

# **Automatische Erfassung forstinventur-relevanter Geometrieparameter von Waldbäumen aus terrestrischen Laserscannerdaten**

Anne BIENERT, Steffen SCHELLER, Enda KEANE,  
Garret MULLOOLY und Fergal MOHAN

## **Zusammenfassung**

Bei periodisch durchgeführten Forstinventuren werden in einem Zweimann-Verfahren stichprobenartig Inventurparameter, wie z.B. Baumart, Baumhöhe, Brusthöhendurchmesser, Entfernung und Azimut vom Zentrum des Stichprobengebietes, sowie Flächenmerkmale und Qualität der Bäume manuell gemessen und erfasst. Die Geometrieparameter eines Baumes können, neben den manuellen Messungen auch aus terrestrischen Laserscannerpunktewolken gewonnen werden. Aufgrund der dichten dreidimensionalen Punktwolken, ist ein hoher Dokumentationswert gegeben und eine Automatisierung der Ableitung der Geometrieparameter realisierbar. Das Paper stellt Ansätze zur automatischen Ableitung von Waldinventurparametern vor und zeigt Verfahren zur Plausibilitätskontrolle der Geometrieparameter. Abschließend werden Ergebnisse der Durchmesserbestimmung gezeigt.

## **1 Einleitung**

Forstinventuren dienen der Kontrolle der Bewirtschaftung und bilden die Basis für Planungen in einem Forstbetrieb. Dazu werden in periodischen Abständen stichprobenartig Bäume erfasst. Forstinventuren können auf verschiedenen Ebenen durchgeführt werden. Dabei werden, je nach Gebietsabdeckung, nationale (Bundeswaldinventur II, 2002) und regionale Forstinventuren sowie Inventuren innerhalb eines Forstbetriebes unterschieden. Innerhalb des Stichprobengebietes werden für jeden Baum u.a. die Baumart, Baumhöhe, Brusthöhendurchmesser (BHD) sowie die Positionen zum Stichprobenmittelpunkt und Qualität bestimmt.

In vielen Bereichen der Architektur sowie im Bereich des Facility Managements hat sich der Einsatz eines Laserscanners bereits bewährt. Auf Grund der schnellen dreidimensionalen Punktmessung und der somit einfachen Erfassung komplexer Geometrien ist der terrestrische Laserscanner ein interessantes Werkzeug für den Einsatz im Forstwesen. THIES et al. (2003) zeigt neben den Aufnahmekonfigurationen (Single-Scan Modus, Multiple-Scan Modus), die Vor- und Nachteile eines terrestrischen Laserscanners im Forst auf.

Vergangene Arbeiten beschäftigten sich u.a. mit der Schätzung der Holzqualität und der Ableitung von Baumparametern aus Laserscannerdaten. In SCHÜTT et al. (2005) wird mit Hilfe von Bildverarbeitungsmethoden aus den Intensitäts- und Entfernungsbildern eines Laserscans von detektierten äußeren Holzfehlern auf die innere Holzqualität geschlossen. Eine zylindrische Projektion der Baumstämme führt zu einer entzerrten Abbildung in der eine Klassifizierung mittels Neuronalem Netz durchgeführt wird. HENNING & RADTKE

