

Beurteilung der Optischen Messkette durch Simulation der Aufnahmekonfiguration

KARSTEN RAGUSE, MANFRED WIGGENHAGEN ¹

Zusammenfassung: Im Rahmen eines Gemeinschaftsprojektes wird die bestehende ISO-Norm für die Durchführung von Fahrzeugsicherheitsversuchen erweitert. Dabei wird die sogenannte Optische Messkette in ihre Teilprozesse untergliedert. Einer dieser Teilprozesse, die Planung der Aufnahmekonfiguration, wird im vorliegenden Artikel näher untersucht. Dabei wird die Netzgeometrie direkt für die entsprechende geplante Konfiguration berechnet, sodass aus den vorhandenen Ressourcen die beste gewählt werden kann. Die simulierten Aufnahmekonfigurationen werden in die Realität übertragen und miteinander verglichen. Somit können simulierte Erwartungswerte für die Objektgenauigkeit mit realen Ergebnissen der entsprechenden simulierten Konfiguration überprüft werden. Dabei wird kontrolliert, ob die Simulation im Rahmen der benötigten Genauigkeiten die Realität widerspiegelt und so in dieser einfachen Form zur Abschätzung genutzt werden kann.

1 Einführung

Die in diesem Artikel vorliegenden Untersuchungen und Ergebnisse sind Teil eines Gemeinschaftsprojektes zwischen der deutschen Automobilindustrie und dem Institut für Photogrammetrie und GeoInformation der Universität Hannover. Die Projektpartner aus der Automobilindustrie sind die Volkswagen AG, die Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG, die Audi AG, die BMW AG und die DaimlerChrysler AG. In diesem Gemeinschaftsprojekt wird eine bestehende ISO-Norm (ISO, 1986) für die Durchführung von Fahrzeugsicherheitsversuchen erweitert. Die Durchführung und Auswertung der Sicherheitsversuche wird als Optische Messkette bezeichnet. In der Erweiterung der ISO-Norm (ISO, 2002) wird eben diese Optische Messkette in ihre Teilprozesse unterteilt und jeder Bestandteil wird getrennt für sich untersucht und bewertet. Für jeden dieser Teilprozesse werden Kenngrößen zur qualitativen Beurteilung aufgestellt (WIGGENHAGEN & RAGUSE, 2003). Durch die Aufteilung und die unabhängige Bewertung wird die Rückverfolgung von Ungenauigkeiten in den Auswertungsergebnissen deutlich vereinfacht (RAGUSE & WIGGENHAGEN, 2003). Im vorliegenden Artikel wird einer dieser Teilprozesse, die Planung der Aufnahmekonfiguration, näher untersucht. Es werden reale Aufnahmekonfigurationen simuliert und die Ergebnisse der simulierten mit den realen Ergebnissen verglichen. Das Ziel ist es dabei über die Simulation die optimale Aufnahmekonfiguration zu finden. Bei dieser Untersuchung werden nur die rein geometrischen Aspekte einer Aufnahmekonfiguration simuliert. Parameter aus den Bereichen Sensortechnik, Optik oder Beleuchtungstechnik werden bei dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. Durch den Vergleich zwischen den simulierten und den realen Versuchen soll weiterhin überprüft werden, ob eine solche einfache, rein geometrische, Simulation für die in diesem Anwendungsgebiet geforderte Genauigkeit ausreichend ist, oder ob noch weitere Faktoren berücksichtigt werden müssen.

¹Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, Nienburger Straße 1, 30167 Hannover,
Dipl.-Ing. Karsten Raguse
e-mail: raguse@ipi.uni-hannover.de
Dr.- Ing. Manfred Wiggenhagen
e-mail: wiggenhagen@ipi.uni-hannover.de

