeug LiDAR, anfangs noch im Profilmodus, untersucht. Hier ging es speziell um die Aufnahme von Waldgebieten, ein bis dato schwierig zu erfassender Geländebereich. Mit diesen Vorarbeiten war das ifp für das Laser-Scanning gerüstet (ab 1993), um sich weitere Anwendungen (z. B. die vollautomatische Erfassung von 3D-Stadtmodellen) zu erschließen.

Mit den von Prof. ACKERMANN als Hauptbetreuer betreuten ca. 30 Doktoranden konnte er immer wieder neue wissenschaftliche Ideen diskutieren und ausarbeiten lassen. Damit hat er auch wesentliche Hilfestellungen dem wissenschaftlichen Nachwuchs geben können – eine nicht immer selbstverständliche Hauptaufgabe eines Hochschullehrers an einer Universität.

Neben seinen wissenschaftlichen Interessen stand er immer wieder als Berater, Mentor und Organisator zur Verfügung. So konnte er seit 1968 der Europäischen Organisation für Experimentelle Photogrammetrische Forschung und Anwendung (OEEPE, heute EuroSDR) immer wieder neue Impulse geben – das Testfeld Oberschwaben diente dabei zur Einführung der Blockausgleichung in die tägliche Praxis der europäischen Landesvermessungsämter. Die OEEPE führte er sogar zweimal als Präsident an (zuletzt 1992–1993).

Dem ITC stand er insgesamt 40 Jahre zur Seite: Erst als wissenschaftlicher Mitarbeiter, dann als Lecturer im Masterstudiengang „Photogrammetrie“ (bis 1994) und Mitglied des wissenschaftlichen Beirats (bis 1998).

Der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (damals noch DGP) diente er als Präsident, gerade in der Zeit, als sein Kollege, Prof. GOTTFRIED KONECNY den ISPRS-Kongress in Hannover (1980) organisierte. Hier gab es viel zu organisieren und abzustimmen.

Im Rahmen der zweiten Space Shuttle Mission mit deutscher Nutzlast wurde Prof. ACKERMANN zum Principal Investigator Photogrammetrie ernannt, um gemeinsam mit den photogrammetrischen Standorten Bonn, Hannover, München und Stuttgart die Kartiereigenschaften des neu gebauten Dreizeilen-scanners MOMS02 zu untersuchen. MOMS02 wurde 1993 in einer 10-tägigen Mission (STS55) erfolgreich geflogen und die erfassten Daten exemplarisch ausgewertet.

Die Photogrammetrischen Wochen wurden von Prof. ACKERMANN seit 1973 in Stuttgart organisiert. Diese alle zwei Jahre stattfindende Veranstaltung ist ein Beispiel par excellence für gelungenen Technologie-Transfer. In Abstimmung mit Carl Zeiss, Oberkochen, war stets ein ausgewogenes Programm für Wissenschaft, Entwicklung und Anwendung anzubieten – eine nicht immer leichte Aufgabe. Letztmalig war er 1991 für die „Phowo“-Durchführung verantwortlich. Im Jahr 2009 feierte die Photogrammetrische Woche ihren 100-jährigen Geburtstag, etwa 500 Teilnehmer aus 62 Nationen nahmen teil. Damit stellt diese Veranstaltung das älteste photogrammetrische Weiterbildungsangebot überhaupt dar!

Bei so viel Erfolgen im beruflichen Leben bleiben auch Ehrungen nicht aus. So ehrte die Technische Universität Helsinki Prof. ACKERMANN 1988 mit der Verleihung der Ehrendoktorwürde Dr. tek. h.c. für seine wissenschaftlichen Verdienste um die Photogrammetrie, vier Jahre später folgte die Technische Universität Wien mit der Verleihung des Dr. techn. E.h. In 1989 erhielt er die Ehrenprofessur der Universität Wuhan, China – eine mit den hiesigen Ehrendoktorwürden vergleichbare Auszeichnung. Die Universität Hannover ehrte ihn 1995 ebenso mit der Verleihung des Dr.-Ing. E.h.. Die jüngste Ehrung erfolgte vor knapp einem Jahr (im Mai 2009) an der russischen Staatsuniversität Moskau für Geodäsie und Kartographie (MIIGAiK), die ihm die Ehrendoktorwürde für seine Bemühungen um die Ausbildung verlieh. Zusammenfassend ergeben sich somit insgesamt vier Ehrendokortitel und eine Ehrenprofessur!

Die Britische Gesellschaft für Photogrammetrie ernannte Prof. ACKERMANN 1990 zu ihrem Ehrenmitglied, die Amerikanische Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung folgte diesem Beispiel 1995. Ein Jahr später – während des ISPRS-Kongresses in Wien – wurde er zum Ehrenmitglied der ISPRS berufen. Die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation ernannte Prof. ACKERMANN 1999 zu ihrem Ehrenmitglied.

3 Festvorträge des Geburtstagskolloquiums am 6. November 2009

Der erste Festvortrag wurde von einem Freund und jahrzehntelangen Begleiter, Prof. EDWARD M. MIKHAIL, Professor für Photogrammetrie an der Purdue Universität, USA, gehalten. Prof. MIKHAIL blickte auf ca. 45 Jahre Gemeinsamkeit zurück und stellte den Beginn der Freundschaft in den Vordergrund: Das Symposium für Analytische Photogrammetrie in Urbana-Champaign, Illinois (Abb. 4, 1966).

Prof. MIKHAIL vertiefte die wissenschaftlichen Verdienste von Prof. ACKERMANN, indem er anfänglich auf seine Beiträge in der analytischen Photogrammetrie (Streifenausgleichung mit Fehlerfortpflanzung, Blockausglei-

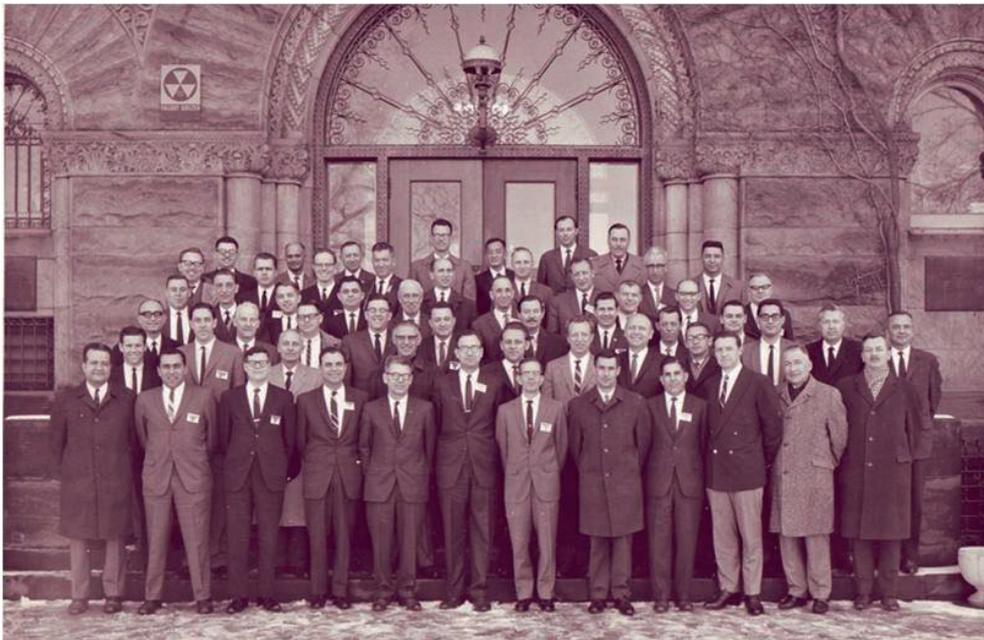


Abb. 4: Teilnehmer des Symposiums Analytische Photogrammetrie, Urbana-Champaign, Illinois, USA, 1966 (Prof. ACKERMANN befindet sich in der zweiten Reihe von unten).

