

# **Anwendungspotentiale von scannenden Meßverfahren**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Niemeier und Dipl.-Ing. Fredie Kern  
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie  
Technische Universität Braunschweig  
Gaußstraße 22  
38106 Braunschweig

Niemeier, W., Kern, F.: Anwendungspotentiale von scannenden Meßverfahren. in:  
Weferling, U., Heine, K., Wulf, U. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech;  
Interdisziplinäres Kolloquium vom 23.-26. Februar 2000 in Cottbus, Verlag Philipp  
von Zabern, Mainz am Rhein, 2001, S.: 134-140 u. Anhang VII

*12.11.01, Scannende Verfahren*

# Anwendungspotentiale von scannenden Meßverfahren

Wolfgang Niemeier und Fredie Kern  
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie  
Technische Universität Braunschweig

## Zusammenfassung

In vielen Bereichen der Technik hat die moderne Lasermeßtechnik Einzug gehalten und ist im Alltag z.B. in Geräten der Unterhaltungs-, Kommunikations- und Medizintechnik wiederzufinden.

Auch die geodätische Meßtechnik profitiert von den relativ preiswerten Halbleiterlasern und ihren hervorragenden technischen Eigenschaften. Sie ermöglichten in den 1990er Jahren die Entwicklung von Laserscannern. Die Laserscansysteme erlauben es, Bauwerke automatisch in allen drei Dimensionen geometrisch exakt zu vermessen. Als Meßergebnis erhält man für ein dichtes Punktraster 3D-Koordinaten, die das Meßobjekt in seiner Gesamtheit flächenhaft beschreiben.

Die Funktionsweise weicht deutlich von der konventioneller Meßmethoden ab, die überwiegend auf diskreten Punkten basieren. Es ist daher erforderlich, das Wesen des Scannens zu ergründen und eine neue flächenorientierte Methodik zu entwerfen. Ebenso müssen Fragen zur Modellierung geometrischer Strukturen diskutiert werden.

Das Scannen liefert eine außerordentlich große Informationsmenge und -dichte, die besondere Strategien zur Ableitung der optimalen Raumgeometrie notwendig machen. Hier werden die Möglichkeiten und Chancen für den Einsatz in der Bauaufnahme und weiteren Anwendungsfeldern werden erörtert.

## 1. Funktionsweise eines Laserscanners

Der Begriff Scanner wird heutzutage in vielen Fachgebieten für unterschiedliche Gerätschaften und Verfahren verwendet, wobei mit dem Begriff ähnliche Assoziationen verbunden sind: Unter Scannen versteht man einen automatischen Vorgang, der ein Realobjekt berührungslos und vollständig abtastet und dabei Informationen ermittelt, die mit dem Computer weiterverarbeitet werden können. Ein Scanner kann als Analog-Digital-Wandler begriffen werden, der ein-, zwei- oder dreidimensionale Informationen liefert. Ein Beispiel für das eindimensionale Scannen erleben wir täglich an der Supermarktkasse. Dort werden die Informationen von gedruckten (analoge) Barcodes der elektronischen Kasse zugänglich gemacht. Der Computer-Scanner, der in zwei Dimensionen arbeitet, gehört heute fast zur Standardausstattung eines Büroarbeitsplatzes. Hier wird der Scanner genutzt um Druckerzeugnisse oder Photographien in computerlesbare digitale Form zu bringen. Auch dreidimensionale Scanner sind bereits realisiert und marktreif. Ihr Einsatzbereich ist z.B. die Erstellung von 3D-Modellen von Produkten, die in einem Internet-Shop zum Kauf angeboten werden. Im industriellen Bereich werden 3D-Scanner zur Formkontrolle von Werkstücken eingesetzt. Die Meßprinzipien unterscheiden sich stark und sind auf den jeweiligen Einsatzzweck abgestimmt. Bei fast allen Geräten aber spielt Licht als Informationsträger die wesentliche Rolle. Es wird in

einem regelmäßigen Raster vom Sender des Scanners auf das Meßobjekt gerichtet. Innerhalb der Empfangsapparatur des Scanners wird über einen oder mehrere lichtempfindliche Sensoren das vom Objekt reflektierte Licht ausgewertet. Das Licht wird durch die Objektgeometrie und dessen Reflektionseigenschaften in typischer Weise abgelenkt, gestreut oder anderweitig verändert. Die charakteristische Veränderung wird genutzt, um die Geometrie des Objekt abzuleiten. [Niemeier, Wild 1995]

