

Qualitative Beurteilung photogrammetrischer Aufnahmekonstellationen im Nahbereich

Karsten RAGUSE, Manfred WIGGENHAGEN

Zusammenfassung

In diesem Artikel wird eine Möglichkeit zur Beurteilung der Qualität photogrammetrischer Aufnahmekonstellationen beschrieben. Die Beurteilung erfolgt anhand von verschiedenen Kriterien und umfasst nicht nur die Aufnahmegeometrie, sondern den gesamten Prozess der dreidimensionalen Punktbestimmung, welcher im weiteren als Optische Messkette bezeichnet wird. Diese Optische Messkette besteht aus mehreren, sich teilweise gegenseitig beeinflussenden, Teilprozessen. Für jeden dieser Teilprozesse wird ein Qualitätskriterium ermittelt und anhand von gegebenen Grenzwerten bewertet. Aus der Kombination dieser verschiedenen Kriterien wird abschließend ein Qualitätskriterium für die gesamte Optische Messkette gebildet. Neben dem Kriterium für die Qualität wird ein weiteres Kriterium für eine Aussage über die erreichte Genauigkeit ermittelt. Dazu werden Längenabweichungen gegenüber gemessenen Referenzmaßstäben hinzugezogen. Beide Kriterien zusammen genommen geben Aufschluss über die Güte der eingesetzten Aufnahmekonstellation.

Dieses Verfahren zur qualitativen Beurteilung von Aufnahmekonstellationen wird im Rahmen einer ISO-Norm-Erweiterung im Bereich der Durchführung von Fahrzeugsicherheitsversuchen in der deutschen Automobilindustrie versuchsweise eingesetzt.

1 Einführung

Im Rahmen eines Gemeinschaftsprojektes zwischen verschiedenen Firmen der deutschen Automobilindustrie und dem Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI) der Universität Hannover wird die bestehende ISO-Norm (ISO 1986) für die Durchführung von Fahrzeugsicherheitsversuchen erweitert. 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 Daimler Chrysler AG. Die Erweiterung der bestehenden ISO-Norm beinhaltet einerseits die Berücksichtigung von dreidimensionalen Auswerteverfahren und den Einsatz von digitalen Hochgeschwindigkeitskameras. Zum Anderen wird durch die Erweiterung die Rückführbarkeit der Ergebnisse der Versuchsdurchführung ermöglicht. Die Ursachen für unzureichende Ergebnisse können somit bis in die verschiedenen Teilprozesse zurückverfolgt und dort gezielt untersucht und ggf. eliminiert werden. Insgesamt wird mit dieser Erweiterung die Auswertung transparenter und leichter nachvollziehbar.

2 Optische Messkette

Der Begriff der Optischen Messkette stammt aus den beiden Fachgebieten Optische Messtechnik und Qualitätsmanagement. Unter diesem Begriff werden alle beteiligten Komponenten, wie beispielsweise das eingesetzte Instrumentarium und die Auswertemethoden, welche bei der dreidimensionalen Punktbestimmung eingesetzt werden, zusammengefasst.

