

# NATSCAN - dreidimensionale lasergestützte Erfassung von landschaftsbildenden Elementen

HOLGER WEINACKER<sup>1</sup>, OLIVER DIEDERSHAGEN<sup>2</sup>, BARBARA KOCH<sup>3</sup>

*Zusammenfassung: In den letzten Jahrzehnten hat die Quantifizierung und Beurteilung von Eingriffen in die Natur und deren Folgen für das ökologische Gleichgewicht zunehmend an Bedeutung gewonnen. Landschaftsinventuren, Umweltverträglichkeitsstudien oder Technikfolgenabschätzungen verfolgen daher das Ziel, einen Ausgleich zwischen einem schonenden Umgang mit natürlichen Ressourcen einerseits und wirtschaftlichen Interessen andererseits aufzuzeigen.*

*Da die Datenerhebung für die meisten dieser Verfahren manuell erfolgt und damit sehr zeit- bzw. kostenintensiv ist, besteht ein großes Interesse daran, die Arbeitsabläufe zu automatisieren. Die im Bereich des Laserscannings stetig voranschreitenden Entwicklungen im Hard- und Softwarebereich lassen diese Technologie auch im Bereich des Umweltmonitorings interessant erscheinen. Der Beitrag stellt die Aufgaben und Ziele der beteiligten Partner und ihre Zusammenarbeit im Projekt NATSCAN vor. Am Ende des Projektes, das bis Ende 2004 läuft, sollen Prototypen für Verfahren stehen, mit denen sämtliche umweltrelevanten Daten kostengünstig, automatisch und flächendeckend extrahiert werden können. Die Anbindung in ein GIS ist dabei ein weiteres Ziel, das die schnelle und flexible Darstellung von Karten unterschiedlichster Inhalte zur Visualisierung der gerade benötigten Aspekte gewährleistet. Dadurch wird nicht nur die Vorstellbarkeit von Planungen erleichtert, sondern auch die Grundlage für Entscheidungsalternativen und Planspiele geschaffen.*

## 1 Zweck und Ziel des Projektes

**Istzustand** - Bereits heute finden optische Fernerkundungsdaten bei Inventuren eine breite Verwendung, so werden zum Beispiel Waldschadenserhebungen mit Unterstützung großmaßstäbiger CIR-Luftbilder durchgeführt. Für detailliertere Inventuren können solche Bildmedien (Luftbilder, Satellitenbilder) jedoch nur eingeschränkte Informationen liefern. Dies liegt zum Einen in der Auflösung der Bilder und zum Anderen in der großen Wetterabhängigkeit der Datenerfassung begründet. Ein Großteil der Inventurdaten wird daher manuell aufgenommen, was durch den hohen Zeitaufwand sehr kostspielig ist. Durch den ständig steigenden Informationsbedarf und die meist begrenzten finanziellen Mittel steigt das Interesse an schnellen, kostengünstigen Verfahren, mit denen diese Informationen zeitnah und detailgenau erhoben werden können.

**Ziele** - Für das Projekt lassen sich zwei Ebenen der Zielsetzung charakterisieren; einerseits die übergeordneten Ziele des Gesamtprojektes und andererseits die jeweiligen Teilziele der einzelnen Projektpartner. Die übergeordneten Ziele lassen sich wiederum in zwei Gruppen unterteilen. Als erstes soll die bestehende Hardware im Bereich der flugzeuggetragenen und terrestrischen Lasermeßtechnik verbessert werden. Des Weiteren sollen Softwarelösungen zur Datenhaltung und -verknüpfung, sowie Algorithmen zur Mustererkennung von natürlichen Objekten wie Bäumen, Sträuchern, Felsgruppen etc. und deren Visualisierung, etc. erstellt werden.

---

<sup>1</sup> Dr.-Ing. Holger Weinacker, Abteilung f. Fernerkundung u. Landschaftsinformationssysteme, Uni. Freiburg, Tennenbacherstr. 4, 79106 Freiburg, e-mail: holger.weinacker@felis.uni-freiburg.de

<sup>2</sup> Dipl.-Forstwirt Oliver Diedershagen, Abteilung f. Fernerkundung u. Landschaftsinformationssysteme, Uni. Freiburg, Tennenbacherstr. 4, 79106 Freiburg, e-mail: oliver.diedershagen@felis.uni-freiburg.de

<sup>3</sup> Prof.Dr. Barbara Koch, Abteilung f. Fernerkundung u. Landschaftsinformationssysteme, Uni. Freiburg, Tennenbacherstr. 4, 79106 Freiburg, e-mail: ferninfo@felis.uni-freiburg.de

Die einzelnen Teilziele werden bei den verschiedenen Projektpartnern vorgestellt. Hier werden auch Erläuterungen zu den Anwendungsbereichen gegeben.

