

TERRESTRISCHES LASERSCANNING

H. Heister und O. Heunecke

Institut für Geodäsie

UniBwM - Neubiberg

7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Einführung

Vorläufer: LIDAR/LADAR Light/Laser Detection And Ranging
Technologie verfügbar ab ca. 1970

- zu hohe Kosten
- unzuverlässige Funktion

ab ca. 1990 Fortschritte in der

- Micro - chip Lasertechnologie
- Fertigung optische Elemente
- MEMS – Technologie (MicroElectroMechanical Systems)
- Computertechnologie

7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

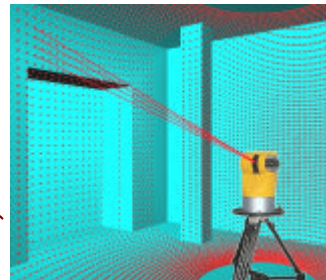
Vorname Nachname

Einführung

ab ca. 1990

- Verbesserung in der Geschwindigkeit der Datenerfassung
- Genauigkeit der Streckenmessung
- Zuverlässigkeit des Messsystems
- Reduktion des instrumentellen Aufbaus
- Reduktion der Kosten

LADAR ➤ LASERSCANNER



Charakteristische Eigenschaften von Laserscannern:

Schnelle, automatisierte Erfassung von 3-D Daten einer Szene in Form von x,y,z Punktkoordinaten (Punktwolke)

Zusätzlich: Intensitätsinformation (Funktion der Signalstärke)

7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Prinzip des terrestrischen Scannens

Inkrementelle gitterförmige Abtastung in konstanten Winkelschritten in horizontaler und vertikaler Richtung.



- Distanz s'
- orthogonale Winkel w_1, w_2
- Intensität i
- distanzabhängige Punktdichte
- distanzabhängige Spotgröße

- Objektkoordinaten im Scanner-koordinatensystem (SCS)

x, y, z, i (4D)

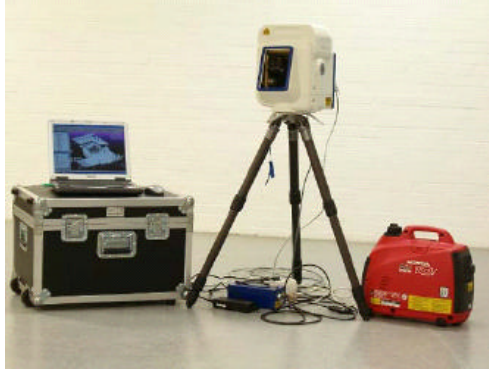
Keine topozentrische Aufstellung!

7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Prinzip des terrestrischen Scannens

Terrestrische 3D-Laserscanner Ausrüstung



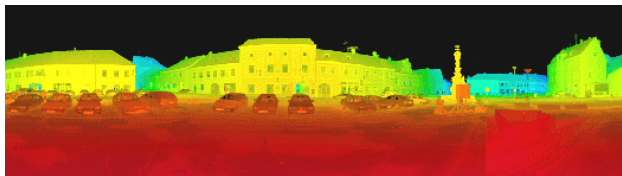
- Scanner mit Verbindungskabel
- Controller (Laptop)
- Stromversorgung (~80 W)

