24.Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF v.
15. bis 17. September 2004, Halle/ Saale: 341- 348.

Automatisierte Ableitung von forstlichen Inventurparametern aus terrestrischen Laserscannerdaten

TOBIAS ASCHOFF[1], MICHAEL THIES[1], DANIEL WINTERHALDER[1], URSULA KRETSCHMER[1], HEINRICH SPIECKER[1]

Zusammenfassung: Im Rahmen von forstlichen Betriebsinventuren werden auf Stichprobenbasis Informationen über Baumarten, Durchmesser von Einzelbäumen und deren Höhe etc. erhoben. Diese werden auf der Ebene von Forstbetrieben verdichtet und beispielsweise für die nachhaltige Planung der zukünftigen Holznutzung verwendet. Am Institut für Waldwachstum der Universität Freiburg wird in dem vom BMBF geförderten Forschungsprojekt NATSCAN der Einsatz terrestrischer Laserscanner zur Optimierung von forstlichen Inventuren untersucht. Für die automatische Auswertung dieser Daten wurde eine mehrstufige Methodik entwickelt, bei der die Koordinaten der Punktwolke systematisch klassifiziert und schrittweise reduziert werden. In definierbaren Abständen über dem lokalen Terrain werden Schichten in die 3D-Punktwolke gelegt, innerhalb derer mit Hilfe einer Hough-Transformation die Baumfußpunkte und die Schaftdurchmesser in verschiedenen Baumhöhen ermittelt werden. Zusätzlich wird ein erster Ansatz zur Schätzung von Baumhöhen aus terrestrischen Laserscannerdaten mit Hilfe von Schaftfunktionen vorgestellt. Eine Diskussion sowohl möglicher Fehlerquellen als auch verschiedener Ansätze zur Verbesserung des Verfahrens schließt den Beitrag ab.

1 Einleitung

Eine nachhaltige Forstwirtschaft, die auf Dauer gesellschaftlichen Ansprüchen im Sinne von Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen gerecht werden soll, lässt sich nur auf Grundlage von detailgenauen Informationen über den aktuellen Waldzustand umsetzen. Diese Daten wiederum ermöglichen die Ableitung von mittelfristigen Planungen unterschiedlicher forstlicher Maßnahmen. Die Gewinnung von Informationen über den Waldzustand erfolgt durch terrestrische Betriebsinventuren auf Stichprobenbasis. In Baden-Württemberg sind die Stichproben als konzentrische Probekreise mit gestaffelte Radien in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser und Höhe der Bäume konzipiert, wobei der maximale Radius 12m beträgt (FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG 1995). Diese Stichprobenpunkte werden in einem Raster von 100m x 200m über einen Forstbezirk systematisch angelegt. Die Auswertungen der einzelnen Stichproben werden auf Betriebsebene verdichtet, so dass statistisch zuverlässige Aussagen über Baumartenanteile, Vorräte der Waldbestände, Verteilung der Bäume auf verschiedene Durchmesserklassen etc. abgeleitet werden können (KEMMNER & RISSE 1994, SPELLMANN ET AL. 1999). In einem Teilbereich des NATSCAN-Projektes (THIES ET AL. 2002) wird die Eignung von terrestrischen Laserscannern für Waldinventuren auf Stichprobenbasis überprüft. Im Unterschied zu den bisherigen Anwendungsbereichen von terrestrischem Laserscanning, bei denen in der Regel singuläre Objekte von großer Bedeutung, wie z.B. Bauwerke, Industrieanlagen etc. mit hohem Aufwand vermessen werden, ist bei der Auswertung von

[1] Institut für Waldwachstum, Universität Freiburg, Tennenbacherstr. 4, 79106 Freiburg, e-mail: {tobias.aschoff, michael.thies, daniel.winterhalder, ursula.kretschmer, instww }@iww.uni-freiburg.de