chung mit unabhängigen Modellen und Auswertung photogrammetrischer Bündel) hinwies. Für ihn steht fest, dass Prof. ACKERMANN zu den Pionieren der Einführung dieser Methoden in die photogrammetrische Praxis zählt. Des Weiteren ging er auf die Selbstkalibration und die damit verbundene Genauigkeitssteigerung der Aerotriangulation ein. Es folgten persönliche Wahrnehmungen zur Nutzung des kinematischen DGPS zur direkten Messung von Orientierungsparametern sowie die Stuttgarter Darstellungen zur internen und externen Zuverlässigkeit von photogrammetrischen Blöcken. Digitale Geländemodelle und SCOP sind eine Kombination, die auch in den USA Aufsehen erregte. Ferner reflektierte er das Laserprofilung zur Erfassung von bewaldeten Gebieten, um ein DGM abzuleiten und darüber hinaus auch Durchdringungsraten zu ermitteln und damit Empfehlungen für den Datenerfassungszeitpunkt auszusprechen. Sein Vortrag wurde abgeschlossen mit den Anerkennungen zur automatischen DGM-Generierung mittels Kleinster-Quadrate-Zuordnung, der Automatisierung der Aerotriangulation wie auch dem MOMS02-Projekt.

Der zweite Festvortrag wurde von Herrn Professor Dr.-Ing. WOLFGANG FÖRSTNER, Institut für Photogrammetrie der Universität Bonn, gehalten – ebenso ein langjähriger Wegbegleiter von Prof. ACKERMANN. Herr FÖRSTNER überschrieb seinen Vortrag mit: „Prägung: ein Phänomen meiner Stuttgarter Jahre – Chance oder Schicksal?“. Er reflektierte seine Studienzeit (in Stuttgart), die Zeit während seiner Promotion bei Prof. ACKERMANN sowie die Zeit als Mitarbeiter. Dabei stellte er die prägenden Eigenschaften von Prof. ACKERMANN heraus: Pflichtbewußtsein, Bedachtsamkeit, Führungsbereitschaft, Offenheit und Mut, die Prof. FÖRSTNER beeindruckt und nachhaltig in seiner eigenen Entwicklung beeinflusst haben. Ein wesentlicher Aspekt bei der Heranbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs ist die Freiheit, sich mit selbst gewählten Themen auseinander setzen zu dürfen. Andererseits sollen Doktoranden auch an Tagungen/Kongressen/Symposien teilnehmen dürfen, um ihre eigene Leistung weltweit zu messen und kommentieren zu lassen. Prof. FÖRSTNER stellte die „hohe Kunst der Einleitung“ vor, die Prof. ACKERMANN immer wieder durch seine

eigenen Aufsätze in Fachzeitschriften und Proceedings unter Beweis stellen konnte.

Im mehr fachlichen Teil seines Vortrags ging Prof. FÖRSTNER auf die Aerotriangulation ein – ein zentrales Thema für die Photogrammetrie in den 1970er und 80er Jahren. Hier stellte er nochmals die Leistungsfähigkeit des damaligen Instituts in den Vordergrund, welches dieses Thema von seinen Anfängen bis zur Reife und praktischen Anwendung begleitet hat. Themen wie Kurse zur numerischen Photogrammetrie, Internationalität, die Modellierung von systematischen und groben Fehlern, die PAT-M/B-Programme, das Institut als Unternehmer sowie die Integration von Hilfsdaten wurden dabei angesprochen. Insbesondere bei der Einführung von PAT-M/B in die Praxis (Abb. 5) war „Mut zu langem Atem“ erforderlich.

Kurz vor seinem Eintreten in den Ruhestand (1992) hat Prof. ACKERMANN noch ein DFG-Bündelprojekt auf den Weg gebracht „Semantische Modellierung und Extraktion räumlicher Objekte aus Bildern und Karten“, ein hohes Verdienst laut Prof. FÖRSTNER. Dieses Projekt wurde von 1993–1999 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert, die Aufgaben sind nach seiner Ansicht nur ansatzweise gelöst worden und das Thema daher noch immer zukunftsweisend und damit in für Prof. ACKERMANN typischer Weise prägend – nicht nur für das damalige photogrammetrische Zeitalter.

Der dritte und letzte Festvortrag wurde vom Nachfolger von Herrn Professor ACKERMANN

und Autor gegeben, um die heutigen Entwicklungslinien des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart aufzuzeigen. An vier Beispielen wurden aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aufgezeigt: (1) Von Oberschwaben nach Vaihingen/Enz, (2) Auswertung und Leistungsfähigkeit von hochauflösenden digitalen Luftbildkamerasystemen, (3) Come-Back der digitalen Bildzuordnung und (4) die automatische Ableitung und Weiterverarbeitung von 3D-Stadtmodellen.

Das heutige Institut ist – wie früher – für drei Säulen (Lehre, Forschung & Entwicklung, Technologietransfer & Weiterbildung) verantwortlich, natürlich der heutigen Zeit angepasst. So sind die Lehraktivitäten in den Mittelpunkt der Universität gewandert. Neben Lehrveranstaltungen für den Studiengang Geodäsie & Geoinformatik (früher Vermessungswesen) betreut das Institut den akkreditierten englischsprachigen Master-Studiengang Geomatics Engineering (GEOENGINE) exportiert Lehre in die beiden weiteren englischsprachigen Master-Programme Infrastructure Planning (IP) und Water Resources Engineering and Management (WAREM). Darüber hinaus wird photogrammetrisches Know-how im Studiengang Luft- und Raumfahrttechnik sowie die Geoinformatik für die Umweltschutztechnik, Informatik und die Tübinger Geographie angeboten. Forschung & Entwicklung wird schon seit vielen Jahren strukturiert durch drei Forschungsgruppen ausgeführt: (1) Photogrammetrie und Fernerkundung, (2) Geoinformatik und (3) Terrestri-

The programme system for block triangulation was to be as universal as possible, capable of future expansion, even if it was not possible to develop all its variations immediately. In particular it was to fulfill the following requirements:

- although intended for large computers (CDC 6600), the programme should not be restricted to them.
- as far as the computer programme is concerned, the block size should in principle be unlimited. Total capacity of the computer determines the limits.
- This important requirement means two things: on the one hand it should be possible to adjust even extremely large blocks in large computers, if necessary with computing times of several hours. On the other hand, computers with small central processing units

Abb. 5: Programmpakete PAT-M/B (Einführungskurs Technische Akademie Esslingen 1972).