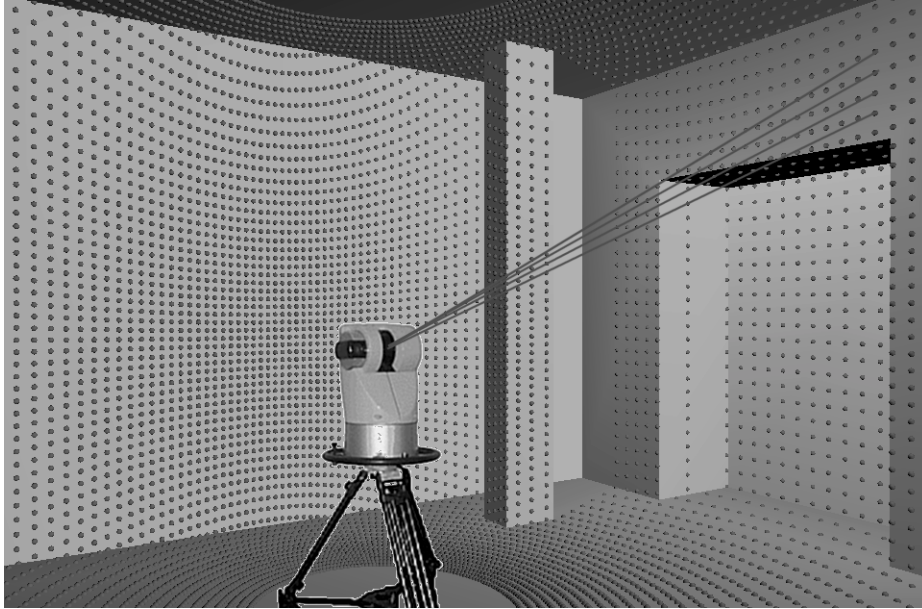


Abb. 1: Flächenhaftes Abscannen

Bei einem Laserscanner, der zur Bauaufnahme geeignet ist, wird als Lichtquelle ein gebündeltes Laserlicht verwendet. Über die Laufzeit oder Phasenverschiebung des vom Meßobjekt zurückgeworfenen Lichtes wird die Entfernung bestimmt. Der Laserlichtstrahl wird meist über Spiegelsysteme schrittweise in der Horizontalen und Vertikalen abgelenkt. Die Umgebung des Scanners wird so quasi kontinuierlich durch Profile flächenhaft erfaßt (Abb. 1). Als Ergebnis erhält man ein Meßwerttripler bestehend aus der gemessenen Schrägentfernung und den korrespondierenden Einstellwerten für die Horizontal- und Vertikalablenkung. Einige Systeme liefern die sich daraus unmittelbar ergebenden kartesischen Koordinatenwerte  $(x,y,z)$  und andere zusätzlich einen Intensitätswert (Reflektanz) für die empfangene Signalstärke. Es wird dann von einem 4D- oder abbildendem Laserscanner gesprochen [Wehr 1997].

Aus der Funktionsweise ist ersichtlich, daß mit dem Laserscanner in der Regel, nicht wie sonst gewohnt, das Meßobjekt durch wenige, repräsentative Punkte diskretisiert werden, sondern daß in einem regelmäßigen Raster das Objekt abgetastet und es so durch eine Wolke von gleichwertigen, unklassifizierten Punkten beschrieben wird. Die Abb. 2 und Abb. 3 zeigen diesen Unterschied.

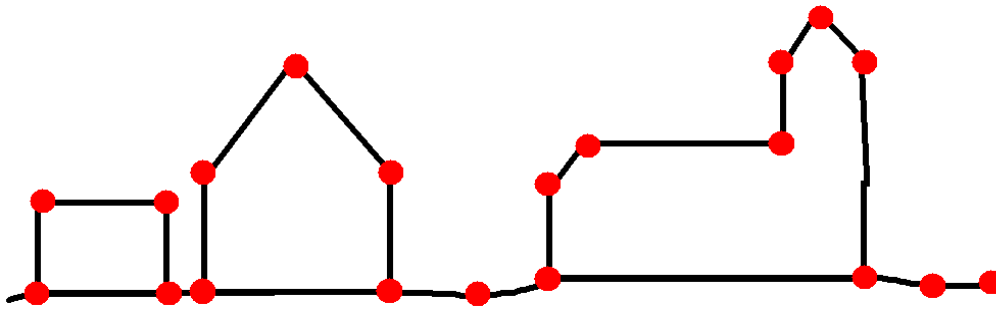


Abb. 3: Konventionelle Modellierung durch die repräsentative Punkte

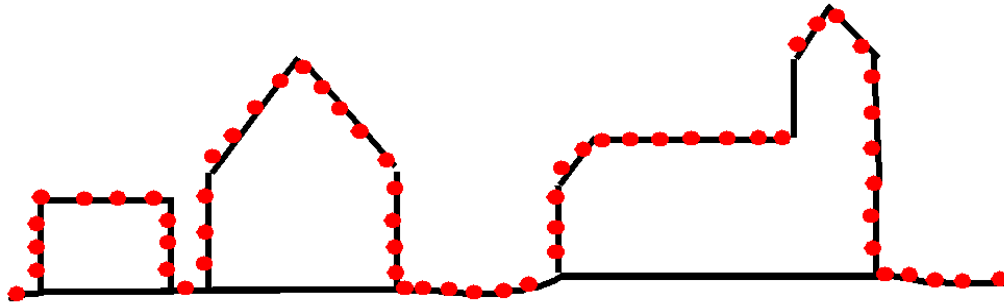


Abb. 4: Modellierung beim Einsatz eines Laserscanners

Das Messen mit dem Laserscanner gestaltet sich von der Modellbildung her grundsätzlich anders als dies von konventionellen Methoden her bekannt ist. Nicht die diskrete vorher ausgewählte Meßstelle wird gemessen sondern eine Vielzahl von zufällig auf dem Meßobjekt verteilten Punkten. Die geometrischen Repräsentanzpunkte werden in der Regel beim Scannen nicht erfaßt. Es kann vereinfacht davon ausgegangen werden, daß die erfaßte Punktmenge der konventionellen Verfahren und die abgescannte Punktmenge zu einander komplementär sind. Durch die hohe Abtastfolge können die repräsentativen Punkte aber aus den Scanpunkten durch geometrische Algorithmen ermittelt werden.

Die hohe Punktdichte und die damit einher gehende hohe Informationsdichte sowie die hohe Meßrate bietet viele Vorteile und Chancen für neue Anwendungen und Fragestellungen, die ansonsten nicht mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu bearbeiten wären.

## 2. Markübersicht

In der Tab. 1 sind fünf 3D-Laserscanner-Systeme mit ihren Kenngrößen zusammengetragen. In der Übersicht sind ausschließlich kommerzielle Systeme aufgenommen. Sie ist damit auch nicht vollständig. Zum Ladar 3D ist anzumerken, das es nicht mehr im Lieferprogramm des Herstellers aufgeführt ist.

