

# **Einsatz von Laserscan-Daten und Orthophotos zur dreidimensionalen Erfassung von Gehölzen im Offenland**

Tobias SIXEL, Christoph STRAUB und Rainer WAGELAAR

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.*

## **Zusammenfassung**

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der dreidimensionalen Erfassung von Gehölzen in der freien Landschaft mithilfe von modernen Fernerkundungsdaten. Hierfür werden Höhenmessungen aus flugzeuggetragener Laserscannermessung in Kombination mit hochauflösenden Orthophotos verwendet. Vor dem Hintergrund einer möglichen energetischen Nutzung von holzhaltiger Biomasse aus der freien Landschaft, wird eine Methode vorgestellt, mit der es möglich ist, Gehölzflächen von der umgebenden Landschaft automatisch abzugrenzen. Es folgen weitere Analysen, mithilfe derer sich verschiedene Klassifizierungen der Gehölzflächen vornehmen lassen, die einen Überblick über die zu erwartende Menge und Qualität der Biomasse geben sollen. Weiterhin lassen sich Aussagen über die Zugehörigkeit zu einer Nutzungskategorie sowie der Eigentümerzugehörigkeit dieser Flächen treffen.

## **1 Einleitung**

Holz wird seit Menschengedenken als Brennstoff genutzt. Der fossile Energieträger Öl wird auf Dauer knapper und damit teurer. Der vorliegende Beitrag ist Bestandteil des Projekts „Mobilisierung der holzhaltigen Biomasse aus der Landschaft“, welches von der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft in Rheinland Pfalz ins Leben gerufen wurde und finanziell gefördert wird. Das Gesamtprojekt beschäftigt sich mit der Frage, inwieweit Biomasse aus der Landschaft für eine energetische Verwendung in Frage kommt. Es existieren bereits Holzpotenzialstudien für Rheinland Pfalz sowohl auf Landes- wie auch auf Bundesebene. Diese Studien sind jedoch für einzelne Gebiete zu ungenau. Es wird deshalb eine effiziente Erfassungsmethode gesucht, um die Bestimmung der holzhaltigen Biomasse für eine energetische Nutzung zu konkretisieren. Bisheriger Stand ist, dass viele Straßen- und Autobahnmeistereien entlang von Verkehrswegen Büsche und Gehölze im Zuge von Verkehrssicherungsmaßnahmen in regelmäßigen Abständen auf den Stock setzen. Die auf diesem Wege produzierte Biomasse wird allerdings derzeit in den meisten Fällen in der Landschaft belassen.

Ziel dieser Arbeit ist es, mithilfe von GIS-Analysen, ein geeignetes und effektives Verfahren zu finden, mittels dessen sich Gehölze in der freien Landschaft von der Umgebung abgrenzen, erfassen und nach Biomasse klassifizieren lassen.

Es soll weiterhin untersucht werden, inwieweit ALK-Daten (Daten aus der Automatisierten Liegenschaftskarte) und das DLM (Digitales Landschaftsmodell) aus dem ATKIS-Datenbestand (Daten aus dem Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem) die Erfassung der Vegetationsflächen unterstützen können und ob in einem GIS die Nutzungskategorie und die Eigentümerzugehörigkeit dargestellt werden kann. Zusätzlich soll untersucht werden, inwieweit die verschiedenen Gehölze klassifiziert werden können, beispielsweise nach Fläche, Volumen und nach ihrem Standort (Straßen-, Ufer- und sonstige Gehölze). Es soll ein Überblick über die zu erwartende Menge an holzhaltiger Biomasse gegeben werden.

Das Untersuchungsgebiet mit 6 km<sup>2</sup> Größe ist durch das Neckartal/Heckengäu mit Feldgehölzen gekennzeichnet. Das Gebiet wird gekreuzt von verschiedenen Verkehrsstrassen mit unterschiedlich ausgeprägtem Straßenbegleitgrün. Weitere Elemente sind Streuobstwiesen und Gehölzstreifen (Baum- und Buschbestand) entlang von Feldwegen und Gewässern. Am Nordrand befindet sich das Stadtgebiet Rottenburg. Das Versuchsgebiet ist also hinsichtlich der vorkommenden Nutzungskategorien breit gefächert.