(2006) generieren aus den Laserscannerpunkten von Baumstämmen Schnitte in definierten Abständen. Über das Berechnen von ausgleichenden Kreisen werden die Stammmittelpunkte bestimmt, welche über den Iterative Closest Point (ICP) Algorithmus mit den Stammmittelpunkten weiterer Standpunkte registriert werden. SIMONSE et al. (2003) generiert Schnitte über der Geländeoberfläche, welche in 2D-Bilder umgewandelt werden. Innerhalb dieser Bilder wird über eine Hough-Transformation die Baumdetektion durchgeführt. Mit diesem Verfahren konnten THIES & SPIECKER (2004) 52 % der Bäume im Multiple Scan Modus detektieren und 22% im Single Scan Modus. Im Anschluss daran wird die Durchmesserbestimmung über das Einpassen von ausgleichenden Kreisen und Ellipsen realisiert. ASCHOFF et al. (2004) präsentieren Standardabweichungen der Durchmesserbestimmung von 2,83 cm bei der Anwendung des ausgleichenden Kreises und 4,03 cm bei ausgleichenden Ellipsen. In ASCHOFF & SPIECKER (2004) sind Prozessierungszeiten für die automatische Ableitung des DGMs, der Baumdetektion und Durchmesserbestimmung von ca. 10,3 Stunden für Multiple-Scans und 2,3 Stunden für Single-Scans veröffentlicht. Die Analyse auf Punktcluster in einem durch die Punktwolke gelegten Schnitt wird in BIENERT et al. (2006a) zur Detektion von Bäumen verwendet und benötigt eine durchschnittliche Prozessierungszeit von durchschnittlich 5 Minuten eines Plots im Single-Scan Modus (BIENERT et al. 2006b).

Die in diesem Beitrag vorgestellten Laserscannerdaten bzw. Ergebnisse wurden vom Stichprobenmittelpunkt mit nur einem Standpunkt (Single-Scan Modus) aufgenommen. Für die Datenakquisition wurde ein Faro LS 800 HE80 Laserscanner mit einer phasenabhängigen Entfernungsmessung und einer mittleren Punktgenauigkeit von  $\pm 3$  mm verwendet (FARO 2005). Als Referenzdaten dienen, innerhalb eines Stichprobenkreises mit einem 12 m Radius, manuell gemessene Baumparameter (BHD, Distanz, Azimut und Baumhöhe). Mit Hilfe einer Kluppe wurden die BHD-Messungen durchgeführt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Schenkel der Kluppe (eine Art Messschieber) zum Stichprobenmittelpunkt zeigen. Diese Messanordnung gewährleistet, dass der Referenzdurchmesser (auch bei ovalen Bäumen) von derselben Richtung bestimmt wird, wie die vom Laserscanner ermittelten Punkte die im weiteren Programmverlauf zur Durchmesserbestimmung verwendet werden.

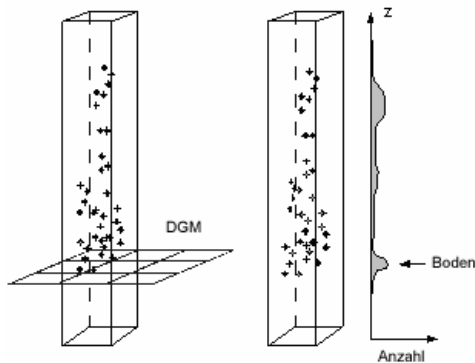
Im Folgenden werden zunächst im Kapitel 2 Algorithmen zur automatischen Ableitung von forstinventur-relevanten Baumparametern vorgestellt. In Kapitel 3 wird ein Parameter ZP eingeführt, durch den es möglich ist, horizontale Baumprofile abweichend von der Idealform (Kreis) zu detektieren. Dieser Parameter ZP ist ein Maß für die Zuverlässigkeit der Durchmesser- und Lagebestimmung von Baumprofilen. Abschließend werden Ergebnisse einer umfangreichen Studie gezeigt (Kap. 4).

## **2 Algorithmen zur Ableitung von Inventurparametern**

### **2.1 Generierung eines Digitalen Geländemodells**

Die Grundlage zur automatischen Ableitung von Inventurparametern bildet die Generierung des Digitalen Geländemodells (DGM). Dazu werden alle Laserscannerpunkte, die innerhalb des Stichprobengebietes (12 m Radius um den Stichprobenmittelpunkt) liegen, verwendet. Dies setzt einen lotrecht aufgestellten Laserscanner bei der Datenakquisition voraus. Aus der gefilterten Punktwolke wird das DGM über die Dichteverteilung der Punkte entlang der Z-Achse abgeleitet (Abb. 1). Vertikal verlaufende Quader, deren Grundfläche der Raster-