Die Systeme Ladar 3D und Callidus® decken mit einem Scanvorgang den gesamten Horizont (360°) ab. Die anderen jeweils nur einen Ausschnitt ähnlich einer Fotokamera, haben dafür aber eine deutlich höhere Ortsauflösung mit Schrittweiten von wenigen mgon. Die erzielbaren Genauigkeiten reichen von wenigen mm (CYRAX 2400, Callidus®) bis mehreren cm (Surveyor ALS, LMS-Z210). Für den Einsatz in der Bauaufnahme ist eine Punktgenauigkeit von ca. 5mm zu empfehlen. Statistisch kann die Genauigkeit durch die Verarbeitung der großen Anzahl an Messungen gesteigert werden.

Tab. 1: Kommerzielle 3D-Laserscanner-Systeme im Vergleich

Produkt	Ladar 3D	CYRAX 2400	Surveyor ALS	LMS-Z210	Callidus®
Hersteller	IBEO Lasertechnik Hipp KG Hamburg www.ibeo.de	Cyra Technologies, Inc. Oakland, USA cyra.com	MDL Measurement Devices Ltd. Malton, England www.mdl.co.uk	RIEGL GmbH Horn, Österreich www.riegl.co.at	Dr. Niebuhr GmbH Halle (Saale) www.callidus.de
<b>Meßbereich</b>					
Entfernung	5-100m	<100m	<300m	2-150m	<150m
horizontal	400gon	ca. 44.4gon	400gon	ca. 88.9gon	400gon
vertikal	150gon	ca. 78-122gon	ca. 6-167gon	ca. 377.8gon	ca. 33-200gon
<b>Strahldivergenz</b>	ca. 382 mgon 6cm/10m	-	-	ca. 190mgon 3cm/10m	-
<b>Meßfrequenz</b>	2.500Hz	2.000Hz		20.000Hz	28.000Hz
<b>Auflösung</b>					
horizontal	ca. 196mgon 30mm/10m	ca. 0.6 mgon 0.1mm/10m	ca. 10mgon 1.6mm/10m		ca. 278mgon 44mm/10m
vertikal	ca. 112mgon 18mm/10m	ca. 0.6 mgon 0.1mm/10m	ca. 10mgon 1.6mm/10m		ca. 278mgon 44mm/10m
<b>Meßverfahren</b>	Impuls-Laufzeit Laser-Klasse 1	Impuls-Laufzeit Laser-Klasse 2	- Laser-Klasse 1	- Laser-Klasse 1	Impuls-Laufzeit Laser-Klasse 1
<b>Genauigkeit</b>					
Strecke	50mm	-	50mm	-	5mm
Winkel	ca. 22mgon	-	ca. 22mgon	-	horizontal ca. 19mgon vertikal ca. 33mgon
Koordinaten		6mm		25mm	3mm/10m

(Alle Angaben ohne Gewähr)

### 3. Modellbildung

Ziel der Geometrierfassung einer Bauaufnahme ist es, das reale Objekt "Gebäude" durch ein mathematisches Modell zu abstrahieren. Der Vorgang Vermessung kann als Abbildung des Realobjekt in ein abstraktes Modell verstanden werden. Sehr deutlich ist dieser Abbildungsvorgang beim Fotografieren im Rahmen der Architekturphotogrammetrie zu erkennen. Das Foto ist tatsächlich im mathematisch strengen Sinne eine Abbildung (Zentralprojektion) des Realobjekt in das sehr einfach strukturierte mathematische Modell Foto. Die Modellstruktur des Fotos kann als Matrix verstanden werden, bei der jedes Matrixelement mit einem Bereich (Sichtstrahl, Epipolar-Linie) des Realobjektes korrespondiert. Der Wert des Matrixelementes ist dabei abhängig von der Reflektanz des Realobjektes und weiteren äußeren Bedingungen insbesondere den Beleuchtungsverhältnissen. Auch wenn hier vereinfacht davon gesprochen wird, daß ein Foto eine regelmäßige Matrixstruktur hätte, so wird deutlich, das es eine minimale Modellauflösung gibt. Bei einem analogen Foto ist die Auflösung durch die Körnung, Dichte und Größe der Silbersalzkrystalle des Fotopapiers gegeben. Eine digitale Kamera liefert direkte eine Bildmatrix wie oben beschrieben. Für die Abbildung der Realität in das Modell Foto bedeutet dies, daß nicht jeder Punkt des Realobjektes eindeutig einem Bildpunkt zugeordnet wird. Vielmehr stellt ein Bildpunkt immer den Mittelwert mehrerer Objektpunkte dar.

Das Modell Foto ist für das menschliche Auge sehr geeignet. Es entspricht sehr gut dem realen Seheindruck vor Ort. Unterschiede zwischen Foto und Realität sind kaum auszumachen. Zur Analyse und Interpretation des Fotoinhalts ist die kognitive Leistung des Betrachters nötig. Versuche, diese Leistung von Computern übernehmen zu lassen, sind bislang nur teilweise in Spezialbereichen gelungen. Die Schwierigkeit, Fotos maschinell zu verarbei-

ten und die Tatsache, daß es für einen störungsfreien Informationsfluß erforderlich ist, Modelle zu haben, deren Analyse und Interpretation unabhängig vom jeweiligen Betrachter sind, führt zu Modellen mit einer höheren Abstraktionsstufe. So sind Karten und Pläne mit einer standardisierten Symbolik die heute gebräuchliche Form der mathematischen Modellierung von historischen Bauwerken. Bei diesen zweidimensionalen Modellen wird regelmäßig die Geometrie der Realobjekte nur an seinen geometrischen Repräsentanzpunkten diskretisiert. Z.B. werden die Wände eines Raumes als Linienzug modelliert, dessen Eckpunkte die Raumecken repräsentieren. Die Geometrie zwischen den Eckpunkten wird als Gerade generalisiert, solange keine Abweichungen von der Idealgeometrie offensichtlich sind.