2 Aufnahmekonfiguration

Die dieser Untersuchung zugrunde liegende Anwendung ist die Beurteilung der Optischen Messkette von Fahrzeugsicherheitsversuchen. Deshalb sollen Kamerakonfigurationen überprüft bzw. simuliert werden, welche annähernd denen des realen Versuchsbetriebes entsprechen. Die Anzahl der Kameras sowie auch die räumliche Verteilung bei diesen Versuchen ist nur beschränkt frei wählbar. Da in diesem Anwendungsgebiet alle Kameras synchron die gleiche Szene aufnehmen müssen, ist eine beliebige Erhöhung der Anzahl der Standpunkte nicht möglich bzw. nicht wirtschaftlich. Die Variation der Kamerastandpunkte ist ebenfalls nur bedingt möglich, da der Bereich in dem die Kameras sowohl aus Sicht- wie auch aus Sicherheitsgründen aufgebaut werden können, beschränkt ist. In Abb.1 ist eine Konfiguration dargestellt, welche eine typische Kamerakonfiguration im Bereich von Fahrzeugsicherheitsversuchen widerspiegelt. In diese Konfiguration ist die Überlegung eingebracht, zusätzlich zu den bestehenden Kameras L1, L2, O1, O2, R1 und R2 zwei weitere Kameras L3 und R3 zu verwenden. Anhand von simulierten Daten soll im weiteren überprüft werden, welchen Vorteil die Erhöhung der Anzahl der Kameras hat.

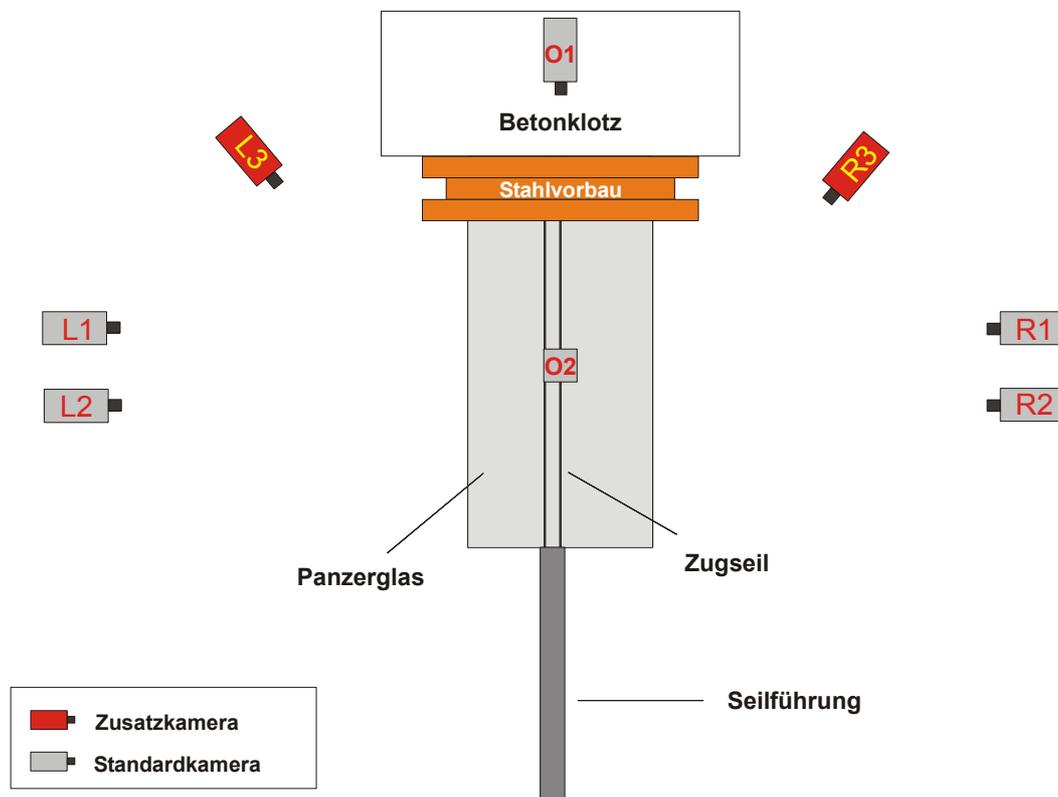


Abb. 1: Aufnahmekonfiguration bei Sicherheitsversuchen (ALEXANDER, 2003)

In der vorliegenden Untersuchung konnten keine realen Versuchsdaten genutzt werden. Es wurde vielmehr eine abstrahierte Konfiguration, ähnlich der Konfiguration in Abb.1, nachgestellt. Um die Simulationsergebnisse bewerten zu können, wurde die geplante Konfiguration in einem Modellversuch nachgestellt. Diese Versuchskonfiguration stellt die für die Simulationen benötigten Werte zur Verfügung.

