

# Hochpräzise Digitalisierung großer Bauteile durch Kombination von Laserscanner und Lasertracker

Peter WINTJENS und Ralf LICHTENBERGER

## Zusammenfassung

Der folgende Beitrag beschreibt ein Verfahren der Registrierung von Punktwolken mittels hochgenau gefertigter Zielmarken zur Ausrichtung an durch Lasertracker erzeugten Festpunkten. Mit dieser Vorgehensweise ist die submillimetergenaue 3D-Digitalisierung von großen und komplexen Bauteilen möglich.

## 1 Einleitung

Die Registrierung von Punktwolken gehört zu den zentralen Arbeitsschritten bei der Verarbeitung von Messungen Terrestrischer Laserscanner (TLS). Hierzu stehen unterschiedliche Verfahren zur Auswahl, wie zum Beispiel Best Fit oder Verwendung unterschiedlichster Zielmarken.

Da es in der Industrievermessung oft auf Genauigkeiten im Submillimeterbereich und die Rückführbarkeit der Messergebnisse ankommt, eignet sich die BestFit-Methode hier nicht. Um eine Registrierung im genannten Genauigkeitsbereich zu ermöglichen, bietet sich ein Nahbereichsscanner mit hoher Messgenauigkeit, sehr geringem Messrauschen sowie Zielmarken, welche kompatibel mit Lasertracker-Nestern (SMR) sind, an.

## 2 Abgrenzung Nahbereichsscanner gegenüber konventionellen TLS

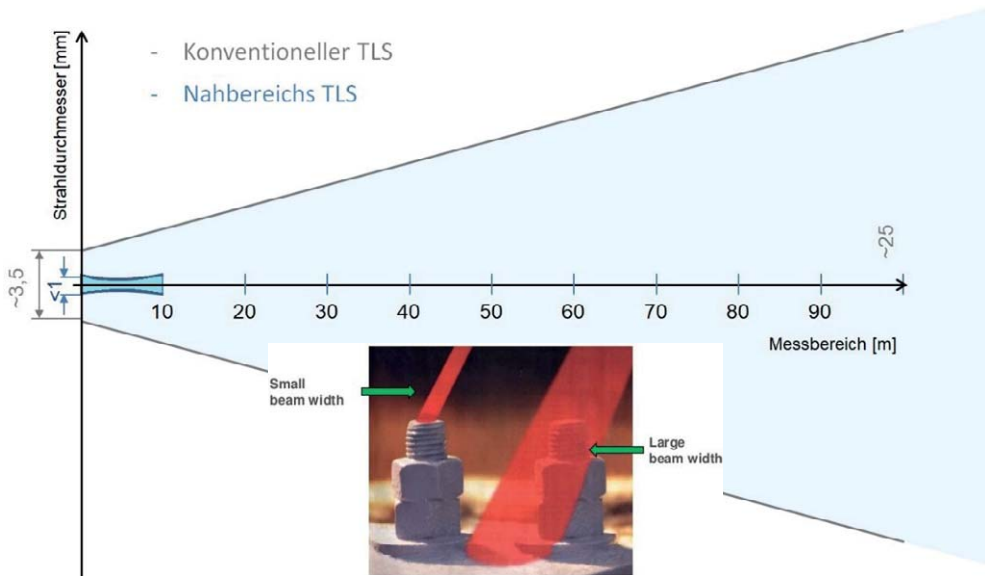
### 2.1 Messbereich, Strahldurchmesser, Genauigkeit

Für die hochpräzise Industrievermessung werden Nahbereichsscanner eingesetzt. Schon die Bezeichnung „Nahbereichsscanner“ deutet auf einen begrenzten Messbereich hin. Bei den Surphaser-Nahbereich-Scannern beginnt der Messbereich bei 0,25 m und endet bei ca. 7 m. In diesem optimierten Messbereich liegen die 3D-Genauigkeiten bei 0,15 mm bis 0,3 mm (1 Sigma) und das Messrauschen im Bereich von 0,025 mm.

Für eine hohe Ortsauflösung ist jedoch auch die Messfleckgröße von wesentlicher Bedeutung. Der Strahldurchmesser konventioneller TLS am Austrittsfenster liegt üblicherweise bei ca. 2-3 mm. Bei einer Divergenz von ca. 0,25 mrad wächst die Messfleckgröße alle 10 m um weitere 2,5 mm.