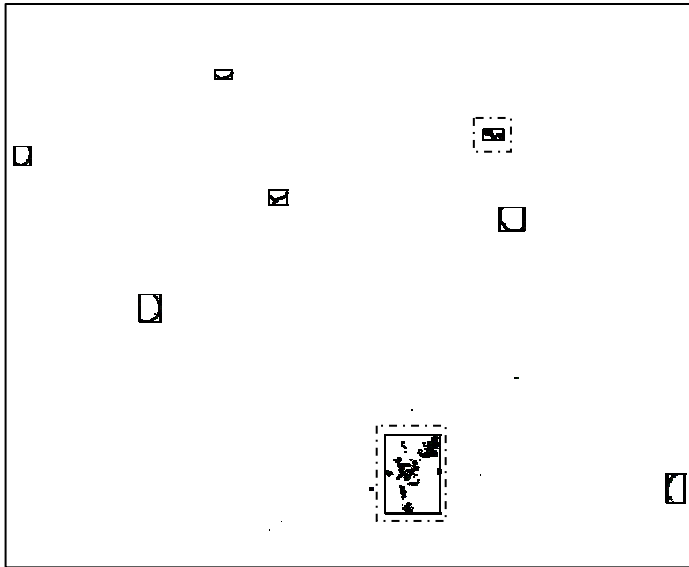
größe des DGMs entspricht, werden in die Punktwolke eingepasst. Im Idealfall definiert die Punktanhäufung mit den meisten Punkten die Z-Koordinate des Rastermittelpunktes. Dicht belaubte Bäume können aber ebenfalls ein Maximum in der Krone aufweisen. Mit einem Filterverfahren, welches die Nachbarschaft der Rasterpunkte hinsichtlich der z-Koordinate vergleicht, werden fälschlich gesetzte Rasterhöhen gelöscht. Bei diesem Verfahren haben vom Laserscanner erzeugte falsche Punkte (*ghost points*), welche aufgrund von Mehrdeutigkeiten z.B. unterhalb der Erdoberfläche vorhanden sind, keinen Einfluss auf die DGM-Generierung.



**Abb. 1:** Punktanordnung entlang der Z-Achse eines DGM-Rasters

## 2.2 Segmentierung und Klassifizierung der Bäume

Zur Detektion der Bäume aus der Laserscannerpunktwolke wird eine Segmentierung mit anschließender Klassifizierung durchgeführt. Ein 10 cm breiter Schnitt wird 1,3 m über der ausgleichenden Ebene der DGM-Punkte aus der Punktwolke gefiltert. Die Segmentierung findet innerhalb des Schnittes mit dem 2D-Separierungsalgorithmus von SCHELLER & SCHNEIDER (2006) statt. Ein Strukturelement, definierter Größe  $s$ , schiebt sich entlang der XY-Ebene und sucht nach Punktanhäufungen. Die gefundenen Punktcluster werden als separate Objekte definiert, wenn mehr als  $n_{\text{Min}}$  Punkte enthalten sind und der Abstand zum benachbarten Punktcluster größer als  $s/2$  ist. Anhand der erfüllten Mindestanzahl  $n_{\text{Min}}$  von Punkten werden kleinere Punktanhäufungen, verursacht durch Äste oder Bodenvegetation, von vornherein ausgeschlossen. In einer anschließenden Klassifizierung wird untersucht, ob es sich bei den gefundenen Objekten um einen Baum handelt. Dazu wird mit den Objektpunkten eines Segmentes ein ausgleichender Kreis berechnet. Anhand des mittleren Gewichtseinheitsfehlers  $m_0$  und dem berechneten Durchmesser wird das Objekt klassifiziert. Da Bäume mit einem Durchmesser größer als die Derbholzgrenze von Interesse sind, werden die Objekte mit einem Durchmesser kleiner als 7 cm herausgefiltert. Wie in BIENERT et al. (2006b) vorgestellt, können Fehlklassifizierungen, welche in Fehler 1. und 2. Art eingeteilt werden, auftreten. Die Ergebnisse der Klassifikation sind die Anzahl der im Stichprobengebiet enthaltenen Bäume sowie deren Näherungsposition aus der Ausgleichung  $(x_M, y_M)$ . In Abb. 2 ist eine Draufsicht der segmentierten Objekte dargestellt. Die Objekte mit der gestrichelten Umrandung wurden in der Klassifizierung als Bäume ausgeschlossen, während die restlichen Objekte als Bäume klassifiziert wurden.



