
Stabilitätsprüfung projizierter Referenzpunkte für die Erfassung großvolumiger Messobjekte

Murat ÜRÜN, Manfred WIGGENHAGEN, Hubertus NITSCHKE und Christian HEIPKE

Zusammenfassung

Die dreidimensionale Vermessung von großvolumigen Objekten (Przybilla 2007) erfolgt heute bei vielen Anwendern operationell mit Streifenprojektionssystemen (Gühring 2002). Beim Einsatz dieser Messsysteme muss die Zuordnung der partiellen Teilbereichsaufnahmen anhand von signalisierten Referenzpunkten durchgeführt werden. Diese werden vor der 3D-Vermessung auf der Objektoberfläche magnetisch haftend angebracht dann photogrammetrisch koordinatenmäßig im Raum bestimmt und müssen nach der Erfassung mit dem Streifenprojektionssystem wieder entfernt werden. Um den Zeitaufwand für den Einsatz von geklebten Referenzpunkten zu reduzieren, wird im Rahmen eines Promotionsvorhabens an der Leibniz Universität Hannover in Kooperation mit der Volkswagen Nutzfahrzeuge AG untersucht, ob projizierte Referenzpunkte geeignet sind, welche auf der Objektoberfläche des Messobjektes mit Projektoren signalisiert werden. In diesem Beitrag werden erste Tests mit einem DLP-Beamer beschrieben und zukünftig geplante Untersuchungen angekündigt.

1 Einleitung

Aufgrund gestiegener Anforderungen in der Automobilherstellung werden zunehmend photogrammetrische Messverfahren zur flächenhaften dreidimensionalen Oberflächenerfassung von großvolumigen Messobjekten eingesetzt. Bei der Qualitätskontrolle des Volkswagen Transporters in Hannover kommen für diese Aufgabe hochgenaue Streifenprojektionssysteme der Firma GOM zum Einsatz.

Zwei Systeme GOM ATOS Triple Scan, bestehend aus je zwei Messkameras und einem Projektor werden in speziell konfigurierten Messzellen durch Roboter in die gewünschte Position im Raum gebracht, um die zu vermessenden Objekte vollständig automatisiert erfassen zu können (GOM 2017/III). Da das Messvolumen der GOM Systeme begrenzt ist, können nur Teilbereiche des zu vermessenden Objektes erfasst werden. Um diese Teilbereiche zu einem kompletten 3D-Modell zusammenfügen zu können, wird die Karosserie vor Beginn der Messung mit bis zu 1000 codierten und uncodierten Zielmarken versehen. Die Karosserie wird anschließend aus unterschiedlichen Richtungen photogrammetrisch aufgenommen und die 3D-Koordinaten der Zielmarken werden im Rahmen einer Bündelausgleichung als sogenannte Referenzpunkte bestimmt. Diese 3D-Referenzpunktkoordinaten werden bei der Streifenlichtprojektion zur Transformation der partiell erfassten Punktwolken in das Gesamtsystem benötigt. Diese Transformation ist immer dann möglich, wenn in jedem Teilschan mindestens drei Zielmarken für das Streifenprojektionssystem sichtbar sind (Thesing et al. 1999). In Abbildung 1 ist der aktuelle Prozessablauf dargestellt.

