

VKU

Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik

Fachzeitschrift für Kraftfahrzeug-Sachverständige,
Experten für Straßenverkehr, Kfz-Technik und Transportsicherheit



Unfallrekonstruktion
und Datenblätter

Opel Ampera
VW Golf Cabriolet

3-D-Vermessung von Unfallstellen

3-D-Vermessung von Unfallstellen Teil 1

Von Markus Holzner, Michael Nabe und Wilhelm Deppe*

Moderne Rekonstruktions- und Simulationsprogramme wie zum Beispiel PC-Crash ermöglichen es, das Geländemodell in die Unfallanalyse einzubinden. Eine dreidimensionale Vermessung der Unfallstelle gewinnt somit an Bedeutung. Daher hat das Ingenieurbüro Deppe und Nabe Möglichkeiten zur räumlichen Vermessung und zur Übertragung der Informationen an das Programm PC-Crash im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht.

1 Einleitung

Der wesentliche Vorteil einer dreidimensionalen Vermessung von Unfallstellen liegt in der Genauigkeit, die gegenüber einer zweidimensionalen Auswertung erreicht wird und in der zusätzlichen Information. Bei der Einbildfotogrammetrie und bei der konventionellen Unfallstellenvermessung mit Messrad, Maßband etc. gehen die Höheninformationen verloren. Die Geländemodelle zum Beispiel in Google Earth enthalten zwar Höheninformationen, die Auflösung ist aber für die Unfallrekonstruktion meist zu grob.

Bei der Rekonstruktion von Verkehrsunfällen mit Steigungen, wie beispielsweise an Böschungen und Gräben sind diese Informationen jedoch erforderlich, um eine Aussage über den Bewegungsablauf im Gelände treffen zu können. Mit 3-D-Modellen vom Unfallort, basierend auf den 3-D-Vermessungen, lässt sich die Bewegungsdynamik in der Simulationssoftware PC Crash untersuchen. Die Berechnungen können in PC Crash bildhaft dargestellt und in 3-D-Simulationen visualisiert und überprüft werden.

Ein weiterer Aspekt ist die zügige Räumung der zu vermessenden Unfallstelle. Nicht alle Verfahren der Vermessungstechnik eignen sich daher für die Unfallaufnahme.

Der Artikel soll zwei Möglichkeiten aufzeigen, wie es dem Sachverständigen möglich ist, die 3-D-Informationen aufzunehmen und zur Unfallrekonstruktion zu nutzen.

In der Unfallrekonstruktion sind besonders die Fotogrammetrieprogramme PC-Rect-3D des Herstellers Dr. Steffan Datentechnik und PhotoModeler des Herstellers EOS Systems gebräuchlich. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich auf das letztgenannte Programm, dessen Schwerpunkt die 3-D-Modellierung ist.

In der Software PhotoModeler können über Zielmarken und Digitalfotos 3-D-Koordinaten errechnet, Flächen erzeugt und ganze 3-D-Modelle im 3-D-DXF-Format exportiert werden. Die exportierten Modelle können anschließend in die Simulationssoftware PC-Crash eingebunden werden. Der Benutzer muss sich bei dieser Methode aber vorab im Klaren sein, welche Flächen später bezüglich der Höheninformation und des räumlichen Profils von Relevanz sein können und muss diese bei der Unfallaufnahme so markieren, dass diese ausreichend genau auswertbar sind.

Anders erfolgt die 3-D-Vermessung mithilfe eines 3-D-Laserscanners. Hierbei werden sämtliche Daten in Form einer Punktwolke erfasst und der Benutzer nimmt im Nachhinein eine Reduktion auf die ihm wichtigen

Informationen vor. Mit einem 3-D-Laserscanner lassen sich sehr exakte Vermessungen mit mehreren Millionen von 3-D-Punkten vornehmen. Auch hier ist eine 3-D-Modellerstellung zur Weiterverwendung in der Simulationssoftware PC-Crash möglich. Die Vermessung mithilfe des 3-D-Laserscanners FARO Focus 3D wird im zweiten Teil des Artikels behandelt und erscheint in einem Folgeheft der VKU.

Sowohl Scanning als auch die Fotogrammetrie gewährleisten eine detaillierte räumliche Vermessung, wobei auch Spuren und Merkmale erfasst werden, deren Wichtigkeit vor Ort noch nicht erkennbar ist. Dies war bei der Untersuchung ein wichtiges Kriterium, weshalb andere Methoden, bei denen nur Einzelpunkte erfasst werden (Tachymeter, GPS-Systeme) vorliegend nicht berücksichtigt wurden.

2 3-D-Fotogrammetrie (Beispiel PhotoModeler)

Zunächst soll detailliert beschrieben werden, wie eine fotogrammetrische 3-D-Auswertung mit der Software PhotoModeler erfolgen kann, um daraus ein 3-D-Modell zu erzeugen, welches wiederum zur Simulation in PC Crash eingebunden werden soll.

Zur Verwendung der Software PhotoModeler wird eine handelsübliche Digitalkamera benötigt. Vorteilhaft ist eine hochauflösende Kamera mit mindestens 7 Megapixeln. Vor Verwendung muss diese Kamera für PhotoModeler kalibriert werden. Die Kalibrierung ist für jede Kamera nur einmal durchzuführen und wird von der Software gespeichert und hinterlegt. Die Kalibrierung erfolgt über

