

3-D-Photogrammetrie in der Unfallrekonstruktion

Von Klaus-Dieter Brösdorf, Marco Görtz, Tibor Kubjatko *

In diesem Aufsatz werden zwei Anwendungsfälle für die Unfallrekonstruktion unter Zuhilfenahme des 3-D-Photogrammetrieprogramms PhotoModeler vorgestellt. Zum einen ist dies die Vermessung von Deformationen an kollisionsursächlich beschädigten Fahrzeugen, zum anderen die Modellierung von räumlich gekrümmten sowie spurzeichnungstragenden Oberflächen mit Import einer Fototextur sowie Export einer orthogonalen Seitenansicht mit einer Fototextur in Parallelprojektion.

Bei korrekter Anwendung eines 2-D-Photogrammetrieprogramms liegen die Ergebnisse der Entzerrung jedoch in durchaus vertretbaren Toleranzbereichen. Dem entgegen sind 2-D-Photogrammetrieprogramme bei der Entzerrung von Flächen, die

1 Einleitung

Photogrammetrieprogramme sind wichtige Arbeitsmittel in der Unfallrekonstruktion. Bei diesen Programmen gilt es, prinzipiell in 2-D- und 3-D-Photogrammetrieprogramme zu unterscheiden. Jedes dieser Programme hat seinen vornehmlichen Einsatzzweck. Mittels 2-D-Photogrammetrieprogrammen können Schrägansichten von – im Idealfall – exakt ebenen Flächenelementen in Orthogonalansichten umgerechnet (entzerrt beziehungsweise rektifiziert) und gegebenenfalls zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden. Vorzugsweise werden 2-D-Photogrammetrieprogramme (beispielsweise das Programm PC-Rect der Firma DSD [1]) zur Vermessung von Unfallstellen oder sonstig interessierenden Örtlichkeiten angewandt.

Ergebnis der Vermessung ist eine hinreichend maßstabsgetreue orthogonale Ansicht von der Örtlichkeit, **BILD 1** und **BILD 2**. Derartige Orthogonalansichten sind eine wesentliche Grundlage für die Unfallrekonstruktion, **BILD 3**. Schon die zweidimensionale Vermessung von Flächenelementen in der Realität, beispielsweise von Abschnitten einer Fahrbahn, ist aufgrund der Abweichungen von einer ideal ebenen Fläche stets fehlerbehaftet.

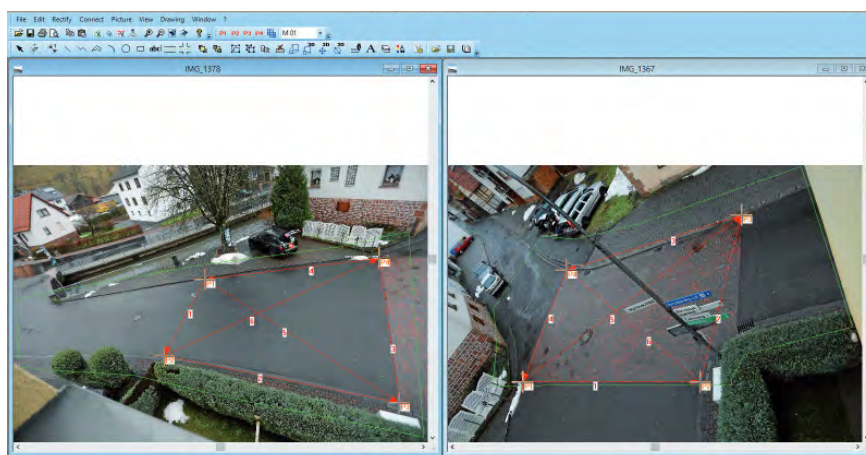


BILD 1: Zweidimensionale photogrammetrische Vermessung einer Unfallstelle (Basisbilder)

FIGURE 1: Two-dimensional photogrammetrical measurement of an accident scene (base images)

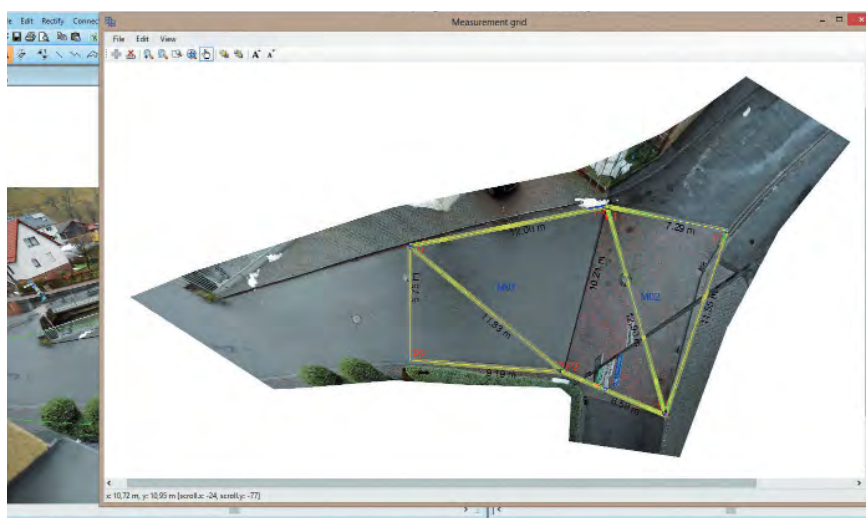


BILD 2: Zweidimensionale photogrammetrische Vermessung einer Unfallstelle (Entzerrung)

FIGURE 2: Two-dimensional photogrammetrical measurement of an accident scene (rectification)

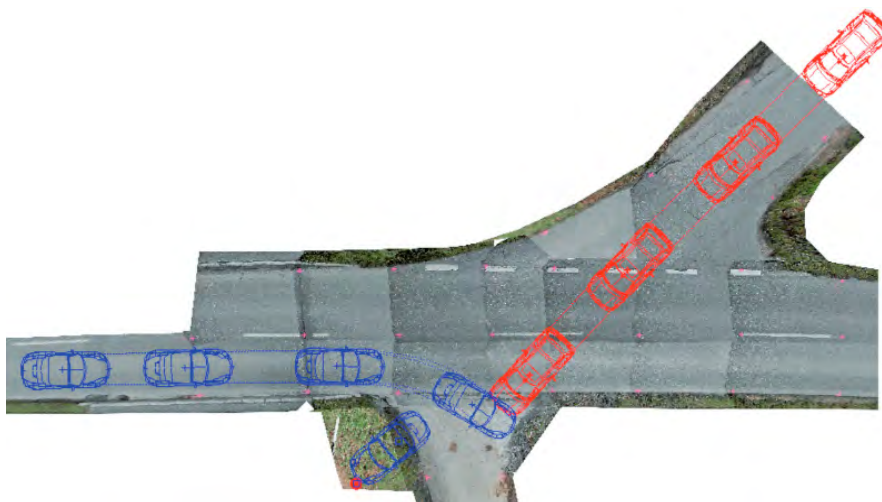


BILD 3: Rechnerische Betrachtung mittels Simulationsprogramm auf Basis einer maßstabsgerechten Orthogonalansicht von der Unfallstelle

FIGURE 3: Computerised observation using a simulation program based on a true-to-scale orthogonal view of the accident scene



BILD 4: Räumlich gekrümmte Karosserieflächen an einem Pkw

FIGURE 4: Three-dimensionally curved body surfaces on a passenger car

deutlich von der Ebene abweichen, denkbar ungeeignet. Dies betrifft beispielsweise alle signifikant räumlich gekrümmten Oberflächen an Fahrzeugen, **BILD 4**.

Prinzipiell könnte die gesamte Oberfläche einer gekrümmten Fläche mit entsprechendem Aufwand in eine Vielzahl hinreichend kleiner Flächenelemente mit vernachlässigbarer z-Koordinate unterteilt und dann

einzelnen mittels 2-D-Photogrammetrie ausgewertet werden.