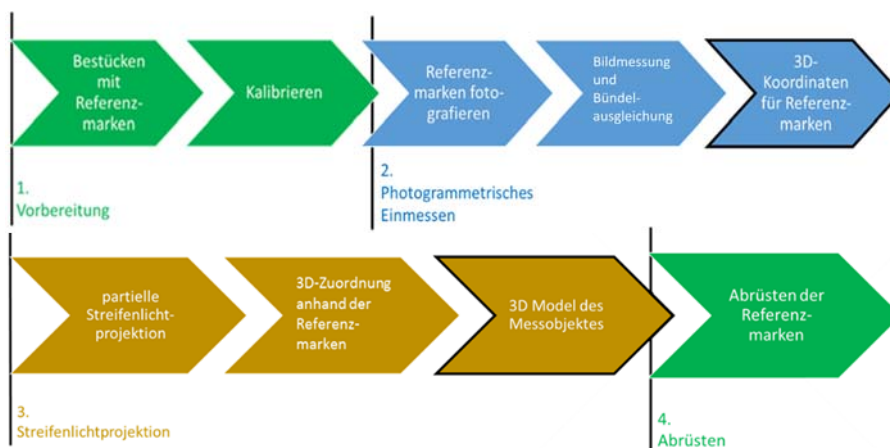


Abb. 1: Prozessablauf der photogrammetrischen Messung

2 Messtechnische Realisierung und alternative Möglichkeiten

Die Messung der gesamten Automobilkarosse stellt eine hohe Herausforderung in der Serienmesstechnik bei Volkswagen Nutzfahrzeuge Hannover dar, da die Genauigkeitsanforderungen von ± 0.1 mm am Objekt die Nutzung von Streifenprojektionssystemen mit kleinem Messvolumen erforderlich machen. Eine Vorbereitung des Messobjektes mit Zielmarken ist der derzeitige Stand der Technik bei Volkswagen. Die Bestückung der Fahrzeugkarosse mit magnetischen Marken geschieht von Hand und benötigt ca. 40 Minuten für die Vorbereitung und 20 Minuten für das Abrüsten des Messobjektes. Dieser Zeitaufwand soll zukünftig minimiert werden, um das photogrammetrische Messverfahren im Produktionsprozess besser und ohne zeitaufwendige Vor- und Nachbearbeitung einsetzen zu können. Bei der Messung auf Basis einer geringeren Anzahl an Referenzpunkten oder beim vollständigen Verzicht auf Zielmarken muss jedoch die o.g. hohe Genauigkeitsanforderung an das vollständige 3D-Punktnetz berücksichtigt werden.

Ein gängiger Ansatz zur Reduktion des Signalisierungsaufwandes ist die Nutzung von Bauteilaufnahmen mit Referenzmarken. Die Bauteilaufnahme ist eine hochgenaue Vorrichtung, welche das Messobjekt in seiner Position mittels Spannern und definierten Auflageflächen fixiert. Werden die Aufnahmepositionen geschickt gewählt, befindet sich die Messoberfläche und die Bauteilaufnahme zeitgleich im Messvolumen des photogrammetrischen Messsystems und gewährleisten über die Referenzpunkte eine hohe Lagegenauigkeit der 3D Scans. Bei Messobjekten größeren Ausmaßes, funktioniert dieses Vorgehen jedoch nicht.

In Abbildung 2, links, ist eine Bauteilaufnahme der Karosse mit signalisierten Referenzmarken zu sehen. Aufnahmen des oberen Bereichs der Karosse lassen sich aufgrund der größeren Distanz zu den beklebten Säulen der Messvorrichtung nicht orientieren, falls nicht zusätzlich Referenzmarken auf dem Messobjekt signalisiert sind. Alternativ können Referenzkulissen oder mit Referenzmarken beklebte Vorrichtungen zwischen Messgerät und

Messobjekt positioniert werden, wodurch jedoch Hinterschneidungen und Verdeckungen der Messoberfläche entstehen (Siehe Abbildung 2, rechtes Bild) und möglicherweise wichtige Merkmale nicht erfasst werden können. Zusätzlich schränken Referenzkulissen in der Messanlage die Bewegungsfreiheit der Roboter ein. Insgesamt bedarf es hierfür einer flächenmäßig großzügig ausgelegten Messanlage (Witte-Barskamp 2017).



Abb.: 2 Links Bauteilaufnahme mit geklebten Referenzmarken. Rechts Trägerkonstruktion mit geklebten Referenzmarken

Führende Anbieter der photogrammetrischen Messtechnik arbeiten an weiteren Möglichkeiten zur Reduktion des Aufwandes zur Verknüpfung der partiellen Scans von Streifenprojektionssystemen. AICON bietet beispielsweise mit dem Produkt „3D Arena“ ein Streifenprojektionssystem an, welches ohne signalisierte Referenzpunkte arbeitet und die Lage und Orientierung des Aufnahmesystems im Raum mit bis zu 8 Industriekameras erfasst. Die Teilsfans werden anschließend über die extern bestimmten äußeren Orientierungen in das Gesamtsystem transformiert (Aicon 2017). GOM entwickelt mit der „Robogrammetrie“ ein Messkonzept, welches die große Anzahl von zweidimensionalen Zielmarken durch wenige dreidimensionale Zielwürfel ersetzt, die aus mehreren Richtungen vom 3D-Sensor erfasst werden können und damit die Zusammenführung der einzelnen Scans ermöglicht.

