

## Gebäude-Bestandsaufnahmen bei Baudenkmalern mit Laser-Scannern

Für die im Folgenden beschriebenen Aufgaben gibt es nach aktuellem Wissen der CAD-Stelle Bayern auf dem deutschen Markt z.Z. als einzigen Anbieter, der die skizzierten Leistungen Aufnahme und Aufbereitung der Daten aus einer Hand übernehmen und anbieten kann, das Ingenieurbüro Octocom AG / Strackenbrock, Berlin-Birkenwerder. Aus den bisher am Staatl. Hochbauamt Regensburg bzw. Passau gemachten Erfahrungen kommt hinzu, dass dieses Ingenieurbüro auch auf Erkenntnisse aus den Projekten eingeht und sie in das angebotene Verfahren einbauen kann. Das Ingenieurbüro Octocom entwickelt zusammen mit dem Hersteller des eingesetzten Laser-Scanners, der Firma Zoller + Fröhlich, Wangen, Hardware und Software zur Einsatzreife für den Markt. Bis dahin besteht ein exklusiver Nutzungs-Vertrag zwischen den Beteiligten. Eine Einholung von gleichwertigen Angeboten ist deshalb z.Z. noch nicht möglich.

Aus den in Regensburg und Passau bisher beauftragten und gemachten Entwicklungen soll schließlich ein einheitliches System für alle Bauämter der Bayer. Staatsbauverwaltung Hochbau entwickelt werden, die in ihrem Aufgabenbereich Baudenkmalern zu betreuen haben. Aus Kostengründen ist das die wirksamste Möglichkeit, zu einem weitreichenden Werkzeug zu kommen, das auch mit Bauhütten- oder Bauamts-Archiven und Projekt-Dokumentationen verbunden werden kann. Das angestrebte Werkzeug soll gleichzeitig im Intranet und Internet benutzt werden können. Soweit Berechtigung besteht, z.B. für Auftragnehmer, Wissenschaftler, Denkmalschutz-Behörden oder Eigentümer Kirche, können Teilmengen der Information von der Bauverwaltung auch „nach außen“ zur Verfügung gestellt werden.

### Grundsätzliche Anforderungen

Wichtig ist bei der Bestandsaufnahme vor allem, dass bereits vorhandene und neu beschaffte grafische Daten so strukturiert und formatiert werden können, dass eine „Weiterverarbeitung“, d.h. im Falle der Denkmäler, z.B. Dome oder Schlösser, Verbindung mit Schadens- und Maßnahmen-Beschreibungen in einer Datenbank bzw. mit grafischen Kartierungs-Systemen möglich wird. Damit kann einerseits das von den Staatl. Hochbauämtern Passau und Regensburg mit öffentlichen Mitteln beauftragte, erstellte und erfolgreich eingesetzte Aufmaß- und Kartierungs-System verwendet werden. Andererseits kann dieses System entsprechend den Anforderungen aus anderen Projekten mit geringen Kosten erweitert und verbessert werden. Das CAD- / DB-System steht der Bayer. Staatsbauverwaltung – Hochbau - zunächst als Version „Regensburg / Passau“ - kostenlos zur Verfügung.

Selbstverständlich ist die Beschaffung der Daten und des Aufmasses objekt-spezifisch und aus den genehmigten Kosten des jeweiligen Projekts zu bezahlen. Auch die bereits aufgebauten „Regensburger“ bzw.

„Passauer“ Kataloge müssen sicher für die jeweils spezifischen Zwecke erweitert, ergänzt und ggfs. korrigiert werden. Ebenfalls wird das zugrunde zu legende Haupt-raster für Grundrisse, Schnitte und Ansichten, mit dem die vorhandenen und/oder erhaltenen Daten strukturiert abgelegt und angesteuert werden können, bei jedem Projekt neu zu entwickeln sein. Beides kann bruchlos in das CAD-/DB-System „Regensburg / Passau“ eingefügt werden.