Abb. 6: Einfache Gebäudestrukturen und ihre Kombination für 3D Berlin (ifp, 2009).

sche Positionierungssysteme und Machine Vision. In der dritten Säule wird der von Prof. ACKERMANN so erfolgreich eingeführte Technologietransfer weitergeführt. Die Photogrammetrische Woche ist sicher eines der besten Beispiele für erfolgreichen Technologietransfer – die Teilnehmerzahlen und hohe Internationalität belegen diese Aussage stets aufs Neue. Daneben werden immer wieder aktuelle Workshops organisiert, als Beispiel soll an dieser Stelle der internationale Workshop „Quality of Context (QuaCon ‘09)“ aufgeführt werden, der im Juni 2009 veranstaltet wurde. Das ifp agiert weltweit als „Zertifizierungsstelle“ bei der Weiterentwicklung digitaler Kamerasysteme wie auch GPS/INS-Modulen. Des Weiteren wird das Institut immer wieder als Berater in weltweit spannenden R&D Projekten hinzugezogen. Nebenbei sollte der Sonderforschungsbereich „Nexus“ (SFB 627) erwähnt werden, der vom ifp mit initiiert wurde und seit 2003 von der DFG gefördert wird.

Im Bereich der automatischen 3D-Stadtmodellierung hat das Institut mittlerweile fast 20 Jahre Erfahrung und daher einen in vielen Facetten leistungsfähigen Workflow anzubieten. Das Projekt „3D Berlin“, ausgeführt im Auftrag des Berliner Senats und in Zusammenarbeit mit der Fa. virtualCity Systems, Dresden, demonstriert in eindrucksvoller Weise die Leistungsfähigkeit der vollautomatischen Gebäudemodellierung aus LiDAR-Punktwolken und schräg aufgenommene Luftbildern (Abb. 6). Für die 3D-Vektorisierung von ca. 474.000 Gebäuden verteilt über 890 km² konnte das ifp ein Softwarepaket entwickeln und damit sein Know how erfolgreich unter Beweis stellen.

4 Schluss

Herr Professor ACKERMANN hat durch seine Arbeiten in Lehre, Forschung und Entwicklung viele Impulse für die photogrammetrische Fachwelt hinterlassen. Seine ruhige, jedoch bestimmte Art erlaubte ihm, mit jener Souveränität aufzutreten, die notwendig ist, um auch Zweifler von neuen Methoden und Entwicklungen zu überzeugen. Die Studierenden konnte er mit immer neuen Rekorden und Maßzahlen zum Einsatz des Computers in der Bündelblockausgleichung begeistern – viele lobten auch seine Art, die Ausgleichsrechnung an photogrammetrischen Beispielen verständlich zu machen.

Durch seine Vorgehensweise, weltweit die neuen photogrammetrischen Techniken einzusetzen, konnte er viele internationale Freundschaften schließen, die bis heute andauern. Aus diesem Grund ist es fast selbstverständlich, dass viele ehemalige Fachkollegen und Freunde am Geburtstagskolloquium am 6. November 2009 teilnahmen – mehr als 220 waren aus dem In- und Ausland angereist.

Zusammenfassend kann man die Beiträge von Prof. ACKERMANN einteilen in die Bereiche (1) Automatische Bündelblockausgleichung, (2) Automatische DGM-Generierung durch Bildzuordnung und (3) flugzeuggetragenes Laserprofilung. Mit diesen Säulen hat er seiner Nachwelt ein gewichtiges Erbe hinterlassen. Wenn auch die technologische Entwicklung sich in den letzten 20 Jahren fast exponentiell entwickelt hat, so werden noch heute wesentliche Arbeiten und Veröffentlichungen von Prof. ACKERMANN zitiert und zwar nicht nur in



Abb. 7: Professor FRIEDRICH ACKERMANN nach seiner Dankesrede am 6. 11. 2009.

der Photogrammetrie, sondern auch im Bereich des Computer Vision. Eine schöne Anerkennung für einen verdienten Hochschullehrer! Wir wünschen Herrn Professor ACKERMANN noch viele schöne Jahre bei guter Gesundheit und vor allen Dingen zur Pflege seiner Hobbies – das Klavierspielen, Bergwandern und Skifahren.

5 Referenzen

ACKERMANN, F. & FRITSCH, D, 1992–2009: Persönliche Kommunikation.

FRITSCH, D., 1999: *Spending a Life for Photogrammetry – On the Occasion of the 70th Birthday of Prof. Dr. mult. Fritz Ackermann.* – *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* **55** (1): 3–8.

Adresse des Autors:

Prof. Dr.-Ing. DIETER FRITSCH, Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Str. 24D, D-70174 Stuttgart, Tel. +49-711-6858-3386, Fax: -3297, e-mail: dieter.fritsch@ifp.uni-stuttgart.de.

Manuskript eingereicht: März 2010
Angenommen: Mai 2010

Berichte von Veranstaltungen

3D-Welten in Wissenschaft und Wirtschaft am 4. Mai 2010 in Potsdam

Der Einladung der Branchentransferstellen GEOkomm und Optik zu einem Workshop mit dem Thema „3D-Welten in Wissenschaft und Wirtschaft“ folgten am 4. 5. 2010 mehr als einhundert Experten aus Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen sowie aus Ämtern und Behörden in den Hörsaal des Geoforschungszentrums auf dem Telegrafenberg in Potsdam. In einer mehr als vierstündigen Veranstaltung wurden den Teilnehmern vielfältige Informationen vermittelt.

Der Workshop umfasste drei thematische Blöcke: Die Gewinnung von 3D-Daten in unterschiedlicher Weise, die Visualisierung von 3D-Darstellungen und Beispiele für Anwendungen von 3D-Daten.

Im ersten Teil trug Herr Dr. A. BÖRNER vom DLR-Institut für Robotik und Mechatronik Berlin über die Gewinnung von 3D-Daten mittels satelliten- und flugzeuggetragener optoelektronischer Systeme vor und ging auch auf den terrestrischen Einsatz solcher Kameras ein. Er unterstrich in seinem Vortrag die Rolle des DLR als „Technologieprovider“ und sprach damit direkt potentielle Industriepartner an. Im zweiten Vortrag gab Herr Prof. TH. KERSTEN von der Hafencity Universität Hamburg einen Überblick über die Möglichkeiten des flugzeuggetragenen und terrestrischen Laserscannings für die Erzeugung von 3D-Daten und daraus abgeleiteten Höhenmodellen. Die gezeigten Beispiele illustrierten deutlich das erhebliche Potenzial dieser Technik auch für die Erkundung von Gewässerböden im Flachwasserbereich. Im dritten Vortrag wurde von Herrn Prof. O. HELLWICH von der TU Berlin über die Nutzung von Synthetik-Apertur-Radar-daten für die Gewinnung von 3D-Informationen berichtet. Ein wesentlicher Aspekt des Vortrages war die Möglichkeit der Messung von Richtung und Geschwindigkeit von Bewegungen im Gelände. Alle drei Referenten wiesen auf die Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten von 3D-Daten durch Sensor- und Datenfusion hin und belegten das mit sehr aussagefähigen Beispielen.