Im Rahmen eines Promotionsverfahrens der Volkswagen Nutzfahrzeuge AG in Kooperation mit der Leibniz Universität Hannover soll die Möglichkeit der Projektion von Referenzpunkten mit Beamern untersucht werden. Hiermit könnte bei erfolgreicher Realisierung eine flexible und automatisierbare Alternative zur herkömmlichen Signalisierung von Zielmarken geschaffen werden. Erste Untersuchungen zu dieser alternativen Möglichkeit werden in diesem Beitrag beschrieben.

2.1 Notwendige Voruntersuchungen

Da projizierte Zielmarken im Vergleich zu geklebten oder magnetischen Marken ein abweichendes Reflexionsverhalten aufweisen, müssen die gängigen Verfahren zur Bildkoordinatenmessung in digitalen Bildern näher untersucht werden.

Messbilder

Bei der Nutzung von digitalen Messbildern in 24-bit ist zu klären, ob die ermittelten Punktzentren unabhängig vom für die Auswertung gewählten Farbkanal sind. Die meisten Sensoren digitaler Kameras sind heute mit einer Bayer-Matrix ausgestattet (Correns 2011). In der Filtermatrix wechseln sich zeilenweise grüne und blaue sowie rote und grüne Filter

ab, siehe Abb. 3, fehlende RGB-Farbinformationen werden durch Interpolation aus den Nachbarpixeln ermittelt (Lukin & Kubasov 2004).

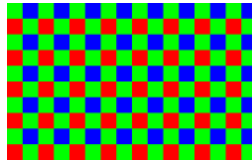


Abb. 3: **Bayer-Matrix**

Aufgrund der dichteren Anordnung der grünen Pixel im Rohbild ist u. a. zu untersuchen, ob die Lagemessung der signalisierten Zielmarken im grünen Kanal exakter erfolgen kann, als in den anderen Kanälen bzw. als im 24-bit Farbbild.

RGB-Beamer

Moderne DLP (Digital Light Processing) -Beamer erzeugen das Farbbild durch ein sich im Strahlengang schnell drehendes Farbfilterrad (Texas Instruments 2016). Das schnelle Umschalten der projizierten RGB Farbauszüge ist für das Auge des menschlichen Betrachters nicht erkennbar. Ist die Belichtungszeit der Messkamera im Verhältnis zur Taktzeit des Filterrades zu kurz, werden die Bilder jedoch mit Farbstich aufgenommen. Es ist eine geeignete Belichtungszeit zu wählen und zu untersuchen, ob die Farbprojektion des Beamers zu systematischen Lageverschiebungen der detektierten Markenmittelpunkte führt. Alternativ müssten dann LED- oder LCD-Beamer eingesetzt werden, welche ohne Farbfilterrad arbeiten.

Beamerpositionen

In Abbildung 4 sind die Positionen der Messkameras dargestellt, die benötigt werden um die in grün dargestellten Zielmarken photogrammetrisch erfassen zu können. Die Kamerapositionen werden per Roboter angefahren. Bei der Projektion von Zielmarken an vergleichbaren Stellen auf der Karosse müssen Positionen für mehrere Beamer gefunden werden, die eine ungehinderte Sicht auf die Karosse ermöglichen. Die Befestigung der Beamer muss dann relativ zum Messobjekt raumstabil realisiert werden.

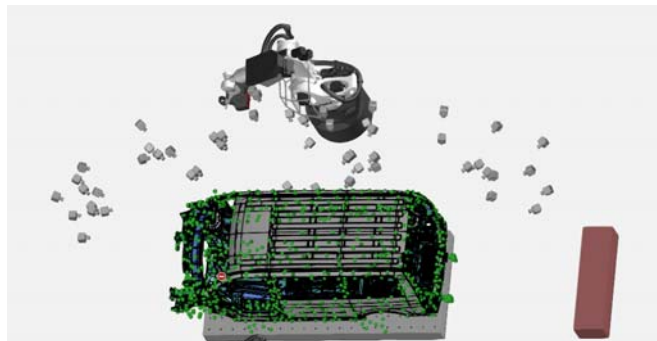


Abb. 4 Bildverband für die photogrammetrische Einmessung einer Karosse bestehend aus 60 Positionen. In grau sind die Kamerapositionen zu sehen, in grün die Referenzpunkte.