Prinzip des terrestrischen Scannens

Ergebnis einer Scannermessung: Matrix der Messungen ⇒



Intensitätsbild
Grauwert

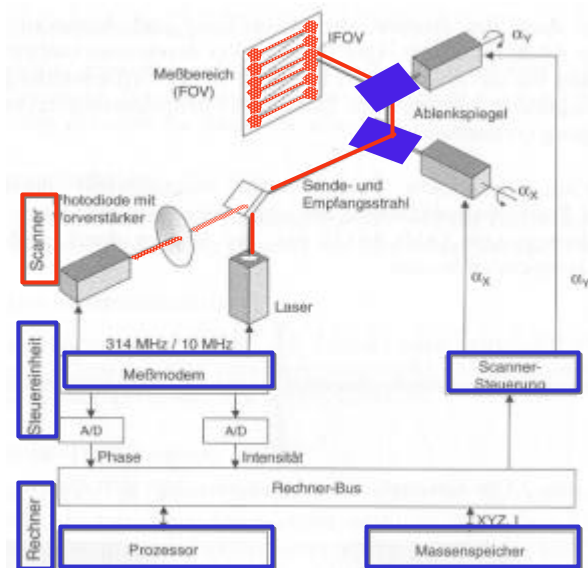


farbcodiertes
Entfernungsbild



digitales
RGB-Bild

Prinzip des terrestrischen Scanners



SCS



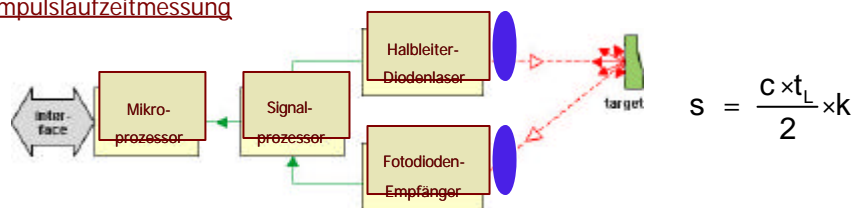
7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Prinzip des terrestrischen Scanners

Verfahren der Distanz- und Winkelmessung

Impulslaufzeitmessung



Messprinzip:

- Time-of-flight Methode
- Nah-Infrarot-Wellenlänge
- Sendediode: Gepulster Diodenlaser
- Empfänger: Sensitive narrow-band optical receiver
- Single pulse or multiple pulse signal detection
- Mikroprozessor - gesteuertes Post-processing und Interfacing

Vorteile:

- Kompakte Bauform
- Hohe Zuverlässigkeit
- Hohe Interferenz-Immunität
- Hohe Genauigkeit
- Schnelle Datenakquisition
- Highly collimated measuring beam
- Gutes Preis- / Leistungsverhältnis

7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Prinzip des terrestrischen Scanners

Weitere Verfahren der Distanzmessung

Phasenlaufzeitverfahren

CW – Verfahren
(Continuous-Wave)

$$2S = N \cdot \lambda + \Delta\lambda$$

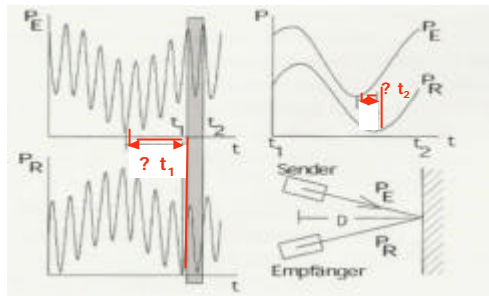
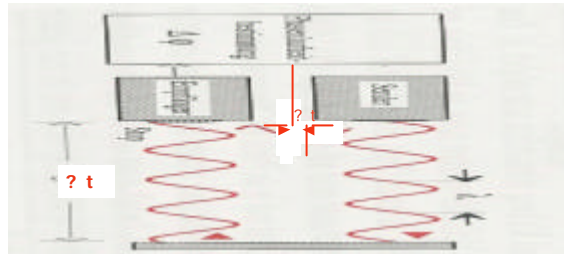
$$\Delta\lambda = c \cdot \Delta t$$

Vorteile:

- Höhere Genauigkeit
- Hohe Messgeschwindigkeit

Nachteil:

Geringerer Eindeutigkeitsbereich
⇒ Amplitudenmodulation mit mehreren Frequenzen



Prinzip des terrestrischen Scanners

Weitere Verfahren der Distanzmessung

Triangulationsverfahren:

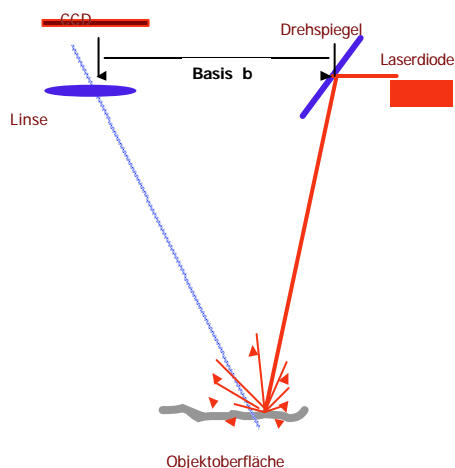
- Bekannte Basis b
- Gemessener Ausfallswinkel und Einfallswinkel
⇒ Vorwärtseinschnitt

Vorteil:

Hohe Messgenauigkeit

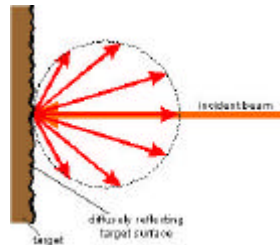
Nachteil:

- Geringe Reichweite (f(b))
- Hohe Bündelung des Lasers



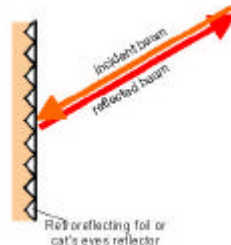
Prinzip des terrestrischen Scannens

Reflektivität:



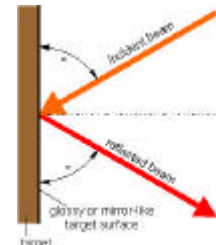
Diffuse Reflexion

Das Signal wird omnidirektional reflektiert gemäß dem Lambert'schen Kosinusetz



Retroreflexion:

Das retroreflektierte Signal wird in der gleichen Richtung wie das einfallende Signal reflektiert



Spiegelähnliche Reflexion:

Einfallswinkel entspricht dem Ausfallwinkel

Einfallende und ausfallende Strahlen (Signale) liegen in einer Ebene

Prinzip des terrestrischen Scannens

Reflexions-Koeffizient ?

Strahl senkrecht zur Oberfläche

Glänzende spiegelnde Materialien / Oberflächen

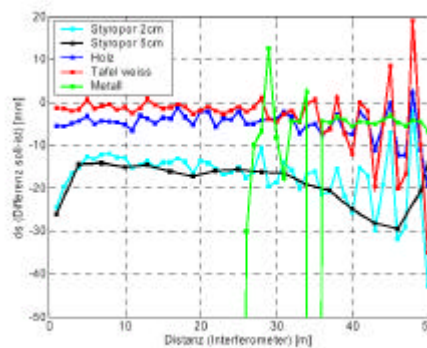
Wellenlänge 0,9 μm

⇒

Distanzabweichungen bei verschiedenen Materialien

Scanner: Imager 5003

MATERIAL	REFLECTIVITY
Reflecting foil 3M2000X	1250%
Opaque white plastic	110%
Opaque black plastic ²⁾	17%
Clear plastic ²⁾	50%



Quelle: Schulz, Ingensand, ETH Zürich 2004

Prinzip des terrestrischen Scannens

Beispiel zur Berechnung der maximalen Reichweite:

1. Prospektangabe	100 m
2. Ausnutzung des Einfallswinkels von 45%	
$\cos 45^\circ = 0,70$	x 0,7
3. Materialoberfläche / Reflektivität ? = 50%	x 0,8
4. Sichtverhältnisse „leichter Dunst“	x 0,7
Effektive maximale Reichweite	100 m x 0,39
	⇒ ca. 40 m

