



30 40 50

# *V-STARS Praxis-Report*

*Anwendung des Videogrammetriesystems  
Leica V-STARS/E im Waggonbau*

*Leica*

MADE TO MEASURE

# Anwendung des Videogrammetriesystems Leica V-STARS/E im Waggonbau

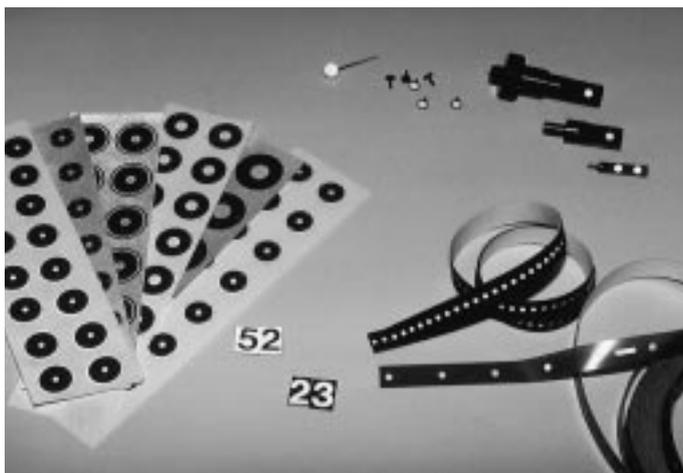


Bild 1: Systemkomponenten Videogrammetrie

## 1. Einleitung

Die Anforderungen an Vermessungsgenauigkeit und Vermessungsumfang sind im Schienenfahrzeugbau erheblich gestiegen. Begründet ist dies unter anderem in der Tatsache, dass heutige moderne Schienenfahrzeuge durchaus zu High-Tech-Erzeugnissen zählen. Es ist dabei nicht nur die Endvermessung der Fahrzeuge nach z. B. DIN 25043 zu beachten. Vielmehr verlangen der Kompliziertheitsgrad des Innenausbau oder anzubringender Ausrüstungen, modulare Bauweisen, arbeitsteilige Fertigung wie auch gestiegene Kundenforderungen eine weitaus höhere Fertigungs- und Messgenauigkeit als bisher in diesem Bereich üblich gewesen ist. Mit der herkömmlichen Art der Fahrzeugvermessung sind die Anforderungen nicht mehr befriedigend erfüllbar. Ein notwendiger Qualitäts- und Rationalisierungssprung in der geometrischen Fahrzeugbaugruppen- wie auch Wagenkastenvermessung ist unumgänglich geworden.

Der erfolgreiche Einsatz einer der derzeit modernsten Vermessungstechnologien, der Videogrammetrie, in Verbindung mit dem Videogrammetriesystem Leica V-STARS/E soll nachfolgend an zwei industriellen Anwendungsfällen geschildert werden. Die Verschiedenartigkeit der Messaufgaben und der zu bewältigenden Messvolumina in diesen Beispielen zeigt die Vielseitigkeit der Videogrammetrie auf.

## 2. Funktionsbeschreibung der Videogrammetrie

Die Wurzeln der Videogrammetrie liegen in der klassischen Photogrammetrie, die sich durch eine hohe Messgenauigkeit bei jedoch umständlicher Handhabung und Bildauswertung auszeichnete. Durch die Entwicklung leistungsfähiger digitaler Kameras mit entsprechender komfortabler Bildauswertungssoftware konnte dieses Messprinzip für den allgemeinen Gebrauch wesentlich leichter eingesetzt werden.

Zur Grundausstattung eines Videogrammetriesystems, wie es vom System Leica V-STARS/E in moderner Weise repräsentiert wird (Bild 1), gehören im wesentlichen drei Komponenten:

- hochauflösende digitale Messkamera
- Computer mit implementierter Bildverarbeitungs- und Auswertesoftware
- Messmarken/Messadapter.