Streifenprojektionsaufnahme

Die ATOS Triple Scan Sensoren sind werkseitig für ein Messvolumen der Größe $700 \times 530 \times 520 \text{mm}^3$ konfiguriert (GOM 2017). Ein Messobjekt in der Größe des VW Transporters erfordert bis 100 Positionen, um in seiner gesamten Ausdehnung gescannt werden zu können. Roboter führen die ATOS Sensoren auf vorab programmierte Positionen, an denen die Streifenprojektion und flächenhafte 3D-Messung erfolgt.

Die Toleranzen an einem zu inspizierenden Flächenpunkt betragen gewöhnlich $\pm 1 \text{mm}$. Die optische Messtechnik muss daher in der Lage sein, für die 3D-Koordinaten der Referenzpunkte eine Messgenauigkeit von bis zu $\pm 0,1 \text{mm}$ zu erreichen. Die photogrammetrische Einmessung sowie die Streifenprojektion benötigen bis zu zwei Stunden Messzeit. Da die Referenzpunkte sich in dieser Zeit lagemäßig nicht verändern dürfen, ist zu weiterhin überprüfen, ob die Projektion der Punkte mit den Beamern über diesen Zeitraum stabil genug und ohne Zoom- oder Drifteffekte realisiert werden kann.

2.2 Fehlereinflüsse bei der Bildkoordinatenmessung

Grobe Fehler

Die Messung von signalisierten Punktmarken unterliegt unterschiedlichen Fehlereinflüssen. Grobe Fehler können entstehen wenn die Codes der Zielmarken teilweise verdeckt sind und falsch zugeordnet werden. Dieser Fall wird softwaretechnisch durch Plausibilitätskontrollen oder visuelle Kontrolle abgefangen. Meistens reichen Informationen über die Nachbarschaft (Strecke, Winkel) zu bereits erkannten Zielmarken für die Plausibilitätskontrolle aus. Grobe Fehler sind bei uncodierten Marken z.B. Lichtreflexe oder zufällig ähnliche runde Objektteile mit einem kreisförmigen Erscheinungsbild, die als Zielmarke erkannt werden. Durch die Vorgabe von Aussehen (z. B. Kontrast) und Maximaldurchmessern der verwendeten Zielmarken lassen sich derartige Fehler aufdecken.

Systematische Fehler

Systematische Fehler bei der Bildkoordinatenmessung können durch Bildkompression, Farbinterpolation und Linsenfehler der Aufnahmekamera entstehen. Durch die Nutzung von RAW bzw. unkomprimierten TIF-Bildern, die Ermittlung des geometrisch höchst auflösenden Farbkanals und die geometrische Kalibrierung der Kameras im Rahmen der Bündelausgleichung können diese Fehlereinflüsse modelliert und minimiert werden.

Zufällige Fehler

Die verbleibenden zufälligen Fehler führen zu einer Streuung der Bildkoordinatenmessungen, die im Bereich von $\pm 0,05$ Pixeln liegen (Luhmann 2010, S.531).

3 Praktische Versuche

Je nach Auswertesoftware werden die Mittelpunkte der Zielmarken in digitalen Bildern mittels Stern-oder Ellipsenoperator oder per Kleinste-Quadrate Anpassung bestimmt (Luhmann 2010, S.443). Für die ersten Voruntersuchungen wurde die Software Photomodeler der Firma EOS verwendet. Später sollen in den weitergehenden Tests eigene Ellipsenmessverfahren für die Punktmessung eingesetzt werden. Für die erste Überprüfung der in Pho-

tomodeler verfügbaren Koordinatenmessverfahren wurde eine Testvorlage mit 90 codierten 12-bit Zielmarken ausgedruckt (Abb.: 5) und mit der digitalen Kamera Nikon D7200 (GOM 2017/II) aufgenommen.

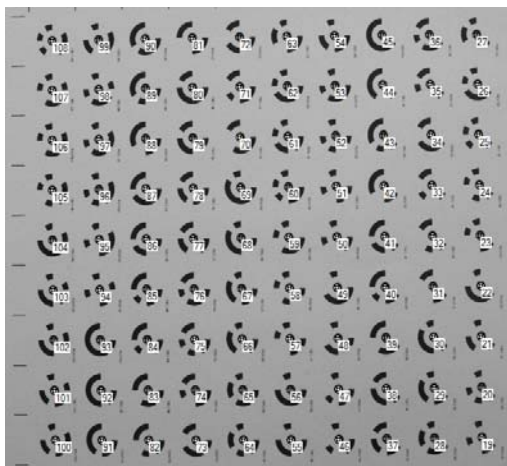


Abb. 5 Testvorlage mit codierten 12-bit Zielmarken

3.1 Versuche mit 24-bit Farbbildern

Die subpixelgenaue Messung der Markenmittelpunkte wurde im 24-bit Farbbild sowie in den drei Farbkanälen getrennt durchgeführt. Abbildung 6 zeigt eine Gegenüberstellung der Differenzen aus der Ellipsenmessung.

