

# **Untersuchungen des terrestrischen Laserscanners Mensi GS100 - Einfluss unterschiedlicher Oberflächeneigenschaften auf die Punktbestimmung**

Harald STERNBERG, Thomas KERSTEN, Nicole CONSEIL

## **Zusammenfassung**

Terrestrische Laserscanner werden in verschiedenen Anwendungen eingesetzt, die unterschiedliche Anforderungen an die Genauigkeit und die Ausarbeitung der Daten stellen. Die Spanne reicht von der einfachen Visualisierung des Objektes in Form der Punktwolke über die Approximation von Objekten in einfachen 3D-Modellen oder detailreichen 2D-Fassadenplänen bis zu Deformationsuntersuchungen. Um Aussagen über die Genauigkeit der Laserscanner machen zu können, muss nicht nur der Laserscanner selbst mit seiner Entfernungsmesseinheit betrachtet werden, sondern auch das zu erfassende Objekt mit seinen Material- und Geometrieigenschaften.

In Untersuchungen am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg wurde der Einfluss unterschiedlicher Oberflächeneigenschaften und Scanoptionen bei der Erfassung mit dem terrestrischen Laserscanner *Mensi GS100* analysiert. Zur Trennung des Einflusses der Farbe von der Reflektivität und der Oberflächenbeschaffenheit wurden u.a. Farbmusterblätter mit definierten RAL-Farben und Reflektivitätswerten sowie handelsübliches farbiges Papier gescannt. Zudem wurden Körper aus unterschiedlichen Materialien und Formen erfasst und untersucht, wie gut mit der Software *3Dipso*s geometrische Primitive in die Punktwolken approximiert werden können. Es zeigt sich, dass schwarze und rote Objekte aufgrund des grünen Laserstrahls schlecht erfasst werden und die Farbe einen Einfluss auf die Streckenmessung und Punktwolkenqualität hat.

## **1 Einleitung**

Beim terrestrischen 3D-Laserscanning werden Objekte mit unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften (Farbe, Material, Oberflächenrauigkeit) unter unterschiedlichen Winkeln mit einem Laserstrahl erfasst. Während die Winkelmessgenauigkeit hauptsächlich instrumentell bedingt ist, ist die Intensität des zurückkehrenden Signals und die Genauigkeit der Streckenmessung vom Messverfahren, der Laserwellenlänge und den Oberflächeneigenschaften der Objekte, wie Farbe und Material abhängig. Dieses zeigte sich in verschiedenen Geräteuntersuchungen zur Streckenmess- und Winkelgenauigkeit (BÖHLER & MARBS 2004, SCHULZ & INGENSAND 2004).

Die Frage stellt sich daher, **wie** wirken sich diese einzelnen Parameter eines Körpers (Farbe, Reflektivität, Oberflächenbeschaffenheit, Dichte) auf die Streckenmessung aus und sind diese voneinander trennbar.

## 2 Das Scansystem Mensi GS100

Das Scansystem *GS100* verwendet zur Streckenmessung das Impulslaufzeitverfahren mit einem Laserstrahl der Wellenlänge 532 nm (grün). Laut Hersteller (MENSI 2004) beträgt die maximale Auflösung 0,002 gon (Hz / V), dies entspricht ca. 3 mm auf 100 m. Die Laserpunktgröße ist ca. 3 mm auf 50 m und die Standardabweichung einer Entfernungsmessung einer Einzelstrecke wird mit 6 mm angegeben. Die Genauigkeit kann gesteigert werden, indem die Entfernung zu einem Punkt bis zu 20 mal bestimmt wird, was zu erheblich längeren Scanzeiten führt. So muss bei einer vierfachen Streckenmessung fast mit der doppelten Scanzeit gerechnet werden. Weitere Angaben zum Scansystem und zu bereits durchgeführten Untersuchungen und Projekten an der HAW Hamburg sind in KERSTEN ET AL. (2004) zusammengefasst. Im folgenden sollen nur die wichtigsten Einstellungen im Datenerfassungsprogramm und die verwendeten Module der Auswertprogramme aufgeführt werden.