Zur Durchführung einer videogrammetrischen Messung erfolgt zunächst eine Kennzeichnung der diskreten Messpunkte des allgemein räumlichen Messobjektes mit retroreflektierenden Messmarken. Mittels der digitalen Messkamera werden aus verschiedenen Sichtwinkeln analog zu einem fotografischen Netz zweidimensionale Bilder des Messobjektes erstellt. Bei der Nutzung einer mobilen Messkamera und getrenntem Computer mit der Bildverarbeitungssoftware wird dabei von einem sog. Offlinesystem gesprochen. Die Handhabung der Kamera entspricht der einer üblichen Spiegelreflexkamera.

Offlinesysteme verbinden geringen gerätetechnischen Aufwand mit einer hohen Flexibilität und sind besonders für grossvolumige Messobjekte sowie Gelegenheitsmessungen geeignet.

net. Durch die mögliche Verknüpfung der digitalen Aufnahmen eröffnet sich ein theoretisch unbegrenztes 3D-Messvolumen.

Im Gegensatz dazu kennt man die Onlinesysteme, die häufig in Verbindung mit kleineren Messplätzen fest installiert sind und eine unmittelbare Auswertung der Aufnahmen gestatten.

Die off-line aufgenommenen Bilder werden in der Kamera auf PCMCIA-Speicherplatten zwischengespeichert und später im Computer ausgewertet. Die zweidimensionalen Bildpunktmessungen werden dabei mittels geodätischer Berechnungsmethoden derart verknüpft, dass im Ergebnis dreidimensionale Objektkoordinaten zur Verfügung stehen. Somit können letztlich dreidimensional Lage, Form, Grösse und ggf. Verschiebung der Messpunkte bzw. des Messobjektes ermittelt werden. Unter bestimmten Voraussetzungen kann diese Auswertung vollautomatisch ablaufen. Zusätzlich lässt sich über spezielle codierte Messmarken eine Selbstorientierung des Systems im Messraum erreichen. Die Software zum System Leica V-STARS bietet diese Optionen.

Die messtechnische Erfassung und die Dokumentation des gesamten Messobjektes geschieht simultan zum Zeitpunkt der Belichtung. Das Messobjekt braucht daher nur für diesen kurzen Zeitraum zur Verfügung zu stehen. Dies hat für den praktischen Industrieinsatz grosse Bedeutung.

Die Genauigkeit moderner Videogrammetriesysteme liegt bei sorgfältiger Arbeitsweise bei ca. 1 : 100 000 und übertrifft damit konventionelle Messmethoden bei weitem. Durch die mögliche automatische Bildauswertung werden dabei subjektive Faktoren minimiert.

Eine sinnbildliche Vermessungskonstellation ist im Bild 2 aufgezeigt.