Das abzuleitende Modell z.B. eines einfachen rechteckigen Raumes ohne Türen und Fenster kann durch die acht Raumecken festgelegt werden. Ein scannendes Verfahren diskretisiert hingegen eine mehr oder minder regelmäßig Menge von Punkten, die auf den sechs Wänden liegen. Um beim Scannen zum gewünschten eckpunktbezogenen Modell zu kommen, müssen aus der Punktmenge die acht Wände als Ebenen rekonstruiert und zum Schnitt gebracht werden.

Bei den gebräuchlichen Aufnahmeverfahren, Handaufmaß, Polaraufnahme und Photogrammetrie, wird überwiegend aus wirtschaftlichen, teilweise aber auch aus technischen Gründen eine Modellierung der Objekte vorgenommen, die sie in Form von Idealgeometrien wie z.B. Gerade, Ebene, Kreis und Zylinder etc. generalisiert. Bestimmt werden diese Grundgeometrien durch wenige markante Definitionspunkte ohne Überbestimmung. Bei der Gerade sind dies die Endpunkte. Im Rechner entsteht so ein Drahtgittermodell von mit Linien verbundenen Meßpunkten.

Die Prüfung, ob die Objektgeometrie im Rahmen der geforderten Genauigkeit mit einer Idealgeometrie zusammenfällt, wird meist nicht mit vermessungstechnischen Hilfsmitteln vorgenommen. Die Beurteilung per Augenschein wird als ausreichend empfunden. Eine Ausnahme bildet die Begutachtung der gegenseitigen Lage von Grundelementen. So ist beim verformungstreuen Aufmaß z.B. die Rechtwinkligkeit oder Parallelität zwischen Wänden zu kontrollieren. Mit einem Laserscanner hingegen wird die Gerade oder Wand in Gänze erfaßt ohne eine Idealgeometrie vorab anzunehmen. Die entstehende Punktwolke kann mit einfachen Algorithmen auf geometrischen Grundfiguren hin untersucht werden. Die Entscheidung für eine Idealgeometrie kann so objektiv und nachvollziehbar vorgenommen werden. Als Idealgeometrien sind neben den schon genannten auch komplexere bestimmbar. Dazu zählen Flächen 2. Ordnung und Freiformflächen. Mit den Freiformflächen sind auch organische, natürliche Formen mathematisch einfach zu beschreiben. Ist die Punktwolke in idealgeometrische Flächen überführt, können diese miteinander zum Schnitt gebracht werden. Als Ergebnis erhält man das gewünschte Drahtgittermodell, das sich in Grundrisse und Schnitte umrechnen läßt.

## 4. Auswertung

Sollen mit einem Laserscanner Karten oder Pläne etc. bereitgestellt werden, so ist ein Auswertalgorithmus notwendig der mit Hilfe einer Flächenrückführung die geometrischen Repräsentanzpunkte bestimmt. Einige der oben genannten Anbieter von Scannern bieten geeignete Software für diese Aufgabe an.

Die Abb. 5 skizziert die Auswertestrategie einer Laserscanner-Punktwolke, wie sie von den Autoren verfolgt wird. Anders als in [Niemeier, Wild 1995] dargestellt, erfolgt dabei der Übergang ins übergeordneten System am Ende der Auswertekette.

