

1 Edelkastanienbestand in Hausen bei der Laserscannaufnahme im Frühjahr 2015

Foto: C. Fricker

Hans-Joachim Klemmt, Thomas Ullmann, Steffen Rogg, Bernhard Förster, Alfred Wörle, Carolina Fricker und Thomas Seifert

Terrestrisches Laserscanning in der Waldvermessung war in der Vergangenheit häufig Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Nachfolgend wird für eine Edelkastanien-Beobachtungsfläche in Unterfranken gezeigt, welche praxisrelevanten Zusatzinformationen neben dendrometrischen Standardgrößen bei einer Flächenvollaufnahme mit TLS-Technologie potenziell zur Verfügung stehen.



## Ermittlung astfreier Schaftlängen mit TLS

Terrestrisches Laserscanning liefert praxisorientierte Zusatzinformationen bei Forstinventuren

Die Edelkastanie (*Castanea sativa*) ist eine Baumart, der zukünftig aufgrund sich ändernder Klimabedingungen eine wachsende Bedeutung zugemessen wird (Kölling 2007; Hein et al. 2014). Bislang existieren in Bayern allerdings kaum Anbauerfahrungen zu dieser Baumart. Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) hat daher im Jahr 2014 Edelkastanien-Bestände in der Gemeinde Hausen (Lkr. Würzburg) unter Dauerbeobachtung genommen und auf den ältesten Teilflächen ertragskundliche Vollaufnahmen (inkl. Sonderparameter wie astfreie Schaftlängen und Kronenansatzhöhen) durchgeführt. Zusätzlich wurden diese Teilflächen mit Hilfe terrestrischer Laserscantechnologie (TLS) aufgenommen. Die ertragskundlichen Aufnahmen wurden in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Waldbau der TU München durchgeführt und im Rahmen einer Bachelorarbeit (Fricker 2016) ausgewertet. Die TLS-Aufnahmen wurden im März 2016 durch die LWF durchgeführt und im Rahmen einer Bachelorarbeit an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) ausgewertet (Ullmann 2016). Abbildung 1 vermittelt einen Eindruck von der circa 55x45 m großen Beobachtungsfläche zum Zeitpunkt der Laserscannaufnahmen. In Abbildung 3 sind wesentliche Kenngrößen des Bestandes nach Fricker (2016) dargestellt. Auf der Fläche wurden insgesamt 26 Z-Bäume ( $\approx 100$  Z-Bäume/ha) ausgewählt, die zukünftig entsprechend gefördert werden sollen.