Zur Datenerfassung wird von der Firma *Mensi* die Software *PointScape* als sogenanntes Außendienstprogramm angeboten. Dieses dient zunächst der Initialisierung des Scanners und der Definition von Projekten, Objekten und Passpunkten (sphere, target). Hierbei können für jeden Objektscan verschiedene Scanoptionen wie Einfärbung der Punktfolge mit RGB Farben (real time coloring), Qualität des Abtastgitters (grid quality: fast – best), Fokussierung des Laserstrahls (fixed focus – autofocus), Scanentfernungen (limit scan distance - overscan), die Auflösung und die Anzahl der Einzelpunktmessungen (shots) festgelegt werden. Die Auswahl des Scanbereiches (frame) erfolgt mittels integrierter Videokamera, die auch die RGB-Werte der gescannten Punkte liefert. Bereits während und nach der Datenerfassung kann die erfasste Punktwolke in verschiedenen Ansichtsformaten (z.B. grey scale, true color) vor Ort visuell kontrolliert werden. In der Version 2.0 kann erstmals ein Vermessungspunkt einzeln mit dem Laserscanner angezielt werden (point survey tool). So können z.B. tachymetrische Zielpunkte direkt gemessen und der Scanner damit frei stationiert werden, so dass Kugeln oder Targets für die Registrierung und Georeferenzierung der Punktwolken nicht mehr unbedingt erforderlich sind.

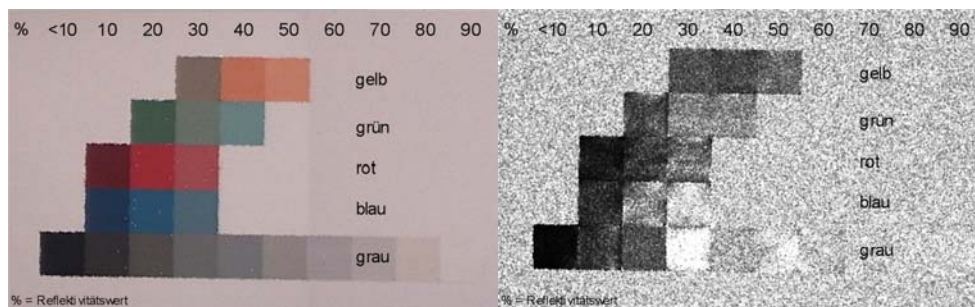
Zur Datenauswertung der Punktwolken stehen zwei verschiedene Programme von MENSI zur Verfügung. *RealWorksSurvey* dient im Registration-Mode der Punktwolkenverknüpfung und Georeferenzierung. Im OfficeSurvey-Mode können z.B. Polylinien, Schnitte, Profile, Vermaschungen erzeugt und Messungen und Volumenkalkulationen durchgeführt werden.

In der für die Auswertung hauptsächlich verwendeten Software *3Dipsos* (Engineering Modul) ist ebenfalls eine Registrierung und Georeferenzierung möglich, wobei hier nur die Kugeln und nicht die Targets automatisch erkannt werden. In der Hauptsache dient *3Dipsos* der Erzeugung von geometrischen Primitiven (z.B. plane, cylinder) zur Konstruktion komplexer Anlagen. Die Abweichungen der Punktwolke von geometrischen Primitiven können mit der Software analysiert werden. Ähnlich wie in *RealWorksSurvey* können mit *3Dipsos* auch Vermaschungen und Messungen durchgeführt werden.

### 3 Untersuchungen des GS 100

#### 3.1 Farbmatrix aus Musterblättern

Für die Untersuchung des separaten Einflusses von Farben und Helligkeitswerten auf die Streckenmessung wurde eine Auswahl an Farbmusterblättern (20 cm x 20 cm) in einer Entfernung von 8 m mit einer Auflösung von 3,2 mm gescannt. Zusätzlich wurde geprüft, ob eine Verbesserung der Streckenmessgenauigkeit durch eine Erhöhung der Anzahl der Messungen pro Punkt erreicht werden kann. Dazu wurden die Scans mit einer unterschiedlichen Anzahl von Einzelpunktmessungen (1, 10, 20) durchgeführt. Die Farbmatrix mit den Hellbezugswerten und die vom Laserscanner empfangene Intensität ist in Abb. 1 zu sehen. Als Hellbezugswert wird hier der Reflektionsgrad eines bestimmten Farbtons zwischen dem Schwarzpunkt (0) und dem Weißpunkt (100) verstanden (BRILLUX 2004).