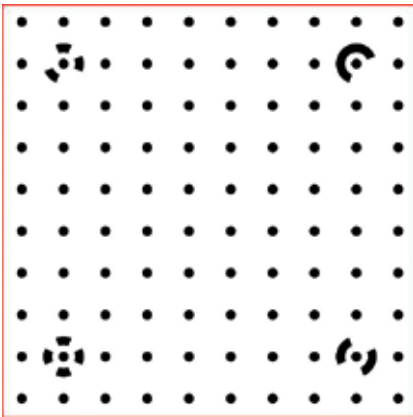


BILD 1: Schablone zur Kamerakalibrierung in PhotoModeler

FIGURE 1: Template for camera calibration in PhotoModeler



BILD 2: Fotografie der Kalibrierschablone

FIGURE 2: Photograph of the calibration template



BILD 3: Zielmarke

FIGURE 3: Target mark



BILD 4: Aufstellen der Zielmarken

FIGURE 4: Setting up the target marks

eine eigens dafür vorgesehene Schablone, **BILD 1**, die aus verschiedenen Richtungen, **BILD 2**, zu fotografieren ist. Die Objektivkrümmung wird anschließend von der Software bestimmt und bei der 3-D-Punkt-Berechnung berücksichtigt. Messgenauigkeiten werden in Folge reduziert. Im Report des Kalibrier-tools in PhotoModeler sollte im Menüpunkt „Total Error“ der „Last Error“ ungefähr 1 oder niedriger sein – je niedriger, desto besser. Wie die Kalibrierung genau durchzuführen ist, kann online auf der Herstellersei-

te (www.photomodeler.com) abgerufen werden.

Ist die Kamerakalibrierung erfolgreich abgeschlossen, kann die Kamera in PhotoModeler verwendet werden.

Es folgt nun das Aufstellen der Zielmarken am Unfallort. Die Zielmarken können beispielsweise Schachbretzielmarken sein, vorteilhaft haben sich allerdings Zielmarken erwiesen, die alphabetisch nummeriert sind, da sich diese in den einzelnen Aufnahmen leichter wiederfinden lassen, **BILD 3**.

Die Zielmarken sollten nun entlang der Fahrbahn aufgestellt werden. Je mehr Zielmarken aufgestellt werden, desto mehr 3-D-Punkte lassen sich erzeugen beziehungsweise desto genauer wird die Unfallstelle im 3-D-Modell wiedergegeben. Vorteilhaft ist ein Aufstellen der Zielmarken im Abstand von circa 10 m entlang des Straßenrandes und ein geringerer Abstand an Böschungen und Hängen, um das Böschungsprofil möglichst genau abzubilden.

Zur späteren Ausrichtung des 3-D-Modells ist es weiter von Vorteil, eine mit Wasserwaage ausgerichtete z-Achse mit abzulichten. Bei dem hier abgebildeten Beispiel wurde ein 2,16 m langer, vertikal ausgerichteter, orangefarbener Stab auf einem Dreibein mit abgelichtet. Dieser ist in **BILD 4** am linken Bildrand zu sehen. Bild 4 zeigt beispielhaft die Positionierung der Zielmarken.

Es folgt nun das Fotografieren der Zielmarken mit der kalibrierten Kamera. Die Fotos werden aus den Diagonalen des Unfallorts heraus aufgenommen. Es müssen mindestens zwei Fotos der gleichen Zielmarke aufgenommen werden, mit einem Winkelunterschied von mindestens 10°. Wäre der Aufnahmewinkel beispielsweise nur 8°, kann PhotoMode-

ler den Punkt nicht für die 3-D-Berechnung verwenden. Je weiter hinten ein Punkt im Raum liegt, desto flacher wird der Winkel zum Aufnahme­standpunkt hin. Die Auflösung der Zielmarke im Foto nimmt bei weit entfernten Zielmarken stark ab, sodass es schnell notwendig werden kann, weitere Fotos aufzunehmen. Zu beachten ist außerdem, dass die Brennweite nicht verändert wird. Sie muss der Brennweite der Kamera­kalibrierung entsprechen und darf während der Aufnahme nicht verändert werden, das heißt, es darf nicht gezoomt werden.

Bei der Fotografie der Messstelle empfiehlt es sich also, bezogen auf die hier verwendete Kamera, circa alle 45 m ein Foto in die Gegenrichtung aufzunehmen, um eine genaue Messung durchführen zu können. In Fachzeitschriften wie *c't* und *Color Foto* wurden Tests durchgeführt, die darauf hinweisen, dass höhere nominelle Kameraauflösungen als 6 bis 7 Megapixel bei den in Kompaktkameras verbauten kleinen Bildsensoren häufig keine effektive Verbesserung der Auflösung bedeuten, da unter anderem die Lichtempfindlichkeit wegen der kleineren nutzbaren Fläche pro Bildpunkt sinkt und daher das Bildrauschen zunimmt. Dieses muss dann durch einen Rauschfilter ausgeglichen werden, der das Bild „weichzeichnet“ und den theoretischen Auflösungs­vorteil zunichte machen kann.

Auch die Qualität der Optik setzt Grenzen (Quelle <http://6mpixel.org>). Die vorstehende Empfehlung kann somit beim aktuellen Stand der Technik auch auf Kompaktkameras mit höheren nominellen Bildauflösungen übertragen werden. Nur bei Spiegelreflexkameras kann man wegen der größeren Bildsensoren tatsächlich höhere effektive Auflösungen erwarten. Das gilt zumindest dann, wenn ein sehr hochwertiges Objektiv verwendet wird.

Vorteilhaft ist weiterhin eine Aufnahme aus erhöhtem Standpunkt beziehungsweise Überkopffotografie.