Stichprobeninventuren der einzelne Stichprobenpunkt nur ein kleiner Baustein zur Gewinnung der gewünschten Information. Die Anzahl auszuwertender Scanneraufnahmen ist dagegen sehr groß. Daraus folgt, dass der Aufwand bei der Datenauswertung bei definierter Qualität der Informationen möglichst minimiert werden muss. Entsprechend wurde für die Analyse von terrestrischen Laserscannerdaten ein Ansatz verfolgt, der eine weitgehende Automatisierung ermöglicht und dennoch reproduzierbare Daten hoher Qualität liefert sowie zu einer Verringerung des zeitlichen Aufwandes beiträgt. Es werden einerseits forstlich interessierende Parameter aus den 3D-Punktwolken extrahiert und andererseits Grundlagen für die Visualisierung von Waldausschnitten abgeleitet. Hauptgegenstand der Bearbeitungskette der Rohdaten, die aus kartesischen 3D-Koordinaten im ASCII-Format zzgl. der Intensitätsinformation bestehen, ist eine schrittweise Reduktion der Daten entsprechend des in Abbildung 1 dargestellten Ablaufs. Die Punktwolken resultieren aus Aufnahmen mit dem Imager 5003 der Firma Zoller&Fröhlich im März 2004 in noch unbelaubtem Zustand der Bäume. Die Datengewinnung erfolgt im multiple-scan-Modus (THIES ET AL. 2003), d.h. um einen Stichprobenmittelpunkt herum werden in diesem Fall fünf Scanneraufnahmen durchgeführt, die zueinander registriert wurden. Der Ablauf der Datenauswertung (s. Abbildung 1), der im Folgenden kurz zusammengefasst werden soll, sieht zunächst ein Ausfiltern von mixed pixels (d.h. Koordinaten außerhalb des ersten Eindeutigkeitsbereiches) und isoliert liegenden Punkten vor. Daran schließen sich die Algorithmen zur Berechnung eines digitalen Geländemodells (DGM) an. Auf Grundlage des DGMs wird ein Layer-Export durchgeführt, bei dem aus Schichten konstanten Abstandes zur Geländeoberfläche, die in die 3D-Punktwolke gelegt werden, kreis- und ellipsenähnliche Objekte extrahiert werden. Auf diese Weise können Baumdurchmesser in verschiedenen Höhen bestimmt werden. Die in Layern unterschiedlicher Höhe über dem Gelände gefundenen Kreise und Ellipsen werden in einem anschließenden Bearbeitungsschritt zu Bäumen zusammengefasst.