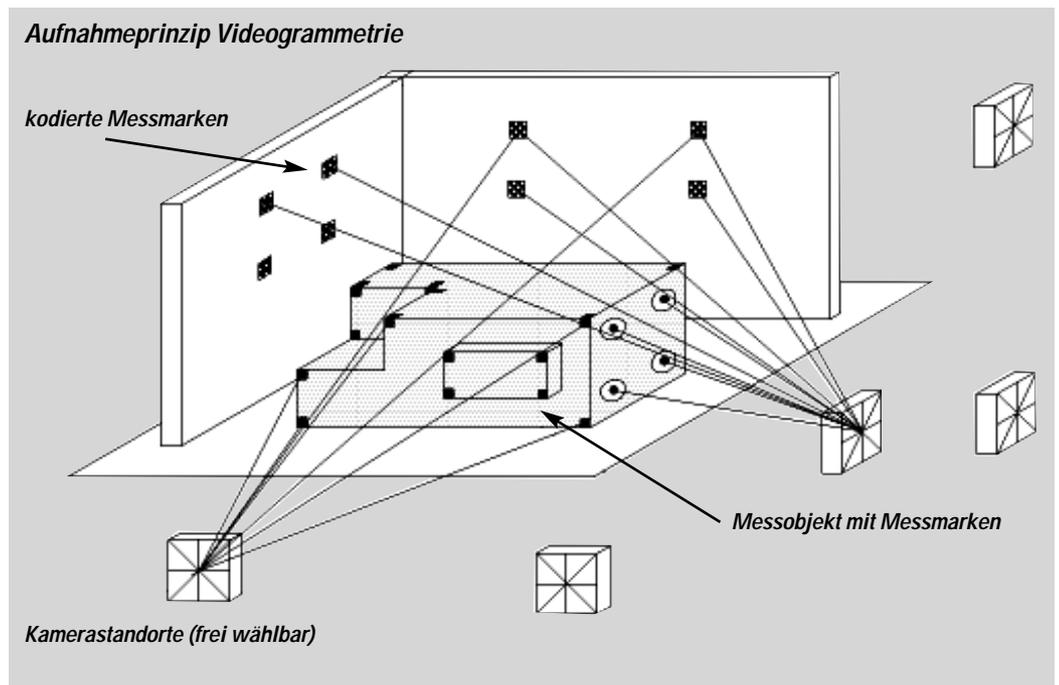


Bild 2: Vermessungskonstellation

Mit Recht spricht man bei der Videogrammetrie von einer mobilen 3D-Messmaschine. Die digitale Verarbeitung der Daten erlaubt zudem eine durchgängige CAD-Lösung auch für weitergehende Arbeiten.

### 3. Anwendungsbeispiel 1: Konturvermessung von Türen und Türausschnitten am Wagenkasten

Neue Fahrzeuggenerationen insbesondere von Hochgeschwindigkeits- und Neigetechnik-Zügen besitzen häufig stark konturierte Seitenwände. Aus Gründen der Sicherheit, der Aerodynamik, der Optik und nicht zuletzt der Druckdichtigkeit gehören dabei die Türbereiche zu den sensiblen Zonen der Aussenkontur.

Innerhalb eines komplexen Messprogrammes galt es nachzuweisen, dass diese kritischen Türzonen geometrisch den Anforderungen genügen. Die anspruchsvolle Aufgabenstellung sah vor, in einem möglichst dichten Messpunktraster die XYZ-Koordinaten folgender Bereiche bzw. Baugruppen zu erfassen:

- Einstiegsbereich am Wagenkasten
- Türrahmen
- Türbohrschablone

- Türblatt im Anlieferungszustand, im eingebauten geöffneten und geschlossenen Zustand.

Von Interesse waren dabei die Geometrie allgemein (Abmessungen, ggf. Flügligkeit u. a.), die Übereinstimmung der Konturen, die absolute Lage der Baugruppen bzw. Bereiche zueinander sowie die Formstabilität der Türen beim Schliessvorgang.

Um die Vielzahl der XYZ-Messwerte der einzelnen Messabschnitte überhaupt miteinander vergleichen zu können, mussten alle Werte auf ein einziges Koordinatensystem bezogen werden.

Diese Messaufgabe war in ihrer Komplexität und in ihrem Umfang nur mittels Videogrammetrie optimal lösbar, da es galt, an unterschiedlichen Fahrzeugtypen verschiedene Türbereiche zu analysieren. Zum Einsatz kam dabei ein Videogrammetriesystem Leica V-STARS/E.

Die Konturen aller Bereiche bzw. Baugruppen wurden mittels aufgeklebten Messpunktbandern gekennzeichnet, so dass in den verschiedensten Montagezuständen ein steter reproduzierbarer Bezug auf

die identischen Messpunkte vorgenommen werden konnte. Der Messpunkt-abstand betrug 50 mm. Die Aussenkontur des Einstiegsbereiches wurde beispielsweise mit jeweils beidseitig 48 Messpunkten vertikal und 17 Messpunkten horizontal gekennzeichnet (Bild 3). Im Bildverband integrierte codierte Messmarken ermöglichten eine effiziente Auswertung der Aufnahmen, so dass innerhalb einer Messreihe mehrere Wagen und Baugruppen in den unterschiedlichen Zuständen erfasst werden konnten.