## 2 Der Projektverbund

Für das Erreichen der grundlegenden Ziele und der dazu notwendigen Hard- und Softwareentwicklungen wurde ein Projektkonsortium gegründet, dem folgende Institute und Firmen angehören: Fritz Kohl GmbH (Karlstadt/Main) [KOHL], Zoller & Fröhlich GmbH (Wangen) [Z&F], MICOS GmbH (Eschbach) [MICOS], Toposys GmbH (Ravensburg) [TOPOSYS] und von der Universität Freiburg das Institut für Waldwachstum [IWW] und die Abteilung für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme [FeLis].

Für die Definition und Beschreibung des praxisrelevanten Informationsbedarfs konnten Firmen aus Wirtschaft und Verwaltung als **assoziierte Partner** in den Projektverbund integriert werden. Diese Gruppe setzt sich aus der RWE Net AG (Dortmund) [RWE-NET] in Zusammenarbeit mit der RWE Solutions AG (Dortmund) [RWE-SOL], der Ruhrgas AG (Essen) [RUHRGAS], der F.W. Breithaupt & Sohn GmbH (Kassel) [BREITHAUPT] und der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg (Stuttgart) [LFV-BW] zusammen.

Einen Überblick über den Zusammenhang zwischen den einzelnen Projektteilnehmern zeigt Abbildung 1.

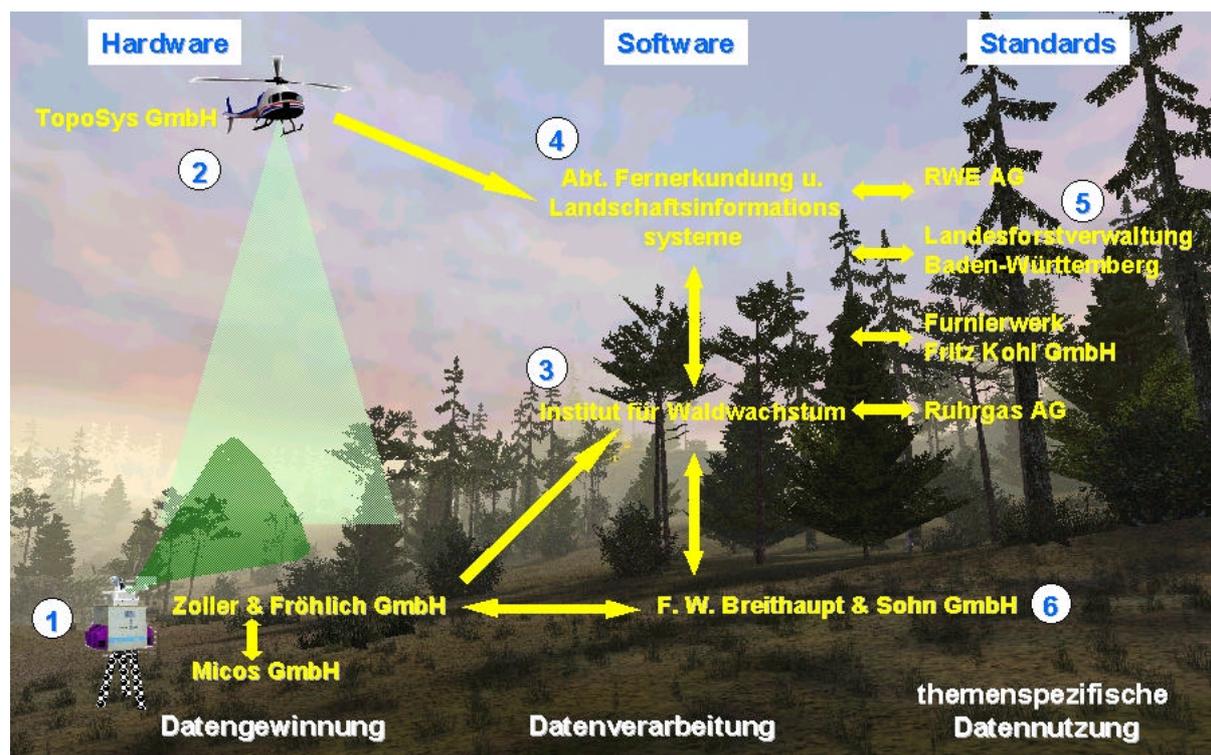


Abb. 1: (Thies & Spiecker, 2002) Übersicht über die Verbundpartner und deren Aufgaben und Ziele im Projekt.

### 2.1 Aufgaben der Partner

Im folgenden werden die Partner und ihre Ziele im Projekt kurz dargestellt.