### Wünschenswerte Erweiterungen:

Als nächste wünschenswerte Erweiterung der Erfassung geometrischen Daten kommt z.B. eine Verbindung der geometrischen Information der Volumen-Pixel mit einer Grauwert- oder Farb-Information der aufgemessenen Punkte in Frage. Auch eine Kartierung direkt auf den aufgemessenen 3D-Objekten (Wände, Bauteile, Figuren ...) und nicht nur auf einer Projektion der 3D-Daten auf 2D-Flächen wäre eine sinnvolle Weiterentwicklung, mit der auch eine erste Grundlage für den Einsatz bei statischen Überlegungen geschaffen werden könnte, z.B. Erkennen und Verfolgen von Fugen oder Rissen. Als weitere Einsatz-Möglichkeit könnte der Abguss von Figuren oder Bauteilen direkt aus einem berührungslosen Aufmass entwickelt werden. Solche Verbesserungen sollten jeweils an besonders geeigneten Projekten entwickelt werden und dann allen Bauämtern zur Verfügung gestellt werden.

### Ergänzende Anforderungen:

Für die geordnete Verwaltung der vorhandenen und entstehenden Daten und das Suchen und Auffinden der Daten wird die CAD-Stelle zusammen mit Ingenieurbüro Octocom AG / Strackenbrock ein Archiv-System entwickeln, das die Verwaltung von Archiven und von Projekten in allen Stadien der Planung, Ausführung und weiteren Zuständigkeit entsprechend der Organisation der Bauämter ermöglicht. Dieses System soll auf der technischen Grundlage erstellt werden, die in Regensburg eingesetzt wird und zu einem Standard-Werkzeug entwickelt werden. Dieses System wird auch die Navigation unter Bestands-Daten ermöglichen, die quasi in einem 3D-Raum-Raster abgelegt wurden.

Für den Aufbau eines Archivs der Dombauhütte Regensburg hat die CAD-Stelle im Auftrag der Dombauhütte zusammen mit Ingenieurbüro SMB AG ein Modul MetaDoc für MORADA erarbeitet - der in der Bayer. Staatsbauverwaltung - Hochbau allgemein eingesetzten Gebäude-Datenbank. MetaDoc erleichtert den Arbeitsvorgang bei der Übernahme vorhandener Dokumente (Pläne, Foto, Urkunden ...) durch Einscannen, ist offline benutzbar und ermöglicht die Übergabe an das Dokumenten-Management-System (DMS) Docuware oder an andere DMS. Auch dieses System soll in das Haupt-system eingebunden werden.

### **Pflichtenheft zur Bestandsaufnahme von Baudenkmalern und Gebäuden:**

Als erstes muss festgelegt werden, für welche Aufgabe die Bestandsaufnahme eingesetzt werden soll. Nur damit kann ein Pflichtenheft soweit konkretisiert werden, dass damit vergleichbare Angebote eingeholt werden können. Im Unterschied zu einem „normalen“ Aufmass kommt es dabei nicht nur auf Kanten an, sondern vor allem auf eine feinkörnige Bestandsaufnahme von Flächen, z.B. Steinen, Figuren oder Bauteilen als Grund-Objekte einer Datenbank.

Als ein breit einsetzbares Beispiel soll eine Bestandsaufnahme zugrunde gelegt werden, mit der Gebäude-Pläne mindestens im Maßstab 1:50 (oder besser M 1:25) und in entsprechender Detaillierung und Bemessung in Ansichten, Schnitten und Grundrissen entstehen sollen. Das heißt z.B.:

- Ein kompletter Plan-Satz der Gebäude-Außenhülle (Ansichten)
- CAD-Strichzeichnungen der Stein-Objekte und der Formlinien der Fassaden, vorbereitet für die Weiterverarbeitung mit einem Schadens-Kartierungs-System
- Alle Pläne werden zudem mit digitalen Orthofotos hinterlegt, um eine Bestands-, Schadens- und Maßnahmen-Kartierung an den Steinen und Fugen optimal zu unterstützen

Für eine spätere Weiterbearbeitung im Inneren des aufgenommenen Gebäudes:

- Grundriss-Pläne der Gebäude-Außenhülle je Geschoss als Basis zukünftiger Innenaufnahmen, sowie Schnitte durch die Gebäude-Außenhülle
- Basismaterial zur weiteren detaillierten Bearbeitung durch die Bauverwaltung und zum Aufbau eines kompletten 3D-Gebäudedaten-Archives auf der Basis von 3D-Scanner-Daten, fotogrammetrischen und fotografischen Aufnahmen und Zeichnungen
- 3D-Pixelmodell der Außenhülle auf der Basis von bis zu 200 luft- und landgestützten Laser-Scanner-Aufnahmen
- Vollständige Messbild-Abwicklung der Gebäude-Außenhülle in Farbe aus großformatigen Réseau-Kammer-Aufnahmen und Panorama-Kammer-Aufnahmen in Form von digitalen Bildern