Pro Türbereich waren ca. 50–70 Aufnahmen erforderlich, um alle Messpunkte mit der hohen Messsicherheit von durchschnittlich  $\pm 0,2$  mm zu erfassen.

Die Videogrammetrie bildete praktisch die Voraussetzung, um diese umfangreiche messtechnische Aufgabe effektiv zu lösen. Die erhaltenen 3D-Koordinaten aller Einzelpunkte gestatteten über entsprechende Berechnungsalgorithmen eine ausführliche Analyse der Messobjekte zur vollen Zufriedenheit der Auftraggeber.

#### 4. Anwendungsbeispiel 2: Komplettvermessung eines Wagenkastenrohbaus

##### 4.1. Vermessungssituation

Im vorliegenden Beispiel war bei einem grossen Schienenfahrzeughersteller die komplexe Vermessung eines Wagenkastenrohbaus gefordert. Unter komplexer Vermessung ist in diesem Fall zu verstehen, dass neben den üblichen Längen-, Breiten- und Höhenabmessungen des Wagenkastens (Langträger, Untergestell, Dach) folgende Daten zu ermitteln waren:

- das Profil an 10 Querschnitten des Rohbaus,
- die Abmessungen und Lagen der Türausschnitte,
- die sog. Wagenkasten-vorsprengung und
- z. T. die Geometriedaten des Frontends.

Es ergaben sich je nach Anforderung über den ganzen Rohbau verteilt zwischen 170 bis 240 diskrete Messstellen. Eine prinzipielle Darstellung der Lage ausgewählter Messstellen ist in Bild 4 wiedergegeben.

Aus messtechnischer Sicht kam erschwerend hinzu, dass die gesamte Vermessung sich unmittelbar in den Produktionszyklus zu integrieren hatte, d. h. innerhalb des Montagestandes und dass sie nicht wie üblich auf einem gesonderten Messstand stattfinden konnte. Damit sollte eine sehr kurze Produktionsunterbrechung erreicht werden. Abstriche an die Vermessungsgenauigkeit wurden nicht zugelassen.

Der Montagestand selbst zeichnete sich durch eine übliche zweistöckige, mit einer Vielzahl Säulen versehene, sehr massive Bauweise aus, zusätzlich bestückt mit diversen Klemm- und Stützvorrichtungen sowie Schweiss-ausrüstungen. Damit war das eigentliche zu vermessende Objekt, der innenliegende Wagenkastenrohbau, weitestgehend optisch «verbaut».

Die Abmessungen des Wagenkastens betragen ca. 21 m (Länge) x 3 m

(Breite) x 4 m (Höhe), das messtechnisch zu berücksichtigende Volumen des Montagestandes ca. 30 m x 8 m x 5 m mit jeweils ca. 3 m Abstand zu den Nachbarständen. Die grundsätzliche geometrische Situation ist in Bild 5 dargestellt.

##### 4.2 Auswahl des Messverfahrens

Eine umfassende Variantenbetrachtung zeigte, dass alle bislang angewendeten oder bekannten Vermessungsmethoden wie mittels Schnurgerüst, mechanischen Lehren, Theodoliten oder Totalstationen (Tachymeter) bis hin zu den unterschiedlichen Lasersystemen unter Berücksichtigung der vorab geschilderten geometrischen, räumlichen und vermessungsseitigen Situation im vorliegenden Fall nur partiell nutzbar gewesen wären und dies auch nur in Verbindung mit einem sehr hohen geräte-technischen, personellen und zeitlichen Aufwand.

Als Lösung bot sich daher die derzeit modernste Messtechnologie, die Videogrammetrie, an. Diese Messtechnologie wurde auch nach ausführlichem Abwägen ausgewählt und für den konkreten Anwendungsfall eingesetzt.