3 Reale Versuchskonfiguration

3.1 Aufnahmekonfiguration des Testkörpers

Zur Überprüfung der Simulation der verschiedenen Aufnahmekonfigurationen wurde der in Abb.2 dargestellte Testkörper genutzt. Dieses 3D-Testfeld ist zur automatischen Zielmarkenidentifizierung mit codierten Zielmarken versehen worden. Des Weiteren sind im Messvolumen zwei kalibrierte Maßstäbe vorhanden. Der eine Maßstab dient als Systemmaßstab und der andere wird zur Kontrolle der Ergebnisse der Auswertung herangezogen.

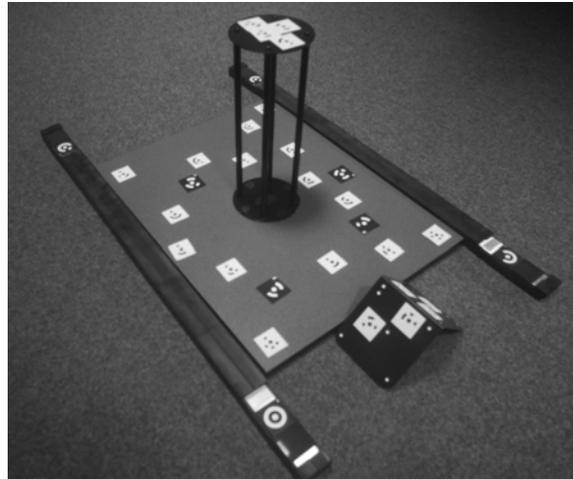


Abb. 2: Testobjekt mit codierten Marken und kalibrierten Maßstäben

Da bei den Aufnahmen im realen Versuchbetrieb bei der Neupunktbestimmung von einer stabilen äußeren Orientierung ausgegangen wird, muss dies auch bei der Simulation und der Überprüfung der simulierten Werte erfolgen. Zu diesem Zweck wurde zunächst das Testobjekt in einem optimalen Rundumverband aufgenommen (RAUTENBERG & WIGGENHAGEN, 2002). Dazu wurden vom Testobjekt 20 Aufnahmen in drei verschiedenen Höhenstufen erstellt (vgl. Abb.3).

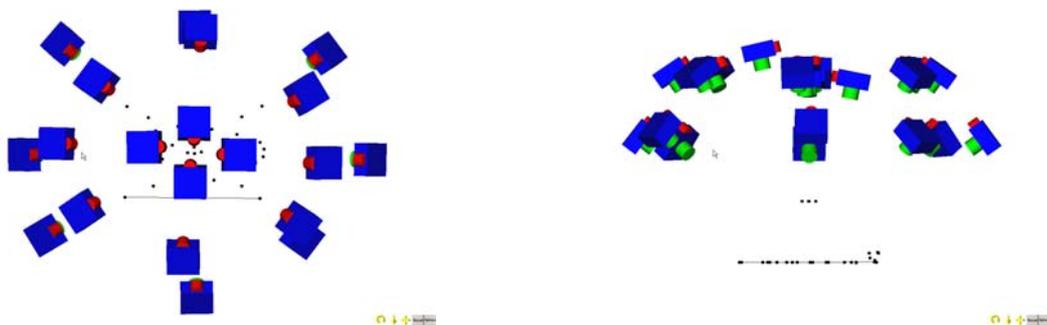


Abb. 3: Aufnahmekonfiguration (links Aufsicht; rechts Seitensicht)

Zur Auswertung des Rundumverbandes wurden von der 30 codierten Zielmarken auf dem Testobjekt nur die 24 Zielmarken genutzt, welche schwarz auf weißen Grund (Typ 1) sind. Die übrigen Zielmarken (weiße Marke auf schwarzen Grund; Typ 2) werden in der weiteren Untersuchung als Neupunkte betrachtet und zur Bewertung der jeweiligen Konfiguration und ihrer Simulation benötigt.

In den weiteren Untersuchungen werden die äußeren Orientierungen dieser 20 Aufnahmen als fest angesehen. Die 24 codierten Zielmarken vom Typ 1 werden als Passpunkte genutzt. Die Variationen in den Standardabweichungen der ausgeglichenen Objektkoordinaten beziehen sich allein auf die Strahlenschnittgeometrie der jeweiligen Aufnahmekonfiguration.

Die für diesen Versuch eingesetzte Kamera ist die Kodak DSC 460. Sie hat eine Sensorgröße von 3060 x 2036 Pixel bei einer Pixelgröße von 9 μm .