In Abbildung 6 entsprechen die Datenpunkte 1 bis 89 den Zielmarken 19 bis 108 in Abbildung 5, die in aufsteigender Reihenfolge detektiert wurden. Datenreihe 1 zeigt die Bildkoordinatendifferenzen zwischen 24-Bit Farbbild und blauem Kanal, Datenreihe 2 zwischen 24-Bit Farbbild und rotem Kanal und Datenreihe 3 zwischen 24-Bit Farbbild und grünem Kanal. Sowohl in Spaltenrichtung als auch in Zeilenrichtung ist erkennbar, dass der grüne Farbkanal gegenüber der 24-bit Auswertung die geringste Streuung aufweist. Dieses Verhalten begründet sich im o.g. Bayer-Pattern und wurde auch für eine zusätzlich eingesetzte Canon EOS 1100 Kamera nachgewiesen. Der rote Kanal weist in Spaltenrichtung einen klaren linearen Trend und in Zeilenrichtung einen periodischen systematischen Fehler auf, deren Ursachen bisher nicht eindeutig geklärt werden konnten.

Für 52 codierte Marken wurde der Versuch erneut durchgeführt. Allerdings wurde keine ausgedruckte Testvorlage verwendet, stattdessen wurde sie mit einem Beamer (dem DLP-Beamer Acer X1160) projiziert (Acer 2017). Die Bilder wurden mit derselben digitalen Kamera Nikon D7200 bei einer Belichtungszeit von 1/30 sec. aufgenommen (Ergebnisse siehe Abb.: 7). Wieder liefert der grüne Kanal die besten Ergebnisse. Im roten Kanal treten erneut Systematiken auf, ebenso im blauen Kanal. Es wurde vermutet, dass die Systematiken auf die RGB-Darstellung des Beamers zurückzuführen ist. Eine Auswertung einer um 90 Grad gedreht vorgenommenen Projektion bestätigte diese Annahme; in dem Fall ergaben sich ähnliche Ergebnisse, jedoch mit vertauschten Zeilen- und Spaltenrichtung.

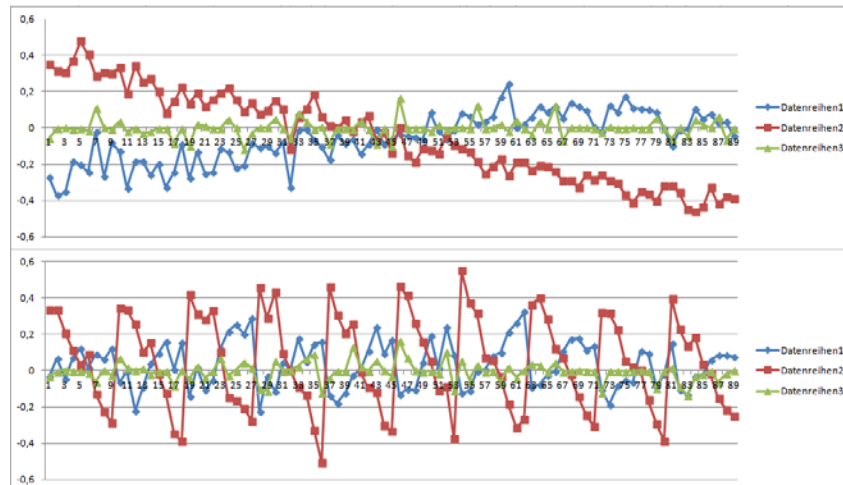


Abb. 6 Differenz der gemessenen Markenmittelpunkte zwischen dem RGB-Bild und dem jeweiligen Farbkanal, oben in Spaltenrichtung, unten in Zeilenrichtung, Vorlage geklebt