Bereits der nächstnotwendige Schritt, die einzelnen Flächenelemente in raumgeometrisch korrekter Art und Weise zusammenzufügen, wäre jedoch mit einem 2-D-Photogrammetrieprogramm nicht mehr zu realisieren. Hier kann bestenfalls eine ebene Aneinanderreihung der einzelnen Flächenelemente hergestellt

werden, ohne dass den tatsächlichen raumgeometrischen Gegebenheiten der gekrümmten Fläche Rechnung getragen wird. Eine korrekte Methode zur geometrischen Modellierung von räumlich gekrümmten Oberflächen ist der Einsatz von 3-D-Photogrammetrieprogrammen.

2 Das 3-D-Photogrammetrieprogramm PhotoModeler

Eines von verschiedenen am Markt präsenten 3-D-Photogrammetrieprogrammen ist das Programm PhotoModeler der Firma Eos Systems Inc., Vancouver BC, Kanada [2]. Das Programm liegt derzeit in der Version 2014 in drei Varianten vor; dies mit aufeinander aufbauendem Funktionsumfang: PhotoModeler, PhotoModeler Scanner und PhotoModeler Motion.

Für die nachfolgend dargestellten Anwendungsfälle wäre das Programm in seiner Basisversion (PhotoModeler) ausreichend, es fand jedoch das Programm PhotoModeler Scanner Anwendung. PhotoModeler ist ein sehr leistungsfähiges Programm, das unter Microsoft Windows läuft. Prinzipiell kann jedes Objekt, das sich mit mindestens zwei Abbildungen aus verschiedenen Blickrichtungen fotografisch erfassen lässt, in ein dreidimensionales Modell umgesetzt und vermessen werden. Hierbei lassen sich je nach Anforderung und Aufwand sehr hohe Qualitäten erreichen.

Grundsätzlich kann jedes Bildmaterial Verwendung finden, welches sich digitalisieren lässt beziehungsweise in digitaler Form vorliegt. Die höchste Ergebnisqualität ist dann erreichbar, wenn für die Bildfertigung eine kalibrierte Kamera eingesetzt wird.

Kalibrierte Kamera heißt in diesem Zusammenhang, dass mittels eines einfachen Kalibrierungsverfahrens für eine konkrete Kamera-Objektiv-Brennweiten-Kombination eine Kalibrierungsdatei generiert wird. An der Kamera-Objektiv-Kombination wer-

den hierbei keine physischen Veränderungen vorgenommen.

Mit dem Programm PhotoModeler können 3-D-Daten und Oberflächeninformationen aus Abbildungen gewonnen werden. Aus den Modellen können sofort entzerrte, exakt vermessene Orthogonalansichten hergestellt und exportiert werden. Neben der Vermessung ist auch die Erstellung von 3-D-Modellen für Präsentationen, Animationen etc. gegeben. Das Objekt wird aus verschiedenen, sich überlappenden Perspektiven aufgenommen, dies vorzugsweise mit einer Digitalkamera. Hiernach werden die Bilder in das Programm PhotoModeler importiert.

Für die Genauigkeit der Ergebnisse ist von wesentlicher Bedeutung, dass die Abbildungen aus verschiedenen Winkeln zum Objekt gefertigt werden, wobei eine kleine Anzahl von mit kleinen Winkeln zueinander aufgenommenen Abbildungen vermieden werden sollte. Im Weiteren ist empfehlenswert, dass die in den einzelnen Abbildungen übereinstimmenden Punkte einen großen Bereich in den Abbildungen abdecken. Diese Punkte sind – sofern möglich – in allen Abbildungen zu markieren. In einem automatischen Prozess wird aus den so gewonnenen und strukturierten Bildkoordinaten ein 3-D-Modell generiert.

Das 3-D-Modell sowie auch alle sonstigen dazugehörigen Informationen können in verschiedenen Dateiformaten exportiert und weiterverarbeitet werden. Wie dies im Einzelfall aussehen kann, wird im Rahmen nachfolgender Darstellungen zu zwei ausgewählten Anwendungsfallgruppen (Vermessung von Deformationen sowie Struktur und Verlauf von Spurenlagen auf Oberflächen) aufgezeigt.

3 Vermessung von Deformationen

Neben einer konventionellen Vermessung von Deformationen an den an einer Kollision beteiligten Fahrzeugen (zum Beispiel nach Ver-

kehrsunfällen oder Versuchen) mit einfachen Messmethoden (zum Beispiel Bandmaß, Messlatte) werden für die Vermessung von Deformationen 3-D-Laserscanner aber auch die 3-D-Photogrammetrie angewandt. Neben einer hohen Genauigkeit hat die 3-D-Photogrammetrie zur Vermessung von Deformationen noch weitere grundsätzliche Vorteile gegenüber den einfachen Methoden und auch gegenüber der Vermessung mittels 3-D-Laserscanner. Sowohl die einfachen Methoden als auch der 3-D-Laserscanner erfordern die Anwesenheit des zu vermessenden Objektes.

Die 3-D-Modellierung und Vermessung mittels 3-D-Photogrammetrie ist hingegen mit qualitativ hinreichendem Bildmaterial möglich, ohne dass das zu vermessende Objekt zum Vermessungszeitpunkt physisch vorhanden sein muss. Steht das zu vermessende Objekt noch zur Verfügung, ist für die 3-D-Photogrammetrie die Dokumentation der Deformationen mit einer Kamera ausreichend. Dies verkürzt den Zeitaufwand am Objekt, da sich die Modellierung und Vermessung rechnergestützt im Büro durchführen lassen.

Grundsätzlich können zwei Fälle unterschieden werden. Zum einen

steht das zu vermessende Fahrzeug physisch zur Verfügung und kann mit einer kalibrierten Kamera dokumentiert werden (Fall 1). Zum anderen ist das zu vermessende Objekt für eine Dokumentation mittels kalibrierter Kamera nicht mehr verfügbar. Es liegt jedoch Bildmaterial vom beschädigten Fahrzeug vor (Fall 2).

3.1 Fall 1, Vermessung von Deformationen

Entsprechende Beispiele zu Fall 1 sind die Vermessungen der Deformationen im Rahmen verschiedener Arec-Tagungen. Die Versuchsfahrzeuge wurden jeweils vor und nach den Versuchen mit einer kalibrierten Kamera dokumentiert und das Bildmaterial mit dem Programm PhotoModeler in der jeweils aktuellen Version dreidimensional photogrammetrisch ausgewertet. Die 3-D-Modelle vor und nach Versuchsdurchführung wurden miteinander verknüpft. Hierdurch wurde es möglich, die Deformationen in den Modellen beliebig zu vermessen.

BILD 5 zeigt das Ergebnis des Versuchs SH00.74 [3] im Rahmen der Arec-Tagung 2000 in Neumünster, welche zu den Themen Kollisionen mit Fußgängern und Bäumen durch-



BILD 5: Versuchsfahrzeug zum Versuch SH00.74 nach dem Crash [3]

FIGURE 5: Test vehicle for test SH00.74 [3]

geführt wurde. Hierbei kollidierte ein Volkswagen Jetta mit einer Geschwindigkeit von 81 km/h mit einem ortsfesten Pfahl. Mit dem Programm PhotoModeler wurden die Modelle vor und nach Versuchsdurchführung skaliert und verknüpft, **BILD 6**. Hiernach konnte unter anderem die maximale Deformation mit den Verschiebungen der Punkte im dreidimensionalen Koordinatensystem gemessen werden, **BILD 7**.