**Abb. 1:** Matrix der Farbmusterblätter als true-color-Darstellung (links) und als Intensitätsdarstellung in Graustufen (rechts)

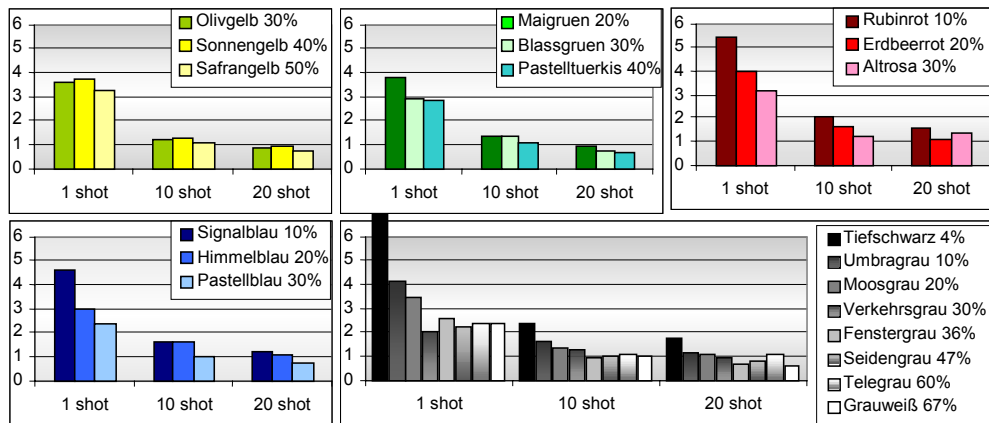
In der intensitätscodierten Darstellung zeigen Tiefschwarz (4%) und Rubinrot (10%) erwartungsgemäß geringe Intensitätswerte (fast schwarz), während Verkehrsgrau (Hellbezugswert 30%), wie durch die helle Fläche im rechten Teil der Abbildung 1 zu erkennen, die höchsten Intensität des zurückgeworfenen Signals aufweist.

Eine Betrachtung der Hellbezugswerte und der vom Scanner erfassten Intensitäten (maximal 255) lässt keinen direkten Zusammenhang erkennen. Es besteht jedoch eine direkte Beziehung zwischen der erfassten mittleren Intensität und der Standardabweichung einer approximierten Ebene (vgl. Tabelle 1). Tiefschwarz hat zugleich mit der geringsten durchschnittlichen Intensität von 11 die höchste Standardabweichung von 8 mm, während Verkehrsgrau mit dem höchsten Intensitätsmittel von 250 die geringste Standardabweichung von 2 mm aufweist. Tendenziell nimmt innerhalb der Farbgruppen die Standardabweichung mit zunehmendem Hellbezugswert ab (vgl. Abb. 2).

**Tabelle 1:** Farben mit den vom Laserscanner ermittelten geringsten und höchsten Intensitäten und die Standardabweichungen der approximierten Ebene in mm.

RAL Farbe / Hellbezugswert	Intensität LS Min.	SD [mm]	RAL Farbe / Hellbezugswert	Intensität LS Max.	SD [mm]
Tiefschwarz 4%	11	8	Telegrau 60%	203	2
Rubinrot 10%	30	5	Grauweiß 67%	206	2
Signalblau 10%	51	5	Pastellblau 30%	213	2
Umbragrau 10%	66	4	Seidengrau 50%	226	2
Erdbeerrot 20%	68	4	Verkehrsgrau 30%	250	2

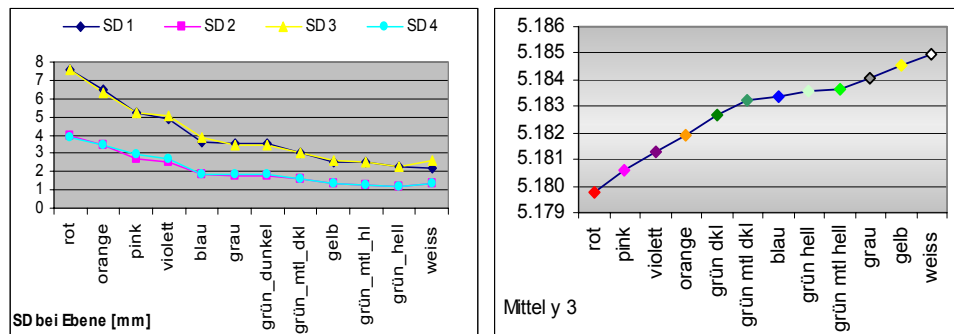
Durch eine Steigerung der Einzelpunktmessung von 1 auf 10 wird bei allen Farbgruppen die Standardabweichung der Ebene erwartungsgemäß auf mindestens die Hälfte, zum Teil sogar auf ein Drittel verbessert. Eine weitere Steigerung der Wiederholungsmessungen auf 20 bewirkt keine signifikante Verbesserung (Abb. 2).