**Abb. 2:** Ergebnis der Segmentierung und Klassifizierung eines horizontalen Schnittes im Single-Scan Modus

### 2.3 Bestimmung von Profildurchmessern entlang des Stammes

Ein weiterer Baumparameter ist der Brusthöhendurchmesser (BHD). Als Brusthöhe ist die Höhe definiert, die sich in 1,30 m Höhe von der hangaufwärts liegenden Seite des Baumes am Stamm ergibt. Zur genauen Bestimmung der Brusthöhe, wird zunächst jeder Baum über einen senkrechten 3 m breiten Zylinder, welcher an der Näherungsposition  $(x_M, y_M)$  des Stammes platziert ist, ausgeschnitten und somit von der restlichen Punktwolke separiert. Ein DGM im Umkreis von 1,50 m vom Stamm mit einer Rasterweite von 0,10 m wird generiert. Der Punkt mit dem kleinsten Z-Wert innerhalb einer Rastermasche liefert die Höhe des Rastermittelpunktes. Durch diese DGM-Punkte wird eine ausgleichende Ebene gelegt. Mit dem Gradienten der Ebene und den Näherungswerten des Stammes aus der Klassifizierung wird der Stammmittelpunkt um den Betrag des Näherungsdurchmessers plus einem konstanten Wert  $\Delta v$  in Richtung des Gradienten verschoben und auf den Gradienten projiziert. Dieser Bodenpunkt dient als Grundlage für die weitere BHD-Bestimmung sowie die Durchmesserbestimmung entlang des Stammes. Aufgrund von Verdeckungen anderer Bäume bzw. dichter Bodenvegetation kann das DGM der Stammumgebung weniger als 10 Punkte enthalten. In diesem Fall wird anstatt dem lokalen Baum-DGM das DGM des kompletten Stichprobengebietes (Kap. 2.1) verwendet.

Ausgehend von dem berechneten Bodenpunkt wird in 1,30 m Höhe ein Schnitt extrahiert. Mit den Punkten innerhalb des Schnittes wird ein ausgleichender Kreis berechnet, wenn mehr als eine definierte Mindestanzahl  $n_{\min}$  an Punkten vorliegt. Punkte mit einer Verbesserung größer als ein vorgegebener Grenzwert werden aus der Punktliste gelöscht und es wird eine erneute Kreisausgleichung berechnet. Somit haben Punkte, die einem abgehenden Ast

angehören, kein Gewicht auf die Durchmesserbestimmung. Von dem Z-Wert der Brusthöhe wird die Durchmesserbestimmung in konstanten Höhenintervallen entlang des Stammes gestartet. Dabei wird der zuvor bestimmte Durchmesser und dessen Lage verwendet, um die Punkte des nächst höheren Profils auszuschneiden, um so wenig Punkte wie möglich von abgehenden Ästen zu beinhalten.

## 2.4 Bestimmung der Position und Baumhöhe

Als Ergebnis der Brusthöhenbestimmung werden der Stammdurchmesser und der Stammmittelpunkt mit den jeweiligen Genauigkeiten bestimmt. Wird während der Datenerfassung die horizontale Nullrichtung des Laserscanners nach Norden ausgerichtet, kann das Azimut der Stammmittelpunkte berechnet werden. Somit sind alle Bäume mit einem Azimut und einem lokalen Koordinatenpaar ausgestattet.

Die Baumhöhe wird aus der Differenz des zuvor bestimmten Baumfußpunktes (Kap. 2.3) und dem höchsten Punkt innerhalb des gefilterten Baumzylinders (Kap. 2.3) abgeleitet. Liegt eine dichte Belaubung im Stichprobengebiet vor, erreicht der Laserstrahl nicht immer die Baumspitze. Tendenziell wird die Baumhöhe zu klein bestimmt.