Um einen geringen Messfleckdurchmesser über den gesamten optimierten Messbereich zu erreichen, wird bei den Surphaser-Scannern mit einem Strahldurchmesser von  $< 1$  mm am Austrittsfenster und der Positionierung der Strahltaile in der Mitte des Messbereichs gear-

beitet. In Abbildung 1 wird schematisch Messbereich und Strahldurchmesser eines konventionellen TLS mit dem eines Surphaser-Nahbereichsscanners verglichen.



**Abb. 1:** Vergleich Messbereich und Strahldurchmesser

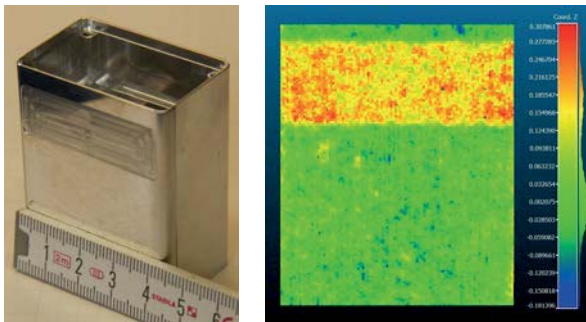
Modell	Empfohlener Arbeitsbereich (m)	Messrauschen (mm)	Genauigkeit (mm)	Laserklasse	Farbkamera
75USR	0,25 ... 2,5	0,025	< 0,15 bei 1,5 m	3R (685 nm)	integriert
80USR	0,25 ... 3	0,045	< 0,15 bei 1,5 m	1 (1550 nm)	integriert
100HSX-SR ...	1 ... 7	0,024 bei 4 m	< 0,3 bei 3 m	3R (685 nm)	Option
Model 10	1 ... 50	0,12 bei 15 m	< 0,7 bei 15 m	1 (1550 nm)	integriert
	1 ... 110	0,25 bei 15 m	< 0,9 bei 15 m		

**Abb. 2:** Verschiedene Surphasermodelle im Überblick

## 2.2 Messrauschen

Das Messrauschen eines Nahbereichsscanners sollte möglichst gering sein, da durch eine hohe Datenqualität der zeitaufwendige Prozess zur Datenbereinigung und Filterung entfällt bzw. minimiert werden kann.

Die Digitalisierung eines kleinen Gehäusedeckels mit einer 0,2 mm tiefen flächigen Einfräsung (Vertiefung) verdeutlicht das geringe Messrauschen des Surphasers (Modell 100HSX-SR). Abbildung 3 zeigt die farbcodierte z-Achse der Punktwolke nach einem Ebenenfit auf die Rohscandaten. Die Einfräsung (rot) hebt sich deutlich von der ungefrästen Oberfläche ab. Die Skala zeigt auch die statistische Verteilung der Messwerte auf der Oberfläche bzw. der Vertiefung. Die hierbei gemessene Tiefe der Einfräsung von 0,2 mm deckt sich mit den entsprechenden CAD-Daten des Gehäusedeckels.



**Abb. 3:** Links: Foto des Gehäuses mit eingefräster Vertiefung, rechts: Scandaten eines Gehäusedeckels mit 0,2 mm Vertiefung

## 2.3 Automatische Registrierung von Scans und Ausrichtung zu einem Festpunktnetz

Für die vollständige Digitalisierung großer Bauteile sind mehrere Scans von unterschiedlichen Standpunkten notwendig. Durch die Verwendung von Zielmarken, Kontrasttargets oder Kugeln können die unterschiedlichen Scans registriert werden.

Oft besteht die Notwendigkeit, die Punktwolke in ein gegebenes Objektkoordinatensystem zu transformieren, welches zum Beispiel ein mit einem Lasertracker erzeugtes Festpunktnetz sein kann.

Surphaser nutzen hierzu Kontrasttargets, deren Mittelpunkt mit einer Genauigkeit von weniger als 50  $\mu\text{m}$  mit dem Mittelpunkt der rückseitig montierten 1,5-Zoll-Halbkugel übereinstimmt. Die Surphaser-Software erkennt automatisch die Kontrasttargets, registriert die Scans zueinander und richtet sie am vorgegeben Festpunktnetz aus.