**TOPOSYS** - Bei dem von TOPOSYS (Abb.1: Nr. [2]) entwickelten Laserscannersystem werden die Laserimpulse im Gegensatz zu den meisten anderen Systemen nicht mit einem Kippspiegel, sondern durch ein festes Glasfaserbündel in Richtung Erdoberfläche umgelenkt.

Das System liefert dadurch ein zeilenförmiges Scanmuster am Boden. Durch diese zeilenweise Abtaststruktur erhält man entlang der Abtastzeilen eine sehr hohe Dichte der Laserspots am Boden. Der Abstand zwischen den Zeilen beträgt dagegen ca. 2.0m bei 1000m Flughöhe. Dies bringt für die Erkennung und Extraktion von Einzelbäumen in geschlossenen Wäldern Probleme mit sich. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird ein Demonstrator entwickelt, der eine gleichmäßigere Verteilung der Laserpunkte von ungefähr 0,4m\*0,4m bei 1000m Flughöhe aufweisen soll.

**Z&F** - Für den von Z&F (Abb.1: Nr.[1]) entwickelten und im Praxiseinsatz vielfach bewährten terrestrischen Laserscanner IMAGER 5003 sollen im Rahmen des Projektes folgende Verbesserungen untersucht werden:

- a) Erhöhung der Punktdichte;
- b) Integration eines CCD-Farbsensors;
- c) Verbesserung der Praxistauglichkeit durch Erhöhung der Schlag- und Stoßfestigkeit, erhöhten Spritzwasserschutz, Verminderung des Energieverbrauchs und Vergrößerung des Temperatureinsatzbereiches auf  $-5^{\circ}\text{C}$  bis  $+30^{\circ}\text{C}$ .

**MICOS** - entwickelt Systeme im Bereich ultrapräziser Positioniertechnik (Abb.1: Nr.[1]). Die Firma unterstützt im Projekt Z&F bei der Verbesserung des terrestrischen Laserscannersystems. Von MICOS wird die automatische Horizontierungskomponente und ein GPS-Positionierungssystem mit Groborientierung (? 3gon) entwickelt und in das Testsystem des terrestrischen Laserscanners integriert.

**KOHL** - Das Furnierwerk (Abb.1: Nr.[5]) ist sowohl Anwender als auch Entwicklungspartner im Projektverbund. Eine genauere Beschreibung der Aufgaben und eigenen Ziele wird bei der Darstellung des Anwendungsprojektes „KOHL - 3D Baummodell und Güteklassenabschätzung“ näher erläutert.

**IWW u. FeLis** - (Abb.1: Nr.[3]+[4]) Die beiden Universitätsinstitute verfolgen im Projekt das gemeinsame Ziel aus der enormen Datenfülle, die die beiden Lasersysteme liefern, die für die im Projekt definierten Fragestellungen notwendigen Informationen zu extrahieren. Hierzu werden sowohl vom IWW als auch von FeLis Datenmodelle und Methoden zur Informationsextraktion entwickelt und als Softwaremodule implementiert. Der Schwerpunkt bei FeLis liegt bei der Erkennung sowohl von Einzelbäumen und Beständen, als auch anderen Objekten im Wald und bebauten Gebieten. Beim IWW liegt das Interesse insbesondere bei der Bestimmung von Einzelbaummodellen, der Ableitung von forstlichen Inventurparametern und der Extraktion von Kenngrößen zur Klassifizierung der Holzqualität. Des Weiteren erarbeiten beide Institute gemeinsam ein Datenkonzept für ein Datenbanksystem, das es ermöglicht, die Ergebnisse aus den Auswertungen der flugzeuggetragenen und terrestrischen Lasermessungen in einem gemeinsamen System zu verschneiden. Somit besteht die Möglichkeit zum Vergleich und zur Kontrolle, sowohl der Basisdaten, als auch der abgeleiteten Informationen/Parameter.

## 2.2 Anwendungen in Verwaltung und Industrie

Nachfolgend werden die Teilziele der Projektpartner vorgestellt, die sich in den Anwendungsbeispielen wieder spiegeln. Daraus ergeben sich fünf Teilprojekte, bei denen zwischen Datenlieferanten, Datenbearbeitern und Endnutzern unterschieden werden kann. Diese Abgrenzung kann jedoch nicht exakt vorgenommen werden, da allen Partnern im Laufe des Projektes mehrere Bedeutungen zufallen können. Dabei kommt den Instituten der Universität Freiburg eine besondere Rolle zu, da sie als einzige in alle drei Gruppen einzuordnen sind.

In Bezug auf das terrestrische Lasersystem für forstliche Anwendungen ist BREITHAUPT für eine mögliche Weiterentwicklung zur Produktreife in das Projekt integriert.