**Abb. 2:** Standardabweichungen der aus der Punktwolke approximierten Ebenen je Farbgruppe

### 3.2 Raus farbiges Papier

Für die folgenden Farbpapier-Untersuchungen wurden zwölf verschiedene farbige Blätter der Größe 17 cm x 17 cm in 5 m Entfernung in identischer Position rechtwinklig zur Scanrichtung angebracht und mit vier verschiedenen Scanoptionen erfasst. Bei den Scans 1 und 2 betrug die Auflösung 0,5 mm, bei den Scans 3 und 4 wurde sie auf 5 mm gesetzt. In der Option 1 und 3 erfolgte die Erfassung mit nur einer Zielung (shot), bei 2 und 4 mit vier Zielungen. Die Fokussierung wurde auf 'autofocus' und das Gitter auf 'best quality' eingestellt.



**Abb. 3:** Standardabweichungen der eingepassten Ebene der einzelnen Scans (links) und Entfernung zum Scanner (rechts)

Bei allen Scanoptionen zeigt sich hinsichtlich der Streuungen ein einheitliches Bild für die einzelnen Farben. Rot, Orange und Pink weisen mit 3-8 mm immer die höchste Standardabweichung einer approximierten Ebene auf, während dieser Wert bei den Farben Weiß, Hellgrün und Gelb nur 1-3 mm beträgt (vgl. Abb.3 links). Auch hier zeigt sich ein Zusammenhang zwischen der Farbe (und somit der Intensität) und der Standardabweichung der eingepassten Ebene. Als wichtiger Aspekt ist neben der Standardabweichung, z.B. 8 mm bei der Farbe Rot (siehe Abb. 3 links), auch die Streuung der einzelnen Messpunkte zu betrachten, insbesondere wenn direkt in der Punktwolke gemessen werden soll. So beträgt innerhalb der Punktwolke des roten Blattes im Scan 1 der Abstand einiger Punkte zur mittleren Ebene über 40 mm in Messrichtung (Blau:<22 mm, Grün: <14 mm).

Wie zu erwarten hat eine höhere Scanauflösung keinen erkennbaren Einfluss auf die Standardabweichung der Messung. Dahingegen bewirkt eine Heraufsetzung der Einzelpunktmessungen von 1 auf 4 eine wesentlich geringere Streuung. Dadurch wird bei diesem Material eine Reduzierung der Standardabweichung um durchschnittlich 48% auf den halben Wert erzielt, was der theoretischen Überlegung  $s_n = s_0 / \sqrt{n}$  mit  $n =$  Anzahl der Messungen entspricht.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis war, dass die eingepassten Ebenen der verschiedenen Farben zueinander versetzt sind. Die erfasste Y-Koordinate entspricht der Entfernung vom Scanner zum Objekt und weist eine Differenz von über 5 mm zwischen dem weißen und dem roten Blatt auf (Abb. 3). Ein ähnliches Bild ergab sich auch bei Untersuchungen von CLARK & ROBSON (2004) mit dem Cyrax 2500, der mit demselben Laserlicht (532nm)

arbeitet. Hier waren jedoch die Abweichungen mit bis zu 12 mm deutlich größer und lagen signifikant über der Herstellerangabe. Beim GS100 liegen die Abweichungen eindeutig im Messunsicherheitsintervall ( $\alpha=95\%$ ) von  $\pm 12$  mm, wenn man von der Herstellerangabe der Standardabweichung einer Einzelmessung ausgeht, die Abweichung wäre damit nicht signifikant.

### 3.3 Materialeinfluss

Für die Untersuchungen hinsichtlich des Materialeinflusses auf die Punktbestimmung wurden neben Objekten in verschiedenen Farben auch Objekte aus unterschiedlichen Materialien, wie z.B. ein Verkehrsschild, verschiedene Holzbretter und Styropor gescannt (Abb. 4 links) und die Punktwolken ausgewertet.