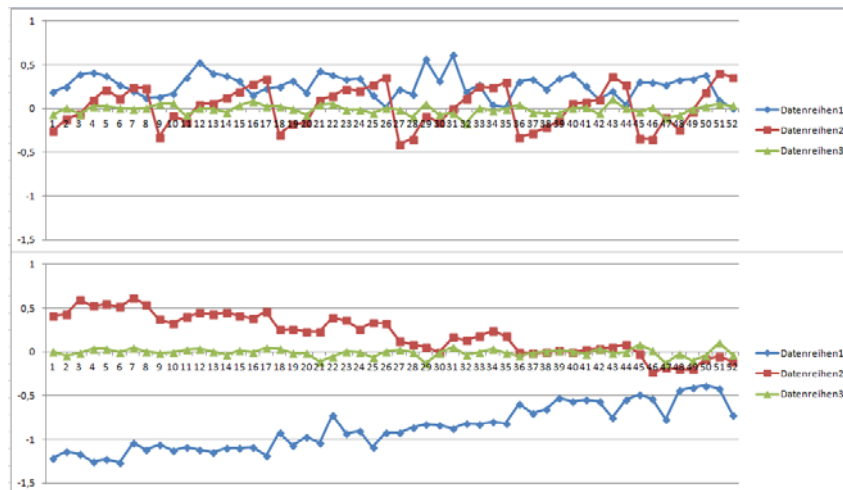


Abb. 7 Differenz der gemessenen Markenmittelpunkte zwischen dem RGB-Bild und dem jeweiligen Farbkanal, oben in Spaltenrichtung, unten in Zeilenrichtung, Vorlage projiziert

Es ist in weiteren Versuchen zu klären, ob das schnell rotierende Filterrad des DLP-Beamers bei ungünstigen Belichtungszeitpunkten auch zu einer Verschlechterung der Zielmarkenabbildung im grünen Farbkanal führen kann. In dem Fall müsste auf Beamer ohne Filterrad zurückgegriffen werden.

3.2 Versuche mit Bündelausgleichungssystem TRITOP

In diesem Abschnitt wird ein vergleichender Versuch mit realen (geklebten) und projizierten Referenzmarken durchgeführt und die Auswertung mit der GOM Software TRITOP beschrieben. Für beide Versuche ist dieselbe vorab kalibrierte Digitalkamera Nikon D 7200 verwendet worden, welche im TRITOP-Paket der Firma GOM mitgeliefert wird (GOM 2017/II). Als Messobjekt diente ein aus drei parallelen weißen Ebenen bestehender und mit Referenzmarken und zwei Maßstäben versehener Testaufbau. Die mittlere Ebene befand sich näher an den Kamerastandpunkten, um ein 3D-Messfeld zu erzeugen.

Versuch mit geklebten Marken

Im Versuchsaufbau sind zwei mit codierten Referenzmarken bestückte Messkreuze enthalten. Weiterhin wurden auf den drei Ebenen 5mm große uncodierte Referenzmarken geklebt. Der Messaufbau wurde aus verschiedenen Positionen inklusive Kantungen um 90° aufgenommen und in der Software TRITOP ausgewertet. Die zusätzlichen Kantungen der Aufnahmen wurden für die vorgesehene Simultankalibrierung der Kamera im Bündelausgleichungsprogramm verwendet.

Versuch mit projizierten Marken

Für die praktische Anwendung von projizierten Referenzmarken sollen im Rahmen des Promotionsvorhabens synthetische Referenzpunkte (kreisförmige Zielmarken) auf die Karosse projiziert werden. Wenn die dreidimensionale Form der Karosse aus CAD Solldaten bekannt ist und die äußere und innere Orientierung des Beamers vorab kalibriert wurden, kann die Verzerrung der Zielmarken für das Beamerbild vorberechnet werden. Je nach Neigung und Oberfläche des Objektteils werden dann unverzerrte kreisförmige Zielmarken in der Projektion zu sehen und zu messen sein.

Da zu diesem frühen Zeitpunkt der Untersuchungen noch keine Software zur Erstellung und Messung synthetischer Marken zur Verfügung stand, wurde ein anderer Weg beschritten: Der Versuchsaufbau mit realen Maßstäben, Messkreuzen und uncodierten Zielmarken wurde aus der Position des zu verwendenden Beamers aufgenommen und das resultierende digitale Bild über ein Notebook dem Beamer zugeführt. Da die Kamerakonstante der Aufnahmekamera an die Brennweite des Beamers angepasst wurde, ergab sich in der Projektion eine vergleichbare Situation wie im realen Versuch.