**Abb. 1:** Ausschnitt aus dem Untersuchungsgebiet

## 2 Datengrundlagen

### 2.1 Daten aus flugzeuggetragener Laserscannermessung

Die flugzeuggetragene Laserscannermessung ist ein modernes Fernerkundungsverfahren zur direkten Erfassung von Höheninformationen der topographischen Geländeoberfläche.

Die Höhenmessung über dem Relief erfolgt durch ausgesendete Laserlichtimpulse, welche quer zur Flugrichtung abgelenkt werden. Dadurch wird die Geländeoberfläche innerhalb eines definierten Geländestreifens abgetastet (WEVER 1999).

Die Laserlichtimpulse werden kontinuierlich versendet und nach der Reflexion von der Geländeoberfläche vom Laserscanner wieder aufgezeichnet. In Kombination mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Laserimpulses ist die Messung der Laufzeit Grundlage zur Distanzberechnung zwischen Gelände und Flugzeug. Die Ermittlung der Position des Flugzeugs erfolgt durch GPS (Global Positioning System) und INS (Inertial Navigation System). Damit wird die Lage jedes Reflexionspunktes im dreidimensionalen Raum feststellbar (HEURICH et al. 2004). Da ein Laserimpuls nicht nur von der tatsächlichen Erdoberfläche reflektiert wird, sondern auch von darauf befindlichen Objekten wie z.B. Vegetation, bieten Laserscannersysteme die Möglichkeit, den ersten und den letzten zurückkommenden Impuls zu registrieren (First Pulse und Last Pulse). Dies ermöglicht die Differenzierung der Signalreflexionen nach tatsächlichen Bodenpunkten, aus welchen ein digitales Geländemodell abgeleitet werden kann (DGM) und nach Objektpunkten, aus welchen ein digitales Oberflächenmodell (DOM) berechnet werden kann. Durch die hohe Punktdichte der Laserscannerdaten wird die Gewinnung von Höheninformationen in Waldgebieten möglich, in denen die klassische Photogrammetrie nur sehr wenige Informationen liefern kann. Die Datenaufnahme erfolgt weitgehend automatisiert und vollständig digital. Nicht zuletzt deshalb ist dieses Verfahren im Vergleich besonders wirtschaftlich. Die erreichbare Genauigkeit ist sehr hoch.

Die Laserscannerdaten für diese Arbeit entstammen dem Datensatz der Landesbefliegung von Baden-Württemberg zur Erstellung eines neuen hochgenauen Geländemodells. Hierfür verwendete die Firma TopScan das ALTM-System „1225“ der kanadischen Firma Optech Inc. Die wesentlichen Systemparameter werden in Tabelle 1 zusammengefasst:

**Tab. 1:** Systemparameter des ALTM-Systems 1225

Messfrequenz:	25.000 Hz
Scanfrequenz:	25 Hz
Scanwinkel:	$\pm 20^\circ$
Fluggeschwindigkeit:	80 m/sek.
Mittlere Flughöhe:	900 m
Streifenabstand:	300, 400, 450 m (je nach Reliefenergie)

(in Anlehnung an SCHLEYER 2001)

## 2.2 Orthophotos

Es wurden panchromatische digitale Orthophotos mit einer Pixelauflösung von 25 cm aus der Befliegung des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg vom Mai 2003 verwendet. Der Aktualisierungszeitraum liegt bei 5 Jahren. Orthophotos fungieren als Hintergrundinformation und als Interpretationshilfe (LANDESVERMESSUNGSAmt BADEN-WÜRTTEMBERG 2004).

## 2.3 ALK-Daten

Im Liegenschaftskataster des Landesvermessungsamtes, beziehungsweise der städtischen Vermessungsdienststellen, werden Flurstücke und Gebäude nachgewiesen. Für diese Arbeit von Bedeutung ist die digitale Punkt- und Grundrissdatei, die im Vektorformat DXF vorliegt. Die Daten sind von hoher Qualität und Genauigkeit (LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2004).

## 2.4 ATKIS-DLM

Das Digitale Landschaftsmodell (DLM) der AdV – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (ADV 2004) ist objektorientiert und beschreibt die Topographie zweidimensional ohne die Berücksichtigung des Reliefs. Der Objektartenkatalog ist untergliedert in Objektbereiche, Objektgruppen und -arten. Das DLM 25/1 enthält, flächendeckend für ganz Baden-Württemberg, eine Auswahl der wichtigsten Objektarten mit einem Mindestumfang an attributiver Beschreibung (LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2004).