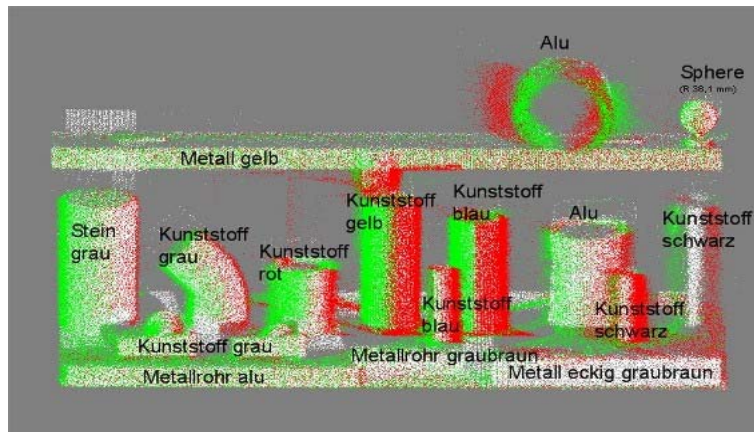
**Abb. 4:** Verschiedene Materialien: Übersichtsfoto (links), Punktwolken Verkehrsschild von vorne und von der Seite (Mitte) und Punktwolke Pylon (rechts)

Die Holzbretter und das Styropor wurden mit einer Auflösung von 5 mm auf 10 m mit einfacher Punktmessung und anschließend mit vierfacher Punktmessung erfasst. Bei dem Material "Holz" bewirkt eine Steigerung der Einzelpunktmessung keine wesentliche Verbesserung der Standardabweichung einer eingepassten Ebene (helles Holzbrett: von 2,7 mm auf 2,2 mm, dunkle MDF-Platte (Mitteldichte Faserplatte) von 5,0 mm auf 4,6 mm). Beim weißen Styropor bewirkt die Mehrfachmessung wiederum wie beim Papier eine signifikante Verbesserung von 2,7 mm auf 1,7 mm.

Das Verkehrsschild wurde mit vierfacher Punktmessung mit zwei verschiedenen Auflösungen (5 mm und 2,5 mm auf 10 m) erfasst. In beiden Fällen sind die Streuung und Standardabweichung mit 16,4 und 14,4 mm sehr hoch. Dabei werden vom Verkehrsschild nur der rote Rahmen und der schwarze Inhalt erfasst. Die weiße Fläche reflektiert offensichtlich das Signal mit einer zu hohen Intensität, so dass diese nicht mehr erfasst wird und die Punktwolke in diesem Bereich ein Loch aufweist. Der Pylon wurde trotz schlechter Intensitätswerte, mit Ausnahme des schwarzen Fußes, komplett erfasst, wie in Abb. 4 rechts zu erkennen ist.

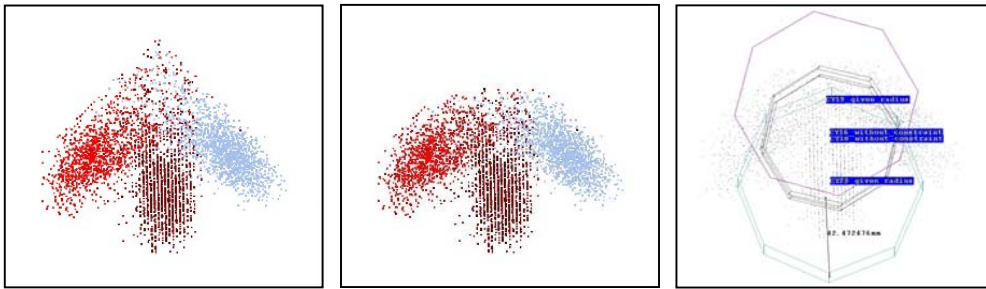
### 3.4 Geometrien

Um zu beurteilen, wie sich unterschiedliche Formen, Farben und Materialien auf die Objektmessung und –konstruktion auswirken, wurden verschiedene Objekte von drei Standpunkten erfasst. Aus den Punktwolken wurden die entsprechenden Objekte durch geometrische Primitive mit der Software *3Dipsos* konstruiert. In Abb. 5 sind die drei verknüpften Punktwolken an anhand der zugeordneten Farben für die Scannerstandpunkte zu unterscheiden.