Im Rahmen der Arec-Tagung 2001 in Wildhaus (CH) – hier stellten Kollisionen zwischen Zweirädern und Pkw den Schwerpunkt der Versuchsdurchführungen dar – wurden die Radstandveränderungen an Zweirädern sowohl mittels Messrahmen als auch photogrammetrisch unter Verwendung des Programms PhotoModeler vermessen. **BILD 8** zeigt am Beispiel des Versuchs WH01.11 [4] die Auswertung.

BILD 9 bis **BILD 11** zeigen repräsentativ den Versuch der Arec-Veranstaltung 2002 „Unfälle mit Nutzfahrzeugen“, bei dem der Lkw L1 mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h mit dem stehenden Lkw L3 kollidierte [5]. Von den Arec-Versuchen 2003 (experimentelle Bestimmung von EES-Werten bei Pkw, Unfallversuche Pkw gegen landwirtschaftliche Fahrzeuge) stammen **BILD 12** bis **BILD 15** und zeigen den Versuch WH03.28 [6], bei dem der Pkw P27 mit einer Geschwindigkeit von 48 km/h teilüberdeckt mit einem Betonblock kollidierte. Auch die bei den genannten Versuchen beteiligten Fahrzeuge wurden teilweise dreidimensional photogrammetrisch vermessen.

Im Rahmen der Arec-Tagung des Jahres 2004 in Neumünster zum Thema Fahrzeugüberschläge und Insassenbewegungen wurde der Versuch SH04.50 [7] durchgeführt. In einer experimentellen Überschlagsimulation kollidierte ein Opel Vectra mit einer Geschwindigkeit von etwa 40 km/h quer mit einem ortsfesten Pfahl. Bei dieser Vermessung wurden mit dem Programm PhotoModeler zwei separate 3-D-Modelle gene-

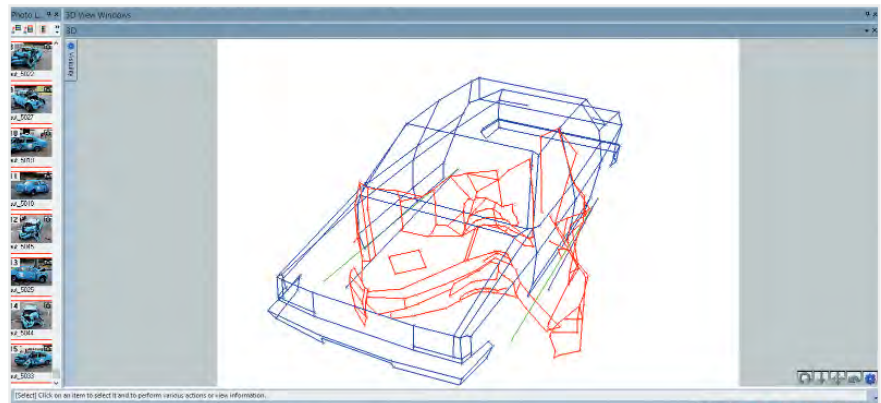


BILD 6: Photogrammetrische Auswertung zum Versuch SH00.74 [3]

FIGURE 6: Photogrammetrical evaluation of test SH00.74 [3]

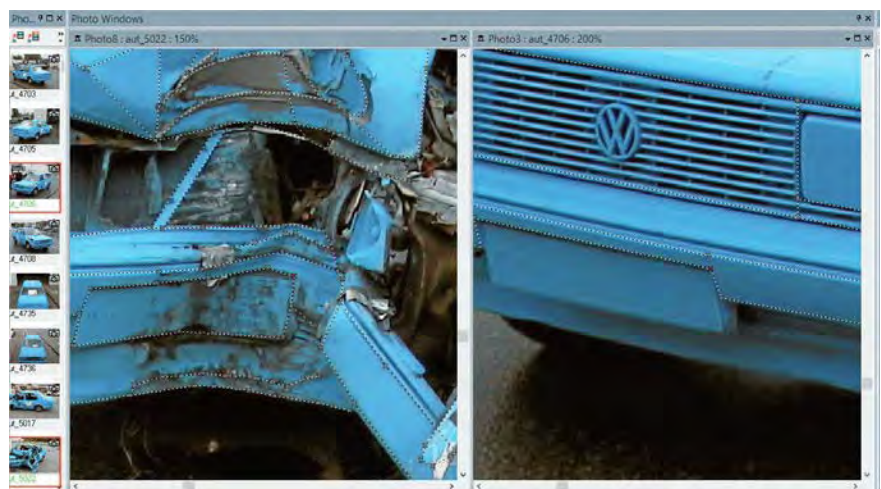


BILD 7: Photogrammetrische Auswertung zum Versuch SH00.74 [3]

FIGURE 7: Photogrammetrical evaluation of test SH00.74 [3]

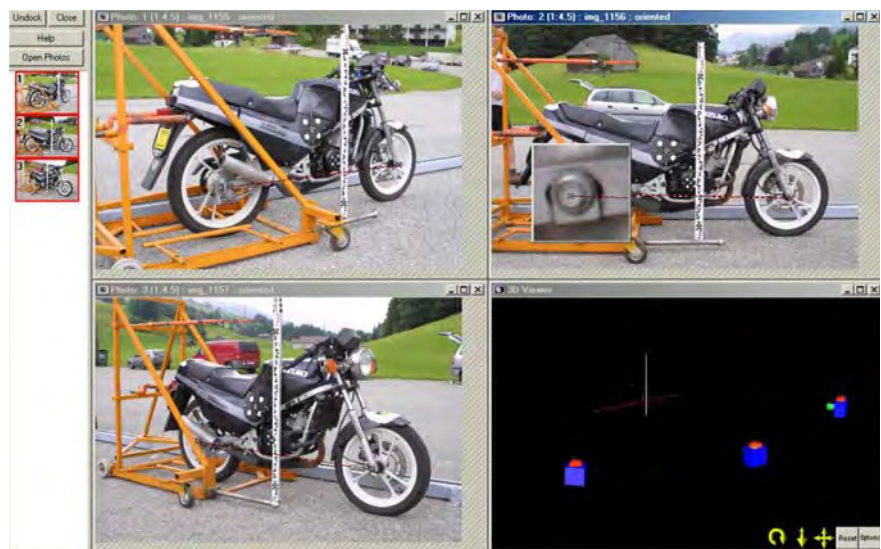


BILD 8: Photogrammetrische Auswertung zum Versuch WH01.11 [4]

FIGURE 8: Photogrammetrical evaluation of test WH01.11 [4]



BILD 9: Kollisionsablauf zum Versuch SH02.73 [5]

FIGURE 9: Collision sequence of test SH02.73 [5]

riert, vor der Versuchsdurchführung, **BILD 16** und **BILD 17** sowie danach, **BILD 18** und **BILD 19**. Die beiden 3-D-Modelle wurden verknüpft und es wurde unter anderem die maximale Deformation mit den Punktverschiebungen im dreidimensionalen Koordinatensystem vermessen. Mit den Ergebnissen der 3-D-Deformationsvermessung konnte nun die mittlere Struktursteifigkeit berechnet werden.