Bevor diese Messanordnung erneut aus mehreren Positionen aufgenommen werden konnte, wurden die vorher geklebten Marken und Messkreuze abgedeckt bzw. entfernt. In Abbildung 8 ist die Situation mit den detektierten projizierten Marken dargestellt.

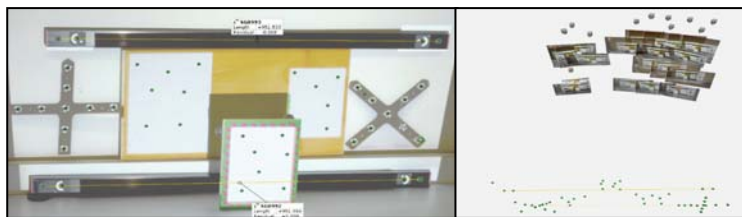


Abb. 8: Detektierte projizierte Referenzpunkte, links Messbild, rechts Ansicht des Ergebnisses aus der Bündelausgleichung GOM TRITOP

Die Ausgleichsergebnisse dieser Versuche geben einen ersten Hinweis auf die Güte der durchgeführten Koordinatenbestimmung der Referenzmarken. Die Ergebnisse der photogrammetrischen Koordinatenbestimmung beider Versuche lieferten als σ_0 nach der Ausgleichung (innere Genauigkeit) für reale Referenzmarken den Wert 0.03 Pixel und für die projizierten Marken 0.06 Pixel.

Ob diese geringere Genauigkeit auf die bereits oben beschriebenen Farb-Effekte des Beamer, auf den schlechteren Kontrast der Marken (s. nächster Absatz), oder auf andere Ursachen zurückzuführen sind, ist noch zu klären.

In Abbildung 9 ist der Kontrastunterschied für eine Referenzmarke gegenübergestellt. Beim Versuch mit den realen Referenzmarken lag die Differenz der ermittelten max. und min. Durchmesser bei 0,41mm (max = 5,46mm; min = 5,05mm). Im Versuch mit projizierten Marken war die Spanne mit 1,16mm deutlich höher (max= 5,95mm; min = 4,79mm). Bei symmetrischer Abbildung der Marken spielt dieser Unterschied keine Rolle. Wenn allerdings die Marken unsymmetrisch ausgeleuchtet werden, wie es bei der Projektion auf schräge Ebene vorkommen kann, ist mit einer systematischen Verschiebung des Ellipsenmittelpunktes zu rechnen. Dieser Effekt muss in Zukunft noch im Detail untersucht werden.

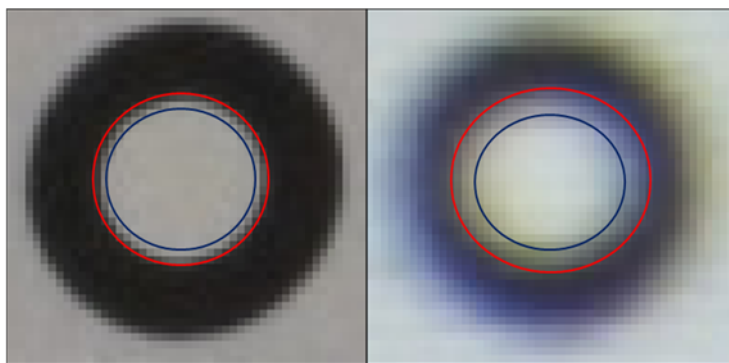


Abb. 9: Vergleich des Kontrastes einer realen Referenzmarke (links) mit einer projizierten Referenzmarke (rechts), blau=minimaler, rot=maximaler Markendurchmesser

4 Schlussfolgerung und Ausblick

Im Rahmen erster Versuche konnte gezeigt werden, dass projizierte Zielmarken in den digitalen Bildern ähnlich genau wie geklebte Zielmarken detektiert werden können. Voraussetzung für eine exakte Messung der Markenmittelpunkte ist die Nutzung des grünen Farbkanals bei 24-bit Bildern aus digitalen Kameras, wenn diese eine Bayer-Matrix vor dem Bildsensor verwenden.

Da bei kommerzieller Auswertesoftware nicht immer bekannt ist, wie die Markenmittelpunkte und die resultierenden 3D-Koordinaten bestimmt werden, soll zukünftig eine eigene Ellipsenausgleichung, basierend auf den gefundenen Konturpunkten, für die Bildkoordinatenmessung sowie eigene Software für die Bündelausgleichung eingesetzt werden.