Die zweite Themengruppe wurde von Herrn Dr. DE LA BARRÉ vom Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut Berlin vertreten, der über Möglichkeiten der brillenfreien Visualisierung von 3D-Daten vortrug und die am Heinrich-Hertz-Institut entwickelten Systeme vorstellte. Ein Fazit des Vortrages war die Aussage, dass autostereoskopische Systeme die bisher verwendeten Brillen in absehbarer Zeit ablösen werden.

Die dritte Themengruppe eröffnete Herr Dr. W. STACKEBRANDT vom Brandenburger Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe in Cottbus. Seine Beispiele für Anwendungen der flugzeuggetragenen Laserscannerdaten machten deutlich, dass selbst eiszeitlich überprägte Strukturen mit hoch auflösenden 3D-Daten in der Morphologie sichtbar werden und damit völlig neue Interpretationsmöglichkeiten für den Geologen bieten. Auch hier wurde der Aspekt der Verschneidung von Geodaten mit hoch auflösenden Höhenmodellen betont. Herr M. WOLF von der Universität Potsdam präsentierte Möglichkeiten zur Darstellung von Informationen aus dem Sicherheitsbereich unter Verwendung von 3D-Daten. Die Verknüpfung von sozioökonomischen Daten, die Einbeziehung geostatistischer Methoden und die 3D-Visualisierung als Grundlage der Lagebeurteilung von sicherheitsrelevanten Szenarien stellt einen interessanten Ansatz dar. Der abschließende Vortrag von Herrn R. LIPPOLD von der 3D RealityMaps GmbH behandelte die automatisierte Erzeugung realextexturierter Stadtmodelle. Anhand von Beispielen wurde der erreichte Stand dieser Automatisierungsansätze demonstriert und auf potentielle Märkte und Zielgruppen verwiesen.

Im Anschluss an die Vorträge wurde in kleinen Gruppen intensiv diskutiert. Es besteht die einhellige Meinung, Veranstaltungen dieser Art zu wiederholen mit dem Ziel, Informationen über den erreichten Stand der Technik zu vermitteln und gleichzeitig Nutzungspotenziale zu erschließen. Die Vorträge können im Internet unter der Seite des Veranstalters als PDF heruntergeladen werden: www.geokomm.de.

STEFAN RÖSER, Potsdam

Hochschulnachrichten

Technische Universität München

Herr Dipl.-Ing. JOSEF REITBERGER promovierte am 11. Mai 2010 an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen (Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung) der Technischen Universität München mit der Arbeit „3D-Segmentierung von Einzelbäumen und Baumartenklassifikation aus Daten flugzeuggetragener Full Waveform Laserscanner“ zum Dr.-Ing.

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. UWE STILLA, Technische Universität München, 2. Gutachter: Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. WOLFGANG WAGNER, Technische Universität Wien, 3. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. PETER KRZYSZEK, Hochschule München

Die Dissertation ist verfügbar unter: www.pf.bv.tum.de/pub/2010/reitberger_phd10_dis.pdf

Kurzfassung:

Das luftgestützte Laserscanning hat sich in den letzten 15 Jahren rasant entwickelt und hebt sich insbesondere im Waldbereich von anderen Fernerkundungsmethoden ab, weil die Waldstruktur an Lücken von den Laserstrahlen durchdrungen wird. Bedingt durch die Einschränkung der meisten konventionellen Lasersysteme, nur die ersten und letzten Reflexionen zu erfassen, konzentrierten sich die Forschungsaktivitäten der letzten Jahre auf die Ableitung präziser Oberflächen- und Geländemodelle, sowie auf die Nutzung dieser Modelle für die automatische Ermittlung von Waldinformationen. Im Gegensatz dazu besitzen die neuartigen Full Waveform Lasersysteme die Fähigkeit, den reflektierten Laserimpuls vollständig aufzuzeichnen. Dadurch wird neben der Oberfläche und dem Boden des Waldes auch die dazwischen liegende Waldstruktur detailliert erfasst. Um den Vorteil dieser neuen Technik nutzen zu können, müssen die bisherigen Methoden zur Datenauswertung überarbeitet und erweitert werden.

Dazu wird in dieser Arbeit ein Beitrag geleistet, der sich in drei Teilbereiche gliedern lässt. Im ersten Teil werden die aufgezeichneten

Echoprofile durch eine Anpassung von Gauß-Funktionen in die einzelnen Reflexionsanteile zerlegt. Aus den geschätzten Parametern dieser Funktionen werden die 3D-Positionen der Reflexionen und die Merkmale Intensität und Pulsbreite berechnet. Außerdem werden Ansätze zur Kalibrierung dieser Merkmale untersucht.

Im zweiten Teil wird ein dreistufiges Verfahren zur Segmentierung von Einzelbäumen vorgestellt. Hierbei handelt es sich bei der ersten Stufe um eine Watershed-Segmentierung im Baumhöhenmodell. In der zweiten Stufe wird in den Laserdaten nach Baumstämmen gesucht, wofür eine Filterung der Stammpunkte und ein hierarchisches Clustering bzgl. der horizontalen Abstände dieser Punkte verwendet werden. In der dritten Stufe wird eine Segmentierung der attribuierten 3D-Punktwolke mit dem Normalized Cut Verfahren entwickelt, das die Ergebnisse der ersten beiden Stufen optional nutzen kann.

Im dritten Teil wird gezeigt, wie den Segmenten in einer Baumartenklassifikation die korrekte Baumart zugeordnet wird. Die dabei eingesetzten Merkmale nutzen neben den Koordinaten der Reflexionen auch die Intensität, die Pulsbreite und die Anzahl von Reflexionen pro Lasermessung.

Die Evaluierung der vorgestellten Methoden zeigt, dass die Zerlegung der Waveforms zu einer hohen räumlichen Punktdichte führt, weil auch überlagerte und schwache Reflexionen berücksichtigt werden. Insbesondere im Vergleich zu First/Last-Pulse Systemen erhält man viele zusätzliche Laserpunkte, die zwischen dem ersten und dem letzten Puls liegen. Beim Verfahren zur Stammerkennung und bei der 3D-Segmentierung wird diese hohe räumliche Punktdichte genutzt und führt zu einer höheren Erkennungsrate im Vergleich zur Watershed-Segmentierung. Vor allem in den unteren Waldschichten werden deutlich mehr Bäume gefunden. Bei der Baumartenklassifikation zeigt die Nutzung der kalibrierten Intensität eine erhebliche Verbesserung gegenüber der alleinigen Verwendung der Koordinaten der Reflexionen.

Buchbesprechung

GEORGE VOSSELMAN & HANS-GERD MAAS (Eds.), 2010: Airborne and Terrestrial Laser Scanning. 336 pages, Whittles Publishing.

Airborne and terrestrial laser scanning have matured to mainstream techniques within the geomatics industry. Sensor systems and software solutions for the collection and evaluation of 3D LiDAR point clouds are widely available from a large number of suppliers and offer a great variety of potential applications. During the development to a well established technique since the 1990s, a large number of conferences and scientific publications were dedicated to laser scanning. However, a textbook comprehensively covering its principles and applications for practitioners, students, and researchers was still missing. The book *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*, edited by GEORGE VOSSELMAN and HANS-GERD MAAS aims to close this gap.