BILD 5: Zusätzliche Aufnahme aus der Diagonalen der Unfallstelle
FIGURE 5: Additional images from the diagonals of the accident scene



BILD 6: Zusätzliche Aufnahme aus der Diagonalen der Unfallstelle
FIGURE 6: Additional images from the diagonals of the accident scene

Empfehlenswert ist bei der Vermessung mit PhotoModeler, die Zielmarken so zu positionieren, dass die relevanten Spurenbereiche umschlossen sind. Außerhalb des referenzierten Bereiches nimmt die Genauigkeit ab. Ferner ist sicherzustellen, dass mindestens zwei Fotos einen Bereich abdecken, auf denen jeweils mindestens acht identische Zielmarken erkennbar sind. Dann können beliebige Punkte bestimmt werden, die auf mindestens zwei Bildern erkennbar

sind. Ist ein zu bestimmender Punkt aber zum Beispiel wegen einer optischen Verdeckung oder Ähnlichem nur auf einem Bild erkennbar und liegt dieser in einem ebenen Bereich, dann kann hilfsweise auch eine Ebene zwischen umgebenden referenzierten Punkten definiert werden. Diese Ebene kann entweder als Orthofoto entzerrt oder innerhalb des Einzelbildes vermessen werden. Eine Entzerrung eines Teilbereiches als Orthofoto kann auch bei einer großen



BILD 7: Zusätzliche Aufnahme aus der Diagonalen der Unfallstelle
FIGURE 7: Additional images from the diagonals of the accident scene

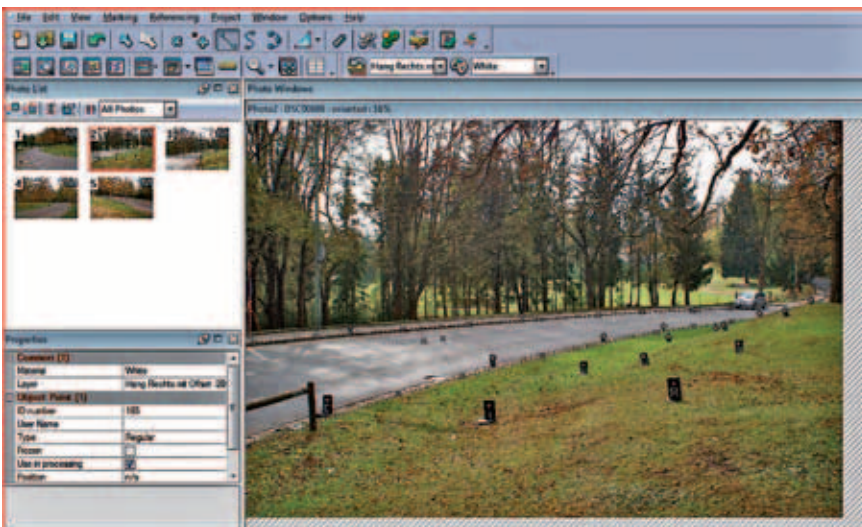


BILD 8: Programmoberfläche in PhotoModeler
FIGURE 8: Program user interface in PhotoModeler

Spurendichte sinnvoll sein. Eine überlegte Anordnung der Zielmarken und eine ebenso überlegte Wahl der Aufnahmeposition ermöglichen eine nachträgliche Bestimmung nicht markierter Spuren oder solcher Bildelemente, die sich erst im Nachhinein als wichtig erweisen. Hier ergibt sich ein wesentlicher Vorteil gegenüber einer konventionellen Vermessung mit zum Beispiel Maßband, Messrad, Entfernungsmesser, Vermessungsstation, Messtisch usw. Bei derartigen Vermessungen müssen alle

wichtigen Spuren unmittelbar vor Ort bewertet und erfasst werden. Bei Bereichen mit einer großen Dichte vieler kleiner Einzelspuren oder Spurenkrümmungen erweist sich die Vermessung mit PhotoModeler als handlicher.

In den **BILDERN 5 bis 7** sind weitere Aufnahmen zu sehen, die aus den drei weiteren Diagonalen der Unfallstelle aufgenommen wurden.

Sind nun alle Zielmarken in ausreichender Auflösung und notwendigem Winkelunterschied erfasst, kann

die Auswertung in der Software erfolgen. Hierzu werden die Fotos in der Software geladen und die Zielmarken einander zugeordnet (referenziert). Dies geschieht Punkt für Punkt in jedem Foto. Punkte können mit Linien miteinander verbunden werden. Straßenmarkierungen oder Spuren können nachgezeichnet werden. **BILD 8** zeigt die Programmoberfläche.

Über die Schaltfläche „Scale & Rotate“ muss nun noch eine Referenzlänge in einem Bild vorgegeben werden und zwei Koordinatenachsen bestimmt werden. Als Referenzlänge kann hierbei ein Abstand zweier weit entfernter Zielmarken dienen, die beispielsweise mittels Handlasermessgerät gemessen wurde.

Sollte es erforderlich sein, Zielmarken auf unebenem Boden aufzustellen (zum Beispiel bei hohem Gras, Acker etc.), ist es möglich, diese auf Pylonen oder Holzpflocke zu stellen und die Höhe des 3-D-Punktes im Nachhinein in PhotoModeler zu korrigieren (z-Achsen-Offset des jeweiligen Punktes).

Sind alle Zielmarken einander zugeordnet und ist die Referenzlänge definiert, lässt sich das 3-D-Modell erzeugen, **BILD 9**.

PC Crash benötigt zur Verwendung in der Simulation dreiecksvermaschte (triangulierte) Flächen, um Fahrzeuge über diese Flächen bewegen zu können. Diese Flächenerzeugung kann in PC Crash nur über eine Triangulation erfolgen. Unter Triangulation versteht man das Aufteilen einer Fläche in Dreiecke. Diese Aufteilung erfolgt deshalb, weil sich Winkel im Gelände einfacher (berührungslös) messen lassen als Längen. Sind beispielsweise die Winkel zwischen den Seiten eines Dreiecks und die Länge einer seiner Seiten bekannt, so lassen sich die Längen der anderen Seiten mittels trigonometrischer Formeln berechnen.