3.2 Fall 2, Vermessung von Deformationen

In Fall 2 steht das zu vermessende Objekt für eine Dokumentation mit-



BILD 10: Versuchsfahrzeug Lkw L1 zum Versuch SH02.73 [5]

FIGURE 10: Test vehicle truck L1 for test SH02.73 [5]

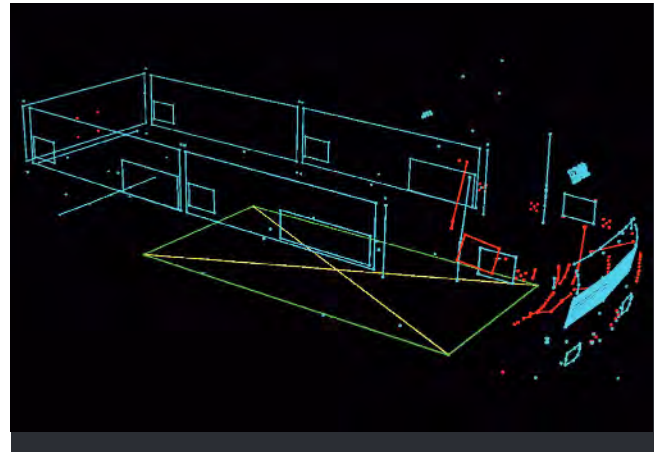


BILD 11: Photogrammetrische Auswertung zum Lkw L1 zum Versuch SH02.73 [5] mit PhotoModeler

FIGURE 11: Photogrammetrical evaluation of truck L1 for test SH02.73 [5] using PhotoModeler



BILD 12: Frontalansicht des Fahrzeugs zum Versuch WH03.28 [6]

FIGURE 12: Frontal view of the vehicle for test WH03.28 [6]



BILD 13: Seitenansicht des Fahrzeugs zum Versuch WH03.28 [6]

FIGURE 13: Side view of the vehicle for test WH03.28 [6]

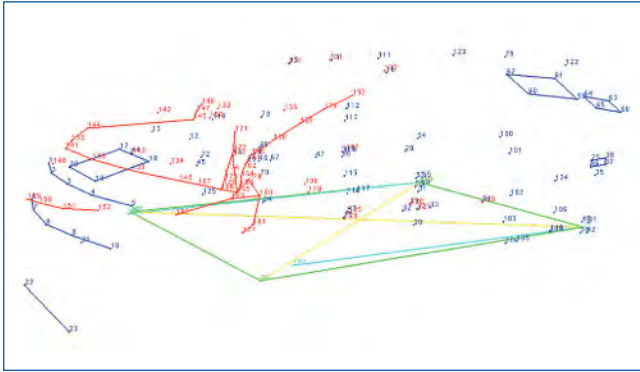


BILD 14: Photogrammetrische Auswertung zum Versuch WH03.28 [6] mit PhotoModeler

FIGURE 14: Photogrammetrical evaluation of test WH03.28 [6] using PhotoModeler

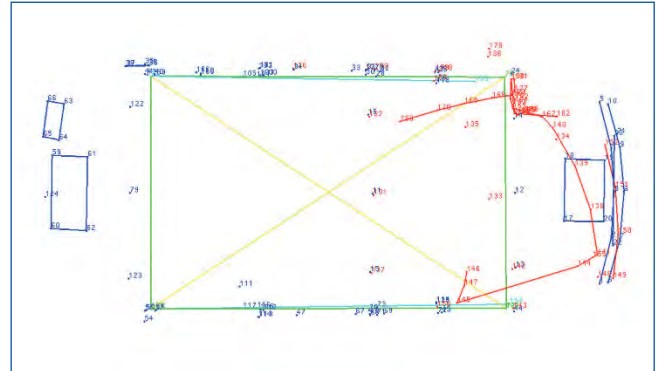


BILD 15: Photogrammetrische Auswertung zum Versuch WH03.28 [6] mit PhotoModeler

FIGURE 15: Photogrammetrical evaluation of test WH03.28 [6] using PhotoModeler



BILD 16: Fahrzeug Opel Vectra A vor der Versuchsdurchführung zum Versuch SH04.50 [7]

FIGURE 16: Test vehicle Opel Vectra A before test SH04.50 [7]

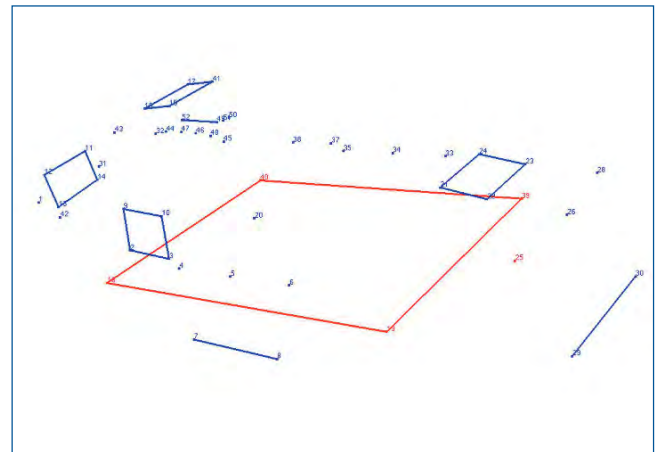


BILD 17: Photogrammetrische Auswertung des Fahrzeugs vor dem Versuch SH04.50 [7] mittels PotoModeler

FIGURE 17: Photogrammetrical evaluation of the vehicle before test SH04.50 [7] using PhotoModeler



BILD 18: Fahrzeug nach dem Versuch SH04.50 [7]

FIGURE 18: Test vehicle after the test SH04.50 [7]

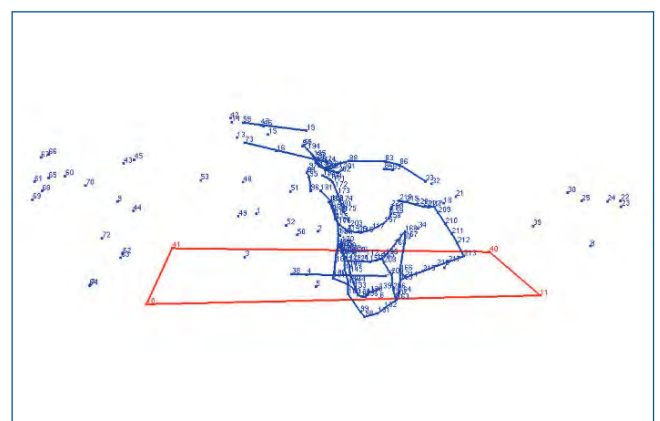


BILD 19: Photogrammetrische Auswertung des Fahrzeugs nach dem Versuch SH04.50 [7] mittels PhotoModeler

FIGURE 19: Photogrammetrical evaluation of the vehicle after SH04.50 [7] using PhotoModeler



BILD 20: Versuchsdurchführung Seitencrash mit 17 km/h
FIGURE 20: Side crash at 17 km/h



BILD 21: Kollisionsbeschädigungen am gestoßenen Fahrzeug
FIGURE 21: Collision damage to the impacted vehicle

tels kalibrierter Kamera nicht zur Verfügung.

Es liegt jedoch qualitativ hinreichendes Bildmaterial von dem beschädigten Fahrzeug vor. Dieses Bildmaterial kann grundsätzlich in zwei Varianten vorliegen, zum einen als Bildmaterial von einer mittels Exif-Daten [8] identifizierbaren Kamera sowie zum anderen als Bildmaterial, zu dem Kamerainformationen nicht bekannt sind. Im Rahmen der nachfolgend dargestellten Untersuchungen [9], [10], jeweils mit Durchführung eines Kollisionsversuchs [9], wurden die Abbildungen mit einer kalibrierten Kamera, aber auch mit verschiedenen nicht kalibrierten Kameras gefertigt.