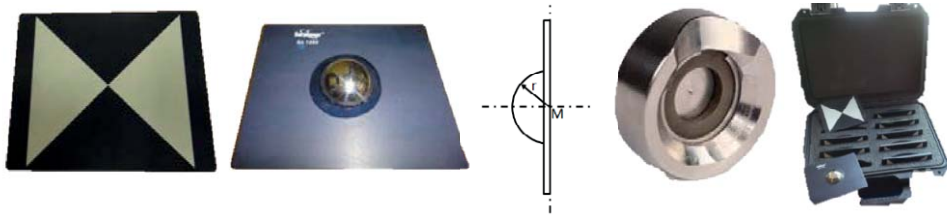


Abb. 4: Surphaser-Kontrasttargets und Tracker-Nest (SMR)

### 3 Anwendungsbeispiele

#### 3.1 Rotorblatt

Um ein Rotorblatt wurde mit einem Lasertacker ein Netz mit ca. 30 Festpunkten erzeugt.

Aus 16 Standpunkten wurden Scans mit einem Surphaser 100HSX-SR durchgeführt, um die Oberfläche des Messobjektes zu erfassen. Jeder einzelne Scan wurde über mindestens 3 Festpunkte registriert und ins Objektkoordinatensystem transformiert.

Abbildung 5 zeigt das Intensitätsbild eines Scans (2D) mit einem Overlay der Festpunkte. Da es sich um ein Overlay handelt, werden in dieser Darstellung Festpunkte, die hinter dem Messobjekt liegen, auf dessen Oberfläche dargestellt.

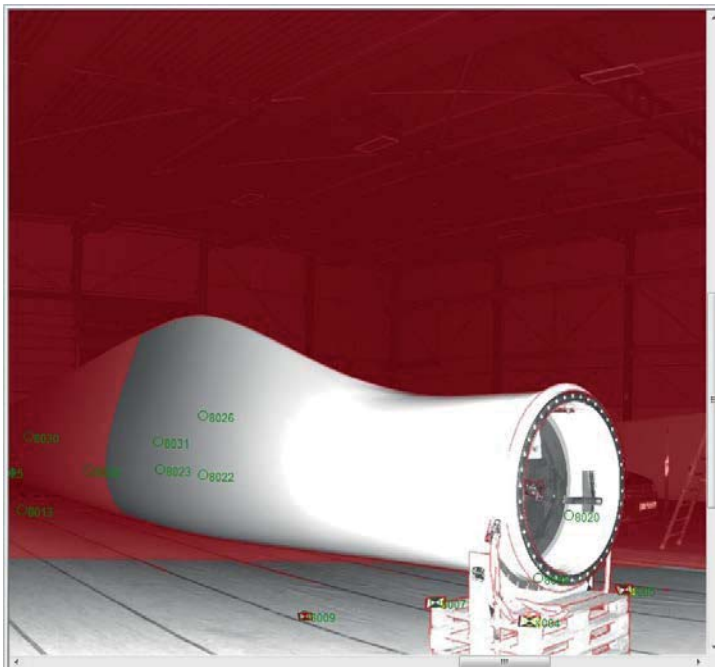
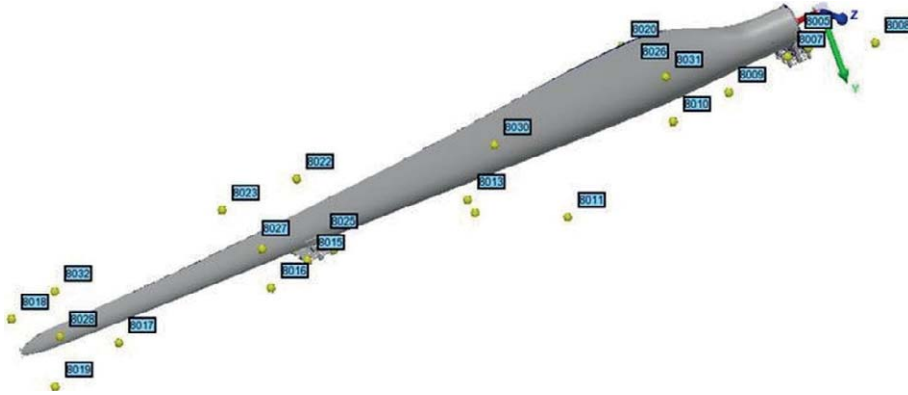


Abb. 5: Intensitätsbild eines Rotorblattes mit eingblendeten Festnetzpunkten

Durch dieses Vorgehen, kann eine Registrierung der Einzelscans mit der Genauigkeit ähnlich der Messgenauigkeit des Scanners erreicht werden. Abbildung 6 zeigt das Messobjekt mit dem Festpunktnetz als vermaschte Punktwolke.