## 3 Ansätze zur Genauigkeits- und Zuverlässigkeitssteigerung

Die Rundheit eines Stammes variiert mit der vorliegenden Baumart. Beispielsweise zeichnen sich Buchen durch einen unregelmäßigen Verlauf, d.h. durch einen abgeflachten Stamm aus. Aber auch Astnaben können zu einer fehlerhaften Berechnung des Durchmessers führen. Zur Kontrolle der ermittelten Durchmesser werden die Genauigkeitsangaben der Kreisausgleichung verwendet. Abb. 3 zeigt die Profile dreier Fichten in Brusthöhe mit dem ausgeglichenen Durchmesser. Die in der Durchmesserbestimmung ermittelten Genauigkeitswerte sind in der Tabelle 1 dargestellt.



**Abb. 3:** Draufsicht auf Laserscannerpunkte von Horizontalprofilen in Brusthöhe mit ausgeglichenen Durchmessern

**Tabelle 1:** Ergebnisse der BHD-Bestimmung dreier Fichten aus Abb. 3

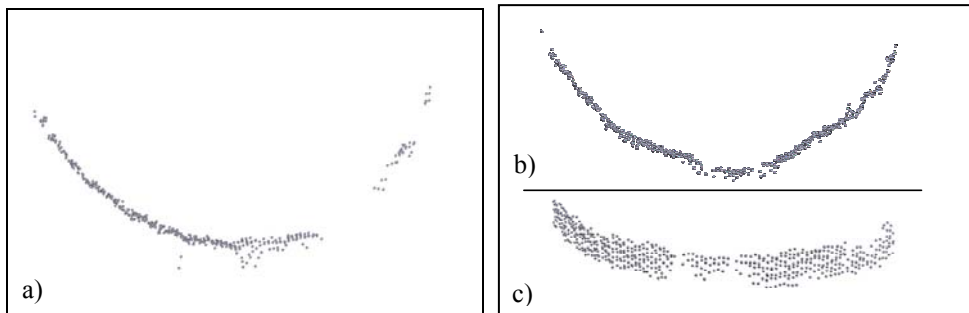
Abb.3	links	mitte	rechts
Durchmesser Programm $D_P$	35,99 cm	28,45 cm	102,47 cm
Durchmesser Kluppe $D_K$	36,00 cm	35,00 cm	65,00 cm
Differenz $\Delta D = D_P - D_K$	-0,10 cm	-6,55 cm	37,47 cm
Anzahl der Punkte	287	200	216
$m_0$	4,2 mm	3,0 mm	6,9 mm
$m_D$	2,2 mm	9,6 mm	19,3 mm
$m_X$	0,8 mm	3,8 mm	10,2 mm
$m_Y$	1,1 mm	3,4 mm	1,7 mm

Die mittlere Genauigkeit des Durchmessers gibt Aufschluss über die Genauigkeit der Durchmesserberechnung, nicht aber über die Richtigkeit der Kreiseinpassung in den tatsächlich vorliegenden Stamm. Beispielsweise können die Laserscannerpunkte an einem abgeflachten Stamm einer Buche, Kreisparameter mit sehr guten Genauigkeiten bewirken, Aussagen über den tatsächlichen Durchmesser lassen sich allerdings nicht treffen. Da die Durchmesserberechnung auch von der Anzahl und Verteilung der Punkte im Kreissegment abhängig ist, wurde ein weiterer Parameter ZP eingeführt, um Durchmesser geringer Zuverlässigkeit besser zu detektieren. Folgende Faktoren werden bei der Berechnung von ZP berücksichtigt:

- Mittlerer Gewichtseinheitsfehler  $m_0$
- Mittlere Genauigkeit des Durchmessers  $m_D$
- Zentriwinkel des Kreissegments
- Verhältnis Ist-Anzahl zu Soll-Anzahl (der zur Ausgleichung verwendeten Punkte)
- Median Filter über die Profildurchmesser eines Stammes