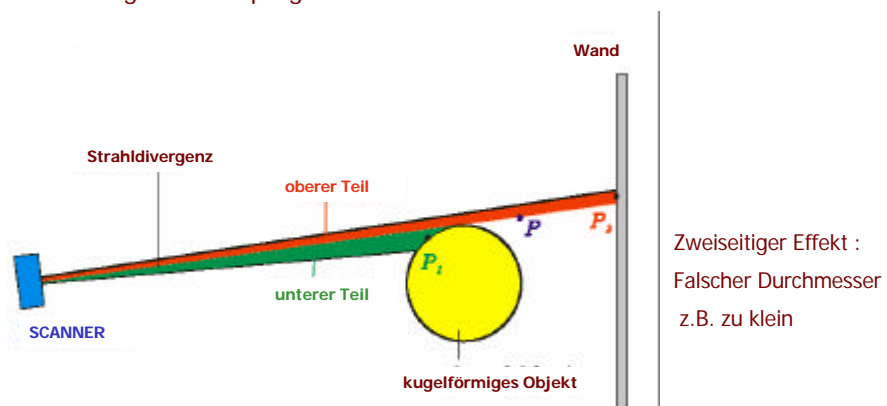
Prinzip des terrestrischen Scannens

Weitere Probleme bei der Distanzmessung:

Divergenz des (Laser) Messstrahls:

Angaben in mrad 1 mrad ⇒ 1 cm auf 10 m

Angabe der Spotgröße 3 mm – 50 mm auf 50 m

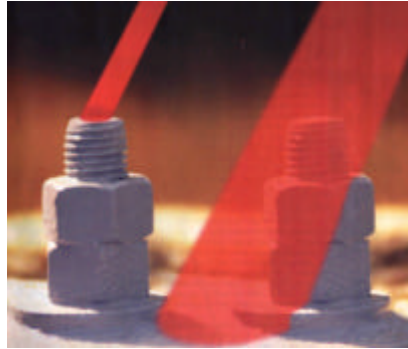


Prinzip des terrestrischen Scannens

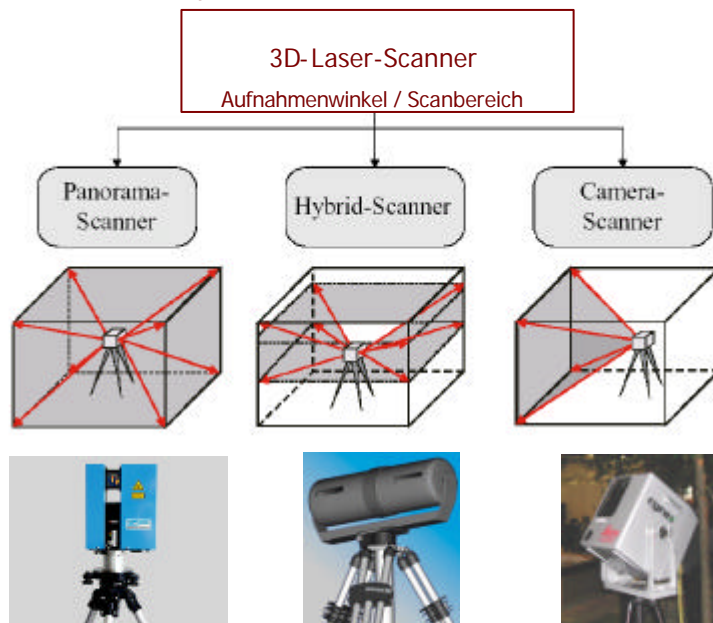
Weitere Probleme bei der Distanzmessung:

Objektstruktur nicht erfassbar








- Spotgröße \approx 3-4 mm !
- Rasterweite !