The book can be subdivided into three parts, which again comprise three chapters each. The first part of the book covers the basics of laser scanning and describes the measurement, the representation, and the registration of LiDAR points. The second part concentrates on the processing of airborne LiDAR measurements. This is demonstrated for the generation of Digital Terrain Models (DTM), the extraction of buildings and the acquisition of 3D structural information for forestry applications. Terrestrial LiDAR data processing is discussed in the book's final part on applications in engineering, cultural heritage, and mobile mapping.

The book is conceptualized as a comprehensive textbook, thus it mainly aims on an integral treatment of the basic technologies and processing steps of airborne and terrestrial laser scanning. For this purpose, the first chapter reviews the measurement principles as well as the components of laser scanning systems. The basic processing of LiDAR point clouds is covered in the second chapter. This includes the discussion of suitable data struc-

tures for spatial queries or visualization applications using 3D point clouds as well as their grouping into basic surface structures by suitable segmentation algorithms. The part on LiDAR principles is concluded by the third chapter on registration and calibration of LiDAR measurements as the two key factors influencing the data quality. Registration transforms the point clouds to a common mapping frame while calibration aims on the modeling and correction of systematic error sources inherent to laser scanning systems.

The application oriented part of the textbook is opened by a chapter on the extraction of DTMs. In order to solve this task, a suitable filtering of point clouds from airborne measurements is required. As demonstrated in the following chapter, point filtering is also necessary during the detection and extraction of buildings. Within chapter 5 also issues like regularization and generalization of building representations during geometric modeling are discussed. Both the extraction of DTMs and buildings considerably benefit from the improvement of LiDAR measurements with respect to accuracy and density. This continuous development in technology during the last two decades also proved to be important for LiDAR applications in forestry. Meanwhile, features like multi-echo recording allow for the analysis of the vegetation dependent penetration characteristics of LiDAR pulses. As is demonstrated in section 6 of the book, this can for example be exploited very well during collection of forest geometries or inventory parameters like tree height and diameter.

While chapters 4 to 6 mainly concentrate on applications of airborne LiDAR, the evaluation of terrestrial measurements is discussed in the last three chapters. This final part of the book is introduced by the presentation of engineering applications. Examples are the use of laser scanning for the 3D modeling of industrial sites, change detection during deformation monitoring, and corridor mapping. In addition to the construction of as-built models of engineering works, terrestrial LiDAR has become very popular for the geometric recon-

struction and documentation of cultural heritage sites. This application is discussed exemplarily based on a number of projects in chapter 8. Terrestrial data collection with a fixed mounting of the laser scanner at one particular station as it is frequently used for such applications is rather time consuming. In order to increase the efficiency during area covering data collection, mobile mapping systems have become popular. Chapter 9 presents the design and application of such systems, which are increasingly available from commercial vendors.

Altogether twelve authors contributed to the nine chapters of the book, which overall covers more than 300 pages. The hard and de-

manding work which is required during compilation and editing is easily conceivable. However, the editors GEORGE VOSSELMAN and HANS-GERD MAAS did a tremendous job and provided a comprehensive and coherent textbook which is homogenous in layout and style. The book *Airborne and Terrestrial Laser Scanning* is a must-have textbook for students which are interested in the large field of airborne and terrestrial LiDAR and will surely become an important reference for practitioners involved in the acquisition and use of laser scanning data.

NORBERT HAALA, Stuttgart

Veranstaltungskalender

2010

1.–3. September: **ISPRS Commission III Symposium “Photogrammetric Computer Vision & Image Analysis”** in Paris, Frankreich. pcv2010.ign.fr/

1.–5. September: **7th ICA Mountain Cartography Workshop** in Borsa, Rumänien. www.mountaincartography.org/activities/workshops/

5.–11. September: **European Conference on Computer Vision** in Heraklion, Kreta, Griechenland, www.ics.forth.gr/eccv2010

14.–17. September: **GIScience 2010 – 6th International Conference on Geographic Information Science** in Zürich, Schweiz. www.giscience2010.org/

20.–23. September: **SPIE Remote Sensing** in Toulouse, Frankreich. spie.org/remote-sensing-europe.xml

20.–23. September: **10th International Scientific and Technical Conference “From imagery to map: digital photogrammetric technologies”** in Gaeta, Italy. www.racurs.ru/Italy2010/

22.–24. September: **DAGM 2010 – 32nd Annual Pattern Recognition Symposium** in Darmstadt. www.dagm2010.org/

5.–7. Oktober: **INTERGEO®** - Kongress und Fachmesse für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement in Köln. www.intergeo.de/de/deutsch/index.php

11.–13. Oktober: **ISPRS WG I/4 Workshop on Modeling of Optical Airborne & Space Borne Sensors** in Istanbul, Turkey. www.ipi.uni-hannover.de/ipi-workshop.html

15.–18. Oktober: **ISPRS ICWG V/1, WG V/3, WG I/3 Joint International Workshop on Terrestrial Lidar: From Static to Mobile** in Zhengzhou, China. www.environment.uwaterloo.ca/research/isprs/lidar2010/

19.–21. Oktober: **9th Seminar on Remote Sensing & GIS Applications in Forest Engineering** in Curitiba, Paraná, Brasil. www.9seminarioflorestal.com.br/home/

27.–29. Oktober: **12. Seminar “GIS & Internet”** – Integration von GIS-Funktionalitäten in Lösungen an der UniBw München in Neubiberg. www.agis.unibw.de/gis&internet/

1.–2. November: **Entwicklerforum Geodäsie und Geoinformationstechnik 2010** in Berlin. www.igg.tu-berlin.de/entwicklerforum

3.–4. November: **5th International 3D GeoInfo Conference 2010** in Berlin. www.igg.tu-berlin.de/3dgeoinfo/

8.–9. November: **Workshop 3D-Stadtmodelle** in Bonn (Universitätsclub). 3d-stadtmodelle.org

8.–13. November: **Digital Heritage (EuroMed2010)** in Lemesos, Cyprus. www.euro-med2010.eu/

16.–18. November: **ISPRS Commission IV Symposium “Geodatabases & Digital Mapping”** in Orlando, USA. www.crms.uga.edu/isprs/TC/events.html#midTerm

30. November – 1. Dezember: **European LiDAR Mapping Forum Conference & Exhibition “European event for airborne, bathymetric & terrestrial LiDAR, with a particular focus on mobile mapping systems”** in The Hague, The Netherlands. www.lidarmap.org/ELMF/

2011

13.–19. Februar: **16. Internationale Geodätische Woche** in Obergurgl, Tirol, Österreich. Infos: geodaetischewoche@uibk.ac.at oder geodaesie.uibk.ac.at/obergurgl.html

11.–13. April: **JURSE 2011 - Joint Urban Remote Sensing Event (URBAN 2011 + URS 2011)** in München. www.jurse2011.tum.de

13.–15. April: **30. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF** in Mainz. www.dgpf.de/neu/jahrestagung/informatioenen.htm

13.–15. April: **EOGC 2011 - 3rd Conference on Earth Observation for Global Changes in München**. www.eogc2011.tum.de

3.–8. Mai: **Gi4DM - GeoInformation for Disaster Management** in Antalya, Turkey. www.gi4dm2011.org/

26.–29. Mai: **ISPRS ICWG V/I joint ICA/ISPRS/FIG International Symposium on Lidar & Radar Mapping: Technologies & Applications (LIDAR & RADAR 2011)** in Nanjing, China. www.lidar2011.org/

13.–16. Juni: **7th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT11)** in Cracow, Poland.