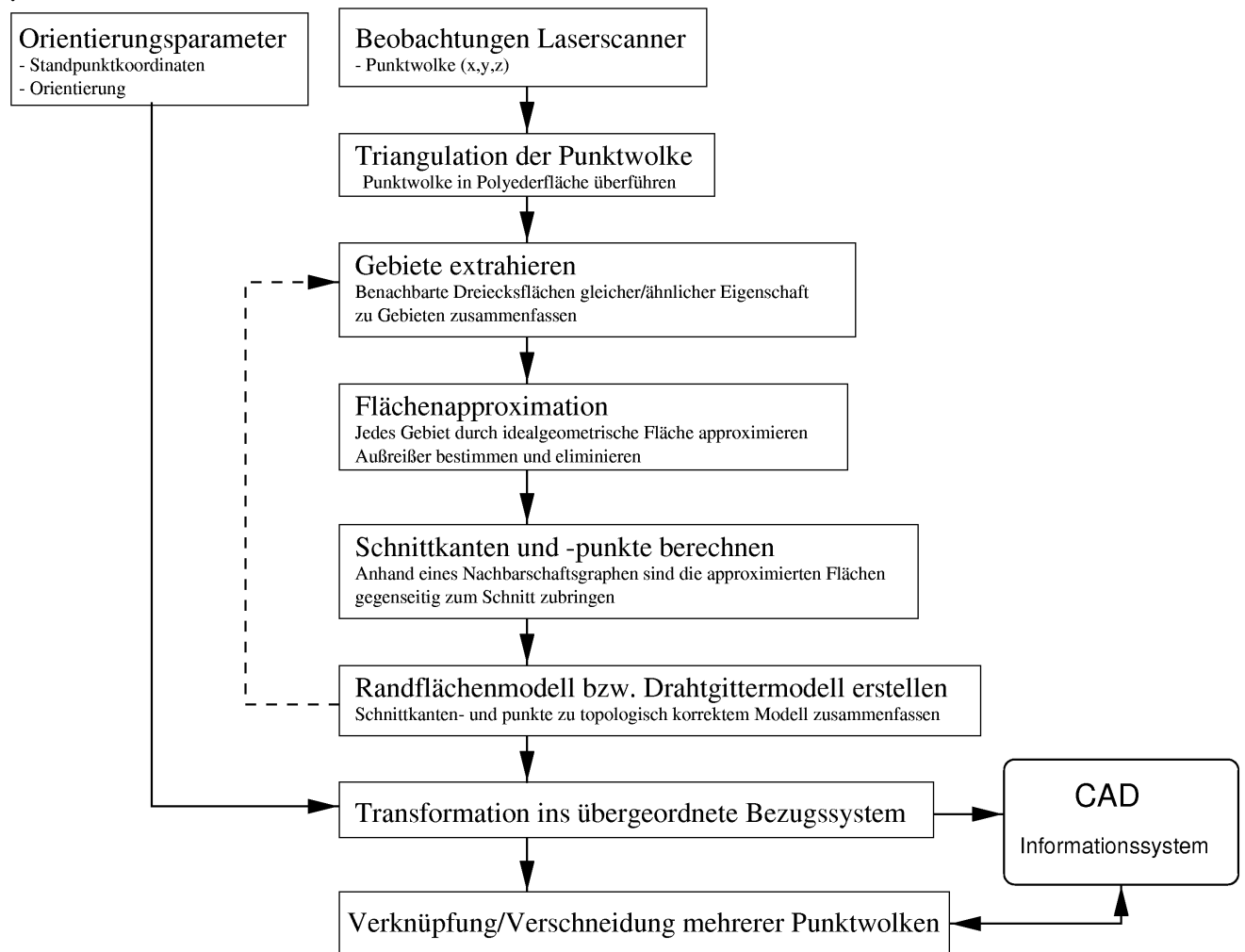


Abb. 5: Ablaufschema für die Auswertung von Laserscanner-Daten

Ausgangspunkt der Auswertung ist die mit einem Laserscanner vermessene Punktwolke in gerätebezogenen kartesischen Koordinaten.

Sie werden mittels einer Dreiecksvermaschung (Triangulation) in ein einfaches Flächenmodell überführt. Die einzelnen Dreiecksflächen werden dann daraufhin durchmustert, ob benachbarte Dreiecke sich zu einer größeren Fläche zusammenfügen lassen.

Ändert sich z.B. die Richtung der Normalenvektoren zwischen benachbarten Flächen nur innerhalb eines bestimmten Grenzwertes, so kann angenommen werden, das sie zu ein und derselben Ebene (Wandfläche) gehören. Für andere idealgeometrische Flächen, wie Zylinder- oder Kugelfläche, lassen sich ebenso Kriterien finden, mit denen eine Klassifizierung der Dreiecksflächen vorgenommen werden kann.

Benachbarte Dreiecksflächen werden zu Gebieten zusammengefaßt und einer Flächenapproximation unterzogen. Die sich daraus ergebenden Residuen können auf Ausreißer und auf Systematiken unterhalb des Grenzwertes der Gebietsextraktion hin untersucht werden. Damit ist es z.B. möglich, im stumpfen Winkel aneinandergrenzende Wandflächen voneinander zu trennen.

Das Bestimmen der optimalen Flächenapproximation muß gegebenenfalls iterativ erfolgen, um die optimale Idealgeometrie zu finden.

Die gefundenen Idealgeometrien werden miteinander verschnitten, so daß sich ein topologisch korrektes Drahtgittermodell ergibt. Dieses wird dann über die äußeren Orientierungsparameter in ein übergeordnetes Bezugssystem transformiert.