3.2 Auswertung der Versuchskonfiguration

Die 20 Aufnahmen des Testobjektes wurden mit den beiden Softwareprogrammen PhotoModeler Pro 5.0 der Firma EOS Systems Inc. und CAP der Firma K² Photogrammetry ausgewertet. Die automatische Bildkoordinatenmessung der codierten Zielmarken sowie auch die gesamte Näherungswertbeschaffung wurden mit dem Softwarepaket PhotoModeler Pro 5.0 durchgeführt. Zur statistischen Analyse wurden diese Ergebnisse mit der Software CAP weiterverarbeitet. Die Kalibrierung der eingesetzten Kamera wurde mit dem System CAP in einer Simultankalibrierung gerechnet.

3.3 Aufnahmekonfigurationen zur Beurteilung der Simulation

In Abb.1 ist eine Kamerakonfiguration dargestellt wie sie im Versuchsbetrieb im Automobilbereich eingesetzt wird. In dieser Untersuchung soll überprüft werden, welche Auswirkungen andere Aufnahmekonfigurationen, wie beispielsweise eine zusätzliche Kamera L3, auf die Konfiguration der beiden bestehenden Kameras O1 und L1 hat. Aus der Aufnahmekonfiguration des Testkörpers wurde dazu eine Teilkonfiguration entnommen. Die beiden Kameras 1 und 3 sind in etwa der Position wie die beiden Kameras O1 und L1. Aus der Versuchskonfiguration wurde die in Abb.4 dargestellte Teilkonfiguration mit acht Kameras entnommen. Um nur die Auswirkungen der Strahlenschnittgeometrie der jeweiligen Konfiguration zu bewerten, wurde die äußeren Orientierungen der Aufnahmestandpunkte als konstant angenommen und aus der vorherigen Berechnung der gesamten Aufnahmekonfiguration entnommen. Im Testfeld befinden sich fünf weitere noch nicht koordinatenmäßig bestimmte Punkte (codierte Zielmarken vom Typ2). Diese Punkte werden im weiteren über verschiedene Kombinationen der Kameras aus der Teilkonfiguration bestimmt. Als Bewertungskriterium für die jeweilige Konfiguration wird die Standardabweichung der Koordinaten dieser Punkte genutzt.

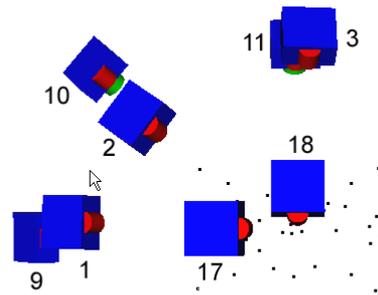


Abb. 4: Ausschnitt der Testkonfiguration mit Standpunktnummern (Aufsicht)

4 Simulation der Aufnahmekonfiguration

Die Simulation der Aufnahmekonfiguration erfolgt nicht wie bereits erwähnt auf der Basis von Parametern aus den Bereichen Sensortechnik, Optik oder Beleuchtungstechnik, sondern nur auf Basis der Netzgeometrie. Die Skalierung der Netzgeometrie wird in dieser Simulation durch die Messgenauigkeit der Bildkoordinaten festgelegt. Über diesen individuell festzulegenden Wert werden im weiteren auch die simulierten Standardabweichungen der Objektkoordinaten und die entsprechenden Fehlerellipse bestimmt.

4.1 Simulationswerkzeug zur Aufnahmekonfiguration

Das hier eingesetzte Simulationswerkzeug ist das Programm CoPlaTo, eine Entwicklung des Institutes für Photogrammetrie und GeoInformation der Universität Hannover. Dieses Programm ist ein Simulationsprogramm auf der Basis einer Bündelblockausgleichung. Es wird

damit nur die Aufnahmegeometrie simuliert und über eine Bündelausgleichung ausgewertet. Als Eingangswerte werden die äußeren Orientierungen der Kamerastandpunkte, die Kamerakonstante, die Koordinaten der Objektpunkte sowie die anzusetzende Bildkoordinatenmessgenauigkeit benötigt.