### 2.2.1 Landesforstverwaltung Baden-Württemberg

Die konventionelle Betriebsinventur der LFV-BW sieht einen Stichprobenpunkt auf 2 Hektar vor (d.h. ein Raster von 100\*200m). Bisher wurden entlang der Knotenpunkte des Stichprobennetzes alle Daten der Inventur (wie. z.B. Lagekoordinaten der Bäume, deren Durchmesser in bestimmten Baumhöhen, die Baumhöhen etc.) manuell in einem Zwei-Mann-Arbeitsverfahren aufgenommen. Diese Methode zeichnet sich durch einen hohen Zeit- und Arbeitsaufwand aus. Im NATSCAN-Projekt soll die mögliche Automatisierung dieser Arbeitsabläufe untersucht werden. Es wird überprüft, ob und mit welcher Genauigkeit Bestandesparameter weitgehend automatisch aus den Laserscannerdaten extrahiert werden können. Entsprechend des differenzierten Datenbedarfs, verallgemeinernde Aussagen über größere regionale Einheiten (z.B. Holzvorrat in einem Forstbezirk oder Baumartenzusammensetzung) einerseits und präzise Detailinformationen über lokale Stichprobenpunkte (z.B. Holzqualitätsstruktur repräsentativer Baumgruppen) andererseits, werden für dieses Anwendungsspektrum sowohl flugzeuggetragene als auch terrestrisch gewonnene Laserscannerdaten verwendet.

### 2.2.2 RWE-Energieversorgung

In diesem Teilprojekt arbeiten die drei Verbundpartner RWE-NET, RWE-SOL und FeLis auf der Basis der von TOPOSYS gelieferten Daten zusammen.

Das Freileitungsnetz der RWE-NET wird kontinuierlich bezüglich der vorgeschriebenen Mindestabstände zwischen den Leitungen und den unterschiedlichsten Objekten, wie Gebäude, Bäume, etc., die sich in einem bestimmten Bereich der Leitung befinden, kontrolliert. Das Ziel in dieser Praxisanwendung besteht darin, eine Kontrollmethode basierend auf Laserbefliegungen zu entwickeln, die eine signifikante Reduktion des Zeit- und Kostenaufwandes mit sich bringt.

Die vom Gesetzgeber vorgeschriebene Kontrolle der einzuhaltenden Mindestabstände, z.B. zu Bäumen, Sendemasten, Antennen etc., wird derzeit durch aufwandsintensive, konventionelle geodätische Verfahren durchgeführt. Bei der Messung des „momentanen Durchhangs“ eines Leitungsseils müssen entlang des aufzunehmenden Trassenstückes zusätzlich folgende 5 Parameter registriert werden: Strombelastung, Umgebungstemperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Erdbodentemperatur. Mit Hilfe dieser 5 Parameter kann aus dieser Momentaufnahme der **maximale Durchhang** für das aufgemessene Leitungsstück berechnet werden. Da diese Parameter während der Befliegung nicht gleichzeitig mit den Lasermessungen registriert werden können, ist es unmöglich die terrestrischen Aufnahmen durch die Laser-/RGB-NIR Messungen zu ersetzen. Dagegen kann die terrestrische Aufnahme zur Lage-/Höhenbestimmung und Klassifikation der Objekte im Trassengebiet durch das Laserverfahren ersetzt werden.

Der Abteilung FeLis obliegt die Aufgabe, Softwaremethoden zu entwickeln, die automatisch Objekte im Schutzstreifen der Trasse erkennen und die Form, Ausdehnung und Höhe berechnen. Da die Leitungstrassen über alle Landschaftsformen verlaufen, beinhaltet der Objektkatalog eine Vielzahl unterschiedlichster Objekte, z.B. das Gelände, Bäume, Antennen, Freileitungen, Sportflächen, Spielgeräte, etc. Diese kleine Auswahl zeigt die breit gefächerte Aufgabenstellung. FeLis wird sich bei der Erkennung zuerst auf Vegetationsobjekte beschränken. Für die Erkennung von „man-made- Objekten“ werden bereits vorhandene For-

schungsansätze übernommen und an die Bedürfnisse und Fragestellungen im Projekt angepaßt.

### **2.2.3 RWE - Biotopmanagement-Planung**

RWE-NET hat in den letzten Jahren ein Pflegekonzept zur Biotopmanagement-Planung im Sicherheitsbereich des Freileitungsnetzes eingeführt.