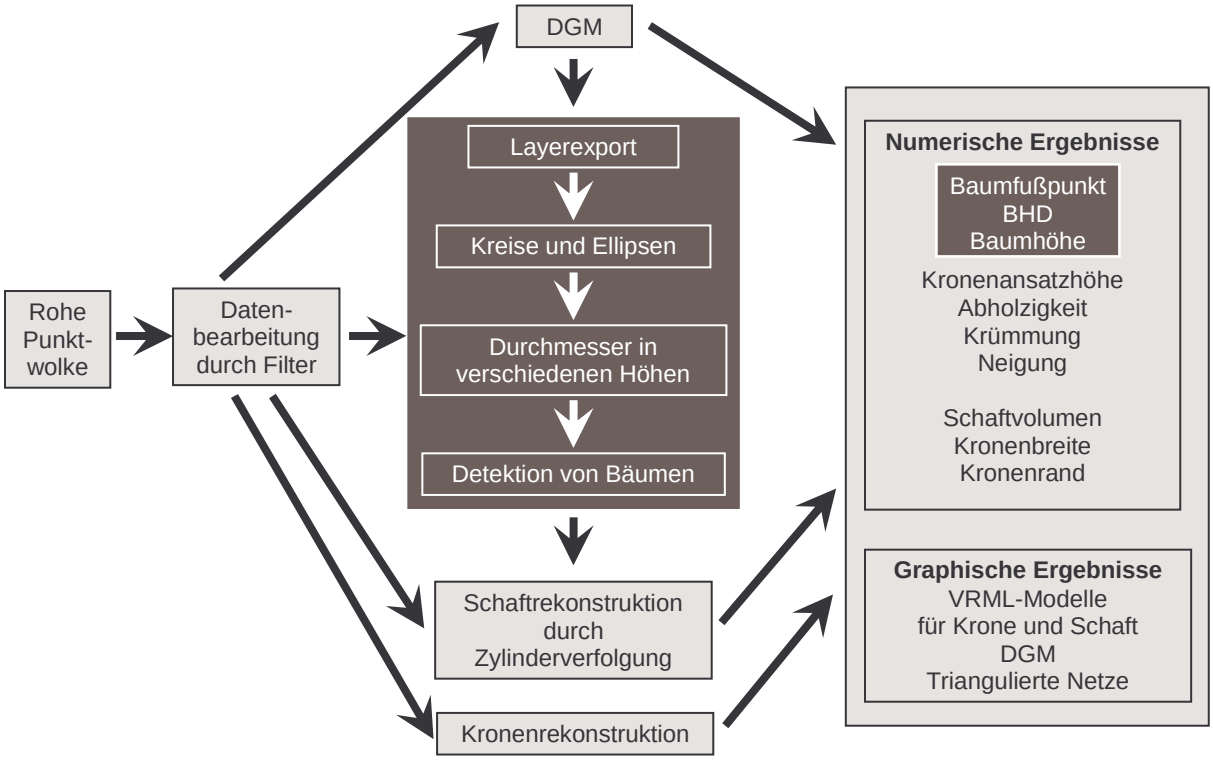

Abb. 1: Übersicht über die Methodik der Datenauswertung

Dadurch wird gleichzeitig der Startpunkt zur Approximation von Baumschäften durch ineinander geschachtelte Kreiszylinder übergeben (THIES ET AL. 2004). Zur Rekonstruktion der Baumkrone, die bedingt durch überlappende Äste, Windbewegung etc. i.d.R. nicht unmittelbar vermessen werden kann, wurden zusätzlich Algorithmen zur Extrapolation der Baumhöhe und der Kronenarchitektur entwickelt.
Im Mittelpunkt des folgenden Beitrages steht die Beschreibung der Methodik und die beispielhafte Ermittlung der Parameter Baumfußpunkt, Brusthöhendurchmesser (BHD, d.h. ein wichtiger forstlicher Kennwert und entspricht dem Durchmesser eines Baumes in 1,30m über dem Gelände) und Baumhöhe (in Abb. 1 dunkelgrau unterlegt).

2 Material und Methoden

2.1 Detektion von Baumfußpunkten und Baumdurchmessern

Entsprechend der in SIMONSE ET AL. (2003) geschilderten Methode werden aus den gefilterten Scannerdaten die Durchmesser der Baumschäfte in verschiedenen Höhen abgeleitet. Dazu erfolgt zunächst die Generierung eines Geländemodells, indem die Punktwolke gerastert und innerhalb eines 50 x 50cm großen Rasterelements die niedrigste Z-Koordinate zwischengespeichert, eine Ausreißerüberprüfung vorgenommen und anschließend eine Delauny-Triangulation auf Basis des Sub-Datasets durchgeführt wird. In definierten Abständen über dem Gelände werden Schichten (Layer) aus den Punktwolken extrahiert, gerastert und jedes Rasterelement proportional zu der Anzahl von Koordinaten innerhalb des Elements durch Grauwerte kodiert und als 2D-Image dargestellt. Dieses kann mit konventionellen Bildbearbeitungsmethoden weiterverarbeitet werden. Die Querschnitte von Bäumen bilden sich als kreisähnliche Strukturen ab, die mit Hilfe einer HOUGH-Transformation detektiert werden und durch ausgleichende Kreise sowie ausgleichende Ellipsen angepasst werden (PITAS 2000). Die Mittelpunkte dieser geometrischen Körper in 1,30m Höhe (BHD) werden als Repräsentativwert für die Baumfußkoordinaten verwendet. Sich überlagernde Kreise aus mit zunehmender Höhe über dem Gelände ausgeschnittene Layern gehören mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem Baum und werden daher durch einen Ausgleichungsansatz, bei dem gleichzeitig Ausreißer eliminiert werden, miteinander verbunden.

2.2 Schätzung der Baumhöhe

Einer der wichtigsten Parameter von Einzelbäumen ist die Baumhöhe, die sowohl für die Volumenermittlung als auch in Verbindung mit dem Alter für die Einschätzung der standörtlichen Leistungsfähigkeit von Bedeutung ist. Eine direkte Messung der Baumhöhe aus den Scans ist jedoch nur in den seltensten Fällen möglich, da der obere Kronenbereich meist aufgrund von Verdeckungen durch Äste und Nadeln nicht direkt einsehbar ist oder Windbewegungen zu Verwischungseffekten im Scanbild führen, die nicht ausgewertet werden können. Durch die oben geschilderte Vorgehensweise liegen dagegen Informationen über die Schaftform als Wertepaare von Baumdurchmesser und zugehöriger Schafthöhe vor. Für die Extrapolation der Baumhöhe werden neben diesen Daten baumartenspezifische Schaftfunktionen verwendet, die die Abnahme des Durchmessers mit zunehmender Baumhöhe beschreiben. In dem vorliegenden Ansatz wird die modifizierte BRINK-Funktion verwendet, die aus zwei verknüpften Exponentialfunktionen besteht, von denen die eine den unteren und die andere den oberen Schaftabschnitt repräsentiert (BRINK & v. GADOW 1986, RIEMER ET AL. 1995). Neben drei baumartenspezifischen Parametern ist die Übergabe des