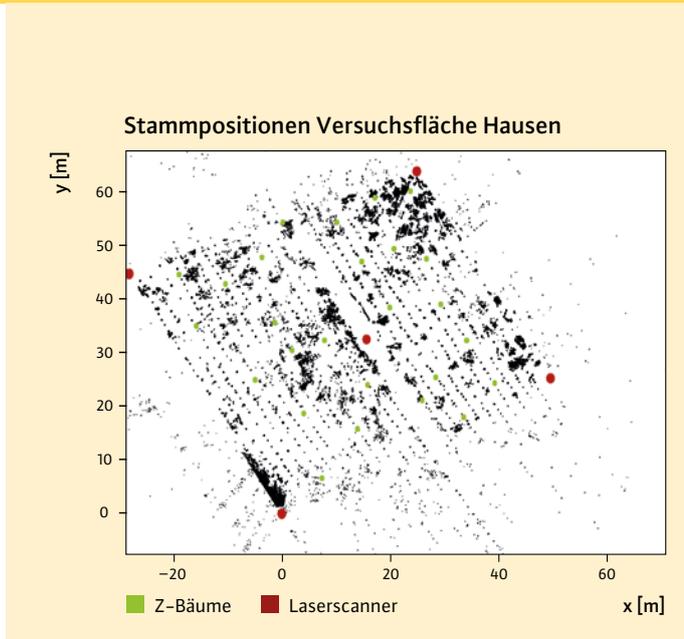
### Terrestrisches Laserscanning

Dauerbeobachtungsflächen der LWF (z. B. Waldklimastationen) werden seit 2015 ergänzend zu den etablierten Flächenaufnahmen mit einem terrestrischen Laserscanner gescannt (Klemmt et al. 2015). Zum Einsatz kommt hierbei das Tachymeter-Laserscanner-Kombigerät Leica MS 50 (Abbildung 1). Darüber hinaus ist es auch das Ziel, Flächenneuanlagen im Rahmen von Forschungsprojekten ein- oder mehrmals zu scannen und die Lagekoordinaten der Flächen mit dem GNSS des Kombigerätes hochgenau zu ermitteln (GNSS=globales Navigations-satellitensystem). Die Beobachtungsfläche in Hausen wurde im Frühjahr 2016 gescannt. Hierbei wurde das Gerät an fünf Positionen in der Beobachtungsfläche positioniert. Durchgeführt wurde ein 360°-Rundum-Scan (Dome-Scan) von der innenliegenden Rückegasse sowie vier 90°-Eckscans mit jeweils einer Scanauflösung von 0,75 Milligon. Zudem wurde vor dem Scannen von der Rückegasse ein hochaufgelöstes Panoramafoto aus 480 Einzelaufnahmen generiert. Letzterer Arbeitsschritt erwies sich nicht zuletzt auf-

grund der hohen Anzahl an Datensätzen als besonders zeitintensiv.

Hauptziel der Auswertung der TLS-Daten im Rahmen der Bachelorarbeit von Ullmann war es, zu prüfen, ob eine teilautomatisierte Ermittlung der *astfreien Schaftlänge* in einem jungen und gleichsweise dichten Laubholzbestand möglich ist. Grundlegende Arbeiten hierzu wurden zum Beispiel von Schütt et al. (2004) oder von Kankare et al. (2014) vorgestellt. Die Fragestellung ist deshalb von Interesse, da die astfreie Schaftlänge sowohl waldbaulich als Maßzahl zur Steuerung des Eingriffszeitpunktes als auch verwertungstechnisch zur Optimierung der Einschnittmenge von großer Bedeutung ist. Hierzu sollten die Z-Bäume untersucht werden, da deren Entwicklung den weiteren Bestandsaufbau besonders prägt und ihnen ein besonderes wirtschaftliches Interesse zukommt. In Abbildung 2 ist ein virtueller Schnitt durch die Scandaten in etwa in 2 m über dem Boden dargestellt, aus dem die Verteilung der Z-Bäume sowie die Positionierung des Laserscanners ersichtlich werden.

2 Virtueller Schnitt durch die 3D-Daten der Edelkastanien-Beobachtungsfläche in Hausen. Schwarze Punkte repräsentieren Baumpositionen. Grün markiert sind Z-Bäume. An den Eckpunkten sowie auf mittiger Rückegasse wurde der Laserscanner positioniert.



Bezeichnung	Beobachtungsfläche	Bestandeswert je ha
Größe Beobachtungsfläche [ha]	0,25	
Stammzahl (> 6,9 cm BHD) [N]	537	2.170
Grundfläche [m <sup>2</sup> ]	9,43	38,09
Durchmesser: Grundflächenmittelstamm dg [cm]	15	
Oberdurchmesser (dioo) [cm]	20,4	
Höhe: Grundflächenmittelstamm [m]	17	
Oberhöhe [m]	18	
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]		301

3 Dendrometrische Kennwerte der Beobachtungsfläche und des 21-jährigen Edelkastanienbestandes im Herbst 2015 (verändert nach Fricker 2016)

**Auswertung**

Ausgewertet wurden die Daten nach einem Ansatz von Klemmt et al. (2010) zur Bestimmung der astfreien Schaftlänge. Hiernach wird die astfreie Schaftlänge über eine Bewertung der Güte von Kreisannpassungen an virtuelle Schnitte entlang der Schaftachse bestimmt. Dieser Ansatz hat sich bei der Anwendung auf Daten einer Kiefern-Plantage (*Pinus pinaster*) in Südafrika bewährt und hat auch für Nadelbäume bei uns gute Ergebnisse gezeigt.