Für eine spätere Weiterbearbeitung im Umgriff / Gelände des aufgenommenen Gebäudes:

- Ein digitales, virtuelles 3D-Gebäude- und Gelände-Modell aus 3D-Scanner-Aufnahmen und digitalen Messbildern und deren Orientierung untereinander in einer strukturierten Daten-Ablage, sowie das zur Bearbeitung der Daten erforderliche CAD-System für AutoCAD ADT 2000i. Aus

diesen Daten können bei Bedarf durch die Bauverwaltung beliebige Pläne erzeugt werden

### **Einsetzbare Aufmass-Methoden:**

Bei einem großen, komplex geformten Gebäude gibt es auf dem Stand der Technik heute grundsätzlich 3 einsetzbare Aufmass-Methoden (wenn man von dem in diesem Fall wohl völlig unzureichenden Handaufmass absieht).

#### **1. Aufmaß mit reflektorlosen Laser-Theodoliten:**

dabei können wegen des Aufwandes nur verhältnismäßig wenige Koordinaten bestimmt werden. Eine Umsetzung in Zeichnungen ist möglich. Eine Binnen-Detaillierung dieses Aufmasses, z.B. für ein Fugenbild von großflächigen Quader-Mauern ist ein erheblicher zusätzlicher Aufwand. Bestenfalls entsteht ein Draht-Modell, das erst weiter aufbereitet werden muss, damit Objekte entstehen, die mit Datenbanken verbunden werden können und Flächen, auf die Fotografien aufgebracht („gemapt“) werden können.

#### **2. Aufmaß mit reflektorlosem Laser-Theodoliten und Fotogrammetrie:**

auch dabei können wegen des Aufwandes nur verhältnismäßig wenige Koordinaten bestimmt werden. Eine Umsetzung in Zeichnungen ist möglich. Eine Binnen-Detaillierung dieses Aufmasses, z.B. für ein Fugenbild von großflächigen Quader-Mauern erfolgt über die Kombination mit fotografischen Aufnahmen, die über dem Aufmaß entzerrt werden.

Ein breit dokumentiertes Beispiel ist das fotogrammetrische 3D-Aufmass des Domes zu Aachen ([s. 1200 Jahre Aachener Dom - ein Weltkulturerbe als photogrammetrische 3D-Dokumentation, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Benning, Geodätisches Institut der RWTH Aachen](#)), das im Ergebnis wohl einen Ideal-Fall darstellt, aber nur mit einem normalerweise untragbaren Aufwand an Zeit und Kosten zustande kam. Eingesetzt wird das Fotogrammetrie-CAD-System Phidias auf der Basis von Microstation. Da Microstation im Hochbau-Bereich praktisch nicht mehr eingesetzt wird, ist eine Weiterbearbeitung mit Hochbau-CAD nur erschwert und nach Daten-Verlusten möglich. Die in diesem Fall auch erzeugten B-Spline-Flächen können mit CAD-Systemen für Hochbau nicht bearbeitet werden! Die Ersteller der Aufnahme Aachen schildern selbst, dass die Fotogrammetrie im Innern eines Gebäudes keine wirtschaftlich einsetzbare Methode bietet.

#### **3. Aufmaß mit Laser-Scanning und reflektorlosem Laser-Theodoliten für Orientierungspunkte und Fotogrammetrie:**

ein automatisches Aufmaß aller vorhandenen Details mit einstellbarer Genauigkeit. Auch dabei werden wegen des Aufwandes nur verhältnismäßig wenige Koordinaten bestimmt werden. Durch das Laser-Scanning ist aber je nach Leistungsfähigkeit des Scanners eine komplette detaillierte (bei einer Entfernung von 12 m bis zu 3 mm Punktabstand) Hülle der Gebäude-Teile vorhan-