BHD sowie der Baumhöhe erforderlich. Trotz erster Ansätze zur Unterscheidung von Baumarten durch Überlagerung von Farb- und Geometrieinformationen aus Laserscannerdaten (HAALA ET AL. 2004), ist an dieser Stelle ein manuelles Eingreifen in den Prozess erforderlich, durch das die Baumart über einen Dialog übergeben wird. Der BHD wird nach der oben beschriebenen Methode bestimmt. Die Baumhöhe ist die gesuchte Größe und wird solange iteriert, bis die Fehlerquadratsumme der Anpassung der BRINK-Funktion an die Wertepaare minimal wird. Die spezifische Schaftform von Bäumen erübrigt die Unterscheidung zwischen einem lokalen und einem globalen Minimum der Fehlerquadratsumme.

2.3 Exemplarischer Waldbestand

Die geschilderten Methoden werden am Beispiel eines Waldbestandes am Westabfall des Schwarzwaldes im Bereich des Städtischen Forstamtes Freiburg exemplarisch umgesetzt. Bei dem Süd-West exponierten Steilhang handelt es sich um ein stark strukturiertes Buchenaltholz mit einzelnen Eichen sowie auf ca. 60% der Fläche Tannen und Buchen im Unter- und Zwischenstand. Das mittlere Alter der Bäume der herrschenden Kronenschicht beträgt ca. 135 Jahre und die mittlere Höhe dieser Bäume beläuft sich nach den Angaben im Forsteinrichtungswerk auf ca. 34m. Ein Eindruck der Struktur des Waldbestandes ergibt sich aus Abbildung 2, die eine 2D-Ansicht der unbearbeiteten Intensitätswerte eines 360°-Scans des beschriebenen Stichprobenpunktes darstellt.