In der Vergangenheit wurde ein Pflegekonzept nach der Maxime „selten, aber intensiv eingreifen“ verfolgt. In einem Turnus von 10-15 Jahren erfolgte die komplette Beseitigung der sich neu angesiedelten Pionierbäume. Diese radikale Maßnahme beinhaltet wesentliche Nachteile, wie z.B. die schlagartige Veränderung des Lebensraumes verschiedener Tier- und Pflanzenarten. Darüber hinaus brachte dieses Konzept erhebliche Kostenbelastungen mit sich. Nicht zuletzt erhöhte sich die Gefahr von Wind- und Schneebruch an den neu entstandenen Waldrändern. Aus diesen Gründen und einer an größerer Naturnähe orientierten Sichtweise in der Waldbewirtschaftung hat die RWE-NET eine neue Pflegestrategie entwickelt. Danach erfolgen häufigere (2-Jahres-Turnus) und extensivere Eingriffe. Des Weiteren wird versucht, die Wuchsdynamik der Pionierpflanzen zu kontrollieren und Wannenprofile im Schutzbereich zu schaffen, wodurch Rückzugsgebiete für Flora und Fauna entstehen. Durch die Zusammenarbeit mit Behörden und Naturschutzverbänden entwickeln sich auf diese Weise wertvolle und miteinander vernetzte Biotopstrukturen.

Folgende Aufgaben werden durch die von FeLis zu entwickelnden Methoden bearbeitet:

- a) Erfassung der Vegetation innerhalb der Schutzstreifen;
- b) Erkennung von langsam u. schnell wachsenden Baumarten indirekt über die Extraktion folgender Parameter: Baumhöhe, Kronenform, Rauigkeit der Kronenoberfläche und Abstrahlverhalten im „Nahen Infrarot“;
- c) Einstufung der Vegetation in die von der RWE-NET vorgegebenen Höhenstufen.

### **2.2.4 RUHRGAS – Gasleitungsplanung**

Bei der Neuplanung bzw. Verlegung bereits existierender Ferngasleitungen richtet RUHRGAS ihr Hauptaugenmerk auf eine umfassende und effiziente Technikfolgenabschätzung und der Berechnung von Bestandesvolumina der von einer Trasse betroffenen Waldbestände zur Festlegung von Entschädigungen und Abgeltungen der Waldeigentümer.

Um die Variantenplanungen und Berechnungen durchführen zu können, ist RUHRGAS vor allem auf die Kenntnis folgender Parameter angewiesen:

- a) ein detailliertes, aktuelles DGM und DOM (digitales Oberflächenmodell);
- b) Aussagen bezüglich des Verjüngungsanteil je Flächeneinheit, des Bestockungsgrades, der Kronenschirmflächen der im Trassengebiet stehenden Bäume und der Bestimmung des Mischanteils von Laub und Nadelwald;
- c) Kenntnis über die Randlänge des Waldes (Länge der Umfangsgrenze);
- d) die Länge der Traufkante (der Freiraum zwischen Waldrand und Traufkante wird zur Zwischenlagerung von Aushubmaterial benutzt).

Basierend auf den flugzeuggetragenen Laserscannerdaten und den als Basismethoden im Teilprojekt von FeLis entwickelten Verfahren und Algorithmen zur automatischen Bestimmung von DGMen sowie zur Erkennung, Formbestimmung und Klassifikation von Einzelbäumen bzw. Baumgruppen, werden Ansätze zur Bestimmung der gewünschten Parameter aus den Ausgangsdaten erarbeitet .

## 2.2.5 KOHL - 3D Baummodell und Güteklassenabschätzung

Der Zweck dieses Teilprojektes ist die Untersuchung eines Systems zur automatischen Erstellung eines digitalen 3D Einzelbaummodells. Die Modelle entstehen aus der Kombination von Lasermessungen der stehenden Bäume und digitalisierten Bilddaten (R,G,B) von Messerfurnierblättern. In den Modellen können Holzfehler erkannt und beschrieben werden, die sich von der Rinde bis in den Stamm fortsetzen. Durch die typischen Merkmale von Holzfehlern in der Außenhülle soll eine bessere Qualitätsschätzung des stehenden Baumes erfolgen.

Das IWW entwickelt das Softwaremodul, mit dem die digitalen Baummodelle aus terrestrischen Laserscannerdaten der stehenden Bäume berechnet werden. Hierzu werden Algorithmen entworfen und implementiert, mit denen aus den Scannerpunkten automatisch 3D-Drahtmodelle erstellt werden. Auf dieses Gittermodell wird als partielle Hülle die Textur (Rindenmerkmale) abgewickelt. Als Eingangsdaten dienen:

- a) die Polardaten ( $\theta, \phi, d$ );
- b) die Reflexionswerte ( $\theta, \phi, R$ );
- c) die R,G,B-Werte des terrestrischen Scanners.