den, die sofort für Ansichten, Schnitte und Grundrisse in jeder beliebigen Richtung geschnitten werden kann. Selbstverständlich müssen Schnitte und Grundrisse dort ergänzt werden, wo mit dem Laser nicht aufgenommen wurde. Dies kann aber nachträglich zu jedem beliebigen Zeitpunkt erfolgen. Eine Umsetzung in Zeichnungen ist möglich. Eine Kombination mit eingescannten oder gezeichneten vorhandenen CAD-Plänen ist möglich. Eine Binnen-Detaillierung dieses Aufmasses, z.B. für ein Fugenbild von großflächigen Quader-Mauern erfolgt über das automatisch beim Laser-Scannen aufgenommene Grauwertbild. Eine Kombination mit fotografischen Aufnahmen, die über dem Aufmaß entzerrt werden, ist selbstverständlich möglich. Es sind aber nur wenige zusätzliche Aufnahmen erforderlich. Laser-Scannen kann man auch bei Nacht, weil das System selbst Mess-Licht erzeugt, damit kann man ohne Störung des Betriebs Innenaufnahmen machen, z.B. vor oder nach der Besuchszeit in Dom oder Schloss.

**Von den Kosten bei gleichem Ergebnis ist die Methode 1 wegen des erforderlichen Aufwandes die teuerste, die Methode 2 erledigt bereits viele Leistungen „automatisch“ durch Fotografien, die Methode 3 ist prinzipiell am kostengünstigsten, weil das Aufmaß grundsätzlich automatisch erfolgt und nur an wenigen Stellen durch Handaufmass, Theodoliten und Fotografien ergänzt werden muss.**

Die Methode des Laser-Scannens schafft kostenlos über das erforderliche aufgaben-gerechte Aufmaß hinaus eine 3D-Gebäudehülle aus Laser-Punkten, die über mathematische Methoden entweder mit einer Dreiecks-Vermaschung (Octocom) oder anderen Methoden (Leica / Cyra) in beliebiger Detaillierung in Hüll-Flächen aus Vektor-Flächen umgesetzt werden kann, die mit CAD-Systemen aus dem Hochbau, z.B. AutoCAD ADT oder AutoCAD MAP, weiter bearbeitet werden können und deren Objekte mit Datenbanken zu einer Kartierung für Schäden und Maßnahmen sowie für andere Zwecke eingesetzt werden können.

**Wichtig ist beim Laser-Scannen die Leistungsfähigkeit des eingesetzten Scanners:**

Der 3D-Scanner CYRAX von Leica / Cyra und die dabei einsetzbare Software wurde in den USA für Aufnahmen von digitalen Gelände-Modellen und Industrie-Anlagen, z.B. Raffinerien, entwickelt und erst vor kurzem in Deutschland übernommen und angeboten. Er ist für einen Einsatz im Bereich von Baudenkmalern bisher grundsätzlich nicht geeignet und eine Weiterentwicklung in diese Richtung ist nach Auskunft des zuständigen Beauftragten von Leica, Herrn Scholz, in den kommenden Jahren nicht geplant. Wegen seiner hohen Kosten mit ca. 360.000 DM wird sein Einsatz zunächst noch sehr teuer sein. Seine Auflösung ist für Aufmäße von Baudenkmalern z.Z. viel zu grob und sein Scan-Bereich ist zu klein, z.B. kann der CYRAX nicht über Kopf und rundum scannen. Für ein vollständiges Aufmaß müssen deshalb viele Teilaufnahmen zusammen gerechnet werden. Eine Verbesserung in dieser Hinsicht ist m.E. frühestens in 2 Jahren zu erwarten. Auch die

Software ist z.Z. für einen Einsatz im Denkmalsbereich völlig ungeeignet, so gut sie im Industrie-Bereich auch ist. Der Anschluss einer Kartierungs-Datenbank mit Verbindung zu Grafik ist mit dieser Software nicht lösbar. Der Scanner CYRAX soll zunächst vor allem im Industrie-Bereich weiter eingesetzt werden, aus dem er kommt.

Der von Zoller+Fröhlich in Zusammenarbeit mit Ingenieurbüro Octocom AG entwickelte Scanner arbeitet in einem einzigen Arbeitsgang rundum und gleichzeitig über Kopf. Bei verschatteten Bereichen müssen wie bei allen Scannern mehrere Teilaufnahmen zusammen gerechnet werden. Je nach Entfernung kann ein Detailmaß von 3 mm erreicht werden. Zusammen mit der Aufnahme der 3D-Punktewolke im Abstand von 3 mm wird ein Graubild erzeugt, das im Normalfall zusätzliche Fotoaufnahmen überflüssig macht.