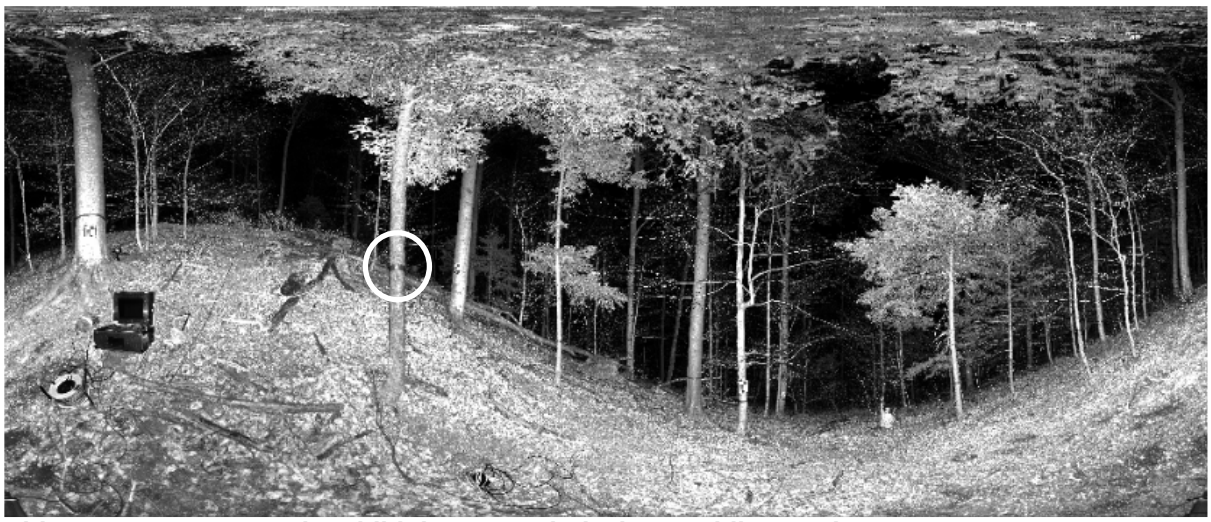

Abb. 2: Scanner- Intensitätsbild des exemplarischen Waldbestandes

Mit Hilfe eines geschlossenen Polygonzuges, der sowohl an TPs als auch an ergänzenden hochgenauen GPS-Messungen auf Freiflächen im Wald, eingehängt wurde, erfolgte die Georeferenzierung der Stichprobenmittelpunkte und der einzelnen Scannerstandpunkte im Gauß-Krüger-Koordinatensystem. Für Vergleichszwecke wurden die Baumfußpunkte manuell mit einem Tachymeter eingemessen und der Brusthöhendurchmesser mit einer Kluppe als Mittelwert einer kreuzweisen Messung erhoben. Um abweichende Messstellen bei der Durchmesserermittlung auszuschließen, wurden die Messhöhe von 1.30m an allen Bäumen mit Hilfe eines Klebebandes markiert, das auch in den Scans sichtbar ist (s. Abbildung 2, weißer Kreis). Die Baumhöhen wurden mit einem Forestor Vertex © gemessen, der auf dem trigonometrischen Prinzip basiert. Auf diese Weise wurden 50 Bäume vermessen.

3 Ergebnisse

3.1 Baumfußpunkte

Von den 50 vermessenen Bäumen wurden 20 Bäume automatisch detektiert, wobei einschränkend festgestellt werden muss, dass die vier Scans nicht die gesamte Stichprobenfläche überlappend abgedeckt haben (s. Abbildung 3 in nordöstlicher und südöstlicher Richtung), daher ist eine objektive Bewertung des Verfahrens zur Detektion von Baumfußpunkten auf dieser Datengrundlage nicht möglich. Ein optischer Vergleich zwischen den automatisch ermittelten Baumfußpunkten und den tachymetrisch gemessenen ergibt sich aus dem Baumverteilungsplan in Abbildung 3. An den Achsen sind die Gauß-Krüger-Koordinaten aufgetragen. Die Lage der Baumfußpunkte ist durch einen Kreis gekennzeichnet. Die tachymetrische Messung ist grau dargestellt, die in den Scans detektierten Baumfußpunkte sind schwarz abgebildet. Die Zahlenwerte geben jeweils den zugehörigen BHD an. Grau sind die BHD aus der manuellen Kluppung dargestellt und schwarz die aus automatischer Detektion.