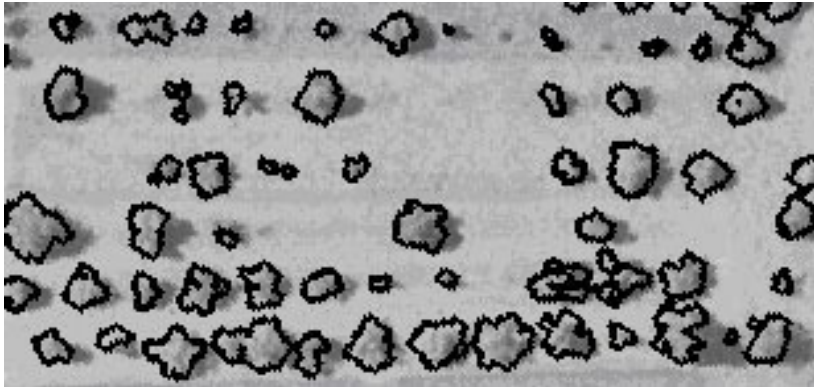
# 3 Methodik

## 3.1 Oberflächenmodellierung

Für die Datenvorbereitung und Filterungen wurde die Software SCOP++ der Firma INPHO GmbH eingesetzt. Die Modellierungen und Analysen wurden mit ArcGIS 9.0 der Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute) mit den Extensions 3D-Analyst und Spatial Analyst durchgeführt. Durch die getrennte Aufzeichnung von First- und Last-Pulse-Messungen ermöglichen Laserscannerdaten die Erstellung von digitalen Geländemodellen und digitalen Oberflächenmodellen. Aus diesen beiden Modellen kann durch einfache Subtraktion ein normalisiertes DOM berechnet werden, aus welchem direkt Objekthöhen abgelesen werden können. Je nach Einsatzbereich wurden die Oberflächenmodelle durch Dreiecksvermaschung als TIN (Triangulated Irregular Network) oder als Rasterdatei (Grid) berechnet. Die Ableitung von Parametern wie Hangneigung, Hangexposition oder Konturlinien ist aus diesen Modellen direkt möglich.

## 3.2 Automatische Abgrenzung von Gehölzen

Gehölzabgrenzungen können über Höhendifferenzen aus dem nDOM abgeleitet werden. Hierfür wurde ebenfalls die Software ArcGIS 9.0 verwendet. Nach dem Funktionsprinzip der Map-Algebra wurden Berechnungen mit dem „Raster Calculator“ aus der Spatial Analyst Extension durchgeführt. Um Vegetationsumrisse wie in Abbildung 2 darzustellen, wurden alle Rasterzellen abgefragt, die Objekte mit einer bestimmten Mindesthöhe über dem Erdboden repräsentieren (z. B. Vegetationshöhen > 1 Meter). Als Ergebnis wird dann allen Zellen über dem Schwellwert der Wert „1“ zugewiesen. Wie sich gezeigt hat, werden Objektoberflächen in einigen Fällen nicht fehlerfrei bzw. nicht als geschlossene Objekte erfasst. Mit der freien Extension „Generalize“ können Lücken aus dem Rasterdatensatz entfernt werden. Im Anschluss erfolgt die Konvertierung der Rasterflächen in Polygone.



**Abb. 2:** Automatische Abgrenzung von Vegetationsflächen über Höhenunterschiede im nDOM bei einer Pixelgröße von 0,25 m

Durch die bisherigen Berechnungen konnten zusammenhängende Vegetationselemente in Ihrer Gesamtheit abgegrenzt werden. Eine Abgrenzung von einzelnen Baumkronen innerhalb einer zusammenhängenden Hecke ist noch nicht möglich. Durch gestaffelte Abfragen mit dem „Raster Calculator“ können mehrere Vegetationshöenschichten erstellt werden. Dadurch können Kronen von der niedrigeren Hecke getrennt werden. Zur eindeutigen Identifizierung und Interpretation kann jedoch nicht auf das Orthophoto verzichtet werden.