26.–27. Juni: **ISPRS WG V/4, III/2+4, IV/4+8 joint Workshop on 3D City Modelling & Applications** in Wuhan, China. www.lmars.whu.edu.cn/3DCMA2011/

3.–8. Juli: **25th International Cartography Conference (ICC2011)** in Paris, France. www.icc2011.fr/

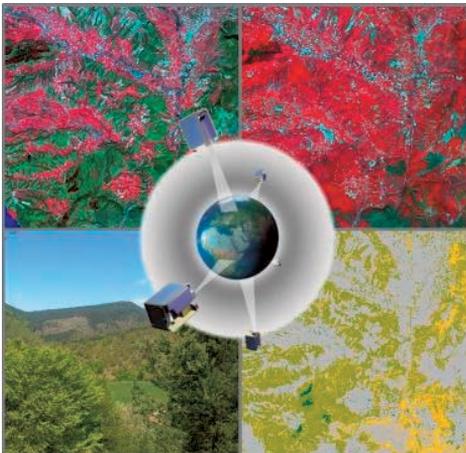
29.–31. August: **ISPRS WG V/3 Laser Scanning 2011** in Calgary, Canada. e-mail: ddlichti@ucalgary.ca

12.–16. September: **XXIIIth International CIPA-HD Symposium** in Prague, Czech Republic. cipa.icomos.org/index.php?id=9

Zum Titelbild

Waldbeobachtung mit multi-temporalen Satellitenbilddaten

Das Titelblatt zeigt eine Collage aus Satellitenbildaufnahmen in Farbinfrarot-Kanalkombination, einer terrestrischen Aufnahme und einem Waldklassifizierungsergebnis, gewonnen aus den Satellitenbilddaten der oberen Bildreihe.



Das Satellitenbild oben links wurde am 9. April 2009, das rechte am 14. Mai 2009 aufgenommen. Mit Hilfe multi-temporaler Satellitenaufnahmen können die Klassifizierungsergebnisse für waldbezogene Aufgabenstellungen verbessert werden. Die unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte bilden voneinander unterschiedliche phenologische Phasen der Vegetation ab – hier Vorfrühling und Frühling. Dies erlaubt eine verbesserte Trennschärfe zwischen Waldklassen, als das unter Verwendung mono-temporaler Aufnahmen möglich ist. Exemplarisch zeigt das untere rechte Bild-

segment eine mit den multitemporalen Bilddaten erstellte Klassifizierung nach Laub-, Nadel- und Mischwald im Untersuchungsgebiet (Kosovo).

Für die Überwachung nachwachsender Rohstoffe sind multi-temporale Fernerkundungsdaten von eminenter Bedeutung. Einige der dafür heute zur Verfügung stehenden Fernerkundungssysteme, darunter z.B. das RapidEye System mit einer einzigartigen Konstellation von 5 baugleichen Satelliten (dargestellt in der Mitte der Collage), wurden speziell für land- und forstwirtschaftliche Anwendungen konzipiert. Diese Daten bieten mit 5 bis 8 Metern Auflösung eine hohe räumliche Auflösung bei gleichzeitig großräumiger Gebietsabdeckung, die es ermöglicht, sie als räumliche Referenz in Geoinformationssystemen zu verwenden.

Daneben haben bis heute Luftbildaufnahmen sowie auch weitere Fernerkundungsdaten, darunter auch Radaraufnahmen, ihren festen Platz als Informationsquelle für die forstliche Praxis. Wie sie genutzt werden und welche Ergebnisse erzielbar sind, legen die wissenschaftlichen Beiträge in diesem Heft anschaulich dar.

Dr. habil. HORST WEICHEL, RapidEye AG, Molkenmarkt 30, 14776 Brandenburg an der Havel, Tel. +49-3381-8904-311, Fax: -101, e-mail: dgpf-akfe@h-weichelt.de.

Prof. Dr. BIRGIT KLEINSCHMIT, TU Berlin, Fakultät VI, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung, Straße des 17. Juni 145, 10623 Berlin, Tel. +49-30-314-72847, Fax. -23507, e-mail: birgit.kleinschmit@tu-berlin.de.

Korporative Mitglieder

Firmen

AEROWEST GmbH
 AICON 3D Systems GmbH
 Alpha Luftbild GmbH
 aphos Leipzig AG
 Becker GeoInfo GmbH
 Bernhard Harzer Verlag GmbH
 Blom Deutschland GmbH
 Brockmann Consult
 bsf swissphoto
 Büro Immekus
 CGI Systems GmbH
 con terra GmbH
 Creaso GmbH
 DEFINIENS AG
 DELPHI IMM GmbH
 Deutsches Bergbau-Museum
 EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH
 ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH
 ESRI Geoinformatik GmbH
 EUROPEAN SPACE IMAGING
 Eurosense GmbH
 fokus GmbH
 fpi Fuchs Ingenieure GmbH
 g.on experience gmbh
 GAF GmbH
 GeoCad GmbH
 GeoCart Herten GmbH
 GeoContent GmbH
 Geoinform. & Photogr. Engin. Dr. Kruck & Co. GbR
 geoplana Ingenieurgesellschaft mbH
 GEOSYSTEMS GmbH
 GGS - Büro für Geotechnik, Geoinformatik, Service
 Hansa Luftbild AG
 IGI - Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH
 ILV Ing.-büro für Luftbildausw. und Vermessung
 Imetric 3D GmbH
 Infoterra GmbH
 INVERS - Industrievermessung & Systeme
 J. Linsinger ZT-GmbH
 Jena-Optronik GmbH
 KAZ Bildmess GmbH
 Leica Geosystems GmbH
 Luftbild Brandenburg GmbH Planer + Ingenieure
 Luftbilddatenbank-Würzburg
 Messbildstelle GmbH
 Microsoft Photogrammetry
 MILAN Geoservice GmbH
 PHOENICS GmbH
 PMS - Photo Mess Systeme AG
 RWE Power AG, Geobasisdaten/Photogrammetrie
 technet GmbH
 TerraVista Umweltdaten GmbH
 TRIGIS Vermessung + Geoinformatik GmbH
 Trimble Germany GmbH
 trimetric 3D Service GmbH, Garbsen
 Wichmann, VDE Verlag GmbH
 Z/I Imaging Ltd.