Im Furnierwerk KOHL werden die zuvor gescannten Bäume zu Furnierblättern verarbeitet und mit einer hochauflösenden digitalen Farbkamera aufgenommen. Bei diesem Prozeß wird darauf geachtet, dass das zuvor auf dem Stamm angebrachte Baumkoordinatensystem auf die Furnierblätter übertragen wird, so dass die Furnierblätter in das digitale 3D-Drahtmodell des Baumes eingepaßt werden können. Auf diese Weise ist es möglich, Fehler auf der Rinde in das Bauminnere zu verfolgen und zu rekonstruieren. Die Entwicklung der Software zur Erkennung und Verfolgung der Fehler auf den Furnierblättern übernimmt KOHL. Die Rekonstruktion des endgültigen 3D Baummodells, bestehend aus dem Gittermodell und den Furnierblättern inklusive der Rekonstruktion der Fehler, ist wiederum Aufgabe des IWW.

Mit dem entwickelten Testsystem wird es möglich, aus den von außen sichtbaren Rindenmerkmalen die Größe und Struktur der inneren Holzfehler abzuschätzen. Als Testobjekte werden jeweils 10 Einzelbäume der Baumarten Kirsche, Eiche und Buche mit einer inneren Genauigkeit von ca.  $\pm 3$ mm gescannt.

## 3 Testgebiete

Bei der Auswahl der Testgebiete mußte unter anderem die Verfügbarkeit der Betriebsinventurdaten bzw. der digitalen Forstdaten berücksichtigt werden. Außerdem spielen Gesichtspunkte, die bei der Planung von Stromleitungsstrassen und bei Einzelbaumuntersuchungen Beachtung finden, eine Rolle.

Nach Überprüfung der Möglichkeiten der Laservermessung in Wäldern zwecks Bestimmung von Inventurparametern sollten folgende Kriterien und Variationen durch die Testgebiete repräsentiert werden:

- a) Daten aus aktuellen permanenten Betriebsinventuren und eine abgeschlossene Erfassung für das **Forstliche Geographische Informationssystem (FOGIS)**;
- b) Geländeneigung von eben bis stark geneigt;
- c) Baumartenvielfalt, d.h. Vorkommen verschiedener Laub- u. Nadelbaumarten;
- d) Altersspektrum von Altersklasse 0 bis 120 Jahren und mehr;
- e) Auftreten der Bestandesaufbauformen „homogener Reinbestand“ bis „vertikal-strukturierter Mischbestand“.

Durch diese breite Streuung des abzudeckenden Spektrums hinsichtlich Geländeformen, Baumarten, Alter der Bestände und Aufbauformen wird der universelle Einsatz der Systeme überprüfbar.

Zusätzlich zu den Parameterlisten der gängigen Waldinventuren sollten Sondersituationen, wie Totholz, Bannwald, Dauerbestockung, Waldbiotop etc., in den Gebieten enthalten sein, um die Erfassung von weiteren ökologischen Kriterien, wie z.B. Strukturbeschreibungen, Biomasseverteilungen in unterschiedlichen vertikalen Schichten, Anteil Totholz am Holzvolumen eines Plots etc., zu überprüfen. In einem der Testgebiete muß eine Hochspannungsleitung der RWE-NET liegen. Unter Berücksichtigung der aufgeführten Kriterien wurden die drei folgende Testgebiete ausgewählt:

**Opfingen** - Das Gebiet liegt westlich von Freiburg, hat eine Fläche von ca. 20 ha und ist durch eine ebene Topographie gekennzeichnet. Der Baumbewuchs läßt sich wie folgt charakterisieren: Vorkommende Baumarten sind unter anderem Stieleiche, Esche, Roterle, Hainbuche, Roteiche, Bergahorn und Douglasie. Im Gebiet sind die Altersklassen I bis VII vertreten. Der Großteil des Bewuchses ist zweischichtig aufgebaut. Es kommen Pflanzungen und Naturverjüngungen vor.

**Günterstal** - Dieses Bergwaldgebiet, das etwas südlich von Freiburg in Richtung Horben gelegen ist, umfaßt eine Fläche von ca. 80 ha. und läßt sich wie folgt beschreiben: Vorkommende Hauptbaumarten sind vor allem Douglasie, Buche, Tanne und Fichte. Alle Altersklassen sind vorhanden. Neben strukturreichen Bestandesaufbauformen sind auch homogene Reinbestände zu finden. Das Geländere relief weist steile Hanglagen und sanftere Hänge auf.

**Leitungsstrasse bei Engen** - Bei der Auswahl dieses Gebietes gab es kaum Spielräume, da die Leitung durch die RWE-NET vorgegeben war. Allerdings wurde nur ein bestimmter Abschnitt aus der Trasse als Untersuchungsgebiet ausgewählt. Ansprüche an dieses Gebiet bestanden in soweit, dass es möglichst alle Objekte, die für eine Trassenplanung und Pflege relevant sein können, enthält. Da im Bereich der Hochspannungsleitung wenig Gebäude vorhanden sind, wurde ein zusätzlicher kleiner Streifen im Stadtbereich der Gemeinde Engen ausgewählt.