**Abb. 5:** Registrierte Punktwolke (farbkodiert nach Scannerstandpunkten) verschiedener geometrischer Objekte

In die Punktwolken der Rohrabschnitte mit Radien von 20-90 mm wurden Zylinder mit der Best-Fit-Methode eingepasst. Die Differenzen zum Soll betragen hier bis auf wenige Ausnahmen lediglich 1mm bis 3mm. Große Probleme ergaben sich bei einem schwarzen Kunststoffrohr ( $R=49$  mm), bei dem die Zylinder mit einem 13 mm zu kleinen Radius automatisch eingepasst wurden. In Abb. 6 sind zwei unterschiedlich bereinigte Punktwolken der drei Standpunkte desselben Zylinders zu sehen, wobei die Rohrgeometrie nicht zu erkennen ist. In dies beide Punktwolken wurde jeweils ein Zylinder mit vorgegebenen Radius konstruiert. Als Ergebnis wurde eine Verschiebung von über 40 mm zwischen den beiden Zylindern festgestellt. Dies zeigt deutlich, dass schwarze Rohre nicht ohne großen Qualitätsverlust zu erfassen sind. Daher müssen vor dem Scannen Maßnahmen getroffen werden (z.B. durch Bestreuung mit weißem Puder), um von schwarzen Objekten auswertbare Punktwolke zu erhalten.



**Abb. 6:** Schwarzer Kunststoffzylinder: Unterschiedlich bereinigte Punktwolken (links und mitte) und eingepasste Zylinder (rechts)

Im Gegensatz zu den Rohren funktioniert die Approximation von Boxen bei quadratischen Objekten mit der Software praktisch nicht, wie in Abb. 7 insbesondere auf der linken Seite mit dem roten Ziegelstein zu sehen ist. Laut Auskunft der Firma Trimble ist das Programm nicht zur Erzeugung einzelner Geometrien freistehender Objekte geeignet, sondern zur Konstruktion komplexer Anlagen gedacht. Die Approximation einer Box würde besser funktionieren, wenn eine oder zwei Richtungen oder ein Anschluss vorgegeben wären.



**Abb. 7:** Fehlerhafte Box und Bounding Box bei weißem Kalkstein (links) und rotem Ziegelstein (rechts)

## 4 Fazit und Ausblick

Um eine differenzierte Aussage über die Genauigkeit der Streckenmessungen des Laserscanners GS100 machen zu können, wurden Untersuchungen mit verschiedenen Körpern zur Reflektivität, Farbe der Oberfläche, der Oberflächenstruktur (Rauheit) und der Materialeigenschaft (Holz, Metall, etc.) am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg durchgeführt.

Alle Untersuchungen zeigen einen Zusammenhang zwischen Farbe, Intensität und Streuung der Punkte. Helle Farben, wie z.B. Grün und Gelb führen zu einer guten Punktwolkenqualität, während rote Flächen aufgrund des grünen Laserstrahls eine hohen Streuung bewirken.



Auch die Oberflächenstruktur (Rauheit) und die Materialeigenschaften, wie die Dichte, die sich direkt auf die Eindringtiefe des Signals auswirken, beeinflussen die Punktwolkenqualität.

Mögliche Verbesserungen der Messdaten durch Farbinformationen des Messpunktes, die mit hochauflösenden Kameras bestimmt werden könnten, reichen nicht aus, da das Zusammenspiel der Einflüsse von Oberflächenstruktur, Material, Farbe, Einfallswinkel zu komplex ist. Die verschiedenen Einflüsse sind in der Praxis nicht voneinander zu trennen.

Die Mehrfachmessungen können neben den gezeigten positiven Auswirkungen auch negative Effekte hervorrufen. Bei rauen Oberflächen und bei dunklen Farben führt eine Mehrfachmessung zu einer Reduktion der Streuung. Bei glatten Flächen und einem Einfallswinkel von  $\alpha = 0^\circ$  führt die Mehrfachmessung jedoch häufig zu einem falschen Messergebnis und zu einer höheren Streuung.