Behörden

Amt für Geoinformationswesen der Bundeswehr
 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 Bundesmin. für Ernäh., Landw. u. Verbraucherschutz
 DB Netz AG
 Hess. LA für Bodenmanagement und Geoinformation
 Innenministerium NRW, Gruppe Vermessungswesen
 Inst. für Umwelt- und Zukunftsforschung
 LA für Geoinformation u. Landentw., Baden-Württem.
 LA für Vermessung und Geoinformation, Bayern
 LB Geoinformation und Vermessung, Hamburg
 LB f. Küstenschutz, Nationalpark u. Meeresschutz, SH
 Landesvermessung und Geobasisinformation Nieders.
 Märkischer Kreis, Vermessungs- und Katasteramt
 Regierungspräsid. Tübingen, Abt. 8 Forstdirektion
 Regionalverband Ruhr
 Staatsbetrieb Sachsenforst Pirna
 Stadt Bocholt, Fachbereich 31
 Stadt Düsseldorf, Vermessungs- und Katasteramt
 Stadt Köln, Amt für Liegensch., Verm. und Kataster
 Stadt Wuppertal, Verm., Katasteramt und Geodaten
 Thüringer LA für Vermessung und Geoinformation

Hochschulen

BTU Cottbus, Lehrstuhl für Vermessungskunde
 FH Frankfurt a.M., FB 1, Studiengang Geoinformation
 FH Mainz, Inst. f. Raumbez. Inform.- und Messtechn.
 FH Oldenburg, Inst. für Angew. Photogr. und Geoinf.
 HCU HafenCity Universität Hamburg, Geomatik
 HfT Stuttgart, Vermessung und Geoinformatik
 HS Bochum, FB Vermessung und Geoinformatik
 HS Karlsruhe, FB Geoinformationswesen
 HTW Dresden, FB Vermessungswesen/Kartographie
 Ruhr-Uni Bochum, Geographisches Institut
 RWTH Aachen, Geodätisches Institut
 TU Bergak. Freiberg, Inst. f. Markscheid. u. Geodäsie
 TU Bergak. Freiberg, Inst. für Geologie, RSG
 TU Berlin, Computer Vision & Remote Sensing
 TU Braunschweig, Inst. für Geodäsie und Photogr.
 TU Clausthal, Inst. für Geotechnik und Markscheidew.
 TU Darmstadt, Inst. für Photogrammetrie und Kartogr.
 TU Dresden, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 TU München, FG Photogrammetrie und Fernerk.
 TU Wien, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 Uni Bonn, Inst. für Photogrammetrie
 Uni Göttingen, Inst. für Waldinv. und Waldwachstum
 LUH Hannover, Inst. für Kartogr. und Geoinformatik
 LUH Hannover, Inst. für Photogrammetrie und GeoInf.
 Uni Heidelberg, IWR Interdis. Zentr. f. Wiss. Rechnen
 Uni Karlsruhe, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 Uni Kassel, FB Ökologische Agrarwissenschaften
 Uni Kiel, Geographisches Institut
 Uni Stuttgart, Inst. für Photogrammetrie
 Uni Würzburg, Geographisches Institut
 Uni zu Köln, Geographisches Institut

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie,
Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e. V.

Jahrgang 2010, Heft 4

Hauptschriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Helmut Mayer

Schriftleiter:
Prof. Dr. rer.nat. Carsten Jürgens, Prof. Dipl.-Ing. Thomas P. Kersten,
Prof. Dr. rer.nat. Lutz Plümer und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

Redaktionsbeirat (Editorial Board): Clement Atzberger, Andrew Frank,
Christian Heipke, Joachim Hill, Patrick Hostert, Hans-Gerd Maas, Wolfgang
Reinhardt, Franz Rottensteiner, Jochen Schiewe



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2010



Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung
und Geoinformation (DGPF) e.V.
Gegründet 1909

Die *Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation* (DGPF) e.V. unterstützt als Mitglieds- bzw. Trägergesellschaft die folgenden Dachverbände:



International Society
for Photogrammetry
and Remote Sensing

DAGM

Deutsche Arbeits-
gemeinschaft für
Mustererkennung e.V.



Herausgeber:

© 2010 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Präsidentin: Prof. Dr. Cornelia Gläßer, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften, Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle, Tel.: +49(0)345 55-26020
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststraße 2–18, D-48145 Münster, e-mail: klaus.komp@eftas.com

Published by:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A,
D-70176 Stuttgart. Tel.: 0711 351456-0, Fax: 0711 351456-99, e-mail: mail@schweizerbart.de
Internet: <http://www.schweizerbart.de>

⊗ Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

All rights reserved including translation into foreign languages. This journal or parts thereof may not be reproduced in any form without permission from the publishers.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

Science Citation Index Expanded (also known as SciSearch®) Journal Citation Reports/Science Edition
Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. Helmut Mayer, Institut für Angewandte Informatik, Universität der Bundeswehr München, D-85577 Neubiberg, e-mail: Helmut.Mayer@unibw.de

Schriftleiter: Prof. Dr. rer.nat. Carsten Jürgens, Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut, Gebäude NA 7/133, D-44780 Bochum, e-mail: carsten.juergens@rub.de, Prof. Dipl.-Ing. Thomas P. Kersten, HafenCity Universität Hamburg, Department Geomatik, Hebebrandstr.1, D-22297 Hamburg, e-mail: thomas.kersten@hcu-hamburg.de, Prof. Dr. rer.nat. Lutz Plümer, Universität Bonn, Institut für Geodäsie und Geoinformation, Meckenheimer Allee 172, D-53115 Bonn, e-mail: Lutz.Plumer@ikg.uni-bonn.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 107, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@geobasis-bb.de

Erscheinungsweise: 6 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 191,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos. Der Online-Zugang ist im regulären Subskriptionspreis enthalten.

Anzeigenverwaltung: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart, Tel.: 0711 351456-0; Fax: 0711 351456-99.

e-mail: mail@schweizerbart.de, Internet: <http://www.schweizerbart.de>

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, D-76227 Karlsruhe, Tel.: 0721 944020, Fax: 0721 9440230, e-mail: info@harzer.de, Internet: www.harzer.de

Printed in Germany by Tutte Druckerei GmbH, D-94121 Salzweg bei Passau

PFG – Jahrgang 2010, Heft 4

Inhaltsverzeichnis

Fernerkundung für forstliche Aufgabenstellungen

WEICHELT, H. & KLEINSCHMIT, B.: Editorial	231
HILDEBRANDT, G.: Anfänge der forstlichen Luftbildmessung und -interpretation in Deutschland nach 1945	235
MARX, A.: Erkennung von Borkenkäferbefall in Fichtenreinbeständen mit multi-temporalen RapidEye-Satellitenbildern und Datamining-Techniken.	243
FÖRSTER, M., SPENGLER, D., BUDDENBAUM, H., HILL, J. & KLEINSCHMIT, B.: Ein Überblick über die Kombination spektraler und geometrischer Modellierung zur Anwendung in der forstlichen Fernerkundung	253
FRANKEN, F. & HOFFMANN, K.: Anforderungen an das digitale / digitalisierte Luftbild – Ein Leitfaden der Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten.	267
BRAUN, A.C., WEIDNER, U. & HINZ, S.: Support Vector Machines for Vegetation Classification – A Revision	273
URBAN, M., HESE, S., HEROLD, M., PÖCKING, S. & SCHMULLIUS, C.: Pan-Arctic Land Cover Mapping and Fire Assessment for the ESA Data User Element Permafrost	283