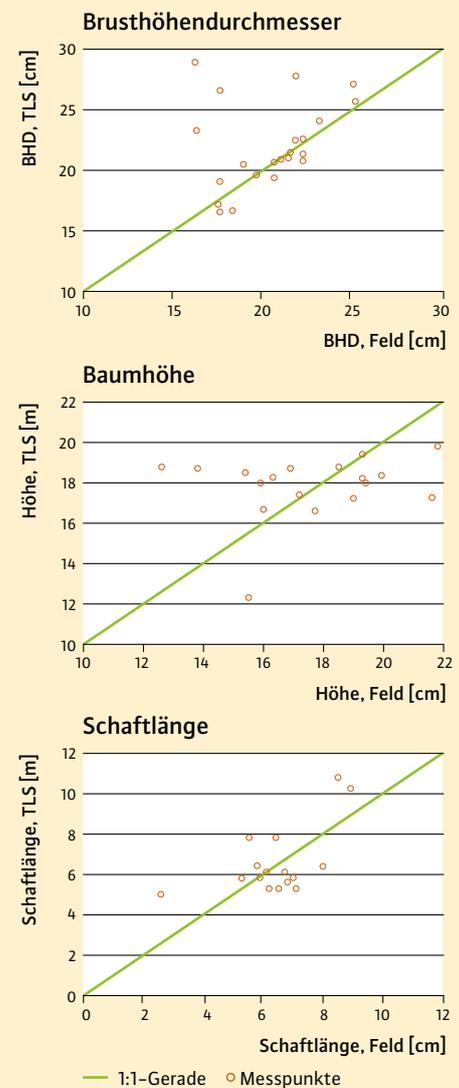
Ausgewertet wurden nur die Daten der 26 Z-Bäume. Der Hauptgrund hierfür liegt in der vergleichsweise hohen Stammzahl des aufgenommenen Bestandes (Abbildung 3). Da vor der Anwendung der Auswertungsroutinen eine manuelle Aufteilung der 3D-Laserdaten der gesamten Fläche in Daten für die einzelnen Bäume notwendig ist (Segmentierung), wurde das Untersuchungskollektiv beschränkt, um den möglichen Arbeitsumfang einer Bachelorarbeit in Grenzen zu halten. Die Bestimmung und der Abgleich der Baumpositionen aus der klassischen Felddaufnahme und der vergleichenden TLS-Auf-

nahme erwies sich zu Beginn der Auswertung als schwierig. Bei der klassischen Felddaufnahme wurden Baumpositionen nicht explizit erfasst oder vermessen. Da bei dieser Aufnahme abgestorbene, aber noch stehende Bäume, nicht erfasst wurden, während in den Laserdaten alle auf der Fläche vorhandenen Baumobjekte erfasst werden, konnten die Positionen anfänglich nicht bestimmt werden. Erst durch eine zusätzliche Auswertung der Tachymeterdaten konnte dieser Mangel behoben werden.

**Ergebnisse**

Die obere Grafik in Abbildung 4 zeigt die Gegenüberstellung der BHD-Werte der TLS-Auswertung mit den Werten der Felddaufnahme. Die BHD-Werte aus den TLS-Daten wurden über rechnerische Kreisannpassungen ermittelt. Die mittlere Grafik vergleicht die Baumhöhen der Felddaufnahme mit denen der TLS-Werte. Unten sind die astfreien Schaftlängen gegenübergestellt. Jeweils eingezeichnet ist eine 1:1-Linie, auf der die Werte idealerweise zu liegen kämen, wenn beide Wege identische Werte liefern würden.

Mit 22,0 cm lag der mittlere BHD, abgeleitet über rechnerische Kreisannpassungen, aus den TLS-Daten rund 1,6 cm über dem Vergleichswert der Felddaufnahmen der Z-Bäume. Die Höhenwerte liegen für die TLS-Daten mit 17,8 m im Mittel um 20 cm über den Daten der Höhenmessung im Feld. Die astfreien Schaftlängen liegen mit 6,6 m für die TLS-Daten und 6,5 m für die Felddaufnahmedaten nur 10 cm auseinander. Entsprechende Mittelwertvergleiche für gepaarte Stichproben haben in keinem Fall signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsgrößen gezeigt. Aus den Abbildungen wird allerdings auch ersichtlich, dass bei Betrachtung der Einzelbäume bei den jeweiligen Größen zum Teil erhebliche Unterschiede bestehen.



4 Gegenüberstellung der Werte aus TLS und Felddaufnahme: BHD (oben), Baumhöhe (Mitte), astfreie Schaftlänge (unten); für die Teilabbildungen standen nicht für alle Bäume jeweils Vergleichsdaten zur Verfügung.

## Einwertung der Ergebnisse

Die gute Übereinstimmung der ermittelten Kenngrößen für Feldaufnahme und TLS-Aufnahme ist grundsätzlich erfreulich. Auch anhand dieser Fallstudie konnte gezeigt werden, dass die TLS-Technologie grundsätzlich in der Lage ist, automatisch bzw. teilautomatisch forstinventurrelevante Größen und verwendungsorientierte Zusatzgrößen zu liefern. Derzeit ist dies allerdings noch mit einem sehr hohen Arbeitsaufwand verbunden. Zudem ist ein hohes Maß an EDV-Kenntnissen nötig, um aus den 3D-Punktwolken der terrestrischen Laserscanner forstpraktische Größen zu extrahieren.