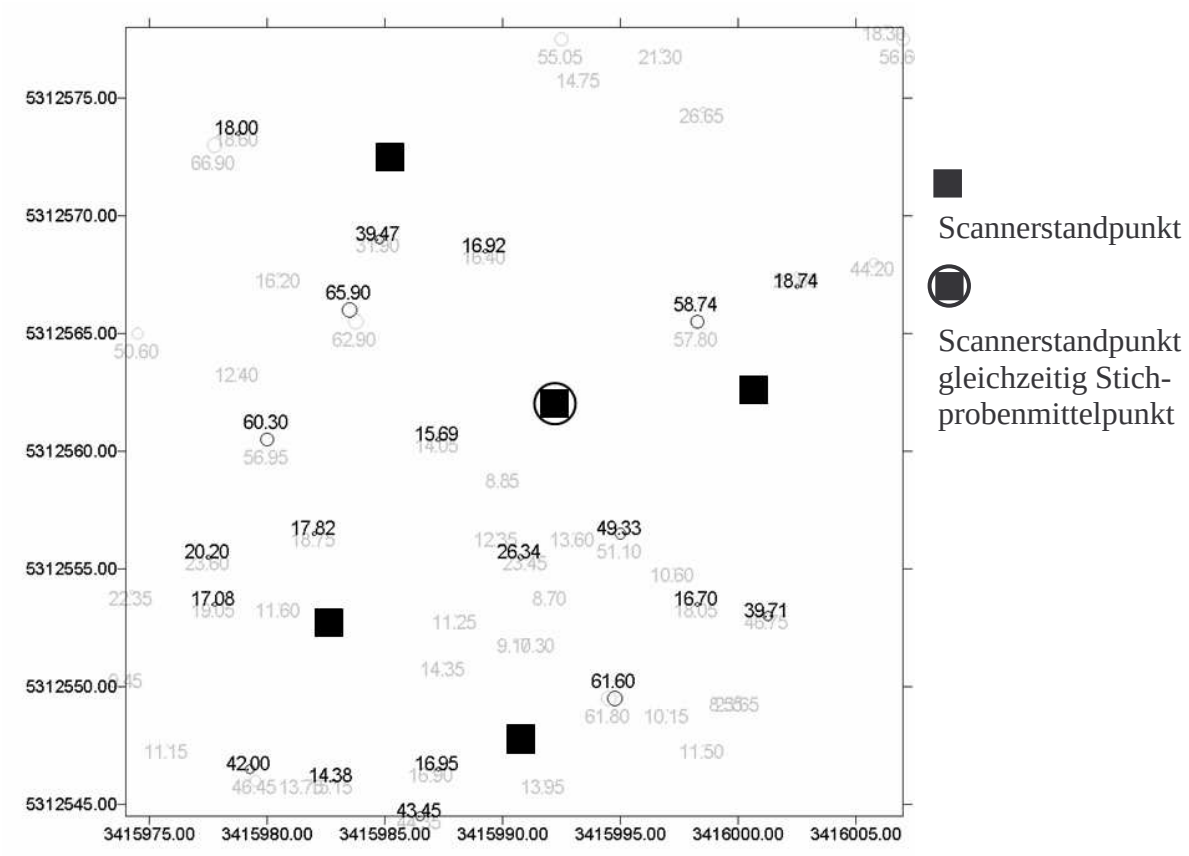

Abb. 3: Baumverteilungsplan des exemplarischen Waldbestandes und BHD der Bäume

Die Positionen stimmen vergleichsweise gut überein, wobei maximale Abweichungen von bis zu 30cm zu beobachten sind (s. Tabelle 1). Die mittlere Abweichung beträgt ca. 11cm. Es zeigt sich, dass die Zuverlässigkeit, mit der Bäume automatisiert gefunden werden können, mit abnehmendem Durchmesser geringer wird, stärkere Bäume werden dagegen zuverlässiger detektiert.

Tab. 1: Abweichungen der Baumfußpunkte der detektierten Bäume

Minimale Abweichung [cm]	Maximale Abweichung [cm]	Mittlere Abweichung [cm]	Standard-abweichung [cm]
4,2	30,0	11,1	13,2

3.2 Brusthöhendurchmesser

Bei dem Vergleich zwischen manuell gemessenen und automatisch ermittelten Brusthöhendurchmessern lagen in sechs Fällen bei automatischer Ermittlung keine Durchmesserwerte unterhalb von 2,50m vor, sodass für diese kein BHD zu ermitteln war. Ursache hierfür waren Verdeckungen durch die grünen Kronen der Tannen im Unterstand (s. 2.3). In vier Fällen lag zwar kein Wert in 1,30m Höhe vor, jedoch Werte oberhalb und unterhalb, sodass der Wert in 1,30m Höhe durch lineare Interpolation bestimmt werden konnte. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgeführt, wobei zwischen der automatischen Anpassung eines ausgleichenden Kreises und einer ausgleichenden Ellipse unterschieden wurde.

Tab. 2: Abweichung des BHD zwischen manueller Messung und automatischer Anpassung

	Minimale Abweichung [cm]	Maximale Abweichung [cm]	Mittlere Abweichung [cm]	Standard-abweichung [cm]
Kreis	0,05	7,09	1,98	2,83
Ellipse	0,07	11,01	2,69	4,03

Sowohl im Hinblick auf den Mittelwert als auch unter Berücksichtigung der Extremwerte ergibt die Durchmesserermittlung mit Hilfe eines ausgleichenden Kreises geringere Abweichungen von den manuellen Messwerten als bei Anpassung von Ellipsen. Allerdings ergibt ein t-Test bei Annahme heterogener Varianzen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Ermittlungsverfahren.

3.3 Baumhöhen

In drei Fällen war keine Baumhöhenschätzung mit der BRINK-Funktion möglich, da sich die Fehlerquadratsumme nicht minimieren ließ. Da zusätzlich bei sechs Bäumen kein BHD ermittelt werden konnte (s.o.), basieren die in Tabelle 3 dargestellten Ergebnisse auf elf Baumhöhenschätzungen. Die Ergebnisse der Höhenschätzung sind insgesamt unbefriedigend, da die maximale Abweichung bis zu 17m betragen und sich im Mittel auf 6m belaufen. Dabei konnten gleichermaßen Unter- als auch Überschätzungen beobachtet werden.