In die Berechnung des Parameters ZP fließen neben dem mittleren Gewichtseinheitsfehler  $m_0$  der Ausgleichung und der mittleren Genauigkeit des Durchmessers  $m_D$ , Informationen über die Anzahl und Anordnung der Punkte im Profil mit ein. Über die zwei äußersten Punkte in der 2D-Projektion des Profils und dem ausgeglichenen Kreismittelpunkt wird der Zentriwinkel des zur Durchmesserberechnung vorliegenden Kreissegments berechnet. Unterbrechungen im Punktverlauf, hervorgerufen durch Verdeckungen von Ästen und Blättern, welche größer sind als ein zuvor bestimmter Grenzwert  $\Delta S$  werden ebenfalls registriert (Abb. 4a). Größere Verdeckungen entlang der XY-Ebene, welche das Profil in Z-Richtung nicht komplett durchziehen, können in der 2D-Projektion eines 5 cm dicken Baumprofils nicht detektiert werden (Abb. 4b und Abb. 4c). Um Aussagen über Unregelmäßigkeiten im Abstand der Profilpunkte zu erhalten, wird die Soll-Anzahl mit der Ist-Anzahl der zur Ausgleichung verwendeten Punkte verglichen und angegeben. Die Soll-Anzahl wird über die zuvor berechnete Scanauflösung und der Fläche des Profilausschnittes

(gebildet aus der Sehne und der Profildicke) in Abhängigkeit vom Auftreffwinkel der Punkte am Baum bestimmt.



**Abb. 4:** a) & b) 2D-Projektion von 5 cm dicken Schnitten, c) perspektivische Ansicht des Schnittes aus Abb. 4b)

Einen weiteren Einfluss auf die Größe des Parameters  $ZP$  hat der Durchmesser im Vergleich zu seinen Nachbarprofilen. Die in einem konstanten Abstand berechneten Profildurchmesser eines Stammes werden von einem eindimensionalen Median Filter mit 5 Elementen durchlaufen. Weicht der Durchmesser um 10% von dem Medianwert aus den sortierten Durchmesserwerten der Filterumgebung ab, hat diese Einflussgröße keinen Anteil an der Parameterberechnung  $ZP$ . Der Parameter  $ZP$  kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Durchmesser mit einem Parameter zwischen 0,7 und 1 gelten als zuverlässig berechnete Werte. In Tabelle 2 sind die, zu den Beispielen aus Tabelle 1, berechneten Zuverlässigkeitsparameter  $ZP$  aufgeführt.

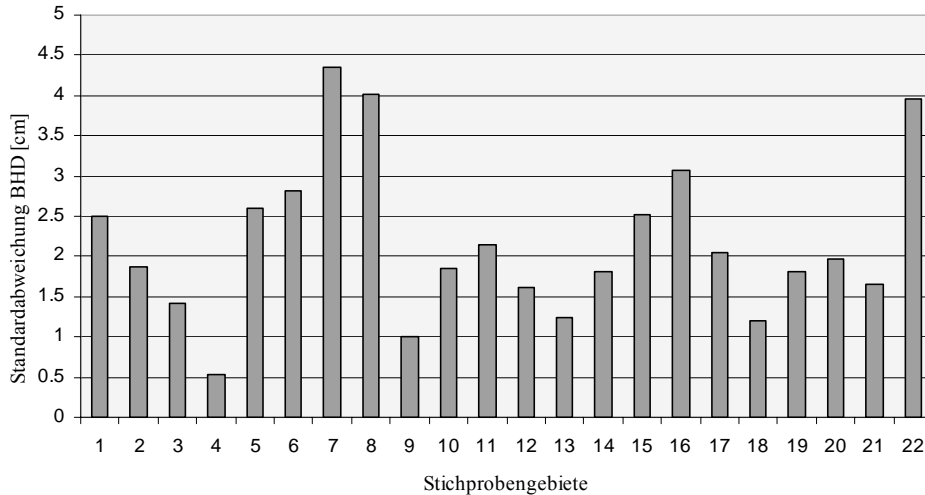
**Tabelle 2:** Darstellung des Parameters  $ZP$