Bei einem Kollisionsversuch ist ein Pkw BMW E36 (rot) mit einer Geschwindigkeit von 17 km/h mit seiner Fahrzeugfront unter einem Winkel von etwa 90° gegen die rechte Fahrzeugseite eines stehenden Pkw Ford Escort (blau) gestoßen, **BILD 20**. Die Deformationen am gestoßenen Fahrzeug wurden dreidimensional photogrammetrisch vermessen, **BILD 21**. Vor der Durchführung des Kollisionsversuchs wurde von dem unbeschädigten Kontaktbereich am gestoßenen Fahrzeug ein 3-D-Modell erzeugt. Im Rahmen der Auswertung wurden drei mittels einer kalibrierten Kamera gefertigte Abbildungen verwendet, die im Programm PhotoModeler durch

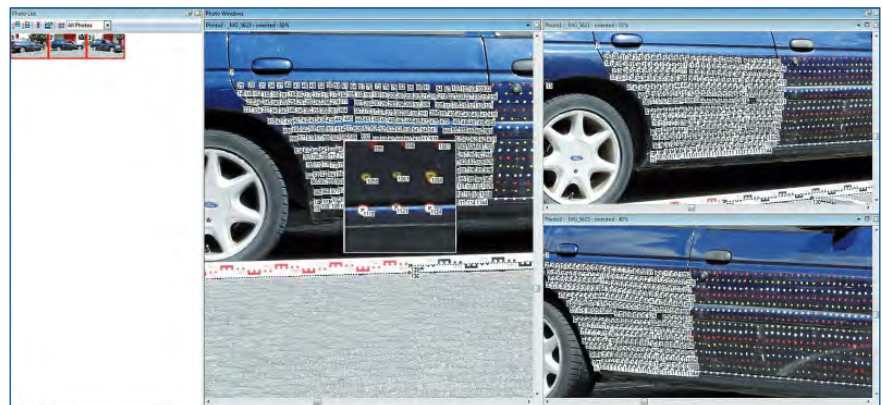


BILD 22: Modellbildung vom unbeschädigten Fahrzeug mittels PhotoModeler
FIGURE 22: Modelling of the undamaged vehicle using PhotoModeler

Referenzierung gegenseitig orientiert wurden.

In Vorbereitung des Versuchs wurde am Kontaktbereich am gestoßenen Fahrzeug eine engmaschige Punktemarkierung aufgebracht, um eine große Anzahl von Stützstellen für die Bestimmung des Deformationsverlaufs zu erhalten. Das **BILD 22** zeigt die Arbeitsfläche des Programms PhotoModeler. Die Punktemarkierungen der Tür rechts hinten des gestoßenen Fahrzeugs wurden in dieser Abbildung bereits vollständig referenziert. **BILD 23** stellt das vollständig aus den Punktkoordinaten generierte 3-D-Modell des unbeschädigten Fahrzeugs dar. Der im Programm PhotoModeler implementierte 3-D-Viewer ermöglicht die Betrachtung

des Modells in verschiedenen Zoomstufen aus verschiedenen Richtungen durch rotatorische und translatorische Bewegung des Modells innerhalb des Koordinatensystems. Nach Versuchsdurchführung wurden vom beschädigten Kontaktbereich am gestoßenen Fahrzeug weitere Bilder gefertigt, von denen drei mittels einer kalibrierten Kamera gefertigte Abbildungen für die Modellbildung ausgewählt (zum Beispiel **BILD 24**) und mit dem Modell des unbeschädigten Fahrzeugs referenziert wurden.

Bedeutsam ist hierbei, dass mindestens sechs Punkte in allen Abbildungen aufzufinden sind, die auch nach Versuchsdurchführung in ihrer Lage unverändert waren. In **BILD 25** wird die Auswahl der unver-

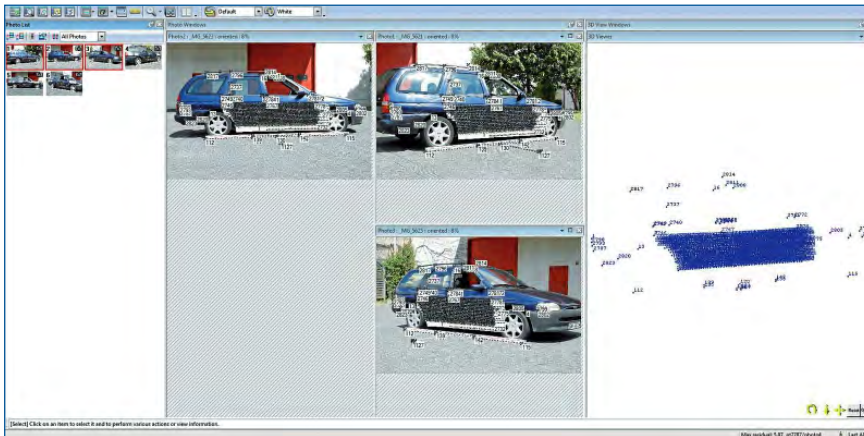


BILD 23: Vollständige Modellbildung vom unbeschädigten Fahrzeug mittels PhotoModeler

FIGURE 23: Complete modelling of the undamaged vehicle using PhotoModeler



BILD 24: MessPhoto vom beschädigten Fahrzeug Ford Escort

FIGURE 24: Measurement photo of the damaged Ford Escort

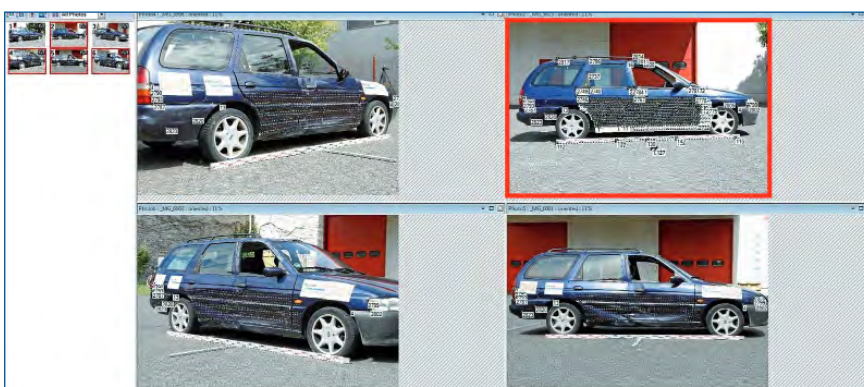


BILD 25: Modellbildung vom beschädigten Fahrzeug mit Verknüpfung zum Modell des unbeschädigten Fahrzeugs mit dem Programm PhotoModeler

FIGURE 25: Modelling of the damaged vehicle with a link to the model of the undamaged vehicle using the program PhotoModeler

änderten Referenzpunkte dargestellt, wobei die Abbildung vom Fahrzeug vor Versuchsdurchführung die Basis definierte (rote Einrahmung), zu dem die Abbildungen vom Fahrzeug nach Versuchsdurchführung referenziert wurden. Nach erfolgreicher Orientierung der Abbildungen vom beschädigten Fahrzeug nach der Versuchsdurchführung kann in einem weiteren Schritt der Deformationsverlauf modelliert, **BILD 26** (rote Einrahmung; rote Punktwolke), und der dreidimensionale Deformationsverlauf dem unbeschädigten Fahrzeug vor Versuchsdurchführung, **Bild 26** (rote Einrahmung; blaue Punktwolke), gegenübergestellt werden.

In diesem 3-D-Modell können nun beliebige Vermessungen durchgeführt werden. Ausgehend von einem mittels kalibrierter Kamera gefertigten Basismodell wurde weiterhin untersucht [9] [10], welchen Einfluss die Verwendung von Bildmaterial hat, welches mit einer nicht kalibrierten Kamera gefertigt wurde. Dies stellt den Fall dar, in dem das beschädigte Fahrzeug physisch nicht mehr verfügbar ist und auf Bildmaterial von den Beschädigungen (zum Beispiel zu Schadengutachten) zurückgegriffen werden muss, welches mit nicht kalibrierten Kameras – mit und ohne Kameradaten (Exif-Daten) – gefertigt wurde.

Bezüglich der Verknüpfung der Abbildungen vom unbeschädigten (vor Versuchsdurchführung) sowie vom beschädigten Fahrzeug (nach Versuchsdurchführung) wird in äquivalenter Art und Weise vorgegangen, wie zu dem Fall mit bekannten Kameradaten beschrieben. Die Untersuchungen zum Vergleich von Bildmaterial, welches mit einer kalibrierten Kamera gefertigt wurde, zu Bildmaterial, das nicht mit kalibrierten Kameras erzeugt wurde (mit und ohne Kameradaten), bleiben im Detail einem gesonderten Aufsatz vorbehalten.