Für den forstpraktischen teilautomatischen Einsatz dieser Technologie existiert weiterhin ein Grundproblem: Bisher gibt es keinen befriedigenden Ansatz zur (überwachten) Aufteilung der 3D-Punktwolken aus Wäldern in Daten für die Einzelbäume (Segmentierung). Dieser Arbeitsschritt wurde hier manuell durchgeführt und erwies sich als äußerst zeitaufwendig und wäre in einem derartig dichten Waldbestand ohne die Nutzung der Tachymeterdaten auch manuell nicht möglich gewesen. Für die isolierten Daten der Einzelbäume zeigte sich, dass diese nur zum Teil (einseitig bzw. nur wenige Datenpunkte auf der Oberfläche) durch den Laserscanner erfasst wurden. Aus diesem Grund konnten die BHD-Werte nur mit Hilfe der vergleichsweise robusten Kreisannäherung (Dassot et al. 2011) geschätzt werden. Andere Schätzverfahren wie Ellipsenannäherungen oder konvexe Hüllen zeigten keine befriedigenden Ergebnisse. Die gute Übereinstimmung der Höhenmesswerte im Feld mit den TLS-Werten wird als sehr positiv bewertet. Hier kommt die Stärke des TLS-Systems zum Tragen: Einfach und schnell liegen echte Messwerte für Baumhöhen vor, ein erheblicher Qualitätsgewinn im Vergleich zu den »qualifizierten Schätzwerten« der Inventurpraxis. Weiterhin hat sich bei der vergleichenden Aufnahme der Edelkastanienfläche in Hausen gezeigt, dass eine sehr gute Schätzung der mittleren astfreien Schaftlänge mit dieser Technologie möglich ist. Auf Einzelbaumebene hingegen waren die Ergebnisse mit dem vorgestellten Ansatz noch nicht befriedigend.

**5** Das Kombinationsgerät scannt präzise die Umgebung ab. Zusammen mit einem integrierten GNSS kann jeder Punkt genau im Raum zugeordnet werden. Foto: © Leica Geosystems

## Ausblick

Die LWF arbeitet weiter an der praxisorientierten Weiterentwicklung dieser Technik für den forstpraktischen Einsatz. Hierfür sind mehrere Gründe maßgeblich: Wie die Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012 gezeigt haben, wird der Waldaufbau vielfältiger, die Schichtigkeit und Mischung unserer Wälder nimmt erfreulicherweise zu. Dies erfordert allerdings den ergänzenden Einsatz von Fernerkundungstechniken, die in der Lage sind, den neuen Waldaufbauformen gerecht zu werden. Durch den Einsatz von TLS können Mängel und Schwächen der klassischen Forstinventur (wie z. B. die mangelnde nachträgliche Reproduzierbarkeit oder die fehlende Auswertungsmöglichkeit von Zusatzaspekten, die bei der Konzeption einer klassischen Forstinventur nicht berücksichtigt wurden) größtenteils behoben werden.

Aktuell angestoßen wurden erste automatisierte Flächenauswertungen für einfach aufgebaute Waldklimastationen. Das angesprochene Problem der Segmentierung wird für diese Flächen mit 3D-Voronoi-Zellen erfolgreich gelöst, stellt aber sicherlich für stärker strukturierte bzw. dichtere Bestände keine Universalösung dar. Aufgrund der Ergebnisse der hier vorgestellten Fallstudie soll weiterhin geprüft werden, ob Verfahren der Zylinderanpassung an Einzelbäume (z. B. Hackenberg 2014) eine bessere Bestimmung der astfreien Schaftlänge auf Einzelbaumebene ermöglichen.

Mittelfristiges Ziel ist – aufbauend auf den Erkenntnissen der Grundlagenforschung – die Entwicklung einer baukastenartigen Softwarelösung, mit der entsprechende Routinen für die automati-

sierte Ableitung forstinventurrelevanter Größen möglich wird. Für die einzelnen Baukastenelemente soll beschrieben und nachgewiesen werden, für welche Waldsituationen sie geeignet sind bzw. wo sie bereits mit welchem Ergebnis eingesetzt wurden.