Tab. 3: Abweichung der Baumhöhe zwischen manueller Messung und automatischer Extrapolation

Minimale Abweichung [m]	Maximale Abweichung [m]	Mittlere Abweichung [m]	Standard-abweichung [m]
1,13	17,36	6,40	8,03

Mögliche Fehlerquellen und Ansätze zur Verbesserung werden im folgenden Abschnitt diskutiert.

4 Diskussion und weiterer Forschungsbedarf

Eine mögliche Fehlerquelle bei der Detektion von Baumfußpunkten besteht darin, dass die Güte des zugrunde liegende Geländemodells wesentlich von der Beschaffenheit des Waldbodens abhängig ist. Dichte Bodenvegetation, Äste, liegendes Totholz, Felsen etc. führen bei der automatischen Generierung des Geländes zu Abweichungen, die sich im Folgenden sowohl bei der Bestimmung der Baumfußpunkte als auch bei der Ermittlung der Durchmesser niederschlägt. Eine weitere Fehlerursache kann in dem hier verwendeten Referenzdatensatz der tachymetrischen Aufnahme liegen, da nach exzentrischer Entfernungsmessung zur Winkelmessung nicht eingedreht wurde, sondern der Baumfußpunkt mit Hilfe halben Baumdurchmessers berechnet wurde. Um eine Quantifizierung der Fehlerauswirkungen durchführen zu können, sollte außerdem auf umfangreichere Messungen unterschiedlicher Bestandesstrukturen zurückgegriffen werden, für die jeweils nach exzentrischer Entfernungsmessung unmittelbar vor Ort der Winkel durch anpeilen der Baummittelpunkte ermittelt wird. Von den 50 manuell erfassten Bäumen wurden 20 erkannt. Auf die eingeschränkte Bedeutung dieser Aussage wurde bereits hingewiesen (s. 3.1). Neben Verdeckungen durch Unterholz, Sträucher etc. ist zusätzlich ein etwaiger Schrägstand der Bäume kritisch zu bewerten. Bei der bildanalytischen Suche der Kreise und Ellipsen ist eine Schrägstellung der Bäume zwar nicht von Bedeutung, aber Schwierigkeiten entstehen, wenn die Bäume so geneigt sind, dass die Kreise in den verschiedenen Schichten nicht mehr übereinander liegen, d.h. keine Schnittmenge mehr besitzen. In diesem Fall werden die Kreise nicht mehr zu einem Baum zugeordnet, sondern bilden unabhängige Abschnitte die wegen der geringen Zahl von Kreisen (weniger als fünf) nicht als Baum erkannt werden. Eine entsprechende Erweiterung des Algorithmus zur Verknüpfung der Kreise/ Ellipsen verschiedener Layer um einen Suchkegel definierbaren Radius könnte hier Abhilfe schaffen.
Die Genauigkeit der Ermittlung der Brusthöhendurchmesser ist neben der Dicke der Bäume wesentlich von der Zahl der Scans abhängig, auf denen der jeweilige Baum abgebildet ist. Allerdings steigt mit zunehmender Anzahl der Scans auch der Zeitbedarf für die Datengewinnung. Ansätze eines Ausgleichs der Schaftquerschnitte mit Spline-Funktionen könnten zwar die Genauigkeit erhöhen, sind aber wiederum nur bei vier und mehr Scans aus unterschiedlichen Richtungen sinnvoll, da bereits bei der Anpassung der Ellipsen die größere Zahl der Freiheitsgrade im Vergleich zum Kreis zu einzelnen erheblichen Ausreißern führte und entsprechend die maximale Abweichung größer war als bei der Kreisanpassung. Während der durch die Abweichung eines Baumquerschnittes von der Kreisform bei nur einer Messung mit Hilfe einer Kluppe nach PRODAN (1965) bis zu 10% des Durchmessers betragen kann, sich aber bei kreuzweisem Kluppen auf einen Betrag von ± 0,5-1% reduziert, kann bei dem Vergleich der BHD-Messungen von einer akzeptablen Referenz ausgegangen werden. Die größten Unsicherheiten des automatisierten Verfahrens sind mit der Extrapolation von Baumhöhen aus Durchmesser-/Schafthöhenwertepaaren verbunden. Bei der Mehrzahl der Bäume mit unbefriedigender Höhenschätzung lagen keine Durchmesserwerte im Bereich oberhalb von etwa 5m vor, so dass insbesondere der zweite, obere Ast der Exponentialfunktion sich eher willkürlich ergab. Daraus folgt als Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens das Vorhandensein von Durchmesserwerten in höheren Schaftpartien. Ohne diese ist eine sinnvolle Baumhöhenschätzung nach diesem Verfahren nicht möglich. Dies stellt gleichzeitig eine wesentliche Schwierigkeit dar, da der obere Bereich des Schaftes oftmals nicht sichtbar ist. Zusätzlich muss allerdings festgestellt werden, dass das Vorliegen von vielen Stützstellen auch in größeren Baumhöhen keine hinreichende Bedingung für exakte Höhenschätzungen