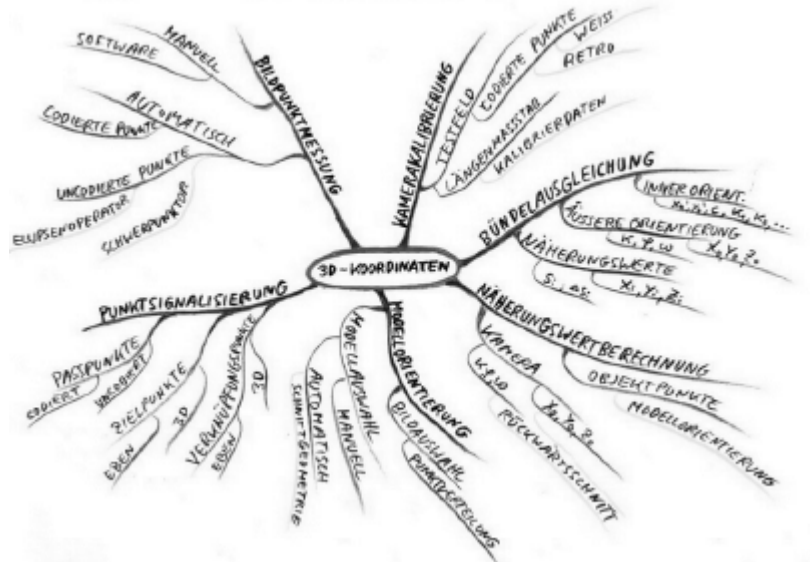


Abb. 1: Mindmap der dreidimensionalen Koordinatenbestimmung

Die Komplexität all dieser Komponenten wird anhand **Abb. 1** verdeutlicht. Beispielhaft wird an dieser Stelle die Bildpunktmessung detaillierter erläutert. Bei der Beurteilung dieser Komponente muss zwischen automatischer und manueller Bildpunktmessung unterschieden werden. Bei der automatischen Messung ist weiterhin zwischen codierten und uncodierten Marken zu unterscheiden und auch auf den jeweiligen Algorithmus, ob Ellipsenoperator oder Schwerpunktorientator, sollte eingegangen werden.

3 Komponenten der Optischen Messkette

Wie bereits angesprochen, wird die Optische Messkette in ihre Bestandteile aufgeteilt. Jeder beteiligte Prozess wird separat untersucht und bewertet. Zur Vereinfachung der Bewertung werden in dieser Version der ISO-Erweiterung Beziehungen zwischen einzelnen Komponenten nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse der Bewertung der einzelnen Komponenten werden abschließend zu einem einzigen Bewertungskriterium zusammengefasst. Dies dient der Beurteilung des geplanten Versuchsaufbaus.

Die Gesamtheit aller Komponenten wird zur Strukturierung der Untersuchung in zwei Gruppen gegliedert. Die beiden Gruppen sind die der bildbezogenen und die der modellbezogenen Komponenten.

3.1 Bildbezogenen Komponenten

Bei der Gruppe der bildbezogenen Komponenten handelt es sich um Komponenten, welche die Eigenschaften einer einzigen Aufnahme beschreiben. Diese Komponenten treten für jedes Bild auf und können von Bild zu Bild unterschiedlich sein. Beispiele für Komponenten dieser Gruppe werden im folgenden aufgezeigt.

3.1.1 Punktsignalisierung

Um die Punktsignalisierung bewerten zu können, muss zunächst eine Anforderung an diese Komponente gestellt werden. Die Forderung für die Punktsignalisierung lautet, dass die Zielmarken in den Bildern mit einer Standardabweichung von 0.2 bis 0.02 Pixel automatisch messbar sind. Um diese Forderung einhalten zu können, ergeben sich wiederum bestimmte Anforderungen an die Zielmarken. Diese Anforderungen werden von den Entwicklern der Zielmarkenerkennungssoftware aufgestellt und können von Markentyp zu Markentyp unterschiedlich sein. Die beiden hier aufgeführten Eigenschaften der Zielmarken sind der Zielmarkendurchmesser und das Signal-Rausch Verhältnis der Zielmarken im digitalen Bild. Die geforderten Minstdurchmesser für Markentypen, welche im Bereich von Sicherheitsversuchen eingesetzt werden, sind in **Abb. 2** dargestellt.



Abb. 2: Geforderter Minstdurchmesser der Markentypen (FALCON 2003)

Um ein Signal, die Zielmarke, klar vom Rauschen unterscheiden zu können, wird von der Softwareentwicklern die Forderung aufgestellt, dass das Signal-Rausch Verhältnis der Aufnahmen jeweils einen Wert von mindestens drei annehmen muss.

3.1.2 Passpunktverteilung

Für die Auswertung der Versuchsdaten und speziell für die Bestimmung der äußeren Orientierung der Aufnahme ist eine bestimmte Passpunktverteilung im Bild notwendig. Zur Beurteilung der Verteilung vor der Auswertung wurde die Bildfläche in fünf Sektoren unterteilt (vgl. **Abb. 3**). Die sich daraus ergebende Forderung lautet, dass sich in drei der vier äußeren Sektoren mindestens ein Passpunkt befinden muss.

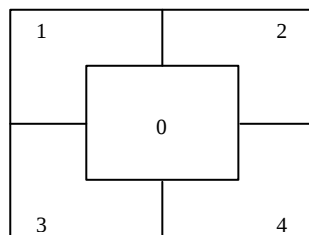


Abb. 3: Einteilung der Bildfläche in Sektoren zur Beurteilung der Passpunktverteilung

3.1.3 Kamerakalibrierung

Bei der Komponente Kamerakalibrierung wird die Bestimmung der Parameter der inneren Orientierung beurteilt.