Das Ziel der Simulation ist es, statistische Aussagen über die jeweilige Netzgeometrie zu erhalten. Das Problem bei einer Simulation ist jedoch die Tatsache, dass nur die reine Netzgeometrie abgeschätzt werden kann, also die Form der Fehlerellipse der Objektkoordinaten. Die Größen der Ellipse bzw. die Standardabweichungen der Objektkoordinaten können nicht direkt bestimmt werden, da die Standardabweichung der Gewichtseinheit σ_0 a posteriori aufgrund der fehlenden realen Messwerte nicht berechnet werden kann. Um aber Aussagen über die erreichbare Standardabweichung der Koordinaten zu bekommen, wird stattdessen die Standardabweichung der Gewichtseinheit a priori zur statischen Analyse herangezogen. Diese ist bei gleichgewichteten Beobachtungen mit der anzusetzenden Messgenauigkeit der Beobachtungen gleichzusetzen.

Dieser Wert setzt somit die Skalierung der Netzgeometrie fest und wirkt sich direkt auf die Standardabweichungen der Objektkoordinaten aus. Um aussagekräftige Werte über die Simulation berechnen zu können, müssten in diesem Wert alle auftretenden Fehler, wie beispielsweise Unsicherheiten in der Kamerakalibrierung o.ä., zusammengefasst werden. In dieser Simulation wird zur Vereinfachung an dieser Stelle nur die Bildkoordinatenmessgenauigkeit angesetzt. Je nach Mess- und Auswertesystem werden verschiedenste Werte für diese Genauigkeit angegeben. Beim Programm PhotoModeler Pro 5.0 wird die Genauigkeit der automatischen Zielmarkenmessung mit 0.05 - 1 Pixel angegeben (EOS SYSTEMS INC., 2003, S.210-213). Dieser Wert variiert je nach Größe der Zielmarken und dem Signal-Rausch-Verhältnis der Bilder. Für die Simulation wurde an dieser Stelle mit einer Messgenauigkeit von 0.1 Pixel gerechnet und somit die Standardabweichung der Gewichtseinheit σ_0 a posteriori mit 0.1 Pixel angenommen. Im Vergleich der realen Konfigurationen mit den simulierten wird diese Annahme im weiteren überprüft und entsprechend angepasst.

4.2 Vereinfachungen bei der Simulation

Bei dem Simulationsprogramm CoPlaTo werden drei wesentliche Vereinfachungen im Gegensatz zur realen Auswertung vorgenommen.

- die äußeren Orientierungen der Kamerastandpunkte werden für die Simulation als konstant angenommen; Standardabweichungen werden nicht berücksichtigt,
- die inneren Orientierungen der Kameras werden nur im Form der Kamerakonstante berücksichtigt; Standardabweichungen werden nicht berücksichtigt,
- die Messgenauigkeit der Beobachtungen wird als Standardabweichung der Gewichtseinheit σ_0 a posteriori angesetzt und auf 1/10 Pixel des jeweiligen Sensors festgelegt, wenn kein anderer Wert für σ_0 a posteriori zur Verfügung steht.

Die ersten beiden Vereinfachungen kommen durch die Anforderungen an das Laufzeitverhalten zustande. Diese Simulation soll in Echtzeit ablaufen, d.h. der Benutzer sieht die Auswirkungen der Änderungen der Aufnahmekonfiguration in Echtzeit. Die Annahme der Messgenauigkeit auf 1/10 Pixel ist ein grober Schätzwert. Dieser Wert wird genutzt, wenn keine anderen besseren Werte vorliegen. Bessere Werte sind beispielsweise Erfahrungswerte aus vorigen Versuchen bei gleicher oder ähnlicher Konfiguration.

4.3 Beurteilung der Simulation

Wie bereits erwähnt ist die Beurteilung der Simulation anhand der ermittelten Standardabweichungen der Objektkoordinaten nicht ohne weiteres möglich. Dieser Wert ist nur aussagekräftig, wenn das zugrundeliegende σ_0 a posteriori den wahren Gegebenheiten entspricht und dies kann in den meisten Fällen nicht ohne weiteres angenommen werden. Die Kernaussage der Simulation ist allerdings die Netzgeometrie, d.h. die Fehlerellipse der ausgeglichenen Objektkoordinaten. Die Skalierung dieser Ellipse ist aus den eben genannten Gründen ebenfalls nicht aussagekräftig. Allerdings ist die Relation zwischen den Achsen der Fehlerellipse und die Lage der Ellipse im Netz sowie auch die relativen Größenunterschiede zwischen verschiedenen Fehlerellipsoiden als Ergebnis dieser Simulation zu sehen.