#### **4 Terrestrisch und photogrammetrisch erhobene Zusatzdaten**

Die Durchführung von unabhängigen terrestrischen Messungen ist vor allem zur Verifizierung und Kontrolle der Ergebnisse, die auf den Laserdaten basieren, notwendig. Außerdem ist im Projekt vorgesehen, die Ergebnisse aus der Auswertung der flugzeuggetragenen und der terrestrischen Laserscannung in ein gemeinsames Datenbanksystem zu integrieren, so dass es ermöglicht wird, dass die Ergebnisse aus beiden Projektphasen verglichen und verschnitten werden können. Alle Ergebnisse werden darüber hinaus im Gauß-Krüger-System und im amtlichen Höhensystem georeferenziert.

Folgende Messungen wurden bzw. werden aktuell durchgeführt:

- a) Zur Georeferenzierung der Laserscannerstandpunkte und des aufzunehmenden Kontroll-DGM im Bergwald wurde ein Polygonzugsnetz gelegt, das an Punkte anschließt, die zuvor mit einem LRK-GPS-System von Thales Navigation (Scorpio 6502 MK/SK) koordiniert wurden (Abb.2);
- b) Aufnahme des DGM im Bergwald Günterstal;
- c) Paßpunktmessungen mit dem GPS-System im Trassenbereich der RWE-NET bei Engen/Waldshut für die konventionelle Luftbildbefliegung;
- d) 3D-Auswertungen von Luftbildern der Testgebiete;
- e) Konventionelle waldwachstumskundliche Datenerhebungen zur Ableitung forstlicher Inventurparameter.

**GPS-Messungen und Polygonierung** - Für die Messungen der Polygonzüge wurden mit dem LRK-GPS System Scorpio 6502 SK/MK von Thales Navigation (Abb.2) Festpunkte bestimmt. Das System setzt sich aus einer Basisstation, die kontinuierlich Korrekturdaten sendet und einem mobilen Empfangsgerät, dem sogenannten Rover, zusammen. Es handelt sich dabei um ein Zweifrequenzgerät, mit dem Genauigkeiten im cm-Bereich erreicht werden können. Da die Messungen jedoch zum Teil in übershirmtem und stark geneigtem Gelände durchgeführt wurden, konnten diese Genauigkeiten nur zum Teil eingehalten werden.

Im Gebiet Mooswald wurde ein einfacher Polygonzug gelegt, mit dem die Koordinaten der Inventurpunkte bestimmt wurden. Dies war relativ leicht möglich, was zum einen durch das kleine Gebiet, zum anderen durch das ebene Gelände begünstigt wurde. Im Gebiet Günterstal mußte dagegen ein Polygonzugsnetz gelegt werden, da zu der größeren Ausdehnung des Gebietes noch die starke Hangneigung kommt. Die Netzpunkte bildeten die Standpunkte zur Aufnahme des terrestrisch gemessenen DGM.

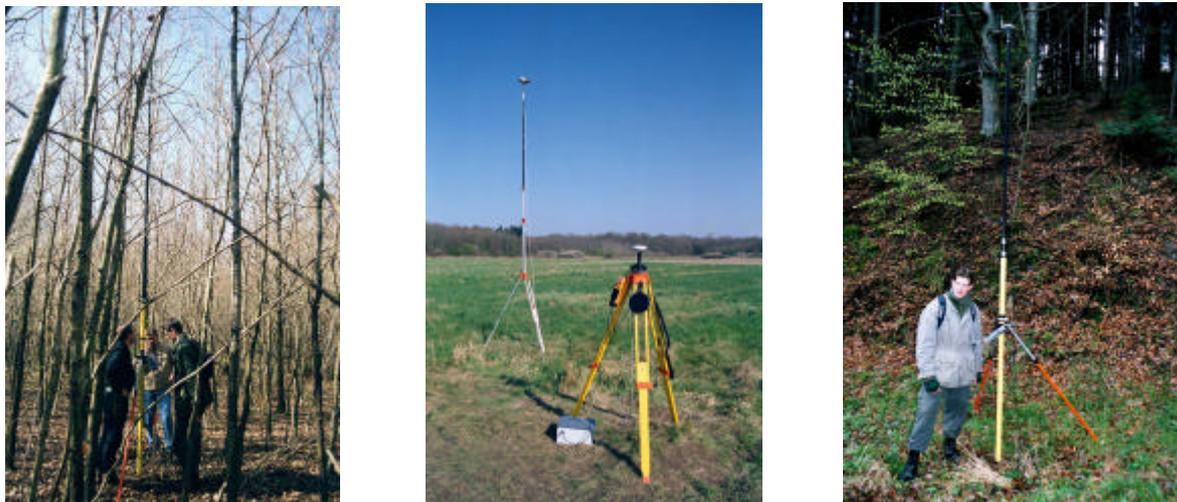


Abb. 2: GPS-Messungen in den Testgebieten mit dem zwei Frequenz LRK-GPS-System **Scorpio 6502 SK/MK** von Thales Navigation.