ist, da auch in diesen Fällen Abweichungen von 10% bis 15% auftreten. Ein Weg zur Verbesserung der Höhenschätzung könnte die Parametrisierung neuer, spezifisch angepasster Schaftfunktionen sein. Es ist denkbar, zu diesem Zweck auch die Höhen des Kronenansatzes und z.B. die Ausprägung der Wurzelanläufe hinzuzuziehen, insbesondere da diese mit dem geschilderten Verfahren vergleichsweise gut bestimmt werden können.
Neben der Integration der diskutierten Verbesserungsansätze ist in Zukunft eine Überarbeitung des Konzepts zur Datenhaltung erforderlich, da der vollständig automatisierte Ablauf der Gewinnung von forstlichen Inventurparametern aus terrestrischen Laserscannerdaten gegenwärtig noch lange Rechenzeiten erfordert.

5 Danksagung

Das Natscan-Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert (FKZ:13N8102). Neben dem Ministerium und dem Projektträger, dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI), danken die Autoren vor allem der Fa. Zoller&Fröhlich, die bei der Datengewinnung beteiligt war und sich darüber hinaus stets mit Rat und Tat engagiert hat.

6 Literatur

Brink, C.; Gadow, K. v. (1986): On the use of growth and decay functions for modelling stem profiles. EDV in Medizin und Biologie 17: (1/2): 20- 27.

Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg (1995): Betriebsinventur auf Stichprobenbasis (BI) Baden-Württemberg: Verfahrensbeschreibung und Aufnahmeanweisung. 20 S.

Haala, N.; Reulke, R.; Thies, M.; Aschoff, T. (2004): Combination of Terrestrial Laser Scanning with high Resolution Panoramic Images for Investigations in Forest Applications and Tree Species Recognition. Proceedings of the ISPRS working group V/1, Panoramic Photogrammetry Workshop; International Archives of Photogrammetry,Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol XXXIV, Part 5/W16.

Kemmner, G.; Risse, F.-J. (1994): Betriebsinventur auf Stichprobenbasis. AFZ 49; (10): 521-523.

Pitas, I. (2000): Digital image processing algorithms and applications. John Wiley & Sons Inc., New York. 419 pp.

Prodan, M. (1965): Holzmesslehre. J. D. Sauerländer’s Verlag. Frankfurt a. M. 644 S.

Riemer, T.; Gadow, K.V.; Sloboda, B. (1995): Ein Modell zur Beschreibung von Baumschäften. AFJZ 166; (7): 144- 147.

Simonse, M., Aschoff, T., Spiecker, H., Thies, M.,2003: Automatic Determination of Forest Inventory Parameters Using Terrestrial Laser Scanning.– Proceedings of the ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests 2003: 252-258.

Spellmann, H.; Nagel, J.; Böckmann, Th. (1999): Summarische Nutzungsplanung auf Basis von Betriebsinventurdaten. AFJZ 170; (7): 122- 127.

Thies, M.; Pfeifer, N.; Winterhalder, D.; Gorte, B.G.H. (2004): 3D-Reconstruction of Stems for Taper, Sweep, and Lean Assessment of Standing Trees. Submitted to Scandinavian Journal for Forest Research (in review).

Thies, M.; Aschoff, T.; Spiecker, H. (2003): Terrestrische Laserscanner im Forst - für forstliche Inventur und wissenschaftliche Datenerfassung. AFZ/Der Wald 58; (22): 1126-1129.

Thies, M.; Koch, B.; Spiecker, H. (2002): Einsatzmöglichkeiten von Laserscannern für Wald- und Landschaftsinventuren. AFZ/ Der Wald 57; (8): 395- 397.