Es kann jedoch bereits an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Differenzen zwischen kalibrierten und nicht kalibrierten Kameras bei

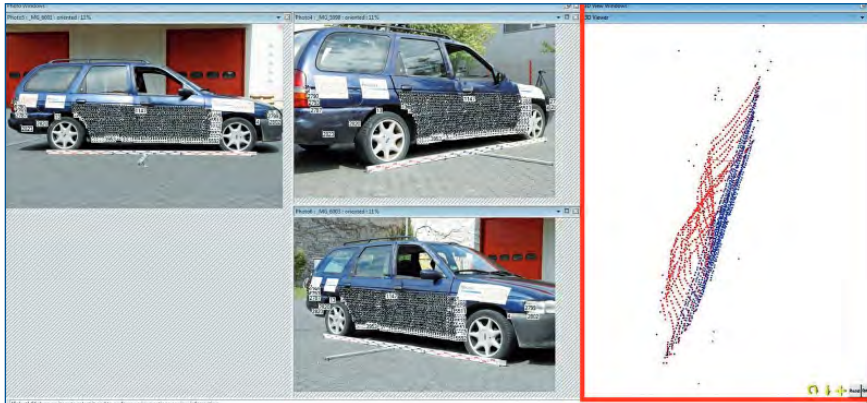


BILD 26: Vollständige Modellbildung vom beschädigten Fahrzeug mit Darstellung des Deformationsverlaufs mit dem Programm PhotoModeler

FIGURE 26: Complete modelling of the damaged vehicle with representation of the deformation curve using the program PhotoModeler

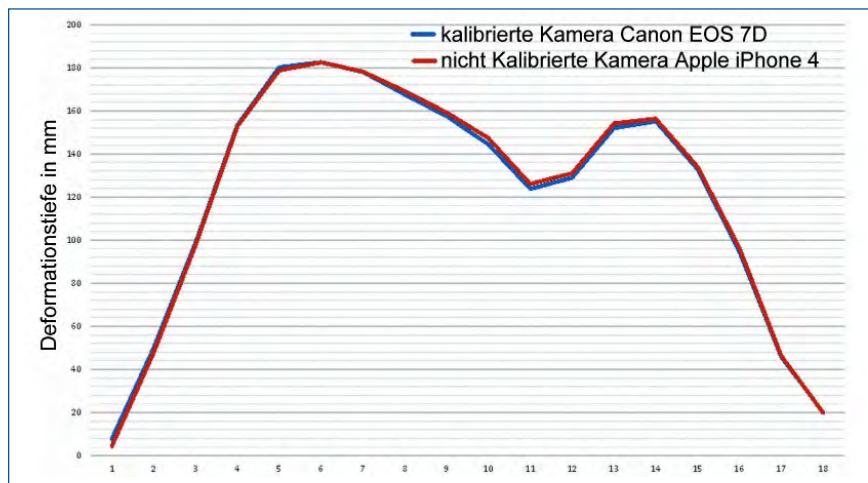


BILD 27: Vergleich Deformationsverlauf mit kalibrierter und nicht kalibrierter Kamera

FIGURE 27: Comparison of the deformation curve with calibrated and uncalibrated camera

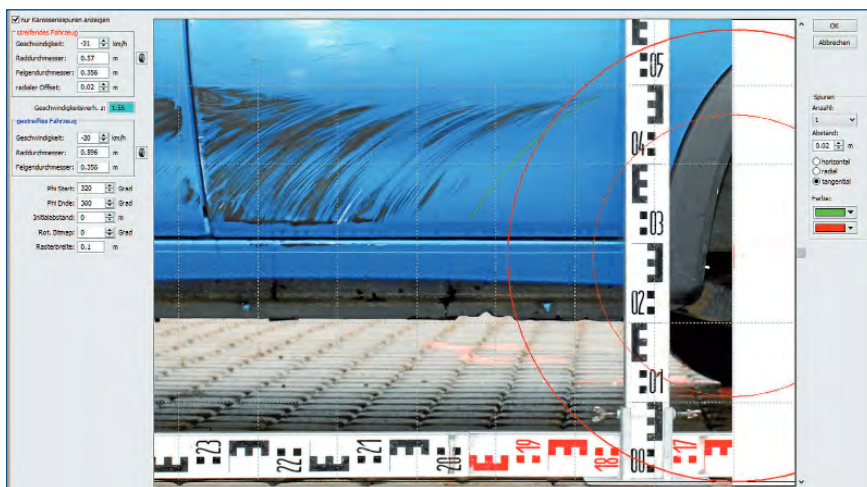


BILD 28: Radkontaktpurenmodell in PC-Crash

FIGURE 28: Wheel contact mark model in PC-Crash

korrekter Vorgehensweise minimal sein können. Verdeutlicht wird dieser Sachverhalt mit **BILD 27**, welche die photogrammetrischen Auswertungen [10] mit einer kalibrierten (Canon EOS 7D) sowie einer nicht kalibrierten Kamera (Apple iPhone 4) vergleichend darstellen. Die Auswertung der bisher durchgeführten Untersuchungen zeigt, dass die 3-D-Photogrammetrie zur Vermessung von Deformationsverläufen auch in Fällen, in denen nur Bildmaterial von einer nicht kalibrierten Kamera – mit und ohne Kameradaten – vorliegen, verwertbare Resultate liefern kann.

4 Struktur und Verlauf von Spurenlagen auf Oberflächen

Mit dem Programm PhotoModeler können Orthogonalansichten mit fotorealistischer Oberfläche generiert werden. Dies kann beispielsweise dann notwendig werden, wenn Radkontaktpuren an einer Fahrzeugkarosserie mittels eines Radkontaktpurenmodells, **BILD 28**, bewertet werden sollen und das spurentragende Fahrzeug für eine Besichtigung und die Anfertigung von orthogonalem Bildmaterial mit Maßstab nicht mehr zur Verfügung steht.

Da belastbare Ergebnisse bei der Reduktion der dreidimensionalen Realität in eine zweidimensionale Modellbildung an entsprechende Zwangsbedingungen geknüpft sind [11], muss der Herstellung der Orthogonalansicht besondere Sorgfalt gewidmet werden.

Nachfolgend wird an einem konkreten Fall die Vorgehensweise beschrieben, wie mittels 3-D-Photogrammetrie eine hinreichend exakte Orthogonalansicht generiert werden kann. In vorliegendem Fall konnte das spurentragende Fahrzeug in repariertem Zustand besichtigt und das Bildmaterial für die 3-D-Photogrammetrie gefertigt werden. Hilfsweise kann in Fällen, in denen das spurentragende Fahrzeug für eine Besichtigung auch in verändertem (repariertem) Zustand nicht mehr

zur Verfügung steht, ein hinreichend baugleiches Fahrzeug (Vergleichsfahrzeug) Verwendung finden. Mit diesem Bildmaterial wird nun ein 3-D-Modell als Basis für weitere Untersuchungen (Basismodell) erstellt, **BILD 29**. Grundsätzlich ist es nicht notwendig, ein Modell vom Gesamtfahrzeug anzufertigen. Die Modellierung des spurentragenden Karosserieabschnitts ist ausreichend (rote Einrahmung in Bild 29).

In Vorausschau auf die Orthogonalansicht von der betreffenden Fahrzeugseite ist das Koordinatensystem zu definieren. Im Anschluss an die Herstellung des Basismodells können nun einzelne oder mehrere Abbildungen von den zu untersuchenden Spurenlagen in das Basismodell eingebunden werden, **BILD 30** (rote Einrahmung).