**DGM-Messung** - Ausgehend vom selbst aufgemessenen Festpunktfeld wurde ein verhältnismäßig steiles Gelände im Testgebiet Günterstal höhenmäßig bestimmt. Diese Aktivität ist Teil einer Masterarbeit, die zur Zeit bei FeLis läuft. Die Geländepunkte liegen in einem Raster von ca. 2m. Auf diese Weise soll ein Ausschnitt aus dem durch Lasermessungen erzeugten DGM im Testgebiet Günterstal überprüft werden.

**Luftbildbefliegung** - Im Bereich von Freiburg existieren für das Testgebiet Opfingen Luftbilder im Bildmaßstab 1:5000. Sie stammen aus einer Befliegung vom Mai 2001. Die Luftbilder wurden mit 25?m im Auftrag der Stadt gescannt. Für das Testgebiet Günterstal liegen sowohl Orthophotos von der LFV-BW im Maßstab 1:10000, als auch die Originalluftbilder im Bildmaßstab 1:18000, aufgenommen vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg im Juni 2001, vor. Die Originalluftbilder wurden mit 7.5?m gescannt. Im dritten Gebiet, der Leitungsstrasse bei Engen, wird eine Befliegung im Auftrag von FeLis im Juli 2002 mit einem Bildmaßstab von 1:5000 durchgeführt. Die Digitalisierung der Infrarotbilder erfolgt mit 14?m.

## 5 Ausblick

Die Erwartungen an die Lasermeßtechnik, insbesondere durch die hohe Auflösung und Informationsdichte der Daten, ist sehr groß. Sollten sich die Ziele annähernd umsetzen lassen, ergäben sich daraus eine Reihe großer Vorteile. Zunächst stünde eine Datenquelle zur Verfü-

gung, die schnell und weitestgehend wetterunabhängig Informationen liefert. Durch automatische Auswerteverfahren können dann schnell, zeitnah, flächendeckend, kostengünstig und objektiv Inventurdaten gesammelt und archiviert werden. Die Anbindung in ein GIS gewährleistet eine schnelle Reproduzierbarkeit von Karten unterschiedlichster Inhalte bis hin zu Planspielen und Entscheidungsalternativen. Veränderungen der Landschaft lassen sich schnell einarbeiten und darstellen. In Kombination mit Prognosemodellen können auf diese Weise Entscheidungsalternativen in die Zukunft projiziert werden und hinsichtlich ihrer zu erwartenden Konsequenzen beurteilt werden. Auswirkungen auf die Umwelt und Kosten von bautechnischen Vorhaben können schneller abgeschätzt und visualisiert werden. Gerade letzterem Punkt kommt eine besondere Bedeutung zu, da dadurch die Vorstellbarkeit von Planungen bei Ortsterminen bzw. Diskussionen verbessert wird.

## 7 Anmerkungen

Unser Dank gilt Herrn Prof. Dr. Spiecker und Herrn Thies für die Projektkoordination und die produktive Zusammenarbeit. Darüber hinaus gilt unser Dank dem **VDI Technologiezentrum Physikalische Technologien** für die hervorragende Unterstützung in allen Angelegenheiten der Projektverwaltung sowie dem **Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)**, welches das Projekt unter dem Kennzeichen 13N8102 fördert.

## 8 Literatur

- KOCH, B., FRIEDLAENDER, H., 1999: Erste Erfahrungen zum Einsatz von Laserscannerdaten zur Erfassung von vertikalen und horizontalen Strukturen im Wald. In Albertz J. (Hrsg.): Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung e.V., Band 8, pp. 335-343. Tagungsband der 19. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF, Essen, 13.-15.10.1999.
- FRIEDLAENDER, H., KOCH, B., 2000: First experience in the application of laserscanner data for the assessment of vertical and horizontal forest structures. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B7. Amsterdam 2000. pp 693-700.
- HYYPPÄ, J., SCHARDT, M., HAGGRÉN, H., KOCH, B., SCHERRER, H.U., PAANANEN, R., LUUKKONEN, H., ZIEGLER, M., HYYPPÄ, H., PYYSALO, U., FRIEDLÄNDER, H., ET. AL., 2001: HIGH SCAN: The first European-wide attempt to derive single-tree information from laserscanner data. In: The Photogrammetric Journal of Finland. Vol. 17 No. 2 2001, pp 58-68.
- THIES, M.; KOCH, B.; SPIECKER, H., 2002: Einsatzmöglichkeiten von Laserscannern für Wald- und Landschaftsinventuren. AFZ/ Der Wald 59 (8): 395- 397.