Abb. 3	links	mitte	rechts
Durchmesser Programm $D_p$	35,99 cm	28,45 cm	102,47 cm
Durchmesser Kluppe $D_K$	36,00 cm	35,00 cm	65,00 cm
Differenz $\Delta D = D_p - D_K$	-0,10 cm	-6,55 cm	-37,47 cm
Parameter $ZP$	0,75	0,58	0,46

## 4 Ergebnisse

Im Rahmen einer Studie wurden im Frühjahr 2006 insgesamt 22 Stichprobengebiete mit unterschiedlicher Topographie und Bodenvegetation manuell aufgemessen. Im Anschluss daran sind mit dem Laserscanner Faro LS 800 HE80 Scans mit einer Winkelauflösung von  $0.045^\circ$  vom Stichprobenmittelpunkt aufgenommen worden. Innerhalb der 12 m Radien dieser Plots wurden stichprobenartig Bäume herausgegriffen, welche als Referenzmessungen dienen. Insgesamt wurden von den 224 manuell erfassten Bäumen 212 Bäume detek-

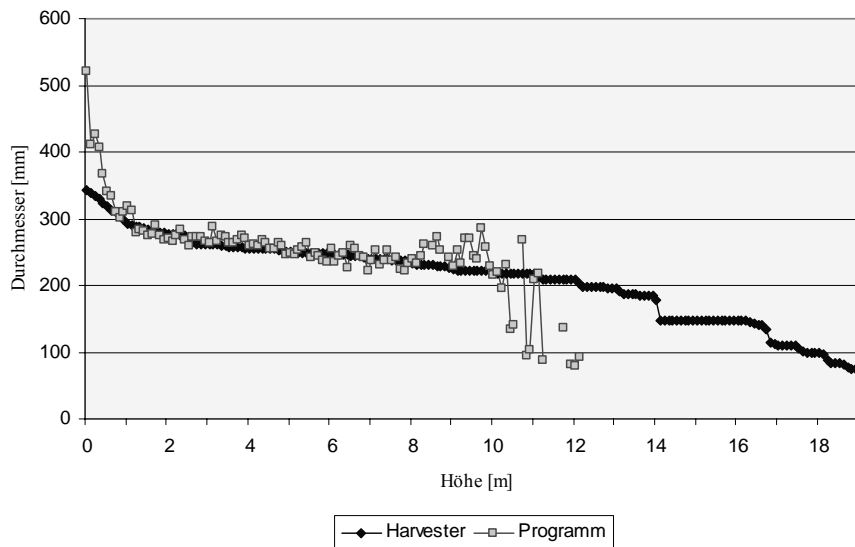
tiert, was einer Detektionsrate von 94% entspricht. 39 von den 212 detektierten Bäumen wurden aufgrund eines Zuverlässigkeitsparameters kleiner als 0,7 verworfen. Die Standardabweichungen der Brusthöhdurchmesser der einzelnen Plots sind in Abb. 5 aufgeführt, dabei weisen 63% der Plots eine Standardabweichung kleiner als 2,0 cm auf.



**Abb. 5:** Standardabweichung der BHD-Bestimmung pro Stichprobengebiet

Zur Validierung der ermittelten Profildurchmesser lagen für ein weiteres Stichprobengebiet Harvesterdaten vor. Harvester sind Holzerntemaschine, welche ausgestattet mit Sensoren in der Lage sind, Durchmesser und Länge von Bäumen zu bestimmen. In einem Abstand von 10 cm wurden mit der Erntemaschine die Durchmesser entlang der Baumstämme bestimmt. Diese Daten wurden mit dem aus dem Programm gewonnen Profildurchmessern verglichen. In Abb. 6 sind grau die Daten der automatischen Ableitung und schwarz die Harvesterdaten dargestellt. Die Standardabweichung der Profilbestimmung des in Abb. 6 dargestellten Baumes beträgt 5,04 cm. Aufgrund der Wurzelansprünge am Stammfuß kommt es zu einer Überbestimmung der Durchmesser. Mit einer Entfernung des Baumes von 8,14 m vom Laserscanner wurden am Stamm bis zu einer Höhe von 7,70 m Laserscannerpunkte ohne größere Verdeckungen gemessen. Erst ab dieser Höhe treten größere Abweichungen in der Durchmesserbestimmung auf. Die Standardabweichung der Durchmesserbestimmungen bis zu der Höhe 7,70 m beträgt 2,64 cm.