Hierbei kann Bildmaterial sowohl mit als auch ohne Bildinformationen (Exif-Daten [8]) Verwendung finden. Ist die Referenzierung der Abbildung(en) vom spurentragenden Fahrzeug im Basismodell erfolgreich, kann das 3-D-Modell in dem Bereich, in dem sich die Radkontaktsuren befinden, vollständig oder partiell mit der Phototextur aus der Abbildung vom spurentragenden Fahrzeug versehen werden, **BILD 31**.

Im Rahmen der Auswertung werden im Programm PhotoModeler auch die Kamerapositionen zu den einzelnen Abbildungen berechnet, **BILD 32**. Radkontaktsuren aus streifend-kollisionären Kontakten mit gegen null (gleich gerichteter Verkehr) beziehungsweise gegen 180° (entgegen gerichteter Verkehr) strebenden Winkeln zwischen den Fahrzeuglängsachsen haben häufig die angenehme Eigenschaft, dass im Bereich des für die Betrachtungen zur Fahrdynamik wesentlichen Erstkontakts signifikante Deformationen der Karosserieblechung nicht vorliegen. Demzufolge ist es also zulässig, die Phototextur aus der Abbildung vom spurentragenden Fahrzeug auf die Flächenelemente des Basismodells zu übertragen.

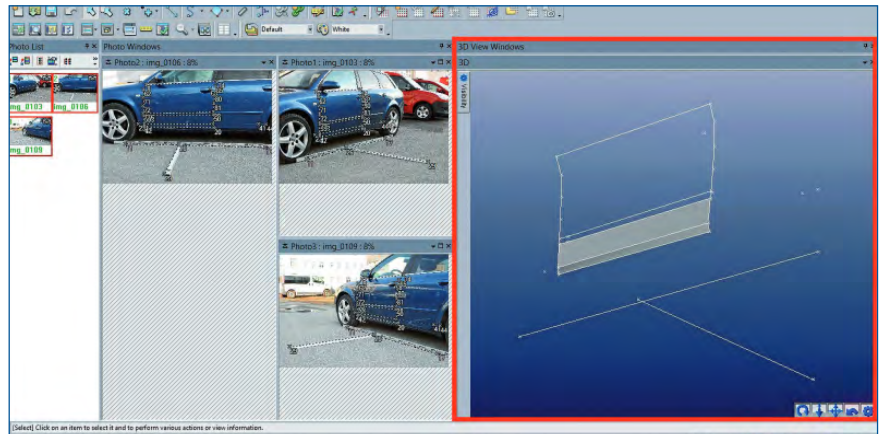


BILD 29: Herstellung eines 3-D-Modells (Basismodell) mittels PhotoModeler

FIGURE 29: Creation of a 3D model (basic model) using PhotoModeler

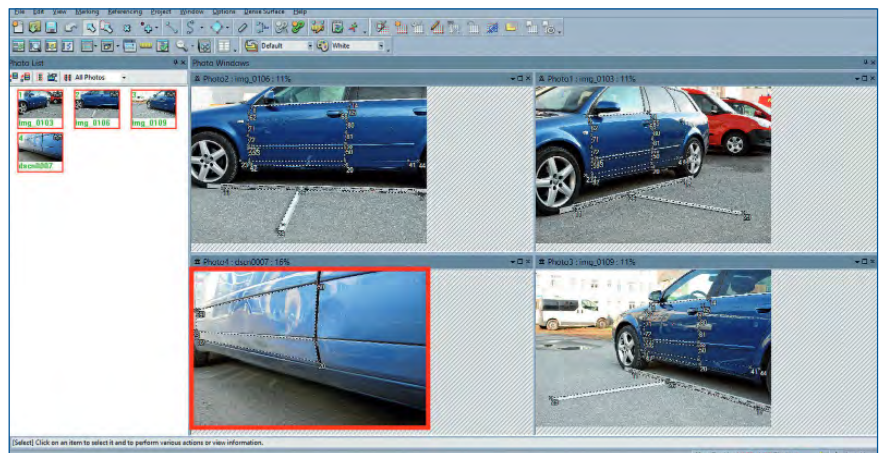


BILD 30: Einbindung einer Abbildung von den Radkontaktsuren in das 3-D-Modell (Basismodell) im Programm PhotoModeler

FIGURE 30: Integration of an image of the wheel contact marks into the 3D model (basic model) in the program PhotoModeler

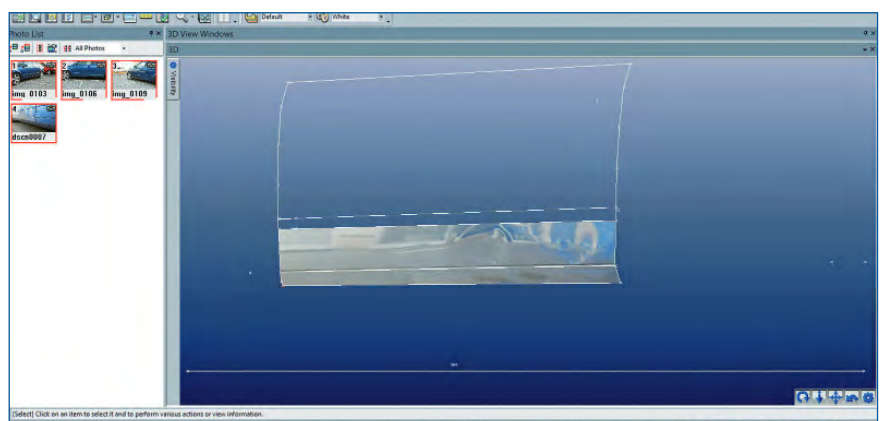


BILD 31: Einbindung der Phototextur aus der Abbildung von den Radkontaktsuren in das 3-D-Modell (Basismodell) im Programm PhotoModeler

FIGURE 31: Integration of the image texture from the image of the wheel contact marks into the 3D model (basic model) in the program PhotoModeler

Im Einzelfall können bei der Auswertung der Spurenlagen auch Deformationen berücksichtigt werden, was jedoch mindestens zwei Abbildungen vom spurentragenden Fahrzeug erfordert, die in hinreichender Qualität gefertigt wurden. In einem finalen Schritt kann mit dem Programm PhotoModeler nun eine orthogonale Seitenansicht generiert und exportiert sowie mit einer Orthogonalansicht mit angelegten Maßstäben verknüpft werden, **BILD 33**.

Erst in dieser Bearbeitungsphase, mithin mit einer orthogonalen Seitenansicht, können nun die Radkontakts Spuren in einem geeigneten Radkontakts Spurenmodell untersucht werden, dies beispielsweise in dem Simulationsprogramm PC-Crash der Firma DSD [12] ab Version 8, **BILD 34**.

Die beschriebene Vorgehensweise wurde im Rahmen einer Diplomarbeit [13] eingehend untersucht, wobei diese Untersuchungen einem gesonderten Aufsatz vorbehalten bleiben. Hierbei wurde festgestellt, dass das vorgestellte Verfahren bei korrekter Vorgehensweise (Datengenerierung und Datenaufbereitung) sowie Anwendung der Programme PhotoModeler und PC-Crash (Radkontakts Spurenmodell), unter Berücksichtigung aller sonstigen Hinweise, geeignet ist, gute Ergebnisse mit kleinen Toleranzbereichen zu liefern. Dies auch dann, wenn für die Anfertigung der Abbildungen von den Spurenlagen am Fahrzeug Kompakt-Fotokameras oder Fotokameras in Mobiltelefonen Verwendung fanden und/oder Exif-Daten zu den Abbildungen nicht vorhanden sind.

Anzumerken ist noch, dass eine zweidimensionale „Entzerrung“ von schräg – mithin deutlich abweichend von der Orthogonalansicht – aufgenommenem Bildmaterial (zum Beispiel Bild 4) mittels Bildbearbeitungs- und/oder 2-D-Photogrammetrieprogrammen für die Herstellung von Orthogonalansichten ungeeignet ist. Von einer solchen Vorgehensweise muss eindringlich abgeraten werden.