Durch manuelle Nachbearbeitung können Kronen mithilfe der Orthophotos (und Konturlinien als Interpretationshilfe) sehr genau digitalisiert und mit der automatisch gewonnenen Vegetationsgrenze verschnitten werden. Je nach Qualitätsvorstellung können die Vegetationsflächen editiert werden und fälschlicherweise zusammenhängende Baumkronenpolygone getrennt werden.

### 3.3 Qualitätsverbesserungen mit ALK-Daten

Bei der Berechnung der Umrisspolygone, wie sie bisher durchgeführt wurden, werden sämtliche Objekte in der Landschaft erfasst, die deutlich über der Geländeoberfläche liegen. Die gewonnenen Polygonflächen stellen deshalb nicht nur Vegetationsflächen dar, sondern beinhalten auch Gebäude. Eine manuelle Nachbearbeitung ist zwar möglich, jedoch sehr zeitintensiv. Diese fälschlicherweise vorhandenen Polygone können automatisiert entfernt werden, indem die Gebäude der ALK dem durch die vorangegangenen Analysen gewonnen Datensatz hinzugefügt werden. Über einen „räumlichen Join“ werden Attributwerte der ALK-Gebäude auf die bisher berechneten Polygone übertragen. Durch eine anschließende Abfrage können die unerwünschten Gebäudeumrisse aus dem Datensatz entfernt werden. Die Abbildungen 3 und 4 sollen diesen Vorgang verdeutlichen.



**Abb. 3:** ALK- und Gebäudeumrisse



**Abb. 4:** Verbleibende Gehölzstrukturen nach Entfernung der Gebäude (Beispiel hier: Siedlungsbereich)

### 3.4 Qualitätsverbesserungen mit dem ATKIS-DLM

Für weitere Qualitätsverbesserungen wurden die verschiedenen Landnutzungskategorien aus dem DLM verwendet. Um ausschließlich Vegetationsumrisse der freien Landschaft abzubilden, können diese über die Funktion „Select by Location“ in ArcGIS gezielt abgefragt werden (beispielsweise über die Landnutzungsklassen: Grünland, Ackerland, Gehölz, etc.). Alle Siedlungs- und Waldflächen können beseitigt bzw. ausgeschlossen werden. Auf Grundlage dieses Datensatzes können nun, getrennt nach Landnutzungskategorien, Berechnungen durchgeführt werden.

## 4 Automatisierte Berechnung von Vegetationshöhe, Vegetationsfläche und Vegetationsvolumen

KETTEMANN (2004, 20) beschreibt die Gewinnung von Gebäudehöhen aus den Laserscannerrohdaten und Gebäudeumrissen der ALK. Dieser Ansatz wird im Folgenden auf die Vegetationsflächen übertragen.

Folgende Daten werden hierfür benötigt:

- Automatisch oder manuell gewonnene Vegetationsabgrenzungen (als Polygonflächen)
- Das digitale Geländemodell aus Laserscannerdaten als regelmäßiges Punktraster (Das Geländemodell wurde unter den Vegetationsflächen interpoliert)
- Die First-Pulse-Hochpunkte der Laserscannerbefliegung

Das DGM als Punktraster repräsentiert das Gelände unter der Vegetation. Die Hochpunkte bilden die Vegetationsoberfläche ab. Die tatsächlich gemessenen Hochpunkte gehen unverändert und unbeeinflusst in die Berechnung ein. Über einen „räumlichen Join“ werden die Höheninformationen der Punkte auf die Polygonflächen übertragen. Mit diesen Werten können nun folgende Berechnungen durchgeführt werden:

- Durchschnittliche Vegetationshöhen: Vegetationsoberfläche (Average-Join) – Geländeoberfläche (Average-Join)
- Einzelne Baumhöhe: Kronenspitze (Maximum-Join) – Geländeoberfläche (Average-Join)
- Vegetationsvolumen: Durchschnittliche Höhe \* Vegetationsfläche