Die Triangulation kann entweder in PhotoModeler oder in PC Crash erfolgen. Im Beispiel, **BILD 10** und **BILD 11**, geschieht dies in PhotoModeler. Es werden nun also alle Punkte tri-

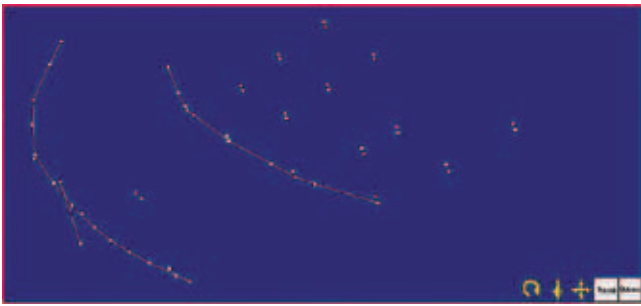


BILD 9: Erzeugtes 3-D-Modell in PhotoModeler
FIGURE 9: 3D model generated in PhotoModeler

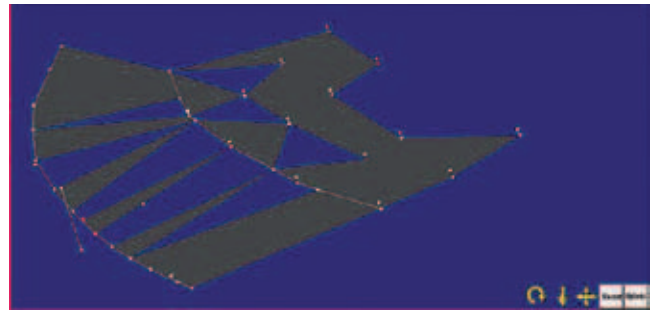


BILD 10: Flächenerzeugung mittels Dreiecksvermaschung in PhotoModeler
FIGURE 10: Surface generation by means of triangular intermeshing in PhotoModeler

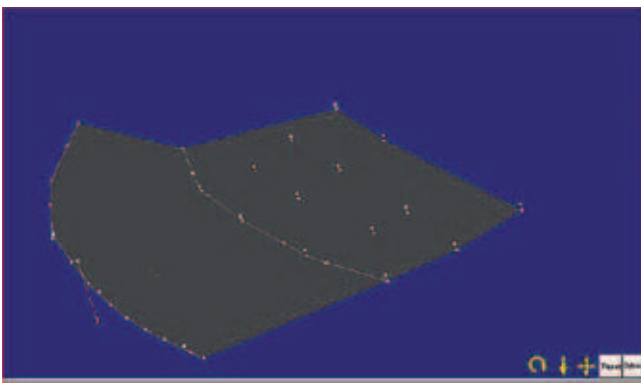


BILD 11: Flächenmodell fertiggestellt
FIGURE 11: Completed surface model



BILD 12: 3-D-Texturmodell in PhotoModeler
FIGURE 12: 3D texture model in PhotoModeler:

anguliert, die später eine Fläche darstellen sollen.

Den einzelnen Flächen können außerdem entweder Farben oder Texturen zugeordnet werden, die aus den Originalfotos in das 3-D-Bild mit eingerechnet werden.

Entscheidet man sich für die Texturen, **BILD 12**, gibt es die Möglichkeit

der „Fast Textures“, die einer groben Vorschau gleichkommen und der „Quality Textures“, welche versuchen, die Umgebung relativ genau zu erfassen. Bei den Texturen fällt auf, dass sich an den Stellen an denen die Zielmarken standen, schwarze Linien in den Texturen ergeben. Dies ist eine Folge der Projektion des

Fotos in eine Fläche. Je höher der Aufnahmestandort gewählt wird, desto geringer ist dieser Effekt.

Das 3-D-Modell wurde nun fertig erstellt und kann exportiert werden. Für den Export werden folgende Dateiformate angeboten: 2D und 3D DXF, 3D Studio, VRML 1.0 und 2.0, Wavefront, Raw, IGES, Rhino, STL, Maya Script, Google Earth, Max Script und FilmBoX.

Das Importieren des 3-D-Modells ist in PC Crash beispielsweise über den Button „3-D-Straßenobjekt erstellen“ und anschließendem DXF-Import möglich.

Beim Import in PC Crash wird nur die DXF-Zeichnung übernommen, nicht aber die Texturen. Falls Texturen erwünscht sind, kann hierfür ein

3D Measurement of Accident Scenes

Modern reconstruction and simulation tools such as PC-Crash make it possible to integrate the physical location of an accident in the accident analysis. This makes it even more important to have a three-dimensional measurement of the scene of the accident. For that reason, within the framework of a diploma thesis, engineering consultants Ingenieurbüro Deppe + Nabe have examined possibilities for 3D measurement and for transferring the data to the program PC-Crash.



BILD 13: Importiertes 3-D-Modell in PC-Crash

Google Earth Screenshot oder ein Orthofoto aus PhotoModeler verwendet werden, das beispielsweise als JPG-Datei abgespeichert wird. Anschließend kann diese Datei über das 3-D-Modell in PC Crash gelegt werden, BILD 13. Texturen sollten jedoch nur zur optischen Aufbesserung dienen, Spuren sind daraus nicht zu entnehmen.

FIGURE 13: Imported 3D model in PC-Crash

Der Zeitaufwand zur Erstellung eines derartigen Modells kann mit circa 2h angegeben werden. Im Rahmen der Diplomarbeit wurde auch ein Vergleich eines realen Rollversuches mit einem im 3-D-Modell rekonstruierten Rollversuch durchgeführt. Die Abweichungen lagen hierbei bei nur wenigen Stundenkilometern, sodass festzustellen war, dass die

Simulation im 3-D-Modell zu sehr genauen Rekonstruktionen von Bewegungsabläufen führt.

Teil 2 erscheint in VKU 11/2011.

*** Autoren**

Dipl.-Ing. Markus Holzner ist Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und Spezialist für 3-D-Vermessungen im Ingenieurbüro Deppe und Nabe.

Dipl.-Ing. Michael Nabe ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und Kraftfahrzeugschäden im Ingenieurbüro Deppe und Nabe.