Untersuchungen zur Geometrieerkennung ausgewählter Objekte (geometrische Primitive) verdeutlichen auch hier die Problematik, dass die Messungen von den Materialeigenschaften der zu scannenden Objekte abhängig sind. Die Approximation von Zylindern und Kugeln funktioniert mit *3Dipsos* gut, während die Approximation von einzelnen Boxen nicht funktioniert. Grundsätzlich ist zur Erzeugung von Geometrien eine höhere Automatisierung bei der Datenauswertung notwendig, um eine effiziente Auswertung der Punktwolken durchführen zu können. Die Option ‚easy pipe‘ in *3Dipsos* (Version 4.1), bei der die Software auch automatisch Rohre und die jeweiligen Biegungen in der Punktwolke konstruiert, ist bereits ein erster vielversprechender Schritt in Richtung zur mehr Effizienz.

Die Instrumentenuntersuchungen der einzelnen terrestrischen Laserscanner sind weit fortgeschritten, wie auch die vergleichenden Untersuchungen von BOEHLER & MARBS (2004) bezüglich der Strecken- und Winkelmessgenauigkeit sowie Auflösungsvermögen zeigen. Vergleichende Untersuchungen der entsprechenden Auswertesoftware sind dagegen kaum publiziert. Der Vergleich einer Dreiecksvermaschung für die Punktwolke der Langen Anna mit verschiedenen Softwaretools zeigte signifikant unterschiedliche Ergebnisse (LINDSTAEDT & KERSTEN, 2005). Auch führen Mehrfachmessungen oder andere Messverfahren nur zu einer glatten Oberfläche mit weniger Streuung, aber ein absoluter Versatz aufgrund der spezifischen Objekteigenschaften (Farbe, Material, etc.) wird dennoch bleiben. So bleiben noch einige Fragen offen. Was bedeutet dies aber für die Generierung von Objekten aus Punktwolken in einem bestimmten Messraum? Wie wirken sich diese Faktoren relativ aus, d.h. werden Maß- und Formparameter (Größe, Ebenheit, Zylindrizität) dadurch verfälscht? Wie werden Lageparameter (Parallelität der Seiten, Position des Objektes, Lage der Objektachsen im Messraum) als relative bzw. absolute Größen beeinflusst?

So muss bei zukünftigen Untersuchungen auch die Auswertesoftware mit berücksichtigt werden, damit ein Messsystem (Hardware und Software) im Einsatz unter den Gesichtspunkten der Wirtschaftlichkeit, der Messaufgaben, der Objekte und der erzielten Produkte, wie 3D-Modell, 2D-Fassadenpläne oder einfache Schnitte, der Genauigkeit und den Belangen des Nutzers gesehen wird. Ein Beispiel dafür ist auch die Untersuchung von HÖNNIGER & KERSTEN (2005), in dem die topographische Aufnahme einer Ringwallanlage durch den Laserscanner Mensi GS100 mit dem klassischen tachymetrischen Verfahren hinsichtlich Qualität und Effizienz verglichen wird.

## 5 Literatur

- Böhler, W., Marbs, A. (2004): *Vergleichende Untersuchungen zur Genauigkeit und Auflösung verschiedener Scanner*. Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2004, Th. Luhmann, (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 82-89
- Brillux (2004): [www.brillux.de](http://www.brillux.de) (09.06.2004)
- Clark, J., Robson, S. (2004): *Accuracy of measurements made with CYRAX 2500 laser scanner against surfaces of known colour*. In: The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXV, Commission IV, Part B4, pp. 1031-1037.
- Hönniger, C., Kersten, Th. (2005): *Topographische Aufnahme der sächsischen Ringwallanlage Willenscharen mit dem 3D-Laserscanning-System Mensi GS100*. Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der 4. Oldenburger 3D-Tage 2005, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Kersten, T., Sternberg, H., Mechelke, K., & C. Acevedo Pardo (2004): *Terrestrischer Laserscanner Mensi GS100/200 - Untersuchungen und Projekte an der HAW Hamburg*. Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2004, Th. Luhmann, (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 98-107.
- Lindstaedt, M., Kersten, Th. (2005). *Ein virtueller Klon für Helgolands' Lange Anna durch terrestrisches Laserscanning*. Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der 4. Oldenburger 3D-Tage 2005, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Mensi (2004): *GS 100 3D laser scanner*. <http://www.mensi.com/website2002/gs100.asp>
- Schulz, T., Ingensand, H. (2004): *Laserscanning – Genauigkeitsbetrachtungen und Anwendungen*. Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2004, Th. Luhmann, (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 90-97.