## 5 Klassifizierung

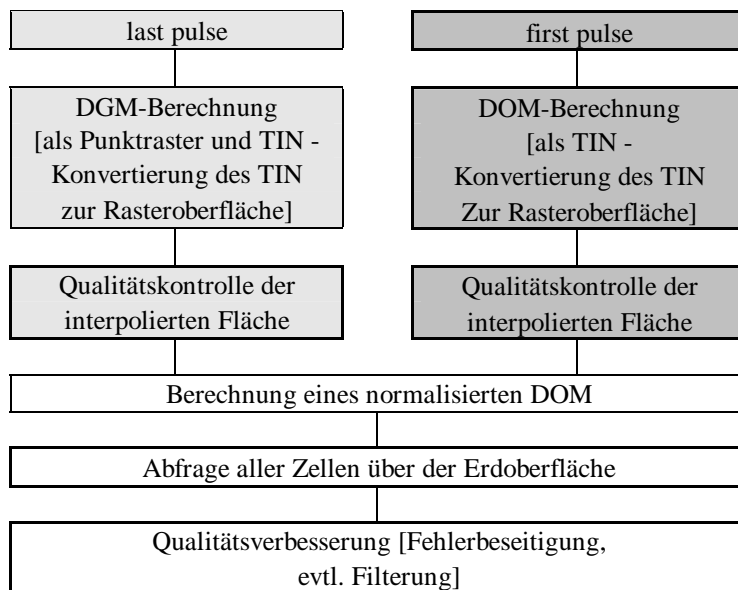
Auf Grundlage der vorangegangenen Analysen und Berechnungen können die Vegetationsflächen der offenen Landschaft nach unterschiedlichen Kriterien klassifiziert werden:

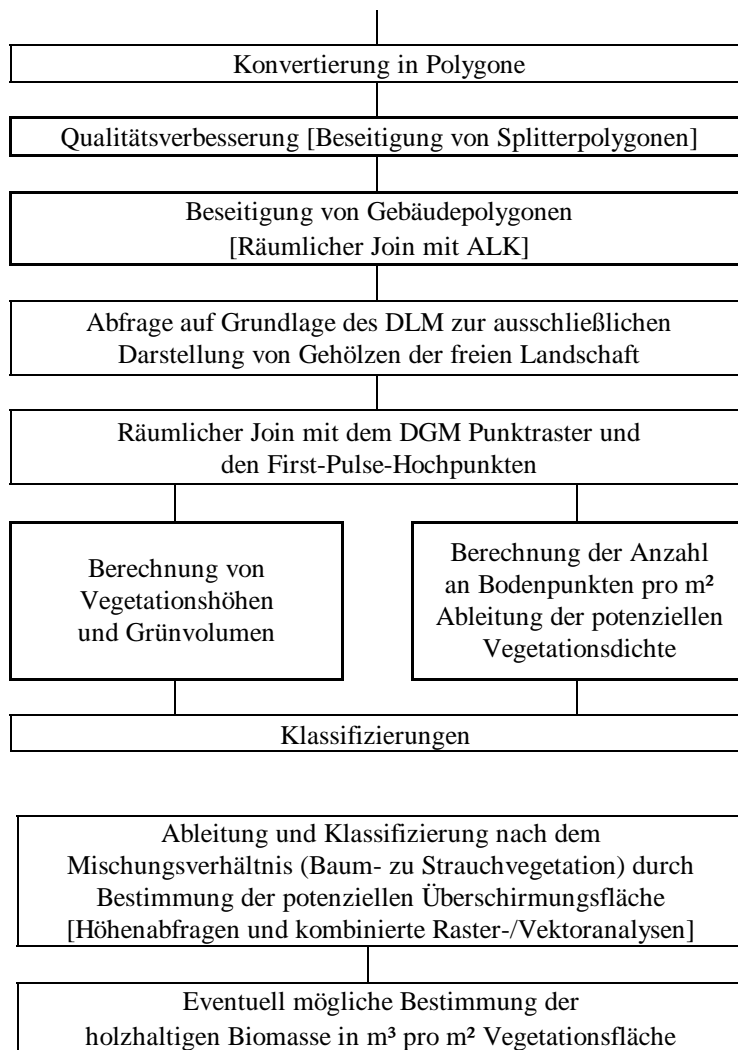
- Vegetationshöhe
- Baumgehölze/Hecken bzw. Strauchgehölze
- Volumen (Fläche des Umrisspolygons multipliziert mit der mittleren Höhe = Gesamtvolumen, welches einem Polygon zugeordnet werden kann)
- Grünvolumen ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ )

Weiterhin wurde nach der potenziellen Vegetationsdichte, Straßenbegleitgehölzen, Ufergehölzen, sonstigen Gehölzen sowie nach der Eigentümerzugehörigkeit klassifiziert.