5 Vergleich der Ergebnisse der Simulation mit den Ergebnissen der realen Aufnahmen

Die Auswertung verschiedener realer Teilkonfigurationen aus der Gesamtkonfiguration des Testkörpers ergibt ein σ_0 a posteriori von $0.36 \mu\text{m}$. In den weiteren Simulation für diese Aufnahmeconfiguration wird mit diesem Wert gerechnet. In Tab.1 sind die Ergebnisse der realen Aufnahmeconfiguration denen der simulierten Konfigurationen gegenübergestellt. Als Ergebnisse bzw. Bewertungsmaßstab der Konfiguration werden jeweils die mittleren Standardabweichungen der fünf Objektpunkte auf dem Testkörper genutzt. Die Simulation mit einem σ_0 a posteriori von $0.36 \mu\text{m}$ (Simulation 1) führt zu Ergebnissen, welche im Rahmen der Abschätzung identisch mit denen der realen Aufnahmeconfiguration sind.

Konf		Real	Simulation 1	Simulation 2
1-3	sx [mm]	0.0239	0.0231	0.0577
	sy [mm]	0.0219	0.0215	0.0537
	sz [mm]	0.0441	0.0433	0.1083
	σ_0 [μm]	0.3633	0.3600	0.9000
1-2-3	sx [mm]	0.0228	0.0215	0.0538
	sy [mm]	0.0186	0.0179	0.0448
	sz [mm]	0.0415	0.0404	0.1010
	σ_0 [μm]	0.3661	0.3600	0.9000
1-10-3	sx [mm]	0.0226	0.0212	0.0530
	sy [mm]	0.0189	0.0180	0.0451
	sz [mm]	0.0315	0.0302	0.0755
	σ_0 [μm]	0.3709	0.3600	0.9000

Tab. 1: Vergleich simulierter mit den entsprechenden realen Aufnahmeconfigurationen

Die Annahme für die Simulation lag im Vorfeld allerdings bei 0.1 Pixel. Das entspricht bei einer Pixelgröße von $9\ \mu\text{m}$ einem σ_0 a posteriori von $0.9\ \mu\text{m}$. Die Simulation würde dementsprechend mit einem Faktor von 2.5 schlechter abgeschätzt als sie in der Realität wäre. Die bei den jeweiligen Konfigurationen resultierenden größeren Standardabweichungen

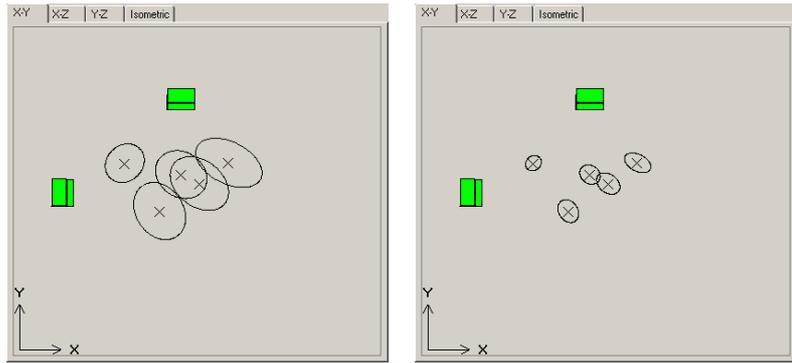


Abb. 5: Fehlerellipsoide der Konfiguration 1-3 in XY Ebene (links: $\sigma_0 = 0.9\ \text{mm}$; rechts: $\sigma_0 = 0.36\ \text{mm}$)

sind ebenfalls in Tab.1 aufgeführt (Simulation 2). In Abb.5 ist der Faktor 2.5 auch graphisch zu sehen. Die Lage und die Relation der einzelnen Fehlerellipsoide ist in beiden Abbildungen gleich. Einzig die Größe der Achsen hat sich um den Faktor 2.5 geändert.

In der Untersuchung wurden zwei Aufnahmekonfiguration 1-2-3 und 1-10-3 als mögliche Erweiterungen getestet. Die Verbesserung durch die Erweiterung der Konfiguration 1-3 ist zahlenmäßig ebenfalls in Tab.1 dargestellt. Die Kamera 2 befindet sich auf dem gleichen Höhenniveau, die Kamera 10 auf einem tieferen Höhenniveau wie die beiden anderen Kameras. Die Positionen der beiden Kameras 2 und 10 in X- und Y sind nahezu identisch. Die prozentualen Verbesserungen der erweiterten Konfiguration in bezug zur Ausgangskonfiguration sind in Tab.2 dargestellt. Die Variation im Höhenniveau der Konfiguration 1-10-3 bringt wie erwartet eine höhere Genauigkeit im Z-Wert.