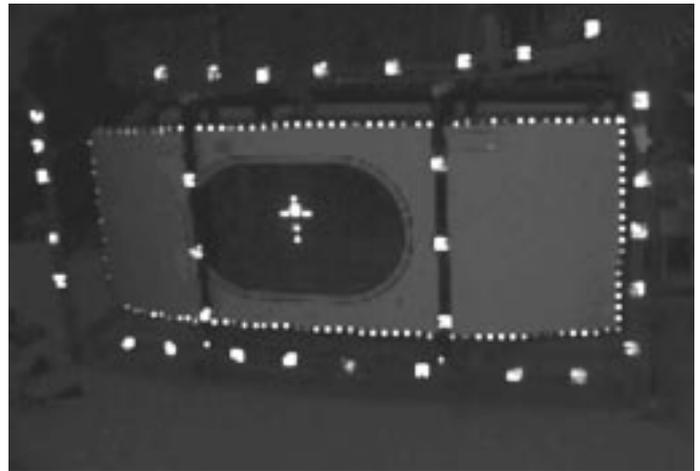


Bild 3: Messbild Türvermessung

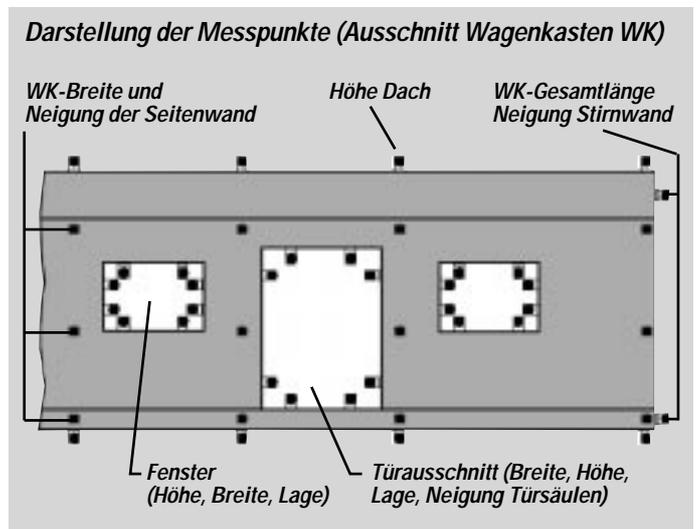


Bild 4: Darstellung der Lage ausgewählter Messstellen

##### Messkonstellation: Wagenkasten im Aufbaustand

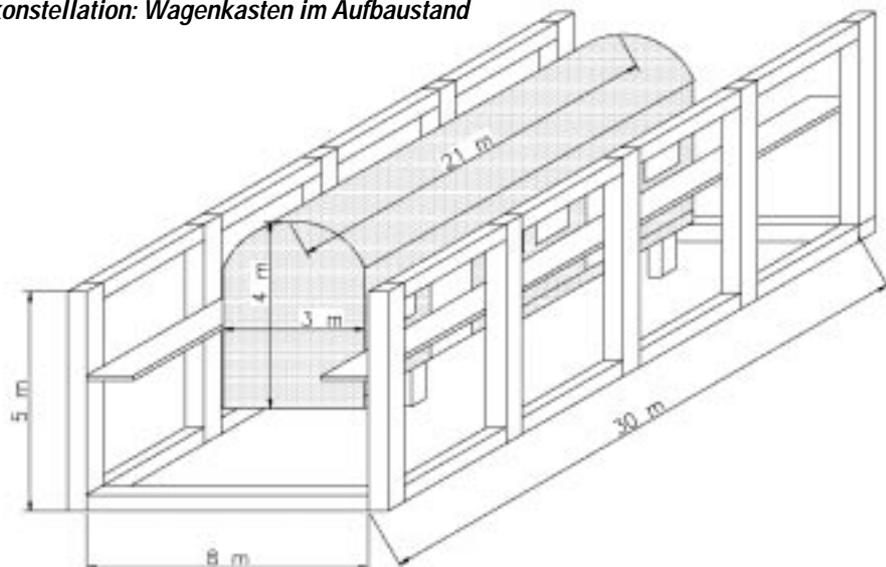


Bild 5: Prinzipdarstellung der Vermessungssituation im Montagestand

### 4.3 Installation des Videogrammetriesystems Leica V-STARs/E und Messablauf

Vom Prinzip her werden bei der videogrammetrischen Vermessung zuerst die interessierenden Messstellen am Wagenkasten mit retroreflektierenden Messmarken gekennzeichnet. Parallel dazu existiert am Aufbauzustand und am Wagenkasten ein installiertes System von speziellen, codierten Messmarken, das der Bildorientierung dient. Messkreuze, sogenannte Autobars, mit geometrisch definierten Messmarken dienen zur Bestimmung des Massstabs und zur simultanen Kalibrierung der Kamera. Beides wird mit der hochauflösenden digitalen Messkamera nach einer festgelegten Messstrategie aus verschiedenen Sichtwinkeln fotografiert, um eine optimale optische Schnittgeometrie zu gewährleisten (Bild 6). Die erhaltenen digitalen Bilddateien werden mittels des dazugehörigen Bildverarbeitungsprogrammes in einem PC-Notebook sofort vor Ort ausgewertet (Bild 7).

Die geschilderte Vorgehensweise klingt einleuchtend. Die Hauptschwierigkeit der Umsetzung bestand jedoch darin, trotz des optisch «verbauten» Wagenkastens bei der Vielzahl und Vielfalt der zu erfassenden Messpunkte zu einem