Prinzip des terrestrischen Scannens



Instrumenteller Überblick

Scanner	Verfahren	Genauigkeit	Reichweite	Aufnahmewinkel	Geschwindigkeit	Divergenz
Mensi S25 	T	0,6 mm	2 m – 25 m	46° x 320°	100 Pkte / sec	0,7 mm
Minolta VI-910 	T	0,1 mm	0,6 m - 2,5 m	12,5°x 12,5° Versch. Obj.	200.000 Pkte / sec	Versch. Objektive
Leica(Z+F) HDS4500 	PL	3 – 6 mm (25m)	1 m - 53,5 m	Hz 360° V 310°	500.000 Pkte / sec	0,2 mrad 5mm/10m
IQsun 880 IQvolution 	PL	3mm (10m)	0,2 m – 76 m	Hz 360° V 320°	210.000 Pkte / sec	0,2 mrad 3mm/15m circ.
Visi Image 3Dguru 	PL	0,25 mm (20m)	0,4 m – 36,5 m	Hz 360° V 262°	210.000 Pkte / sec	0,13 mrad 2mm/15m
Leica HDS3000 	IL	6(1,5) mm (50)	1m – 100 m	Hz 360° V 270°	1.800 Pkte / sec	0,12 mrad 6mm/50m
Riegl LMS-Z420i 	IL	10 (5) mm (800m)	2 m – 800 m	Hz 360° V 80°	10.000 Pkte / sec	0,25mrad 2,5cm/50m

7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Geometrische Qualität der Messungen

- Entfernungsabhängige Parameter (Messverfahren, Meteorologie)
- Abhängigkeiten vom Einfallswinkel
- Oberflächeneigenschaften (Reflektivität , Farbe, Spiegelung)
- Umgebungsbedingungen (Lichtverhältnisse)
- Spotgröße (Divergenz)
- Winkelauflösung
- Abtastweite

Black-Box-Prinzip!

Kalibrierparameter!

Messunsicherheit der Messgrößen (Winkel, Strecken, Intensität) ?

Messunsicherheit der 3D-Koordinaten ?

Messunsicherheit von Objekten (Flächen, Bezugspunkte, lineare Elemente, ...)?

7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Geometrische Qualität der Messungen

Verschiedene Ansätze:

NIST (National Institut of Standards and Technolgy) 2003:

Calibration Experiments of a Laser Scanner

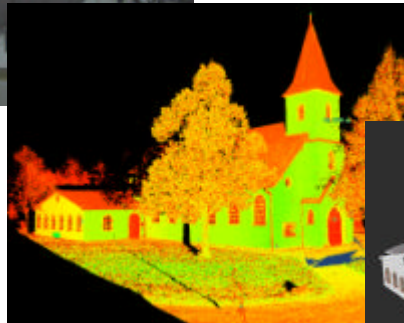
- Wachsender Bedarf zur Charakterisierung der statistisch gerechtfertigten Messunsicherheit von Scannern
- Zur objektiven Objektmodellierung muss die Genauigkeit / Präzision des Sensors bekannt sein
- Bewertung der Algorithmen zur Objektmodellierung einschl. Registrierung, Datenhandling, Filterprozesse
- Zusammenführung der Erkenntnisse (Sensor, Algorithmik) zur Bestimmung der Messunsicherheit rekonstruierter Szenen, abgeleiteter geometrischer Größen

Datenakquisition - Datenverarbeitung

„Punktwolke“



- Messinstrument: Cyrax 2500, Cyclone 4.1
- 4 Aufnahmestandpunkte, Rasterweite 4 x 4 cm
- Zeitaufwand Aufnahme ca. 3 h
(lokale Koordinaten, keine Referenzierung)



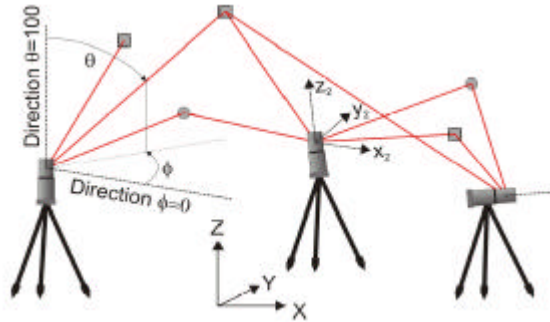
→ 2,3 Mill. Punkte !!!