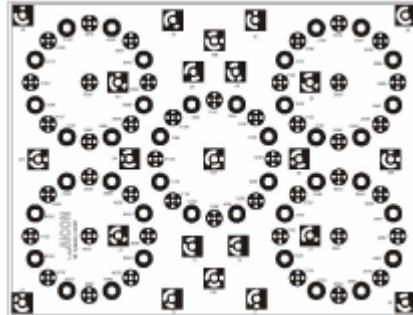


Abb. 4: AICON – Kalibriertafel

Bei der Kamerakalibrierung ist es notwendig, dass eine geeignete Kalibriertafel eingesetzt wird, wie beispielsweise die AICON - Kalibriertafel (vgl. **Abb. 4**). Bei den Aufnahmen ist darauf zu achten, dass die Anforderungen an die abgebildeten Zielmarken erfüllt werden (vgl. Abschnitt 3.1.1).

Zur Bestimmung der Parameter der inneren Orientierung soll die Aufnahmekonstellation für die Kalibrierung anerkannten Verfahren, wie sie beispielsweise in (LUHMANN 2000) oder (AICON 2002) aufgeführt sind, entsprechen. Eine anerkannte Konstellation ist beispielsweise die Kalibrierung über acht Aufnahmen, bei der vier konvergente Aufnahmen und vier gekantete Aufnahmen senkrecht zum Objekt erstellt werden.

3.2 Modellbezogene Komponenten

3.2.1 Aufnahmekonstellation

Die Stabilität der Geometrie bei der dreidimensionalen Koordinatenbestimmung hängt von der gewählten Aufnahmekonstellation ab. Eine optimale Aufnahmekonstellation ist beispielsweise ein Rundumverband (vgl. **Abb. 5**).

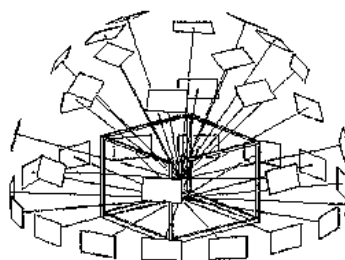


Abb. 5: Aufnahmekonstellation im Rundumverband

Aus geometrischer Sicht ist diese Konstellation optimal, allerdings ist sie aus wirtschaftlicher Sicht oft nicht umsetzbar. Da in diesem Anwendungsgebiet, der Auswertung von Fahrzeugsicherheitsversuchen, die Kameras fest installiert sind und alle zur gleichen Zeit aufnehmen müssen, würde für einen Rundumverband eine hohe Anzahl von Kameras benötigt. Außerdem gibt es äußere Zwänge, welche die Auswahl der Kamerastandorte stark behindern. Es muss also ein Kompromiss zwischen der Wirtschaftlichkeit der Konstellation und der Redundanz eines Rundumverbandes gefunden werden. Kompromissmöglichkeiten können in der Regel über eine Simulation der Aufnahmekonstellation im Vorfeld des Versuches gefunden werden. In dieser Simulation können neben den Kamerastandorten auch die eingesetzten Kamera-Objektiv Kombinationen variiert werden. Somit wird aus den vorhandenen Ressourcen die optimale Konstellation bestimmt. Die Auswirkungen der Variationen des Instrumentariums auf die Standardabweichungen der berechneten Objektkoordinaten werden dabei in Echtzeit berechnet und beispielsweise im Form von Fehlerellipsoiden visualisiert (vgl. **Abb. 6**).