**Abb. 6:** Registrierte und an Festpunkten ausgerichtete Scans (polygonisiert)

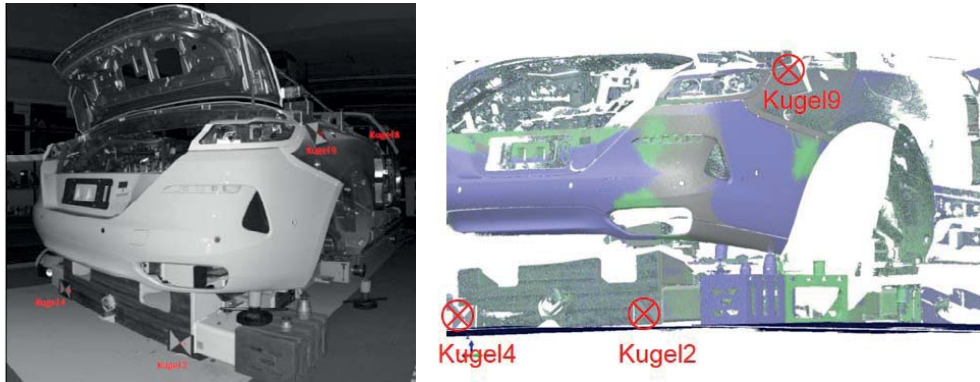
### 3.2 Anwendungsbeispiel Automobilbau, Cubing

Die Genauigkeitsanforderungen im Automobilbau, insbesondere im Bereich „Cubing“, sind sehr hoch. Ein Cubing-Modell ist eine mehrteilige massive Rohbau-Karosserie, die alle Funktionalitäten (Aufnahmen, Halter, Bolzen etc.) bereithält, um Nullteile (Teile, die noch nicht in Serie sind), alle Anbau & Verkleidungsteile aufzunehmen.

Eine Registrierung von Einzelscans über Best Fit-Algorithmen wird bei dieser Anwendung nicht akzeptiert. Daher ist die Kombination von Surphaser-Nahbereichsscanner mit den schon beschriebenen Kontrasttargets zur Referenzierung zu bestehenden Festpunktnetzen erfolgsversprechende Lösung.

An jedem Cubing-Modell sind Festpunkte angebracht, die das Objektkoordinatensystem definieren. Über die 1,5-Zoll-Nester werden die Einzelscans registriert und ins PKW-Koordinatensystem transformiert.

In Abbildung 7 links ist das Intensitätsbild mit den automatisch gefunden Kontrasttargets dargestellt. Rechts wird die Punktwolke, bestehend aus den Scans von verschiedenen Standpunkten, gezeigt.



**Abb. 7:** Beispiel „Cubing“, Intensitätsbild und Punktwolke mit Festnetzpunkten

Die erreichten Genauigkeiten für jeden Scan werden in einer Datei gespeichert.

Die Datei beinhaltet die Bezeichnung des Festpunktes, Soll-Koordinaten, Ist-Koordinaten, 3D-Fehler, Distanzfehler sowie dem horizontalen und vertikalen Winkelfehler.

Name	Base X	Base Y	Base Z	Scan@B X	Scan@B Y	Scan@B Z	3D Error	Dist Error	Hor Error (arc sec)	Vert Error (arc sec)
Kugel2	3578744	479910	-345855	3578748	479914	-345863	10	-1	0,02	-1,24
Kugel4	3578559	-480097	-345776	3578562	-480114	-345784	19	15	-1,04	-0,26
Kugel9	3150022	875738	559750	3150014	875753	559767	24	3	2,18	2,07

**Abb. 8:** Beispiel „Cubing“, Messabweichungen

Eine weitere Auswertung der Registriergenauigkeit von Scan zu Scan wird ebenfalls ausgegeben. In diesem Anwendungsbeispiel lag der Registrierungsfehler der gezeigten drei Einzelscans zwischen 96  $\mu\text{m}$  und 112  $\mu\text{m}$  bei Verwendung eines Surphaser 75USR.