## 5. Auswertebeispiel

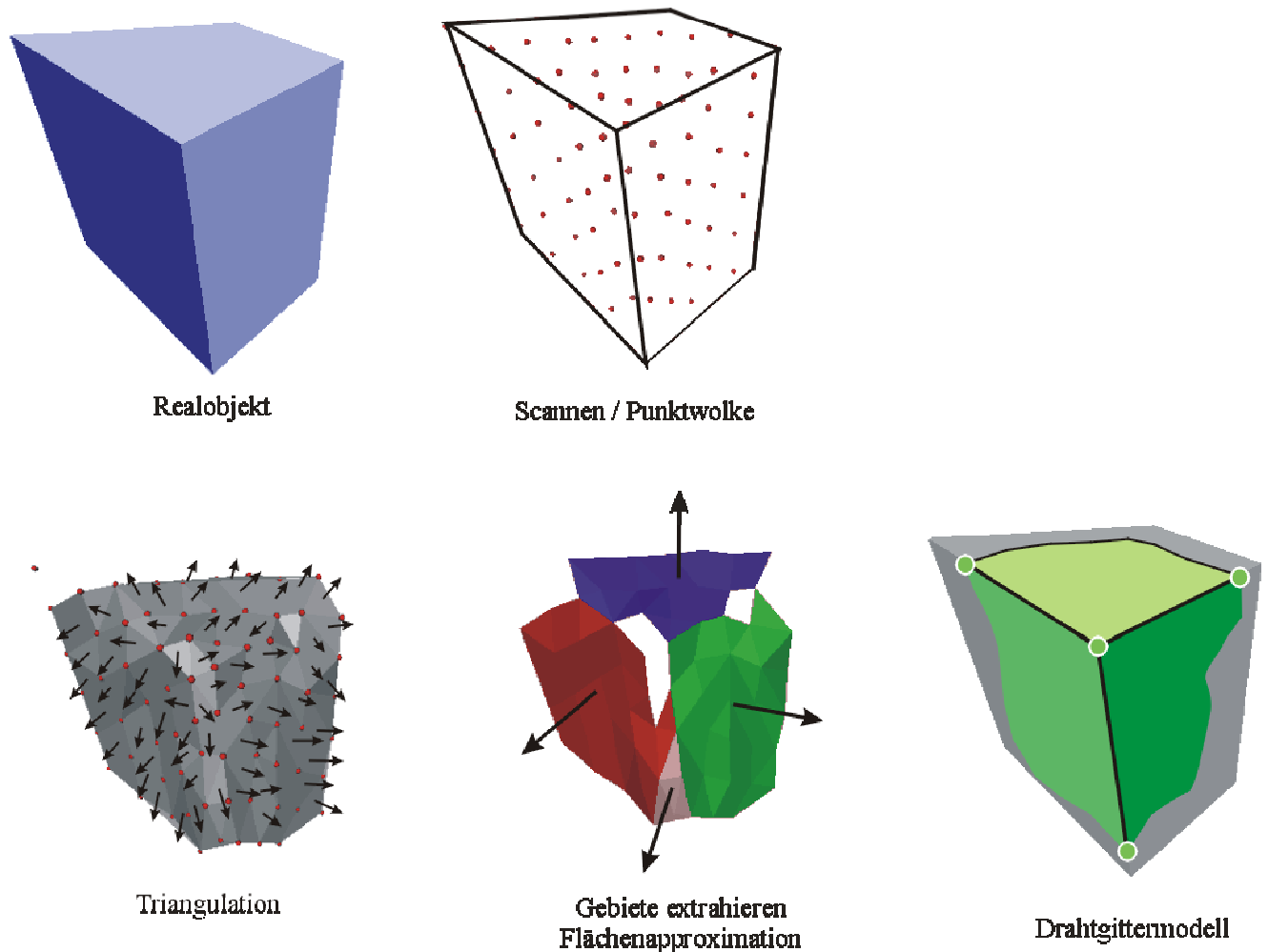


Abb. 6: Ableitung eines Drahtgittermodells aus den unstrukturierten Geometrieinformationen eines Laserscanners

In der Abb. 6 sind die Auswerteschritte beispielhaft für eine Würfeldecke dargestellt. Durch einen simulierten Scanvorgang werden die drei sichtbaren Würfelseiten mit einer Punktwolke überzogen. Die Punktkoordinaten sind dabei mit unvermeidlichen Meßabweichungen des Scanners behaftet. Im ersten Auswerteschritt werden alle Punkte nachbarschaftlich durch Dreiecke verbunden (Triangulation). Die dargestellten Pfeile stehen für die Normalvektoren der Dreiecke. Es sind Bereiche erkennbar, in denen die Normalvektoren in die gleiche Richtung zeigen. Ebenso sind Vektoren vorhanden, die in Bezug auf ihre Nachbarn in eine gänzlich andere Richtung weisen und so das Gesamtbild stören. Die Analyse der Normalvektoren selektiert vier homogene Bereiche (Gebiets-Extraktion). Das vierte nicht real vorhandene



Gebiet ist durch die Meßunsicherheiten verursacht. Mit seinen vier Dreiecksflächen, die über ein zentrales Dreieck miteinander verbunden sind, ist es die kleinst mögliche Repräsentanz einer Fläche. Die in der Abbildung fehlenden Dreiecke erfüllen dieses Kriterium einer Minimalfläche nicht. Sie treten typischerweise entlang der Objektkanten auf. Nach der Approximation der Gebiete durch Raumebenen lassen sich die Würfelkanten und die Würfelcke durch Schnittberechnung ermittelt. Die vierte Ebene wird als nicht real vorhanden entlarvt, denn sie hat einen Abstand zu der Schnittkanten der angrenzenden Ebenen, der unterhalb der Schranke liegt, die durch die Meßgenauigkeit und Abtastweite vorgegeben ist. Abschließend ist der Würfel nicht nur in seinen Eckpunkten sondern auch durch seine Seiten diskretisiert.

## 6. Verknüpfung mehrerer Scans

Scans müssen in ein übergeordnetes Bezugssystem transformiert werden, damit unvermeidliche Abschattungsbereiche überwunden werden können. Hierzu sind jedoch die Orientierungsparameter gesondert zu ermitteln. Im einfachsten Fall sind die Koordinaten des Laserscanner-Standpunkts zu vermessen und der Scanner in Richtung eines weiteren Fixpunktes auszurichten.

Die Verschneidung oder Verknüpfung mehrerer Scans von unterschiedlichen Standpunkten aus, kann aber auch über korrespondierende Objektpunktbereiche erreicht werden oder durch Verwendung von aktiven Referenzmarken.

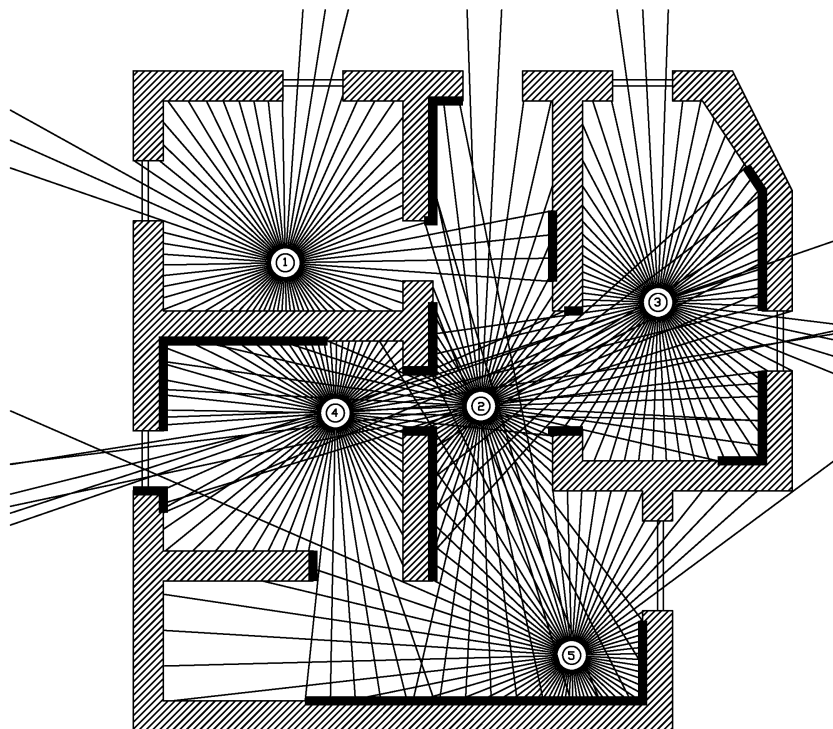


Abb. 7: Verknüpfung von mehreren Scans durch Paßflächen

Sind gleiche Objektteile von unterschiedlichen Scans erfaßt, so ist eine relative Orientierung zueinander möglich. Die Schwierigkeit hierbei liegt insbesondere in der Extraktion von korrespondierenden Bereichen in den betreffenden Punktwolken.