Datenakquisition - Datenverarbeitung

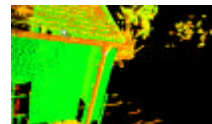
1. Orientierung der Punktwolken

⇒ Verkettete räumliche Ähnlichkeitstransformation



⇐ Durch Passpunkte (spezielle Zielmarken)

Durch identische Bereiche (Punktwolken) ⇒



Datenakquisition - Datenverarbeitung

2. Datenbereinigung

Fehlmessungen aus unterschiedlichen Gründen führen zu Datenfehlern

„schwarze Löcher“ , keine Informationen

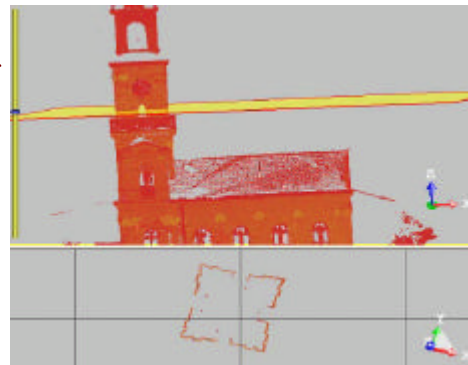
„virtuelle Objekte“ , die nicht existieren

„intermediate points“ , Kometenschweif

3. Weiterverarbeitung / Modellierung

- Einfache Weiterverarbeitung

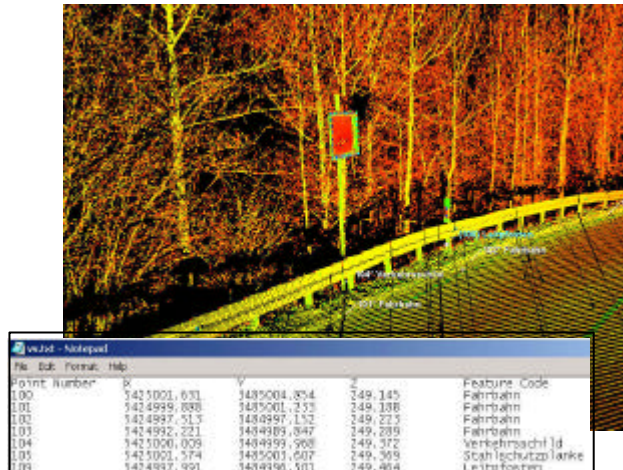
- einzelne oder mehrere Schnitte
- zweidimensionale geometrische Informationen
- Liniengenerierung



Datenakquisition - Datenverarbeitung

3. Weiterverarbeitung / Modellierung

- Einfache Weiterverarbeitung
- 3D – Informationen Beispiel: Cyclone Survey Virtual Surveyor (Leica Tool)
 - 3d –Koordinaten
 - Attributierung
 - Datenbank



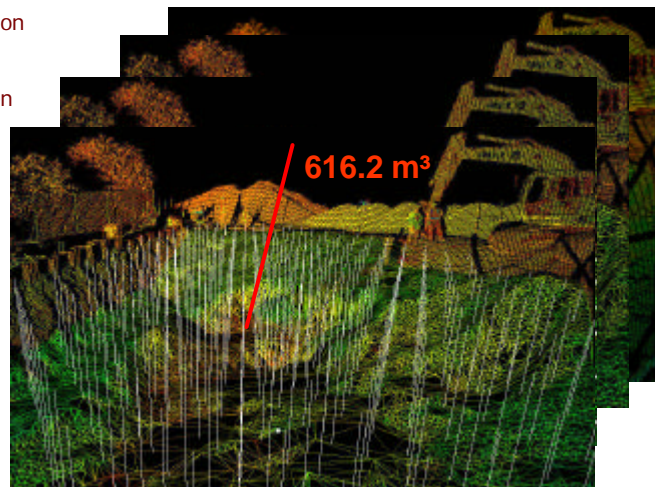
7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Datenakquisition - Datenverarbeitung