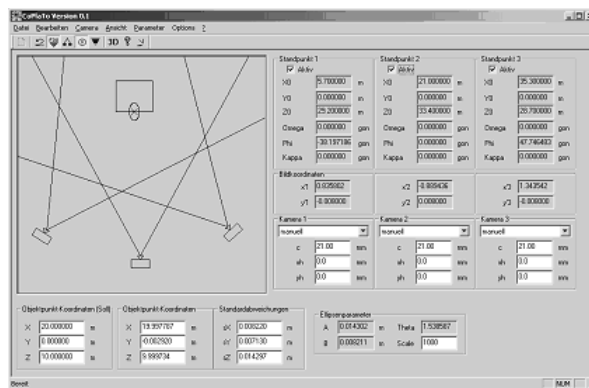


Abb. 6: Werkzeug zur Simulation der Aufnahmekonstellation

3.2.2 Bündelblockausgleichung

Bei der Komponente Bündelblockausgleichung soll nicht die Auswertung an sich bewertet werden. Auch die Methode der Auswertung wird an dieser Stelle nicht festgelegt. Die Bündelblockausgleichung steht stellvertretend für alle anderen Möglichkeiten zur Auswertung. Es sollen vielmehr die Strategien der Analyse der Eingangs- und der Ausgangswerte beurteilt werden. Die sich daraus ergebenden Forderungen sind zum einen Vorverarbeitungswerkzeuge bei der Bildkoordinatenmessung und zum anderen Werkzeuge zur Analyse der Ergebnisse der Bündelblockausgleichung. Dies kann beispielsweise die Rückprojektion der Objektpunkte ins Ausgangsbild und die Visualisierung der entstehenden Residuen sein (vgl. **Abb. 7**). Bei der Analyse der Bildkoordinatenmessung sollen die Messwerte kontrolliert werden können. So soll beispielsweise überprüft werden, ob die Zielmarken den Anforderungen entsprochen haben, bzw. ob es sich bei den Messungen um Zielmarken oder um Ausreißer handelt, welche somit bereits vor der eigentlichen Ausgleichung aus dem Datensatz eliminiert werden können.

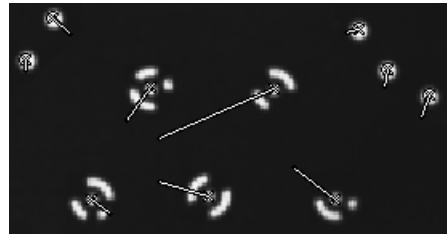


Abb. 7: Rückprojektion der Objektpunkte in das Messbild und Visualisierung der Residuen

4 Anwendung im Bereich der ISO-Norm Erweiterung

4.1 Aufgabenstellung

Wie bereits erwähnt, werden diese theoretischen Überlegungen im Rahmen der Erweiterung der ISO-Norm 8721: *Road vehicles – Measurement techniques in impact tests – Optical instrumentation* umgesetzt. Die bestehende Version dieser ISO-Norm (ISO 1986) bestimmt zwar auch einen Wert, den *distortion index*, anhand dessen die Qualität der Optischen Messkette beurteilt wird. Allerdings gibt dieser Wert dem Benutzer keine Möglichkeit in Hinblick auf eine Rückverfolgung der Fehlerursache auf verschiedene Komponenten. Eine entsprechende Normierung für den amerikanischen Markt, die SAE-J211-2 (SAE 2001) geht in diesem Bereich bereits etwas weiter. In dieser Normierung werden für einige Teile der Optischen Messkette Indizes berechnet und diese geben zusammengefasst eine Aussage über die Qualität der Optischen Messkette. Allerdings ist auch in dieser Norm das Problem vorhanden, dass aktuelle Problemstellungen noch nicht aufgegriffen wurden. Durch den Einsatz von digitalen Hochgeschwindigkeitskameras und der Einführung der dreidimensionalen Auswertung treten in diesem Bereich neue Problemfelder auf, welche zur damaligen Zeit noch nicht berücksichtigt wurden. Aus diesem Grund wird eine Erweiterung (ISO 2002) der bestehenden ISO-Norm 8721 angestrebt. Diese baut auf der bestehenden ISO-Norm 8721 und der SAE-J211-2 auf.

4.2 Umsetzung

Die in Abschnitt 3 erläuterte Untersuchung der Optischen Messkette durch die Einteilung in die diversen Teilprozesse, wurde auf das Anwendungsgebiet der Fahrzeugsicherheitsversuche übertragen (vgl. **Abb. 8**). Als Erweiterung im Bewertungsschema kommt an dieser Stelle ein Kriterium für die Genauigkeit der Optischen Messkette hinzu. Mit diesem Wert wird die qualitative Beurteilung der Optischen Messkette zahlenmäßig überprüft. Das Beurteilungsschema für die Qualität der Optischen Messkette wird somit verifiziert.