Dipl.-Ing. Wilhelm Deppe ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle im Ingenieurbüro Deppe und Nabe. ::



WISSEN OHNE UMWEGE.

ATZonline ist die Plattform für automobiles Wissen, die Entwicklungen mit Aktualität und Wissen beschleunigt.

- News und Interviews
- Internationales Fachartikelarchiv
- Newsletter
- Karriere-Nachrichten und -Messen
- ATZblog
- Veranstaltungskalender
- ATZlive-Vorträge
- Whitepaper, WebTV und Galerie

Fundiert recherchiert, mit Hintergründen und Insiderinformationen. Suchen Sie nicht länger. Finden Sie Ihren Wissensvorsprung jetzt auf: www.ATZonline.de

3-D-Vermessung von Unfallstellen Teil 2

Von Markus Holzner, Michael Nabe und Wilhelm Deppe*

Moderne Rekonstruktions- und Simulationsprogramme wie zum Beispiel PC-Crash ermöglichen es, das Geländemodell in die Unfallanalyse einzubinden. Eine dreidimensionale Vermessung der Unfallstelle gewinnt somit an Bedeutung. Daher hat das Ingenieurbüro Deppe und Nabe Möglichkeiten zur räumlichen Vermessung und zur Übertragung der Informationen an das Programm PC-Crash im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht. Teil 1 erschien in VKU 10/2011.

3 Laserscanning (Beispiel Faro Focus)

Nachfolgend wird die 3-D-Vermessung und 3-D-Modellerstellung mittels 3-D-Laserscanner gezeigt.

Der zweite Teil des Artikels über 3-D-Vermessung von Unfallstellen und deren Verwendung in der Unfallrekonstruktion widmet sich der Vermessung und 3-D-Modellerstellung mit dem 3-D-Laserscanner Faro Focus 3D. Galten 3-D-Laserscanner in der Unfallrekonstruktion bis vor Kurzem noch als zu teuer, sind die Preise für derartige Geräte in den letzten Monaten stark gefallen.

Das Ingenieurbüro Deppe und Nabe setzt seit Beginn dieses Jahres das 3-D-Laserscanning in der Unfallstellenvermessung ein. Die Vorteile und Einsatzgebiete des 3-D-Laserscannings sollen in diesem Teil des Artikels vorgestellt werden.

Das 3-D-Laserscanning mit dem Faro Focus 3D findet Anwendung in der Unfallstellenaufnahme, forensischen Tatortdokumentation, dreidimensionalen Gebäudedokumentation, Bauüberwachung und beim Denkmalschutz. In kurzer Zeit lässt sich eine präzise 3-D-Dokumentation von Innenräumen und technischen Anla-

gen erstellen. Produkte und Bauteile jeglicher Form und Größe können vermessen und exakte dreidimensionale Flächenmodelle erstellt werden. Gebäude, Baustellen, Straßen und Geländestrukturen können in einem Abstand von bis zu 120m aufgezeichnet werden. Bei der Aufbereitung der Daten können beliebige Schnitte, Ansichten und Orthofotos generiert werden.

3-D-Laserscanner wie der hier verwendete Faro Focus 3D, **BILD 14**, arbeiten mit dem sogenannten Phasendifferenz-Verfahren. Der Focus 3D schickt einen Infrarot-Laserstrahl in das Zentrum eines sich rotierenden Spiegels. Dieser wird von dort aus in den Raum reflektiert und gestreutes Licht wird von den umgebenden Objekten zurück in den Scanner reflektiert. Die Amplitude des ausgesandten Laserstrahls wird mit mehreren sinusförmigen Wellen unterschiedlicher Wellenlänge moduliert. Über die Zeitdifferenz zwischen gesendetem und empfangenem Signal lässt sich bei gleichzeitiger Betrachtung der Phasenlage die Entfernung zum Objekt bestimmen. Die XYZ-Koordinate jedes einzelnen Punktes wird dann zusammen mit der Spiegelrotation und der Rotation des Scanners um die eigene Achse bestimmt, die mit Hilfe von Winkelencodern gemessen werden.

Die entstehende Punktwolke wird auf der integrierten SD-Karte gespeichert und kann so in die Bearbeitungssoftware Faro Scene übertragen werden. Der Distanzmessfehler wird vom Hersteller mit unter +/- 2 mm bei 25 m Entfernung angegeben. Gemessen werden kann je nach Qualitätseinstellung bis zu einer Entfernung von 120m. Für einen Scan in



BILD 14: Faro Focus 3-D-Laserscanner

FIGURE 14: Faro Focus 3D laser scanner



BILD 15: Touchscreen des FARO Focus 3D

FIGURE 15: Touchscreen of the FARO Focus 3D

mittlerer Auflösung benötigt der Faro Focus 3D etwa 9 min.

Die Haupteigenschaften des Laserscanners sind: Hypermodulation zur Reduktion des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses, hohe Genauigkeit, hohe Auflösung, hohe Geschwindigkeit und intuitive Bedienung über den eingebauten berührungsempfindlichen Touchscreen-Bildschirm. Aufgrund des geringen Gewichtes kann das batteriebetriebene Gerät leicht an Unfallstellen aufgebaut und neu positioniert werden.

Schwierigkeiten haben Laserscanner im Allgemeinen bei Regen, da dort der Lichtstrahl von den Regentropfen reflektiert wird. In der Praxis wurden bereits Scans bei Regen und leichtem Schneefall durchgeführt. Hierbei ergaben sich bei der Auswertung keine Einschränkungen. Sonstige Beeinträchtigungen aufgrund von Lichtverhältnissen unterliegt der Laserscanner nicht, anders als bei der Fotogrammetrie, bei der Gegenlicht- oder Nachtaufnahmen durchaus problematisch sein können.