## 6 Arbeitsablauf

Tab. 2: Arbeitsablauf





## 7 Beurteilung der Ergebnisse und Ausblick

Die Erfassung bzw. Abgrenzung von Gehölzen durch Höhenabfragen aus dem nDOM wird umso genauer, je weiter man die Rasterweite „verringern“ kann. Ist der Abstand zwischen den Punkten allerdings zu gering, werden einzelne Bäume zu einem gemeinsamen Polygon zusammengefasst. In einigen Fällen konnten Objektflächen nicht vollständig erfasst werden. Die Ursache hierfür könnte in der zu geringen Punktdichte der Laserscannerpunkte liegen und dem Erfassungsdatum: Winterbefliegung mit fehlender Belaubung (Februar 2002). Durch die Anwendung von Filterverfahren kann diesem Effekt in einigen Fällen entgegen gewirkt werden. Es ist davon auszugehen, dass Laserscannerdaten mit einer höheren Punktdichte und aus einer Sommerbefliegung zu besseren Ergebnissen bei



der Erfassung von Gehölzstrukturen führen. Die gewonnenen Vegetationsgrenzen können je nach Qualitätsvorstellung manuell überarbeitet werden. Insbesondere fehlerhaft zusammenhängende Polygonflächen können getrennt werden.

Eine genaue Abgrenzung und Flächenerfassung ausschließlich mithilfe des Basis-DLM 25/1 und den ALK-Daten erscheint nicht möglich. Allerdings kann mit den genannten Daten eine effiziente Zuordnung nach dem Standort (Straßenbegleitgehölz, Ufergehölz usw.) und zu einer Nutzungskategorie erfolgen, sowie die Eigentümerzuordnung dargestellt werden.

Die Berechnung der Vegetationsfläche wurde mit den gewonnenen Vegetationsgrenzen der Höhenabfrage durchgeführt. Hierbei ist ein hoher Automatisierungsgrad erreicht. Der visuelle Abgleich mit den Orthophotos zeigt, dass größere Vegetationsobjekte sehr gut erfasst werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die berechneten Flächen entsprechend genau sind.

Für die automatische Abgrenzung von Einzelbäumen bzw. Einzelgehölzen, innerhalb von Vegetationsgruppen, konnte keine zufrieden stellende Lösung gefunden werden. Nur wenn sich Einzelbäume in ihrer Höhe deutlich von der umliegenden Vegetation abheben, können die Kronenschirmflächen durch eine Höhenabfrage erfasst werden.

Zur Bestimmung von Vegetationshöhe und Grünvolumen wurden die Höheninformationen der First-Pulse-Hochpunkte und des DGM-Punktrasters durch einen „räumlichen Join“ auf die Polygonflächen übertragen. Der große Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass die original gemessenen Punkte der First-Pulse-Messung ohne Veränderung in die Berechnung eingehen. Wird davon ausgegangen, dass keine „Ausreißer“ in den Punkten vorhanden sind, kann mit dieser Methode eine hohe Genauigkeit erreicht werden.

Um eine Genauigkeitsvorstellung der Laserscannerdaten aus Winterbefliegung mit geringerer Punktdichte (ca. 1-2 Meter Punktabstand) zu erhalten, wurden für diese Machbarkeitsstudie, im Rahmen der Diplomarbeit von Sixel, terrestrische Vegetationshöhenmessungen mit den Laserscannermessungen verglichen (SIXEL 2005). Hierbei wurden auffällige Offenlandgehölze wie beispielsweise Apfelbäume einer Streuobstwiese oder deutlich abgrenzbare Baumkronen innerhalb einer Hecke aufgesucht und terrestrisch vermessen. Zur genauen Positionsbestimmung wurden GPS-Messungen mit „Offset-Funktion“ durchgeführt. Insgesamt konnten 54 Messungen verglichen werden. Der Mittelwert der Messhöhendifferenz aller gemessenen Bäume beträgt  $-3.65$  Meter. Bei einer Standardabweichung von  $\pm 1.8$  Meter. Das bedeutet, dass die mit dem Laser ermittelten Baumkronen um ca. 3.6 Meter geringer ausfallen, als die terrestrisch gemessenen. Die Vegetationshöhen werden im Mittel um 25 % unterschätzt. Diese systematische Abweichung zeigt, dass die Reflexionen bei einer Winterbefliegung häufig nicht von den Wipfeltrieben erfolgen, sondern meist von tiefer gelegenen Ästen. Weiterhin ist die Punktdichte nicht hoch genug, um Wipfeltriebe zu erfassen.