Laser-Scanner, die zwischen den Leistungs-Bereichen von Leica / Cyra und Zoller+Fröhlich liegen, haben jeweils Nachteile gegenüber einem der beiden Systeme, aber keine Vorteile. Im Ingenieur-Bereich ist der Scanner CYRAX das beste System, im Denkmalsbereich der Laser von Zoller+Fröhlich / Octocom AG. Durch eine Lizenz-Vereinbarung zwischen Zoller+Fröhlich und Octocom AG, die vor allem auf die Weiterentwicklung von Hardware und Software abzielt, kann dieser Scanner z.Z. in Deutschland von keinem anderen Ingenieurbüro eingesetzt und angeboten werden.

Heute angebotene Scanner unterscheiden sich auch in der eingesetzten Technik, die sich auf die Entfernungsgenauigkeit und das (kostenlos) mitgelieferte Grau-Bild auswirkt: CYRA verwendet das Puls-Verfahren (die Laufzeit eines ausgesandten Impulses wird gemessen), Zoller-Octocom verwendet das Phasendifferenz-Verfahren: die Phasenverschiebung zwischen gesendetem und reflektiertem Laserlicht wird gemessen, die Entfernung kann sehr genau gemessen werden).

**Gesamturteil:**

**In der nächsten Zeit (mindestens 1-2 Jahre) wird das von Octocom AG angebotene System (Scannen, Daten-Aufbereitung, Verbindung mit Datenbank für Kartierung, System zur Daten-Verwaltung für große Gebäude wie Dom oder Schloss) im Bereich Denkmalschutz das am besten geeignete sein.**

**Detaillierte Erläuterungen zu einsetzbaren Scannern:**

**Optische 3D-Erfassung mit Streifen-Projektions-Verfahren / Gray-Code-Scanner**

Es werden z.Z. zur optischen 3D-Erfassung von Objekten aktive und passive Systeme eingesetzt. Unter passiven Systemen versteht man z.B. die Fotogrammetrie oder die Stereovision. Bei aktiven wird das Objekt in irgendeiner Form beleuchtet. In der Industrie werden schon seit längerem aktive optische 3D-Messverfahren eingesetzt. Sie finden hauptsächlich dort Verwendung, wo es um das schnelle und präzise Vermessen von Frei-

formflächen geht. Die meisten dieser optischen Messsysteme beruhen auf dem Triangulations-Prinzip, wie z.B. das Streifen-Projektions-Verfahren (Gray-Code-Scanner). Dabei wird auf das zu vermessende Objekt ein Streifenmuster projiziert und unter einem definierten Winkel von einer CCD-Kamera erfasst. Diese Systeme bestechen durch hohe Auflösung, Messgeschwindigkeit und Genauigkeiten bis zu 1/100 mm. Die allgemeine Beleuchtungs-Problematik bzw. die Tiefenschärfe und die Sensorgröße der CCD-Kamera erlauben jedoch nur das Vermessen von Objekten bzw. von Objektausschnitten, die kleiner sind als 200 x 100 x 50 cm. In der Denkmalpflege besteht aber Interesse am dreidimensionalen Erfassen von größeren Objekten, wie z.B. ganzen Gebäuden oder Statuen. Auch solche Objekte können zwar mittels einer Kombination aus Streifen-Projektion und Fotogrammetrie vermessen werden. Dies ist aber sehr zeitaufwendig und daher entsprechend teuer. [s. dazu: [Arbeitshefte des Bayer. Landesamtes für Denkmalschutz, Zinkguss, Kocher, M. u.a., Computer-Bildverarbeitung und dreidimensionale Vermessung ...](#)]

Das im [Arbeitsheft Zinkguss](#) geschilderte Verfahren wurde in den letzten Jahren am Fraunhofer-Institut Darmstadt, Institut für graphische Datenverarbeitung IGD von Dr. Peter Neugebauer (IGD Darmstadt, Department Cognitive Computing & Medical Imaging) weiter entwickelt und stark verbessert. (s. dazu: [www.igd.fhg.de/igd-a7/](http://www.igd.fhg.de/igd-a7/), ... [Reconstructing ...](#)) Das Verfahren ist für die Aufnahme von Gebäuden nicht entwickelt worden und auch nicht geeignet. Für hochgenaue Aufnahmen von Bauteilen, wie z.B. Krabben, und vor allem von Statuen ist es gut geeignet. Voraussetzung ist allerdings die Zugänglichkeit der Objekte, die fast nie für die Aufnahme demontiert werden können. Erschwert wird die Aufnahme auch durch dunkle Oberflächen, z.B. Krusten. Teilaufnahmen von Objekten können zusammen gesetzt werden. Die hohe Genauigkeit kann auf dem Objekt je nach Form nicht durchgängig erreicht werden, z.B. bei Hinterschneidungen in Armlöchern oder Gewandfalten. Einzelne Teile wie z.B. Gesicht und Hände können aber tatsächlich hochgenau aufgenommen werden. Die gewonnenen 3D-Koordinaten können wie beim Laser-Scanning zu 3D-Polygonen vermascht werden und damit mit CAD weiter bearbeitet werden. Die Daten können auch eingesetzt werden für automatisch gefertigte Kopien mit den im Maschinenbau gängigen Verfahren des Rapid Prototyping.