durchgängigen Bildverband zu gelangen. Die räumlich getrennten Abschnitte mussten zusammensetzbar und automatisch auswertbar sein. Hinzu kam, dass die Messtechnologie auch unter extremer Zeitbeschränkung einwandfrei zu funktionieren hatte. Darum mussten mehrere Vermessungsstrategien erprobt werden.



Bild 6: Aufnahme der Bilder

Die zum Videogrammetriesystem Leica V-STARs/E gehörende Bildverarbeitungssoftware liefert als Ergebnis die 3D-Koordinaten aller erfassten diskreten Messpunkte. Für den Vermesser des Schienenfahrzeuges sind jedoch fahrzeugspezifische Abstände, Längen, Breiten wie auch die relativen Lagen solcher Partien wie Türausschnitte und Frontends zum Wagenkasten von Interesse. Deshalb wurde die systemeigene Bildverarbeitungssoftware im vorliegenden Fall durch eine spezielle, vom Ingenieurbüro Dr. Lauck & Partner erstellte Auswertesoftware ergänzt, die basierend auf den vorliegenden 3D-Koordinaten sofort eine automatische Berechnung der interessierenden Dimensionen mit entsprechendem Messblattausdruck ermöglicht. Damit ist eine durchgängige computergestützte Vermessung von der digitalen Bildaufnahme bis zum Ausdruck des fertigen Messblattes realisiert worden.

Der gesamte Algorithmus des Ablaufes der Vermessung ist im Bild 8 nochmals schematisch dargestellt.

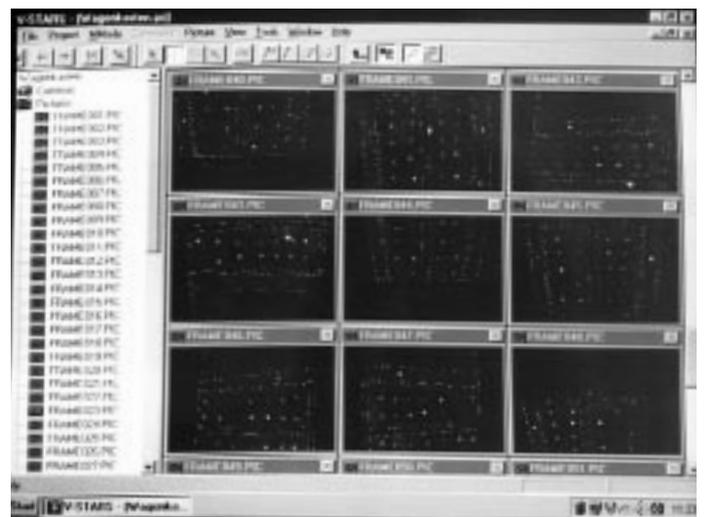
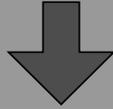


Bild 7: Auswertebildschirm der Software V-Stars

# MESSABLAUF

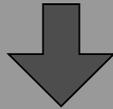
1.