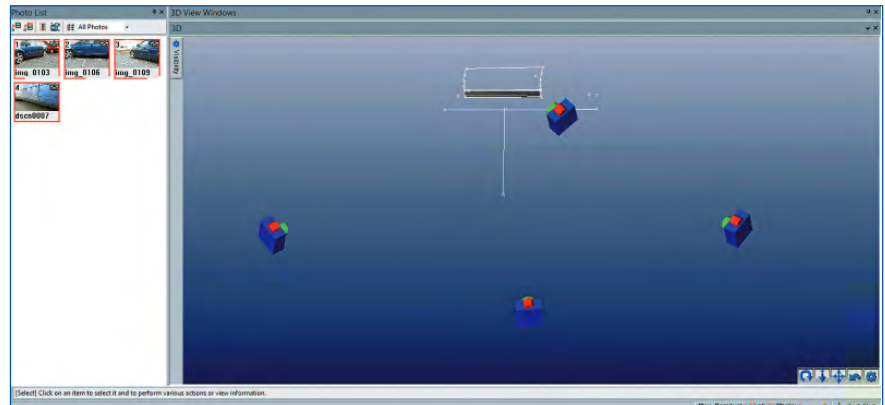


BILD 32: Berechnete Kamerapositionen zu den einzelnen Abbildungen im 3-D-Viewer im Programm PhotoModeler

FIGURE 32: Calculated camera positions for the individual images in the 3D viewer in the program PhotoModeler



BILD 33: Assoziation von der aus dem Programm PhotoModeler exportierten Orthogonalansicht von den Radkontakts Spuren und einer Orthogonalansicht mit angelegten Maßstäben

FIGURE 33: Association of the orthogonal view of the wheel contact marks exported from PhotoModeler and an orthogonal view with scales applied

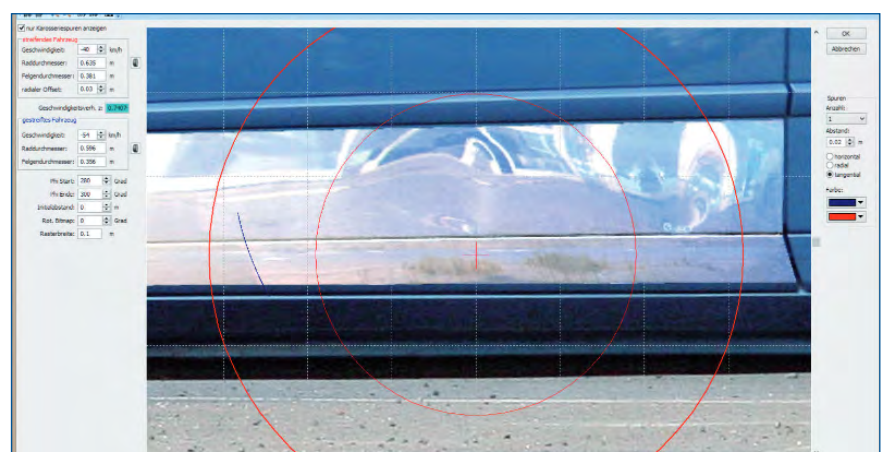


BILD 34: Anwendung des Radkontakts Spurenmodells im Programm PC-Crash mit der Orthogonalansicht von den Radkontakts Spuren als wesentliche Grundlage

FIGURE 34: Application of the wheel contact mark model in the program PC-Crash with the orthogonal view of the wheel contact marks as the main basis

5 Zusammenfassung

Die 3-D-Photogrammetrie ist eine Methode zur Herstellung von 3-D-Modellen, in diesem Zusammenhang zur Vermessung von Deformationen sowie zur geometrisch korrekten Abbildung von Struktur und Verlauf von Spurenlagen auf Oberflächen. Dies insbesondere dann, wenn das Objekt des Interesses physisch nicht mehr verfügbar ist und auf hinreichend vergleichbare Objekte zurückgegriffen werden muss. Auch zur Vermessung von Unfallstellen und Herstellung von dreidimensionalen Geländemodellen ist die 3-D-Photogrammetrie durchaus einzusetzen, hier jedoch deutlich aufwendiger als die 2-D-Photogrammetrie. Bei jedem Anwendungsfall ist grundsätzlich zu prüfen, ob 2-D-Photogrammetrie anwendbar ist oder der Weg zur Lösung nur über die 3-D-Photogrammetrie führt.

Literaturhinweise

- [1] PC-Rect – Software zum Entzerren von Fotografien und Videos der Firma DSD (www.dsd.at).
- [2] PhotoModeler – 3-D-Photogrammetrie-Programm der Firma EOS Systems Inc. (www.photomodeler.com).
- [3] AREC-Tagung 2000 in Neumünster (D), Tagungsunterlagen.
- [4] AREC-Tagung 2001 in Wildhaus (CH), Tagungsunterlagen.
- [5] AREC-Tagung 2002 in Neumünster (D), Tagungsunterlagen.
- [6] AREC-Tagung 2003 in Wildhaus (CH), Tagungsunterlagen.
- [7] AREC-Tagung 2004 in Neumünster (D), Tagungsunterlagen.
- [8] Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Exchangeable_Image_File_Format „Das Exchangeable Image File Format (offizielle Abkürzung ist Exif, nicht EXIF) ist ein Standardformat der Japan Electronic and Information Technology Industries Association (<http://www.jeita.or.jp>) für das Speichern von Metadaten in digitalen Bildern.“
- [9] Görtz, M.: Photogrammetrische Vermessung von Fahrzeugschäden zur Ermittlung von Deformationsenergien. Diplomarbeit, Rheinische Fachhochschule Köln, 2012.
- [10] Gall, M.: Determination von Fehlerquellen bei der Photogrammetrischen Vermessung von Fahrzeugschäden. Bachelor Thesis, Rheinische Fachhochschule Köln, 2013.
- [11] Brösdorf, K.-D.: Qualitätsanforderungen bei Kompatibilitäts- und Plausibilitätsprüfungen mittels Photografischer Verfahren. VKU 2007 H. 9, S. 239.
- [12] PC-Crash – Ein Computerprogramm zur Simulation von Verkehrsunfällen der Firma DSD (www.dsd.at).
- [13] Stecher, J.: Untersuchungen zur Genauigkeit von photogrammetrischen Verfahren bei der Auswertung von Radkontaktschäden an Fahrzeugkarosserien. Diplomarbeit, WHZ Zwickau, 2013.

3D photogrammetry in accident reconstruction

This report presents two application cases for accident reconstruction using the 3D photogrammetry program PhotoModeler. The first case is the measurement of deformations on vehicles damaged in a collision, while the second case is the modelling of three-dimensionally curved and mark-producing surfaces with the import of an image texture and the export of an orthogonal side view with an image texture in parallel projection.

*Autoren

Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Brösdorf ist ö. b. u. v. Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle im eigenen Ingenieurbüro Brösdorf und Görtz GmbH in Wattwil SG.

Dipl.-Ing. M.Eng. Marco Görtz ist EU-zertifizierter Sachverständiger für Unfallrekonstruktion beim Sachverständigenbüro Dr. Möhler und Görtz in Aachen und Köln.

Dipl.-Ing. Dr. Tibor Kubjatko ist ö. b. u. v. Sachverständiger für Unfallrekonstruktion und Kfz-Technik, sowie Dozent an der Universität Zilina, Slowakei.

Sehen Sie das ganze Bild!

VKU – Aktuell, kompetent und praxisnah.



Jetzt Vorteile sichern:

- 11x VKU lesen und top informiert sein
- Exklusive Prämie Ihrer Wahl
- Zugang zum digitalen Heftarchiv mit Artikeln seit 01|2006 zum Download
- Technische Datenblätter verschiedener Fahrzeugmodelle

VKU

www.vkuonline.de/abo