3. Weiterverarbeitung / Modellierung

- Einfache Weiterverarbeitung
- Vermaschung von Punktwolken Beispiel: Cyclone Survey Virtual Surveyor (Leica Tool)
 - Interpolation
 - Raster
 - Höhenlinien
 - Volumen



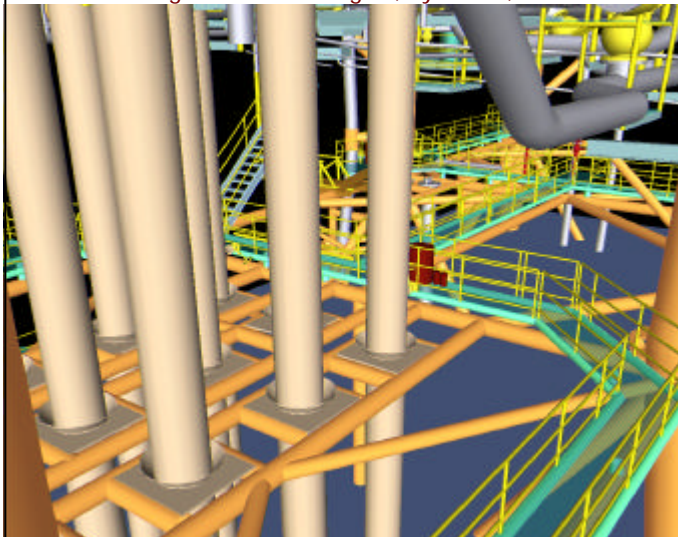
7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Datenakquisition - Datenverarbeitung

3. Weiterverarbeitung / Modellierung

- Modellierung von Ebenen, Kugeln, Zylindern,



Beispiel:
Cyclone-Software
Model

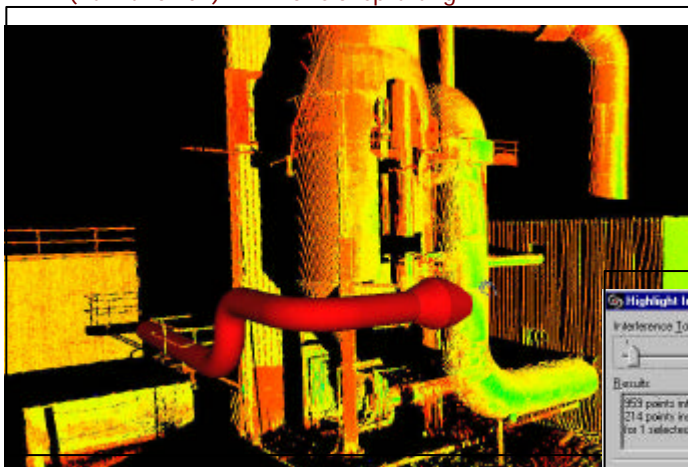
7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

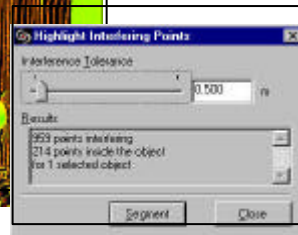
Datenakquisition - Datenverarbeitung

3. Weiterverarbeitung / Modellierung

- Vergleich und Einbeziehung theoretischer Modelle (CAD) mit der Realität (Punktwolken) z.B. Kollisionsprüfung



Beispiel:
Cyclone-Software
Model



7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Datenakquisition - Datenverarbeitung