Erweiterung der Konfiguration	Verbesserung in		
	X	Y	Z
1-3 \Rightarrow 1-2-3	7 %	17 %	7 %
1-3 \Rightarrow 1-10-3	8 %	16 %	30 %

Tab. 2: Vergleich der Verbesserungen durch die Erweiterung der Konfiguration

Diese Verbesserungen im Z-Wert der Konfiguration 1-10-3 werden ebenfalls über die Fehlerellipsoiden bei den jeweiligen Konfigurationen in Abb.6 bestätigt. In der Konfiguration 1-2-3 (vgl. Abb.6 Mitte) ist erkennbar, dass in der Ausdehnung der Ellipsoide in Z-Richtung kaum Veränderungen aufgetreten sind. Die Ausdehnung in Y-Richtung ist geringfügig verringert worden, was auch aus der Zahlenwerten hervorgeht.

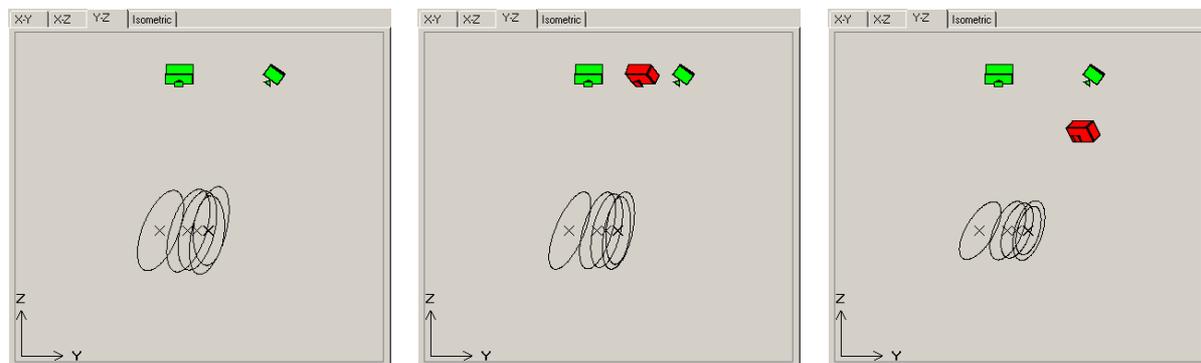


Abb. 6: Fehlerellipsoide der verschiedenen Konfiguration 1-3, 1-2-3 und 1-10-3 (YZ-Ebene)

Die Vereinfachungen, dass in der Simulation nicht alle Parameter der inneren Orientierung der eingesetzten Kamera berücksichtigt werden, wirkt sich in diesen Beispielen nicht negativ aus, da die untersuchten Punkte zum Großteil im zentralen Bereich des Bildes lagen und dort der Einfluss der radial-symmetrischen Verzeichnung gering ist. Die resultierenden Fehler sind in diesen Beispielen nicht signifikant.

Die Bewertung der jeweiligen Konfiguration über die Standardabweichungen in den Koordinatenrichtungen führt in manchen Fällen zu Problemen. In einigen Konfiguration ist die größte Ausdehnung der Fehlerellipse nicht in Achsrichtung und somit wird dieser Fehler nicht durch die Bewertung über die Standardabweichungen berücksichtigt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wurde eine Möglichkeit dargestellt, wie Aufnahmekonfigurationen über eine Simulation verbessert werden können. Die Auswirkungen von abweichenden Konfigurationen durch die Verschiebung der Aufnahmestandpunkte oder die Erweiterung um eine zusätzliche Kamera werden durch die Simulation schnell und wirtschaftlich verdeutlicht. Allerdings kann eine Simulation in dieser Form nur die reine Netzgeometrie bewerten. Die Skalierung des Netzes, also die absoluten Werte für die Standardabweichungen lassen sich nicht direkt bestimmen. Sie sind von dem angenommenen Wert für die Standardabweichung der Gewichtseinheit σ_0 a posteriori abhängig. An der Berechnung und der Darstellung der zugehörigen Fehlerellipse lässt sich diese Problematik am besten verdeutlichen. Die Relationen der Achsen zueinander und die Richtungen der Achsen des Ellipsoides lassen sich aus der Netzgeometrie bestimmen. D.h. diese Werte können direkt und zuverlässig aus der Simulation abgeleitet werden. Die wahren Größen der Achsen beziehen sich dagegen immer auf das gewählte σ_0 a posteriori und sind somit von den jeweiligen Annahmen für diesen Wert abhängig. Wenn bei der Simulation ein Wert für σ_0 a posteriori zur Verfügung steht und dieser Wert auch unter ähnlichen Versuchsbedingungen bestimmt wurde, können auch die Ergebnisse der Simulation als Erwartungswerte für dieses Aufnahmekonfiguration angenommen werden.