Die Abb. 7 zeigt eine mögliche Aufnahmesituation für ein Geschöß. Es sind Scans auf fünf Standpunkten vorgenommen. Teile der Wandflächen sind zwei oder mehrfach von unterschiedlichen Standpunkten aus erfaßt. Diese Bereiche sind in der Abb. 7 durch dicke schwarze Linien hervorgehoben. Gelingt es innerhalb der Punktwolken diese Bereiche zu finden, kann über eine Flächenverschneidung der Standort und die Orientierung der Scans berechnet werden. Das Verfahren ähnelt der aus der Photogrammetrie her bekannten Bündelblockausgleichung mit dem Unterschied anstelle mit Paßpunkte mit Paßflächen zu arbeiten. Wie ersichtlich sind dabei die Paßflächen nur zum Teil deckungsgleich.

Beim Scansystem Callidus® erfolgt die Zuordnung der einzelnen Punktwolken über aktive Referenzmarken. Sie werden auf koordinatenmäßig bekannten Punkten des übergeordneten Grundlagennetzes aufgebaut und tragen einen CCD-Detektor, der zum Laserscanner ausgerichtet ist. Innerhalb des Scanvorganges wird der CCD-Detektor durch einen Laserstrahl überstrichen. Dieser Moment wird dem Laserscanner über Telemetrie dem Scanner übermittelt, so daß er die korrespondierende Horizontalrichtung als diejenige festhalten kann, die grob in Richtung der aktiven Zielmarke zeigt. Die Ablage des Laserstrahl vom Zentrum der Zielmarke ergibt sich durch das Auslesen des Treffpunktes auf dem CCD-Detektor und wird ebenfalls dem Laserscanner über Funk übermittelt. Die Ablage und die Entfernung zur Zielmarke ergeben zusammen mit der groben Richtung die Richtung zur Zielmarke. Eine Orientierung des Scanner- "Teilkreises" ist somit realisiert. [Callidus 1999]

## **7. Anwendungsspektrum**

Die Scan-Methode ermöglicht eine flächenhafte und berührungslose Vermessung, erlaubt eine automatische Verarbeitung, ist leicht in der Handhabung und schnell. Damit ist sie für viele Anwendungsfälle interessant.

### **7.1 Einsatz bei der Gebäudeerfassung**

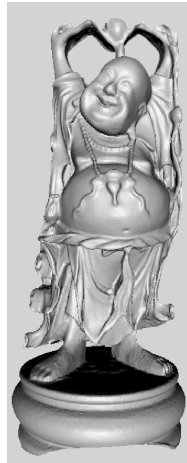
#### **7.1.1 Bauaufnahme**

Zur Dokumentation von Kulturdenkmalen (Kirchen, Gebäude, Fassaden, Großplastiken etc.) im Rahmen der Denkmalpflege ist die Geometrie zu erfassen. Das Scannerverfahren bietet hier eine schnelle und detailreiche Erfassung ähnlich dem photogrammetrischen Verfahren aber ohne den zusätzlichen hohen Auswerteaufwand.

Nicht nur das Vermessen von Innenräume, wie in der Abb. 1 dargestellt, ist möglich sondern auch die in der Fläche vollständige Erfassung von Fassaden ist möglich.

Für die baugeschichtliche Forschung ergeben sich durch die Möglichkeit der Freiflächenform-Approximation neuartige Wege der Formanalyse und der Ableitung von Maßsystemen. Es sind vorweg bei der Vermessung keine Annahme über die bestehende Geometrie zu machen. Durch rechnerische Analyse kann die optimale Form gefunden werden oder die Abweichung von einer Idealgeometrie belegt werden.

Durch die flächige Arbeitsweise eines Laserscanners ist auch die Geometrieerfassung von Objekten mit natürlichen oder organischen Formen möglich. In der Abb. 8 ist beispielhaft dargestellt wie eine Statue mittels Laserscanner erfaßt werden kann. Ebenso denkbar sind aber auch Aufnahmen von Fassadenschmuck, Säulenkapitellen, etc. Das Meßergebnis kann genutzt werden Duplikate herzustellen oder Schadstellen zu rekonstruieren.



a) Original



b) einfaches Scanergebnis

Abb. 8: Vermessung von figürlichen Objekten

### 7.1.2 Bauwerksüberwachung

Auch im Bereich der Dokumentation von Ingenieurbauwerke, wie z.B. Brücken oder Türmen, ist die flächenhafte und rasche Arbeitsweise von Laserscannern von Vorteil. Teilweise werden erst Aufgaben durch den Einsatz von scannenden Verfahren realisierbar.

### 7.1.3 Facility-Management

Die Gebäudeerfassung ist ein wesentliches Element zur Informationsgewinnung für Facility-Management-Systeme. Hierbei stellt das Laserscanverfahren eine schnelle und kostengünstige Alternative zum konventionellen Raumaufmaß dar. Es erfordert geringe vermessungstechnische Kenntnisse und kann vollautomatisch betrieben werden.