Die Auswertung der einzelnen Scans erfolgt in der Herstellersoftware Faro Scene. Zur Zusammenfügung der einzelnen Scans zu einem Gesamtscan benötigt das Programm Referenzpunkte. Dafür werden weiße Kugeln im Scanbereich positioniert. Sie haben einen Durchmesser von



BILD 16: 3-D-Punktwolke in Farbe, erzeugt aus zwei Scanpositionen

FIGURE 16: Multi-coloured 3D point cloud generated from two scanning positions



BILD 17: 3-D-Farbscan

FIGURE 17: 3D colour scan

20 cm und sind mit Magneten zur besseren Anbringung an metallischen Objekten versehen. Auf jedem Scan sollten mindestens drei Kugeln abgebildet sein, um eine räumliche Zuordnung in der Auswertesoftware zu gewährleisten.

Das Ergebnis jedes einzelnen Scans kann sofort am Touchscreen, BILD 15, des Laserscanners kontrolliert werden. Über eine integrierte Kamera können nach Abschluss des Scans Farbfotos über den rotierenden Spiegel gemacht werden. Die Farbinformationen aus den Fotos können den Punkten der Punktwolke zugeordnet werden, sodass eine farbige fotorealistische Abbildung der Vermessungsstelle entsteht, BILD 16.

Der wesentliche Vorteil des 3-D-Laserscanners ist, dass zunächst das ge-

samte Umfeld sehr detailgenau erfasst und vermessen wird. Der Anwender muss sich hierbei vorerst keine Gedanken über die spätere Relevanz von Details an der Unfallstelle machen, da sämtliche Details erfasst werden. Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn der Scanner alle 25 m neu aufgestellt wird, um einen zusätzlichen Scan durchzuführen.

Das Zuordnen (Referenzieren) der einzelnen Zielmarken (hier: weiße Kugeln) erfolgt in der Software über den Button „finde Kugeln“, sodass die Software das Zusammenfügen der einzelnen Scans im Idealfall vollautomatisch durchführt. Sollten Kugeln beim Scannen verdeckt worden sein, oder die Auflösung einer zu weit entfernten Kugel zu gering sein, um diese als Kugel automatisch zu erken-



BILD 18: Foto einer Bremsspur
FIGURE 18: Photo of a skid mark

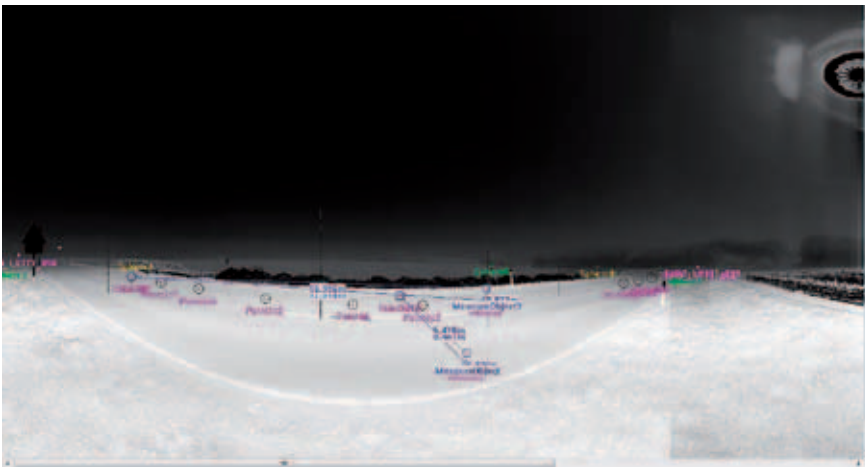


BILD 19: Flächenhafte Ansicht mit Kennzeichnung von Messpunkten und Spuren
FIGURE 19: Surface view with marking of measuring points and skid marks

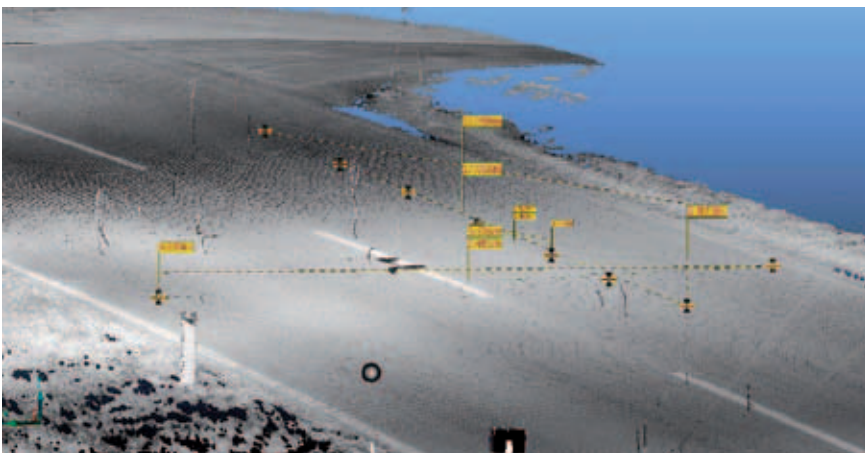


BILD 20: 3-D-Ansicht der Vermessung
FIGURE 20: 3D view of the measurement

nen, können markante Flächen, die auf mehreren Scans abgebildet sind (zum Beispiel Hausmauern), als Hilfsflächen definiert werden. Der im Scanner integrierte Neigungssensor erkennt eine Schrägstellung des Scanners automatisch und korrigiert diese.

In **BILD 17** ist eine „flächenhafte Ansicht“ eines Scans in der Programmoberfläche der Software Faro Scene gezeigt.

In **Bild 17** sind die beiden Standpunkte des Laserscanners pink eingezeichnet. Kugeln und Hilfsebenen sind grün eingezeichnet.

Eine Vermessung, beispielsweise einer Bremsspur, kann direkt in der Software Faro Scene erfolgen. In den **BILDERN 18, 19** und **20** ist dies dargestellt.