*Wagenkasten mit Messmarken bestücken*



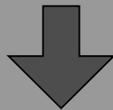
2.

*Aufnahmen in festgelegter Reihenfolge  
(Speicherung auf PCMCIA-Karten)*



3.

*Auswertung der Bilder mittels V-STARS*  
● *Einlesen der Daten*  
● *Berechnung der Messpunktkoordinaten*  
● *Transformation in das Objektkoordinatensystem*



4.

*Zusatzprogramm*

---

● *Analyse der Wagenkastengeometrie*  
● *Berechnung der Dimension laut Messblatt*  
● *Ausdruck der Messblätter*

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die insgesamt bei diesen Projekten erzielten Ergebnisse und insbesondere die erreichten Rationalisierungseffekte lassen den Qualitätssprung in der Vermessungstechnologie an Schienenfahrzeugen durch Einsatz der Videogrammetrie erkennen:

- Umsetzung komplexer Messaufgaben mit nur einem Messsystem
- keine Notwendigkeit umfangreicher produktspezifischer und stationärer Messmittel
- kostengünstiger als mehrere «klassische» Systeme
- hoher Rationalisierungseffekt insbesondere bei komplexer Rohbauvermessung
- Messgenauigkeit insgesamt höher als unter Nutzung bisheriger Verfahren
- komfortable Aufbereitung der Messdaten bis hin zur automatischen Erstellung der Messblätter möglich
- durchgängige CAD-Lösung für Konstruktion, Fertigung und Qualitätssicherung
- universelle Verfügbarkeit eines mobilen 3D-Messsystems auch für andere Aufgaben und Bereiche.

Insbesondere das geschilderte Projekt der Vermessung eines gesamten Wagenkastens mittels Videogrammetrie stellt in seiner Art und seinem Umfang eine völlig neue Dimension und Lösungs-

möglichkeit für den Schienenfahrzeugbau dar. Es hat eindeutig gezeigt, dass High-Tech-Technologien des Luft- und Raumfahrtsektors bei entsprechender Aufbereitung auch oder gerade im Schienenfahrzeugbau erfolgreich und hocheffektiv einsetzbar sind.

Bei der Bearbeitung zeigte sich, dass der eigentliche Arbeitsschwerpunkt nicht durch die Systembereitstellung gebildet wird, sondern in der aufgabenbezogenen Implementierung des Systems und der Erstellung einer geeigneten Messstrategie liegt.

Bei fachgerechter Aufbereitung der Vermessungsaufgabe ist mit dem Videogrammetriesystem Leica V-STARS/E inkl. der Systemsoftware ein problemfreies Arbeiten möglich. Die gestellten Erwartungen wurden in beiden Anwendungsfällen voll erfüllt.

Bei allen hier geschilderten Vorzügen soll und kann die Videogrammetrie nicht das herkömmliche Messband oder die bereits umfangreich eingeführten Tachymetersysteme ersetzen. Sie ist als ergänzende, die bekannten Messtechnologien nach oben hin abrundende Messmethode anzusehen. Die Vorteile der Videogrammetrie lassen dabei ein breites Einsatzspektrum erwarten.

Bild 8: Algorithmus des Messablaufes

# Leica

Leica Geosystems AG  
Mönchmattweg 5  
CH-5035 Unterentfelden  
(Schweiz)

Telefon +41 62 737 67 67

Telefax +41 62 737 68 34

[www.leica.com](http://www.leica.com)