## 7.2. Einsatz zur Volumenermittlung

Zur Volumenermittlung von Räumen, Körpern oder Hohlräumen (z.B. Kavernen) und zur Bestimmung von Verfüllungsgraden sind 3D-Vermessungen erforderlich. Die flächenhafte Arbeit des Scanners ist sehr vorteilhaft, da hierdurch die Genauigkeit der Volumenbestimmung erhöht werden kann. Komplexere Formen sind leicht erfaßbar. Gleiches gilt für die verwandte Aufgabe, das Volumen großer Körper, wie z.B. Öltanks, Schiffe, Silos etc. zu bestimmen, zu kalibrieren oder zu eichen.

## 7.3 Einsatz bei der Qualitätssicherung

Im Maschinenbau wurden zu allererst 3D-Scanner eingesetzt, um die Form von Werkstücken im Rahmen der Qualitätssicherung zu prüfen. Eine Vermessung des Werkstückes muß dabei mit einer möglichst hohen Abtaste erfolgen und in einem automatischen Prozeß integrierbar sein.

## 8. Das Tachymeter als scannendes System

Auf dem Markt der geodätischen Meßinstrumente sind bereits seit einigen Jahren elektronische Tachymeter erhältlich, deren Teilkreiseinstellung über Servomotoren rechnergesteuert vorgenommen werden kann, die ein markiertes (Reflektor, Reflektorfolie, spezielle Zielmarke, etc.) automatisch einstellen und die ohne Reflektor Entfernungen messen sowie Geräte, die zusätzlich mit einer bildgebenden Sensoreinheit (Foto-, Videokamera) ausgestattet

sind. Aber erst seit 1998 ist mit dem TCRM von Leica ein motorisiertes, sowohl mit als auch ohne Reflektor messendes Tachymeter erhältlich. Neben den üblichen Anwendungsfeldern eines Tachymeters kann es mit gewissen Einschränkungen als Scanner im obigen Sinne betrieben werden. Durch geeignete Steuerungssoftware kann es Profile oder ganze Flächen mit regelbarer Schrittweite abscannen. Für Teilaufgaben der Bauaufnahme ist es somit ein Ersatz für einen Laserscanner. Durch die Ansteuerungsmöglichkeit einer speziellen Zielrichtung sind zudem weitergehende Meßaufgaben zu bearbeiten. So kann ein Profil mit variabler Schrittweite abgetastet werden. Die Lage eines zur Anmessung anstehender Profilverpunkte kann mit einer gewissen Toleranz aus den bereits gemessenen Profilverpunkten prognostiziert werden [Scherer 1996]. Über diesen Regelmechanismus könnte eine Abtastung mit konstanter Schrittweite am Objekt erreicht werden. Es ist dann auch eine auf den Detailreichtum abgestimmte variable Schrittweite denkbar. Darüberhinaus erlaubt ein frei positionierbarer Meßstrahl auch das Abscannen in einen beliebigen, schrägen Horizont.

## 9. Schlußbemerkung

Ausgehend von der Arbeitsweise eines 3D-Laserscanners sollte dargestellt werden, daß die damit verbundene Vermessungsmethode Fragen hinsichtlich der Objektmodellierung aufwirft. Mit einem Scanner wird ein Gebäude kontinuierlich durch eine flächenhaft verteilte Punktmenge diskretisiert, wobei anderen Methoden sich auf die repräsentativen Punkte beschränken müssen. Das Rückführen der Scans in ein Drahtgittermodell erscheint ohne Interaktion mittels spezieller Algorithmen möglich. Erste Erfahrungen mit dem hier vorgestellten Auswerteprozess belegen dies.

Die Entwicklungen der geodätischen Meßtechnik zielen darauf ab, den Meßvorgang weiter zu automatisieren. Eine Auseinandersetzung mit dem "Wesen des Scanners" ist daher unvermeidlich und sollte rechtzeitig begonnen werden.

## Quellen

- Buchmann, P. (1994): Bauaufnahme mit einem computergesteuerten 3D-Laserscanner, Der Vermessungsingenieur, Heft 5, 1994, S.210-215
- Callidus (1999): Callidus® - Das 3D Laser Mess-System, Dr. Niebuhr GmbH, Halle (Saale), Firmen-Prospekt
- Huep W. (1995): Zum Einsatz der reflektorlosen Tachymetrie bei der Gebäude-Bestandserfassung; in Schrader, B. [Red.]: Gebäudeinformationssystem, DVW-Schriftenreihe, Band 19/1995, Wittwer, Stuttgart, 1995, S.99-110
- Niemeier, W. (1995): Einsatz von Laserscannern für die Erfassung von Gebäudegeometrien, in Schrader, B. (Red.): Gebäudeinformationssystem, DVW-Schriftenreihe, Band 19/1995, Wittwer, Stuttgart, 1995, S.155-168
- Niemeier, W., Wild, P. (1995): Use of of Laserscanners for the Determination of Building Geometries. In : Gruen/Kahmen (Eds.): 3D Optical Measuring, 1995
- Scherer, M. (1999): Ein System zur Erfassung geometrischer und bildhafter Daten von Bauwerken; Vermessung und Raumordnung, Heft 4+5, 1999, S.285-298
- Wehr, A. (1997): Abbildende Laserscanner - Anwendung in Bauaufnahme und Denkmalpflege; in: Albertz, J., Wiedemann, A. [Hrsg.]: Architekturphotogrammetrie gestern - heute - morgen, Technische Universität Berlin, 1997, S.114-127
- Wehr, A. (1998): Scannertechniken zur dimensionellen Oberflächenbestimmung; in: Heister, H., Sternberg, H. (Red.): Hybride Vermessungssysteme, DVW-Schriftenreihe, Band 29/1998, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 1998, S. 125-148