Um aus der erzeugten Punktwolke ein 3-D-Modell zur Verwendung in der Simulationssoftware PC Crash zu erzeugen, ist es notwendig, Störpunkte zu entfernen. Dies kann direkt in der Software Faro Scene erfolgen oder aber auch in CAD Software wie beispielsweise Catia oder AutoCAD. Als weitere Programme, die sich der Bearbeitung von Punktwolken und deren Weiterverwendung widmen, seien die Programme Pointtools oder PointCloud genannt, mit denen virtuelle Rundflüge durch 3-D-Punktwolken und Zeichnungsableitungen ermöglicht werden.

Da sich in PC Crash Fahrzeuge nur über triangulierte Flächen bewegen lassen, müssen Objekte wie Bäume oder Straßenlaternen aus der Punktwolke entfernt werden. **BILD 21** zeigt die Punktwolke mit sämtlichen Störgrößen, die zur Flächenerzeugung in PC Crash entfernt werden müssen.

In der 180°-2-D-Ansicht eines Schwarz/Weiß-Scans in Faro Scene sind vertikale schwarze Striche, **BILD 22**, auf der Fahrbahn zu erkennen. Hierbei handelt es sich um vorbeifahrende Fahrzeuge, die während des Scanvorgangs erfasst wurden. Diese können nachträglich entfernt werden.

Sind alle Störgrößen aus der Punktwolke entfernt, ist die Punktzahl

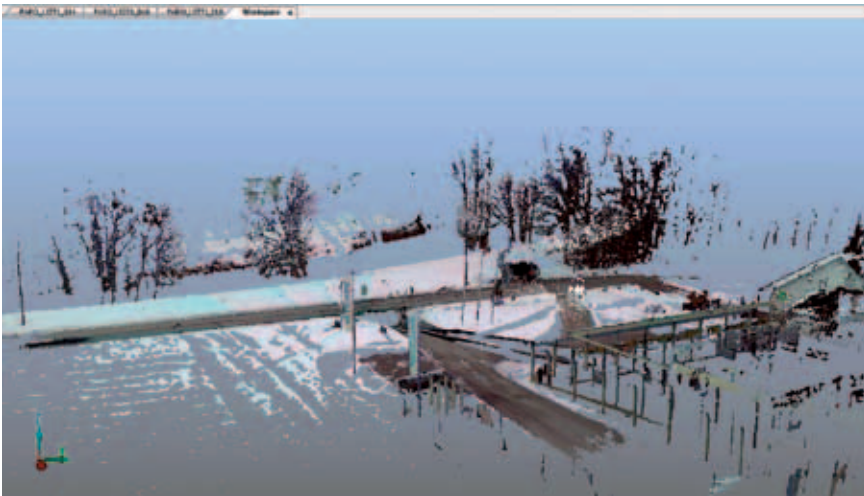


BILD 21: 3-D-Ansicht der farbigen Punktwolke mit Störgrößen wie beispielsweise Bäumen und Sträuchern

FIGURE 21: 3D view of the multi-coloured point cloud with disturbance factors such as trees and bushes

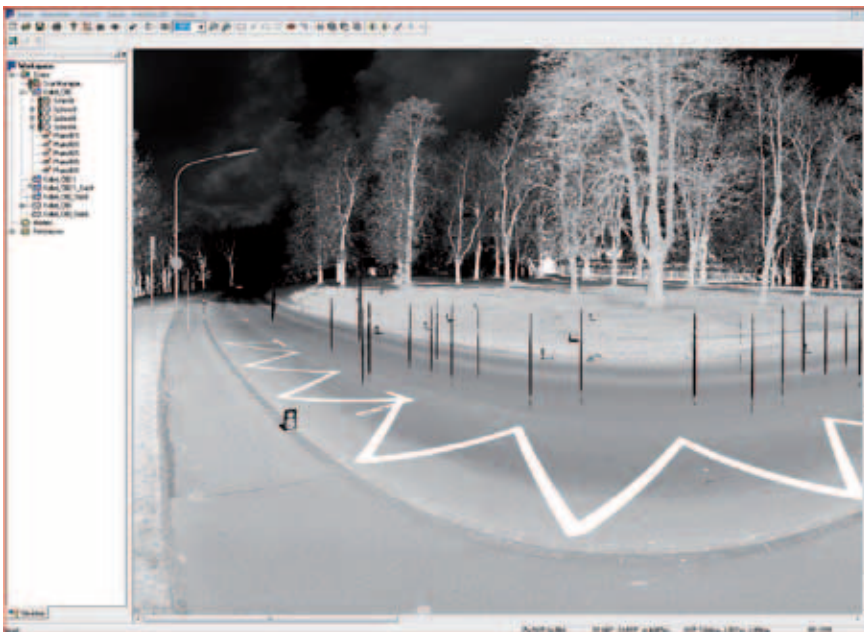


BILD 22: 180°-2-D-Bild eines Scans

FIGURE 22: 180° 2D image of a scan

3D Measurement of Accident Scenes

Modern reconstruction and simulation tools such as PC-Crash make it possible to integrate the physical location of an accident in the accident analysis. This makes it even more important to have a three-dimensional measurement of the scene of the accident. For that reason, within the framework of a diploma thesis, engineering consultants Ingenieurbüro Deppe + Nabe have examined possibilities for 3D measurement and for transferring the data to the program PC-Crash.

zur Weiterverwendung in PC Crash in der Regel noch zu groß, sodass ein „Ausdünnen“ der Punktwolke zu erfolgen hat. Dies ist ebenfalls in der Software Faro Scene möglich. Je stärker hierbei eine Reduktion der Punkte vorgenommen wird, desto mehr Details beispielsweise zur Bodenbeschaffenheit gehen verloren. **BILD 23** zeigt ein importiertes Maschennetz in PC Crash. Die Punktzahl ist für eine anwendungsorientierte Programmbedienung hierbei noch viel zu groß, sodass das Netz weiter ausgedünnt werden muss.