Aus Wissenschaft und Technik

FAISST, G., SEITZ, R. & TROYCKE, A.: Fernerkundung an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) – Umsetzung von Forschungsergebnissen in die forstliche Praxis	295
---	-----

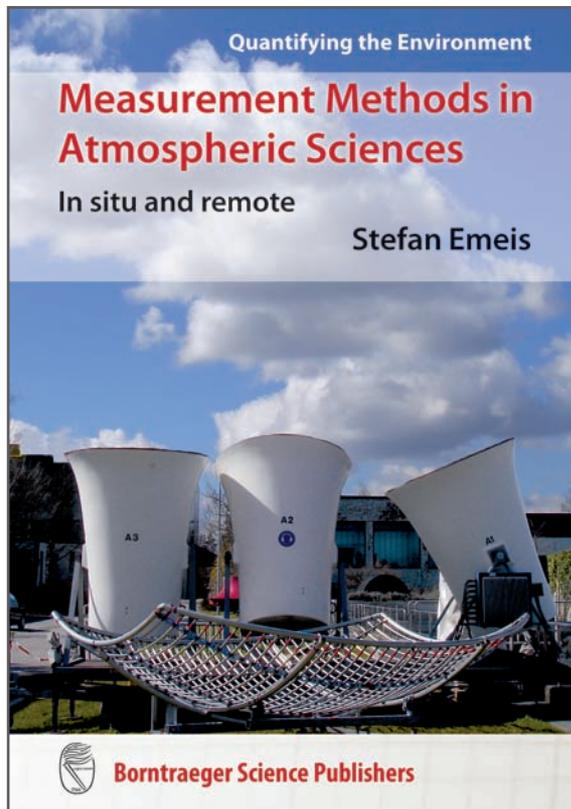
Prof. Friedrich Ackermann zum 80sten Geburtstag

FRITSCH, D.: Professor Dr.-Ing. Dr. E.h. mult. Fritz Ackermann 80 Jahre – Hochschullehrer, Innovator und Entwickler der modernen Photogrammetrie	305
---	-----

Berichte und Mitteilungen

Berichte von Veranstaltungen 3D-Welten in Wissenschaft und Wirtschaft am 4. Mai 2010 in Potsdam	315
Hochschulnachrichten Technische Universität München: Dissertation JOSEF REITBERGER	316
Buchbesprechung VOSSELMAN, G. & MAAS, H.-G. (Airborne and Terrestrial Laser Scanning)	317
Veranstaltungskalender	318
Zum Titelbild	320
Korporative Mitglieder	321

Zusammenfassungen der „Originalbeiträge“ und der Beiträge „Aus Wissenschaft und Technik“
(deutsch und englisch) sind auch verfügbar unter www.dgpf.de/neu/pfg/ausgaben.htm



Quantifying the Environment

Stefan Emeis

Measurement Methods in Atmospheric Sciences

In situ and remote

2010. 272 pp., 103 figs, 28 tables

ISBN 978-3-443-01066-9 68.– €

Measurement Methods in Atmospheric Sciences provides a comprehensive overview of in-situ and remote sensing measurement techniques for probing the Earth's atmosphere. The methods presented in this book span the entire range from classical meteorology via atmospheric chemistry and micro-meteorological flux determination to Earth observation from space. Standard instruments for meteorological and air quality monitoring methods, as well as specialized instrumentation predominantly used in scientific experiments, are covered. The presented techniques run from simple mechanical sensors to highly sophisticated electronic devices. Special emphasis is placed on the rapidly evolving field of remote sensing tech-

niques. Here, active ground-based remote sensing techniques such as SODAR and LIDAR find a detailed coverage. The book conveys the basic principles of the various observational and monitoring methods, enabling the user to identify the most appropriate method.

The book is of interest to undergraduate and graduate students in meteorology, physical geography, ecology, environmental sciences and related disciplines as well as to scientists in the process of planning atmospheric measurements in field campaigns or working on data already acquired. Practitioners in environmental agencies and similar institutions will benefit from instrument descriptions and the extended lists in the appendix.



Borntraeger Science Publishers
Berlin • Stuttgart

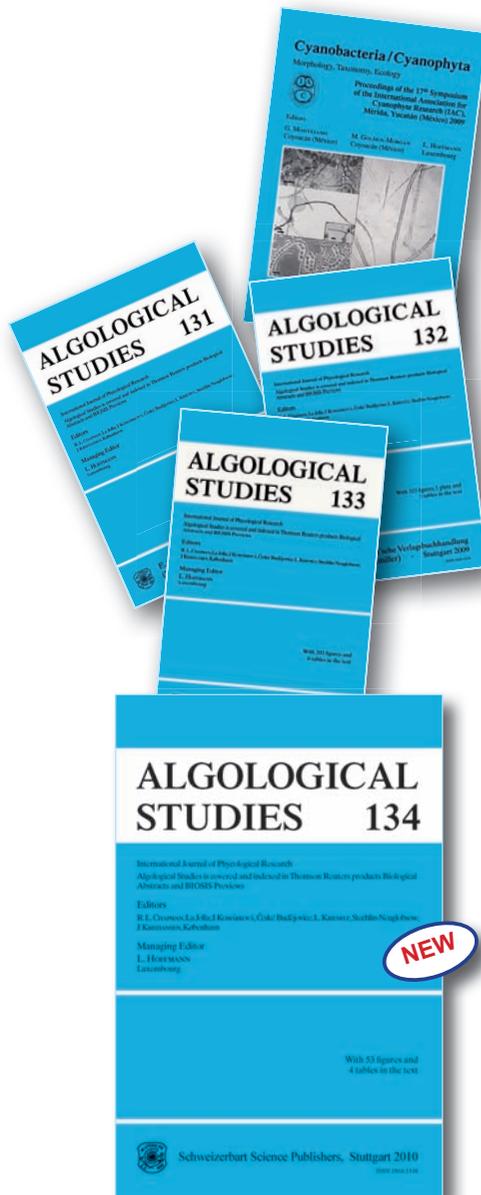
Johannesstr. 3a, 70176 Stuttgart, Germany. Tel. +49 (711) 351456-0 Fax. +49 (711) 351456-99
order@borntraeger-cramer.de www.borntraeger-cramer.de

Algological Studies

Journal of phycological research

ISSN 1864-1318

formerly Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes (ISSN: 0342-1120)



Algological Studies

is a stand alone journal, a former supplement series to Archiv für Hydrobiologie

Publishes since 1968 peer reviewed, original scientific papers of international significance from the entire field of phycology:

- taxonomy
- systematics
- floristics
- physiology
- biochemistry
- genetic studies
- hydrobiology
- phytogeography
- cultivation

This includes contributions to

- algal biotechnology
- applied phycology

Indexed in Thomson Reuters products Biological Abstracts and BIOSIS Previews

Journal website

www.schweizerbart.de/journals/algol_stud

Submit your papers online

https://www.schweizerbart.de/submit/algol_stud/index.php/algol_stud



Schweizerbart Science Publishers

Johannesstr. 3a, 70176 Stuttgart, Germany
order@schweizerbart.de

Tel. +49 (0)711 351456-0

Fax +49 (0)711 351456-99

www.schweizerbart.de