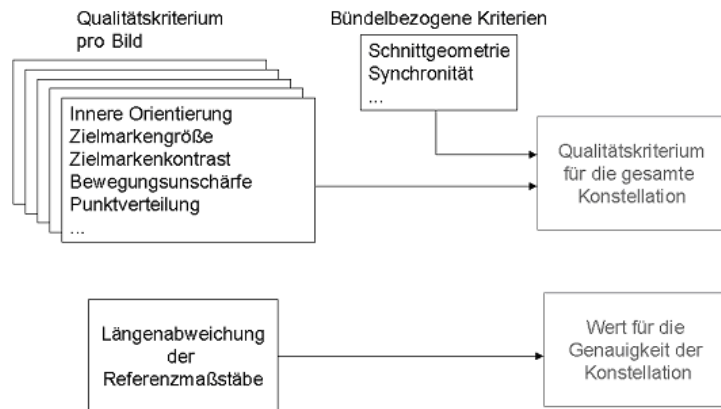


Abb. 8: Beurteilungsschema der Optischen Messkette in Fahrzeugsicherheitsversuchen

4.3 Bewertungssoftware

In einem Anwendungsfall wurde ein realer Versuch auf seine ISO-Konformität überprüft (vgl. **Abb. 9**). In dem Versuch wurden drei Kameras verwendet. Für jede dieser Kameras wurde das Qualitätskriterium (2D Performance Value) bestimmt und dieses zusammen mit den Modellbezogenen Kriterien (3D Indices) zu einem Qualitätskriterium für die Optische Messkette (Performance Value) zusammengefasst. Die Verifizierung wurde über Längenvergleiche an Referenzmaßstäben (Accuracy Value) durchgeführt.

Results			
Performance value			
Q	= 0.8182	> 0.8	ok
Accuracy value			
A	= 0.0038	< 0.01	ok
ISO 8721 Conformity			
✓			

Abb. 9: Beurteilungsschema der Optischen Messkette in Fahrzeugsicherheitsversuchen

Die beiden ermittelten Werte (Performance und Accuracy Value) zur Beurteilung der Optischen Messkette werden mit vorgegebenen Grenzwerten verglichen. Die beiden Grenzwerte (Performance Value < 0.8; Accuracy Value < 0.01) sind Erfahrungswerte, welche in weiteren Untersuchungen geprüft werden.

In dem Fall, in dem beide Bedingungen erfüllt werden, kann diese Versuchskonstellation als iso-konform beurteilt werden. Wird eine Bedingung nicht erfüllt ist die Versuchskonstellation entsprechend nicht iso-konform.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Artikel stellt den aktuellen Stand der Arbeiten im Rahmen der Erweiterung der bestehenden ISO-Norm dar.

Diese erste Version der erweiterten Norm wird in den folgenden Monaten auf ihre Praxistauglichkeit in den jeweiligen Automobilfirmen getestet. Desweiteren wird überprüft, ob diejenigen Komponenten, welche in dieser Version zur Beurteilung herangezogen wurden, für eine ausreichende qualitative Beurteilung ausreichend sind, oder ob weitere Komponenten hinzugenommen werden müssen.

Der Ansatz, die Optische Messkette in ihre Bestandteile zu unterteilen und diese separat voneinander zu untersuchen und zu bewerten, ist nach dem derzeitigen Stand eine vielversprechende Weiterentwicklung. Einzelne Schwachstellen in der Messkette konnten dadurch ermittelt und gezielt eliminiert werden. Durch diesen Ansatz wurde ein weiterer Schritt im Hinblick auf eine „optimale“ Optische Messkette getan.

6 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.

7 Literatur

- AICON (2002): *Hinweise zur Kalibrierung von Kameras mit einer AICON Kalibriertafel*. Arbeitsdokumentation AICON 3D Systems GmbH, Braunschweig
- Falcon (2003): www.falcon.de. Homepage der Firma Falcon GmbH. Zugriff 31.03.2003
- Fraser, C.S. (2001): *Network Design*. In Atkinson, K.B.: *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing, Scotland, S. 256-281.
- Godding, R. (2002): *Geometrische Kalibrierung und Orientierung digitaler Bildaufnahmesysteme*. Dokumentation AICON 3D Systems GmbH, Braunschweig
- ISO (1986): *Road Vehicles – Measurement Techniques in impact tests – Optical instrumentation. ISO/DIS 8721*. International Organization for Standardization.
- ISO (2002): *Road Vehicles – Measurement Techniques in impact tests – Optical instrumentation. ISO/DIS 8721*. Erweiterte Version. Stand 11.2002. International Organization for Standardization.
- Luhmann, T. (2000): *Nahbereichsphotogrammetrie. Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- SAE (2001): *Instrumentation for Impact Test – Part 2: Photographic Instrumentation. SAE J211-2*. SAE – Society of Automotive Engineers, Inc.
- Wiggenhagen, M., Raguse, K. (2003): *Entwicklung von Kenngrößen zur Qualitätsbeurteilung optischer Messketten*. PFG - Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, Nr. 2/2003, S. 125-134.