### 3.3 Anwendungsbeispiel Zugbau „Vollständigkeitsprüfung“

Ein großes Thema in der Qualitätsüberwachung im Zugbau ist die Vollständigkeitsüberprüfung von Anbauteilen in Wagenkästen.

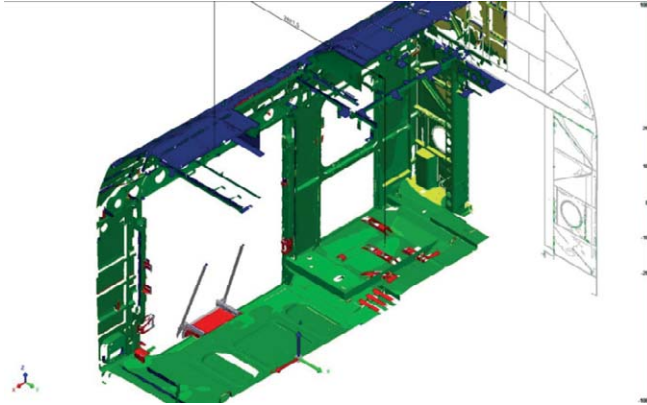
In einem Wagenkasten werden mehrere hundert Anbauteile angebracht. Fehlt ein Teil oder ist dessen Position außerhalb der vorgegebenen Toleranzen, kann das erhebliche Auswirkungen auf die nachfolgende Montage haben.

Ziel ist eine weitestgehend automatisierte Auswertung der erzeugten Scandaten gegenüber bestehenden CAD-Modellen. Eine besondere Problematik ergibt sich aus dem Fertigungsprozess. Die Länge eines Wagenkastens kann um mehrere 10 mm variieren. Der einfache Vergleich von Scandaten gegenüber CAD-Modellen ist daher nicht zielführend.

Es ist erforderlich die Punktwolke an bestimmten Festpunkten mit geringen Toleranzen auszurichten. Dies können auch unterschiedliche Abschnitte mit unterschiedlichen Ausrichtungen sein, um Anbauteile im entsprechenden Abschnitt mit den entsprechenden Toleranzen

finden zu können. Daher eignet sich hier die Kombination aus Surphaser und Lasertracker-messungen, um die abschnittsweise Ausrichtung präzise durchzuführen.

In Abbildung 9 wird ein Abschnitt eines Wagenkastens gezeigt. Grüne Bereiche liegen innerhalb der Toleranz, gelbe sind kritisch und rote liegen außerhalb.



**Abb. 9:** Vollständigkeitsprüfung von Anbauteilen im Zugbau

## 4 Zusammenfassung

Die Nahbereichsscanner von Surphaser zeichnen sich durch unübertroffene Messgenauigkeit und hohe Ortsauflösung aus. Die Surphaser-Kontrasttargets dienen zur vollautomatischen Registrierung von Einzelscans und Ausrichtung an Festpunktnetzen von z. B. Lasertrackern. Damit besteht die Möglichkeit großvolumige Bauteile in kurzer Zeit in Submillimetergenauigkeit zu erfassen und in ein bestehendes Objektkoordinatensystem zu transformieren. Die hohe Datenqualität sorgt für eine Minimierung aufwendiger Datenbereinigung.

## Literatur

Basis Software Inc.: *Datenblätter und Webseite des Surphaser-Herstellers.*

Stand 2018/2019. <http://www.surphaser.com>.

Greg Dolphin (2015): *New ScanStation Portfolio Intro.*

<https://www.slideshare.net/GregDolphin/new-scanstation-portfolio-intro-48157062>.

Ferrucci, M. M. et al. (2013): *Ranging performance evaluation of a laser scanner.* ASPE conference. <http://www.aspe.net/publications/Short Abstracts 13A/3783.pdf>.

Jurdeczka, U. (2018): *Beitrag zur modellbasierten Vollständigkeitsprüfung von Anbauteilen an Stahlbau-Strukturen.* Schriftenreihe des Instituts für Produktionsmesstechnik, TU Braunschweig.

Muralikrishnan, B. et al. (2013): *Volumetric performance evaluation of a laser scanner.* ASPE conference. <http://www.aspe.net/publications/Short Abstracts 13A/3784.pdf>.