Die im Einsatz befindlichen GOM Streifenprojektionssysteme nutzen aktuell eine auf dem 3D-Messsystem zusätzlich montierte Digitalkamera „Plus Box“ (GOM 2017/I) für die photogrammetrische Aufnahme der Referenzpunkte (siehe Abbildung 10). Diese Kamera ist zukünftig auch mit geeigneten Testfeldern und -methoden zu überprüfen.



Abb. 10: ATOS Sensor mit aufgesetzter Plus Box (Quelle GOM)

Schließlich muss in weiteren Untersuchungen verifiziert werden, ob die bisher verwendeten DLP- Beamer langzeitstabil sind und für synthetisch projizierte Zielmarken geeignet sind.

Literatur

Aicon (2017): *Aicon 3D Arena Produktinfo*

http://www.aicon3d.de/fileadmin/user_upload/produkte/de/moveinspect/MoveInspect_XR/Brochure_MoveInspect_XR_3D_Arena_DE.pdf (28.01.2017)

Acer (2017): *Acer Projektor X1160/X1160P/X1260/X1260K Serie Benutzerhandbuch*

<https://www.acer.com/ac/de/DE/content/support-product/945?b=1> (28.01.2017)

Bayer, Bryce E. (1975): *Color imaging array*. Eastman Kodak Company,

Patent Number: US3971065A, (05.03.1975)

Correns, M.(2011):*Subpixelgenaue Kantenortsbestimmung in digitalen Mehrkanalbildern, dargestellt am Beispiel von Sensoren mit Bayer Pattern Color Filter Array*, Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau

GOM (2017/I): *Plus Box 29M für ATOS Triple*.

<https://support.gom.com/display/DOCS/Plus+Box+for+ATOS+Triple+Scan> (26.01.2017)

GOM (2017/II): *Photogrammetriekamera Nikon D7100 und Nikon D7200*.

https://support.gom.com/download/attachments/19923687/tritop_nikon_d7100_d7200_camera-60-DE-004.pdf?version=1&modificationDate=1452499413000 (26.01.2017)

- GOM (2017/III): *ATOS Triple Scan Rev. 02*.
<https://support.gom.com/display/DOCS/ATOS+III+Triple+Scan+Rev.+02>
(26.01.2017)
- Gühring, J. (2002): *3D-Erfassung und Objektrekonstruktion mittels Streifenprojektion*.
Dissertation Universität Stuttgart, Heft Nr. 560, München 2002
- Luhmann, T (2010): *Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. 3., völlig neu bearbeitet und erweiterte Auflage. Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach, S.443. ISBN: 978-3-87907-479-2
- Lukin A. und Kubasov, D. (2004): *High-Quality Algorithm for Bayer Pattern Interpolation*
Programming and Computer Software, Vol. 30, No. 6, 2004, pp. 347–358
- Przybilla H. J. (2007): *Streifenprojektion – Grundlagen, Systeme und Anwendungen. Ein Messverfahren erobert den Raum*, Beiträge zum 74. DVW-Seminar am 5. und 6. Dez. 2007 in Fulda, Band 53, ISBN: 978-3-89639-607-5
- Texas Instruments (2016): *DLP Technology and Products*.
<http://www.ti.com/lit/ml/dlpb010e/dlpb010e.pdf> (28.02.2017)
- Thesing, J., Bergmann, D., Galanulis, K. und Winter, D. (1999): *Qualitätssicherung und 3D-Digitalisierung mit Photogrammetrie und Streifenprojektion*. Fachtagung Optische Formerfassung, 1999, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP), Berlin 1999
- Witte-Barskamp, (2017): *Systeme und Komponenten für photogrammetrische Messverfahren*
https://www.witte-barskamp.de/aktuell/uebersicht.php?we_objectID=788
(29.01.2017)

ÜRÜN, Murat
Volkswagen Nutzfahrzeuge, Hannover
murat.ueruen@volkswagen.de

NITSCHKE, Hubertus
Volkswagen Nutzfahrzeuge, Hannover
hubertus.nitschke@volkswagen.de

WIGGENHAGEN, Manfred
Leibniz Universität Hannover,
Institut für Photogrammetrie und Geoinformationen
wigge@ipi.uni-hannover.de

HEIPKE, Christian
Leibniz Universität Hannover,
Institut für Photogrammetrie und Geoinformationen
heipke@ipi.uni-hannover.de