**Abb. 6:** Vergleich der Harvesterdaten mit den automatisch ermittelten Durchmessern

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag stellt Ansätze zur automatischen Ableitung von forstinventur-relevanten Bauparametern vor. Mit Hilfe des 2D-Separierungsalgorithmus von SCHELLER & SCHNEIDER (2006) und einer anschließenden Klassifizierung ist eine vollautomatische Detektion von Waldbäumen aus der Laserscannerpunktwolke möglich. Über die Berechnung eines ausgleichenden Kreises können die Durchmesser in variablen Abständen bestimmt werden.

Zukünftige Arbeiten beschäftigen sich mit der Optimierung der Baumdetektion. In der im Beitrag vorgestellten Studie konnten 94% der Waldbäume zuverlässig detektiert werden. Eine Segmentierung und Klassifizierung in mehreren Schnitten unterschiedlicher Höhen führt zu einer Minimierung der Klassifizierungsfehler 1. und 2. Art.

## 6 Danksagung

Vielen Dank an Bernhard Posch von der „Österreichische Bundesforste AG“ für die Aufnahme und Bereitstellung der manuellen Forstinventurparameter.

## Literatur

- Aschoff, T.; Spiecker, H. (2004): *Algorithms for the Automatic Detection of Trees in Laser Scanner Data*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVI, Part 8/W2
- Aschoff, T.; Thies, M.; Winterhalder, D.; Kretschmer, U.; Spiecker, H. (2004): *Automatisierte Ableitung von forstlichen Inventurparametern aus terrestrischen Laserscannerdaten*. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation. 15. bis 17. September 2004 in Halle/Saale, S. 341- 348.
- Bienert, A.; Mass, H.-G.; Scheller, S. (2006a): *Analysis of the information content of terrestrial laserscanner point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters*. ISPRS WG VIII/11 & EARSeL joint Conference '3D Remote Sensing in Forestry', Vienna, 14-15 February
- Bienert, A.; Scheller, S.; Keane, E.; Mullooly, G.; Mohan, F. (2006b): *Application of Terrestrial Laser Scanners for the Determination of Forest Inventory Parameters*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI, Part 5
- Faro Europe GmbH & Co. KG (2005): *Aufbruch in neue Dimensionen: der FARO Laser Scanner LS*. Laser Scanner LS Broschüre, 2005
- Henning, J. G. & P. J. Radtke (2006): *Detailed Stem Measurements of standing Trees from Ground-Based Scanning Lidar*. Forest Science Volume 52(1) 2006, S. 67-80
- Scheller, S. & D. Schneider (2006): *Extraktion von Primitiven aus Laserscannerpunktwolken zur Rekonstruktion von Tragwerken*. Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik (Beiträge Oldenburger 3D-Tage 2006, Hrsg. Luhmann/Müller), Verlag Herbert Wichmann, Heidelberg, S. 156-163
- Schütt, C.; Braun, E.; Kümmerer, A.; Thies, M.; Spiecker, H. (2005): *Einschätzung der Holzqualität an stehenden Bäumen*. Allgemeine Forstzeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge, Nr. 6/2005, S. 283-286
- Simonse, M.; Aschoff, T.; Spiecker, H.; Thies, M. (2003): *Automatic Determination of Forest Inventory Parameters Using Terrestrial Laserscanning*. Proceedings of the ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests, Umeå/Sweden, S. 251- 257
- Thies, M.; Aschoff, T.; Spiecker, H. (2003): *Terrestrische Laserscanner im Forst*. Allgemeine Forstzeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge, Nr. 22/2003, S. 1126-1129
- Thies, M. & H. Spiecker (2004): *Evaluation and Future Prospects of Terrestrial Laser-Scanning for Standardized Forest Inventories*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVI, Part 8/W2