Im weiteren Verlauf des Projekts wird der Anteil der Kronenschirmfläche zur nicht über-schirmten Fläche untersucht (d.h. die Relation von Flächen mit Bäumen zu Flächen, die nur mit relativ niedrigem Bewuchs bestockt sind). Aus dem daraus abgeleiteten „Mischungsverhältnis“ werden Rückschlüsse auf die Biomasse erwartet. Dieser Zusammen-

hang wird in weiteren Diplomarbeiten an der Fachhochschule Rottenburg untersucht. Zur möglichen Bestimmung der potenziellen Biomasse mit Fernerkundungsdaten wurde eine Klassifizierung der Vegetation nach Mischungsverhältnis und Höhenstufe im GIS vorgenommen. Diese Klassifizierung der Vegetation im Laserscan-Modell wurde im Rahmen der Diplomarbeit von Sixel evaluiert (SIXEL 2005). Hierfür wurden 122 der am Bildschirm ermittelten Gehölzgruppen im Untersuchungsgebiet aufgesucht und visuell hinsichtlich Höhenstufe und Mischungsverhältnis beurteilt. Die Vergleiche der Höhenstufen können wie folgt zusammengefasst werden: Trotz der erwähnten systematischen Unterschätzung von Vegetationshöhen zeigen die Untersuchungen, dass eine Höhenklassifizierung der Vegetation verhältnismäßig genau bleibt (71 % Übereinstimmung mit den Felderhebungen). Die Klassifizierung der Vegetation nach dem Mischungsverhältnis über die Kronenschirmfläche führt mit dem vorliegenden Datensatz zu keinen zufrieden stellenden Ergebnissen (54 % Übereinstimmung mit den Felderhebungen). Dadurch wird eine Abschätzung der holzhaltigen Biomasse von Gehölzen erschwert. Korrekturverfahren bzw. Optimierungen der Analysen müssen in Folgearbeiten getestet werden.

Der Datensatz dieser Studie ist sehr gut geeignet, um die tatsächliche Geländeoberfläche ohne Objektstrukturen zu erfassen. Um jedoch Vegetationsoberflächen optimal abzutasten, wäre eine Sommerbefliegung mit höherer Punktdichte notwendig. Dadurch wäre eine Unterschätzung der Vegetationshöhen und Volumina stark minimiert. Dies bestätigen die Untersuchungen von HEURICH et al. (2004). Kronenschirmflächen könnten deutlich besser erfasst werden, wodurch gegebenenfalls eine Bestimmung des Mischungsverhältnisses verbessert werden könnte.

## Literatur

- ADV – ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VERMESSUNGSVERWALTUNGEN DER LÄNDER DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (2004): Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem. Ein Projekt der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. Online im Internet: <http://www.adv-online.de/produkte/atkis.htm> (Stand 05.05.2004).
- HEURICH, M., GÜNTHER, S., SCHRÖDER, S. & E. KENNEL (2004): Baumhöhenmessung mit flugzeuggetragenen Laserscannern. In: AFZ-Der Wald, 17-2004.
- KETTEMANN, R. (2004): Schneller Informationsgewinn für Planer aus Laserscanner-Daten des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg. In: DVW Mitteilungen, 2, 20-27.
- LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2004): Online im Internet: <http://www.lv-bw.de> (Stand 5.5.2004).
- SCHLEYER, A. (2001): Das Laserscan-DGM von Baden-Württemberg. Online im Internet: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo01/phowo01.htm> (Stand 26.1.2005)
- SIXEL, T. (2005): Erfassung von Gehölzen in der offenen Landschaft durch Einsatz von Laserscan-Daten und Orthophotos. Diplomarbeit, FH Rottenburg.
- WEVER, C. (1999): Laserscannermessung – Ein Verfahren setzt sich durch. In: GIS – Geo-Informationssysteme, 12, 12-17.