In dieser Untersuchung wurde zunächst für σ_0 a posteriori ein Schätzwert von 0.1 Pixel (0.9 μm) angenommen. Die Umsetzung dieser Aufnahmekonfigurationen in die Realität zeigt jedoch, dass dieser Wert in dieser Untersuchung viel zu pessimistisch angenommen wurde. Aus den Auswertungen der realen Aufnahmekonfigurationen ergab sich für das σ_0 a posteriori ein Wert von 0.04 Pixel (0.36 μm). Die Simulation würde somit Werte liefern, welche um den Faktor 2.5 schlechter wären, als sie in Wirklichkeit sind.

Generell sollten einer Simulation reale Versuchsergebnisse einer ähnlichen Konfiguration zugrunde liegen. Es müsste also ein σ_0 a posteriori einer aktuellen Aufnahmekonfiguration zur Verfügung stehen. Mit diesen kann im folgenden die Optimierung oder Erweiterung der Konfiguration simuliert werden. Wenn dieser Wert nicht vorliegt, können keine absoluten Aussagen in Form von Standardabweichungen der Objektkoordinaten gegeben werden. Es können dann nur verschiedene Konfigurationen miteinander verglichen und eine Genauigkeitsrelation zwischen der Konfigurationen ermittelt werden.

Die Nutzung der Simulation für Versuchskonfigurationen in Fahrzeugsicherheitsversuchen ist in dieser Form ein gutes Hilfsmittel zur Abschätzung. Allerdings ist die Bewertung der Aufnahmekonfiguration über die Standardabweichungen der Objektkoordinaten nicht optimal. In weiteren Untersuchungen wird die Eignung von anderen Bewertungskriterien für die jeweilige Aufnahmekonfiguration analysiert. Des Weiteren wird der Einsatz von verschiedene Strategien zur Optimierung der jeweiligen Konfiguration untersucht.

7 Danksagung

Die Autoren möchten sich an dieser Stelle bei den Projektpartnern für die stets gute und kooperative Zusammenarbeit bedanken. Die Projektpartner aus der deutschen Automobilindustrie sind die Volkswagen AG, die Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG, die Audi AG, die BMW AG und die Daimler Chrysler AG.

8 Literaturverzeichnis

- ALEXANDER, T., 2003: Anwendung photogrammetrischer Methoden zur 3D-Filmauswertung in Sicherheitsversuchen. – Diplomarbeit. Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover.
- EOS SYSTEMS INC., 2003: PhotoModeler Pro 5 - User Manual. – EOS Systems Inc.
- FRASER, C.S., 2001: Network Design. – In Atkinson, K.B.: Close Range Photogrammetry and Machine Vision. – Whittles Publishing, Scotland, S. 256-281
- ISO, 1986: Road Vehicles - Measurement Techniques in impact tests - Optical Instrumentation. – ISO/DIS 8721. International Organization of Standardization.
- ISO, 2002: Road Vehicles - Measurement Techniques in impact tests - Optical Instrumentation. – ISO/DIS 8721. Erweiterte Version. Stand November 2002. International Organization of Standardization.
- LUHMANN, T., 2000: Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methoden und Anwendungen. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- RAGUSE, K., WIGGENHAGEN, M., 2003: Qualitative Beurteilung photogrammetrischer Aufnahmekonstellationen im Nahbereich. – In Luhmann, T.: Photogrammetrie - Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- RAUTENBERG, U., WIGGENHAGEN M., 2002: Abnahme und Überwachung photogrammetrischer Messsysteme nach VDI 2634, Blatt1. – PFG - Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, Nr. 2/2002, S. 117-124.
- WIGGENHAGEN, M., RAGUSE, K., 2003: Entwicklung von Kenngrößen zur Qualitätsbeurteilung optischer Messketten. – PFG - Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, Nr. 2/2003, S. 125-134.