### Messverfahren beim 3D-Laser-Scanning

Beim 3D-Laser-Scanning wird das Objekt von einem Laserstrahl abgetastet. Die Geometrie-Daten ergeben sich dabei aus der Laufzeit-Messung und aus der Scan-Richtung. Man unterscheidet zwei Varianten: Das Pulslaufzeit-Verfahren und das Phasendifferenz-

Verfahren. Beim gepulsten Laser-Scanning wird die Laufzeit eines Lichtimpulses zum Objekt und zurück gemessen. Beim Phasendifferenz-Verfahren wird dagegen über die Phasen-Verschiebung zwischen gesendeten und reflektierten Laserlicht, auf das eine Sinuswelle aufmoduliert wird, die Laufzeit und damit die Entfernung bestimmt. Mit dem Pulslaufzeit-Verfahren lassen sich fast beliebig große Entfernungen überbrücken. Mit gepulsten Systemen sind Mess-Raten von bis zu 10.000 Hz und Genauigkeiten im cm-Bereich möglich. Wesentlich bessere Werte liefert das Phasendifferenz-Verfahren. Hier sind Mess-Raten von 625.000 Hz und Genauigkeiten im mm-Bereich möglich. Der Mess-Bereich liegt zwischen 0,5 und 60 m. Neben den reinen Geometrie-Daten liefern diese Mess-Geräte gleichzeitig Reflektivitäts-Bilder entsprechend den Bildern einer herkömmlichen Schwarz-Weiß-Kamera. Darüber hinaus ist das Verfahren von Lichtverhältnissen nahezu unabhängig. Es kann in absoluter Dunkelheit gescannt werden. Man kann sagen, dass Laserscanner generell die Fortentwicklung und Automatisierung reflektorloser Theodoliten sind.

### 3D-Laser-Scanning-Systeme 2001 am Markt:

#### Leica / Cyra (CH / USA)

[www.cyra.com](http://www.cyra.com), [www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com):

Abstrahlwinkel horizontal und Vertikal ca. 70 Grad  
Entfernungsbereich bis 200 m

Pulslaufzeitverfahren Genauigkeit ca. +/- 5 cm

Aufnahmezeitraum für 1000 x 1000 Punkte ca. 20 Minuten

#### Zeiss / Callidus (Dr. Niebuhr) (D)

[www.callidus.de](http://www.callidus.de):

Abstrahlwinkel horizontal und Vertikal ca. 360 Grad  
Entfernungsbereich bis 30 m

Pulslaufzeitverfahren Genauigkeit ca. +/- 2,5 cm

Aufnahmezeitraum für die volle Auflösung von 3200 x 3200 Punkte ca. 24 Minuten

#### Riegl (A)

[www.riegl.at](http://www.riegl.at):

Abstrahlwinkel horizontal und Vertikal ca. 360 Grad  
Entfernungsbereich bis 350 m

Pulslaufzeitverfahren Genauigkeit ca. +/- 2,5 cm bis 10 cm

Aufnahmezeitraum für die volle Auflösung von 3200 x 3200 Punkte min. 60 Minuten

#### Zoller+Fröhlich / Octocom AG (D)

[www.octocom.de](http://www.octocom.de):

Abstrahlwinkel horizontal 360, vertikal ca. 80 Grad  
Entfernungsbereich bis 60 m

Phasendifferenzverfahren Genauigkeit ca. +/- 0,3 cm bis 1 cm

Aufnahmezeitraum für die volle Auflösung von 1200 x 8000 Punkte 2,5 Minuten