## Zusammenfassung

Vorgelegt werden die Ergebnisse einer Vergleichsaufnahme einer Edelkastanienfläche mit aktueller Standardmesstechnik in der Forstinventur sowie mit terrestrischer Laserscantechnologie. Verglichen werden forstpraktische Größen wie BHD, Höhe und astfreie Schaftlänge. Im Mittel zeigen die ermittelten Werte sehr gute Übereinstimmungen, auf Einzelbaumebene sind allerdings zum Teil deutliche Abweichungen vorhanden. Eine automatisierte Auswertung ist derzeit noch nicht möglich, an entsprechenden Lösungen bzw. Lösungansätzen wird allerdings aktuell und zukünftig gearbeitet.

## Literatur

- Dassot, M.; Constant, T.; Fournier, M. (2011):** The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of Forest Science*, Springer Verlag/ EDP Sciences, 68 (5), pp.959–974. <10.1007/s13595-011-0102-2>
- Fricker, C. (2016):** Auswirkungen des Trockenjahres 2003 auf einen Edelkastanienbestand in Unterfranken. (unveröffentlichte Bachelorarbeit an der Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement der Technischen Universität München, 75 S.
- Hackenberg, J.; Morhart, C.; Sheppard, J.; Spiecker, H.; Disney, M. (2014):** Highly Accurate Tree Models Derived from Terrestrial Laser Scan Data: A Method Description. *Forests* 2014, 5, 1069–1105; doi:10.3390/f5051069
- Hein, S.; Ehring, A.; Kohnle, U. (2014):** Wachstumskundliche Grundlagen der Wertholzproduktion mit der Edelkastanie (*Castanea sativa* MILL.) in Südwestdeutschland und im Elsass. *Allg. Forst- und Jagdzeitung* 185, S. 1–16
- Kankare, V.; Joensuu, M.; Vauhkonen, J.; Holopainen, M.; Tanhuanpää, T.; Vastaranta, M.; Hyypää, J.; Hyypää, H.; Alho, P.; Rikala, J.; Sipi, M. (2014):** Estimation of the Timber Quality of Scots Pine with Terrestrial Laser Scanning. *Forests* 2014, 5, 1879–1895; doi:10.3390/f5081879
- Klemmt, H.-J.; Seifert, Th.; Seifert, S.; Kunneke, A.; Wessels, B.; Pretzsch, H. (2010):** Assessment of branchiness in a *Pinus pinaster* plantation by terrestrial laser scanner data as a link between exterior and interior wood properties. *SilviLaser 2010*, – Freiburg, Germany (proceedings), S. 252–263
- Klemmt, H.-J.; Förster, B.; Wörle, A.; Seifert, T. (2015):** Neue Wege im Waldflächen-Monitoring in Bayern. *AFZ-Der Wald* 2015, S. 39–42
- Kölling, C. (2007):** Klimahüllen für 27 Waldbaumarten. *AFZ-Der Wald*, 23/2007, S. 1242–1245
- Schütt, C.; Aschoff, T.; Winterhalder, D.; Thies, M.; Kretschmer, U.; Spiecker, H. (2004):** Approaches for recognition of wood quality of standing trees based in terrestrial laserscanner data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI – 8/W2, S. 179–182
- Ullmann, T. (2016):** Ermittlung der astfreien Schaftlänge in einem unterfränkischen Edelkastanienbestand mit Hilfe terrestrischer Laserscantechnologie. (Unveröffentlichte Bachelorarbeit der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), 35 S.

## Autoren

Dr. Hans-Joachim Klemmt leitet die Abteilung »Boden und Klima« der LWF. Thomas Ullmann war Student an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Prof. Dr. Steffen Rogg lehrt Biometrie und Informatik an der HSWT. Alfred Wörle ist Mitarbeiter der Abteilung »Waldbau und Bergwald« der LWF und Vermessungsspezialist. Dr. Bernhard Förster ist Mitarbeiter der Abteilung »Waldbau und Bergwald« der LWF und des Lehrstuhls für Landschaftsentwicklung der TUM. Carolina Fricker studiert an der TUM Forstwissenschaft. Prof. Dr. Thomas Seifert ist außerordentlicher Professor für Waldwachstum an der Universität Stellenbosch (Südafrika) und Geschäftsführer des Consulting-Unternehmens ScientesMondium (U.G.).

**Kontakt:** hans-joachim.klemmt@lwf.bayern.de