Ist die Punktwolke in ihrer Größe so weit reduziert, dass sie in PC Crash geladen werden kann, ist eine Dreiecksvermaschung (Triangulation) dort möglich.

Aus der Software Faro Scene lässt sich ein Screenshot einer Draufsicht entnehmen und in PC Crash einbinden. **BILD 24** zeigt die Draufsicht einer Punktwolke, erzeugt aus drei Laserscans mit einem Scanabstand von circa 25 m in mittlerer Auflösung.

Kombiniert man nun die ausgedünnte Punktwolke mit dem Luftbild aus Faro Scene, lässt sich eine 3-D-Simulation in PC Crash durchführen, **BILD 25**.

4 Zusammenfassung

Die 3-D-Vermessung von Unfallstellen bietet zahlreiche Vorteile gegenüber einer 2-D-Auswertung in puncto Genauigkeit und Information, insbesondere dann, wenn die Höhenkomponente bei der Unfallrekonstruktion eine Rolle spielt. Dies ist bei Böschungen, Gräben, Hügeln und räumlich gekrümmten Fahrbahnverläufen der Fall. Sowohl Scanning als auch die Fotogrammetrie gewährleisten eine detaillierte räumliche Vermessung, wobei auch Merkmale erfasst werden, deren Wichtigkeit vor Ort noch nicht erkennbar ist. Dies war bei der Untersuchung ein wichtiges Kriterium, weshalb andere Methoden, bei denen nur Einzelpunkte erfasst werden (Tachymeter, GPS-Systeme) vorliegend nicht berücksichtigt wurden.

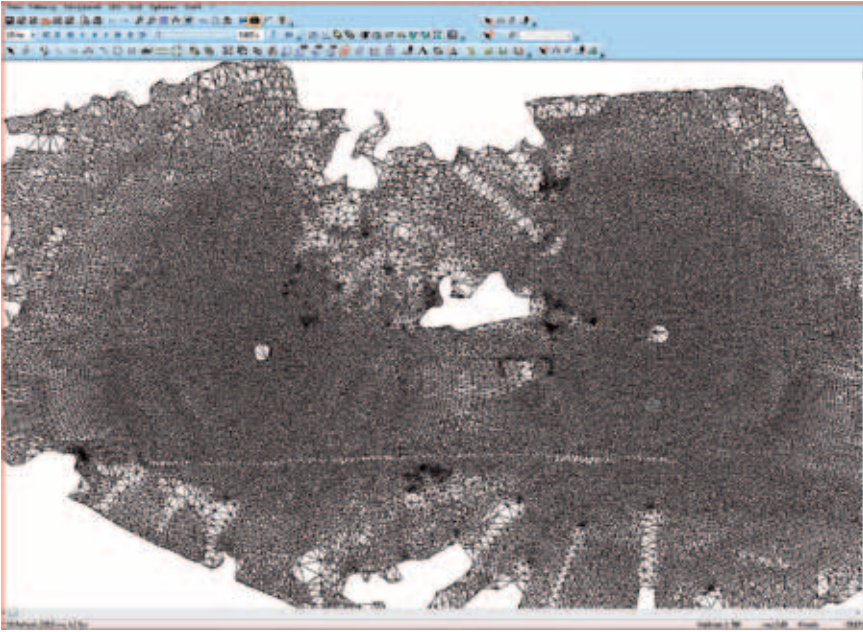


BILD 23: 3-D-Maschennetz in PC-Crash mit mehreren Mio. Punkten
FIGURE 23: 3D mesh network in PC-Crash with several millions of points



BILD 24: Draufsicht auf eine 3-D-Farbpunktcloud mit drei Standpunkten des Laserscanners
FIGURE 24: Plan view of a 3D multi-coloured point cloud with three locations of the laser scanner



BILD 25: Überlagerung des Luftbilds aus Faro Scene mit der ausgedünnten, triangulierten Punktcloud in PC Crash
FIGURE 25: Superimposition of the aerial image from Faro Scene with the thinned-out, triangulated point cloud in PC Crash

Eine kostengünstige Möglichkeit wurde in Teil 1 mithilfe der Software PhotoModeler gezeigt (Preis circa 1200 Euro ohne Zielmarken). Eine kostenintensivere, aber genauere Vermessung ist mit einem 3-D-Laserscanner möglich (Preis circa 50.000 Euro).

Beide Vermessungssysteme bieten die Möglichkeit der Aufbereitung der Daten zur Weiterverwendung in der Simulationssoftware PC Crash, sodass die gewonnenen 3-D-Daten in der Simulation verwendet werden können. In der Praxis hat sich gezeigt, dass das 3-D-Laserscanning mit dem Faro Focus 3D auch bei leichtem Regen und Schneefall möglich ist. Es kam hierbei zu keinerlei Einschränkungen bei der Auswertung. 3-D-Laserscanning in der Unfallstellenaufnahme erleichtert die spätere Rekonstruktion des Unfallhergangs, da eine detaillierte und vollständige Vermessung, einschließlich der räumlichen Informationen, in kurzer Zeit und bei hoher Genauigkeit möglich ist.

Danksagung

Dieser Aufsatz basiert auf der Diplomarbeit von Dipl.-Ing. Markus Holzner, die er an der Hochschule München, Fakultät Fahrzeugtechnik, durchführte. Die Arbeit wurde durch Prof. Dr. Hans Bäumlert betreut und im Rahmen der 62. MAS-Tagung vorgestellt.

*** Autoren**

Dipl.-Ing. Markus Holzner ist Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und Spezialist für 3-D-Vermessungen im Ingenieurbüro Deppe und Nabe.

Dipl.-Ing. Michael Nabe ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und Kraftfahrzeugschäden im Ingenieurbüro Deppe und Nabe.

Dipl.-Ing. Wilhelm Deppe ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle im Ingenieurbüro Deppe und Nabe.