3. Weiterverarbeitung / Modellierung

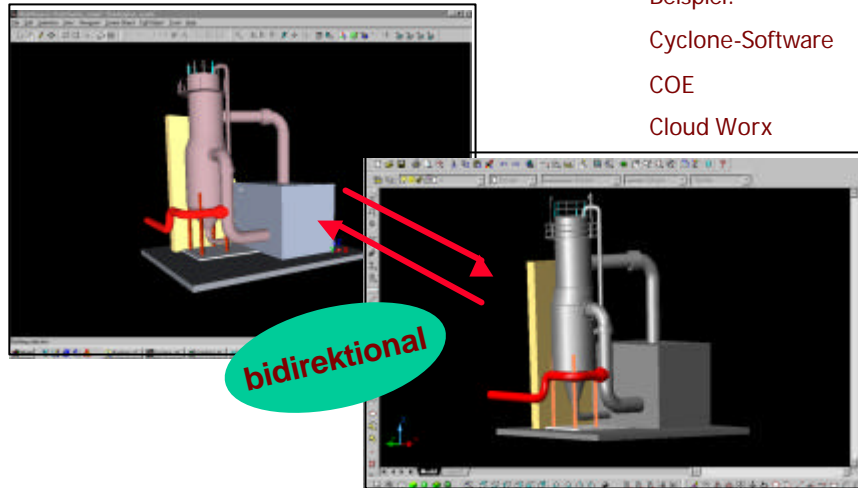
- Export von Punktwolken oder geometrischer Elemente in andere Programme (CAD, Datenbanken usw. ...)

Beispiel:

Cyclone-Software

COE

Cloud Worx



7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Datenakquisition - Datenverarbeitung

4. Visualisierung

- Punktwolken in 3D-Projektion, farb- oder s/w-codierte Intensitätsrepräsentation
- Punktwolken zusätzlich ergänzt durch geometrische Elemente
- Fusion referenzierter Punktwolken mit digitalen (Farb-)Bildern
- 3D-Contourpläne (Drahtmodelle)
- 3D-Modelle mit / ohne Textur / 3D-Renderings
- 3D-Animationen zB. virtuelle Flüge durch 3D-Szenen

7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Anwendungsbeispiel – Maximilianstr.

Aufnahmeziel:

Geometrisch korrekte Fassadendokumentation

Erstellung eines 2D-Fassadenplanes - Hohe Genauigkeitsforderungen cm-Bereich

Lösungsansatz:

Terrestrische Polygonierung

zur polaren Aufnahme der

- Passpunkte und
- des Grundrisses (Sockel)

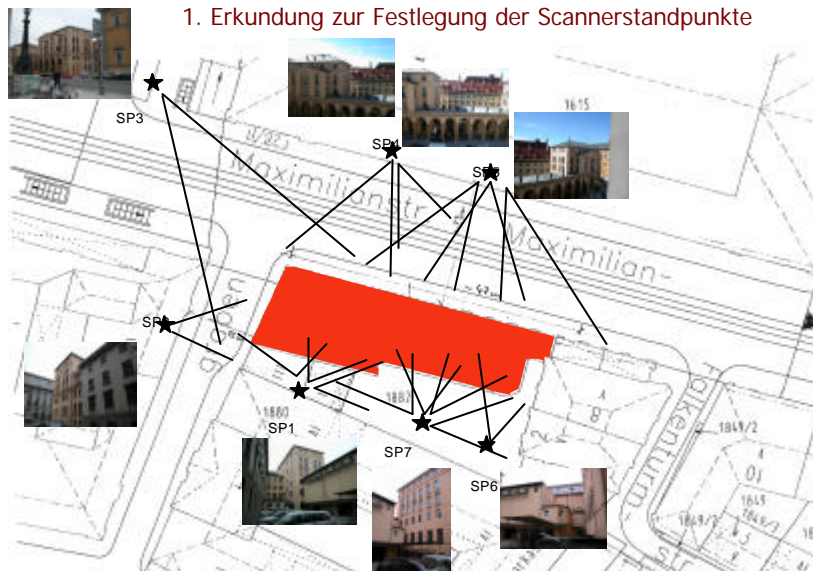
Scanneraufnahmen mit

Leica HDS 2500



Anwendungsbeispiel – Maximilianstr.

1. Erkundung zur Festlegung der Scannerstandpunkte



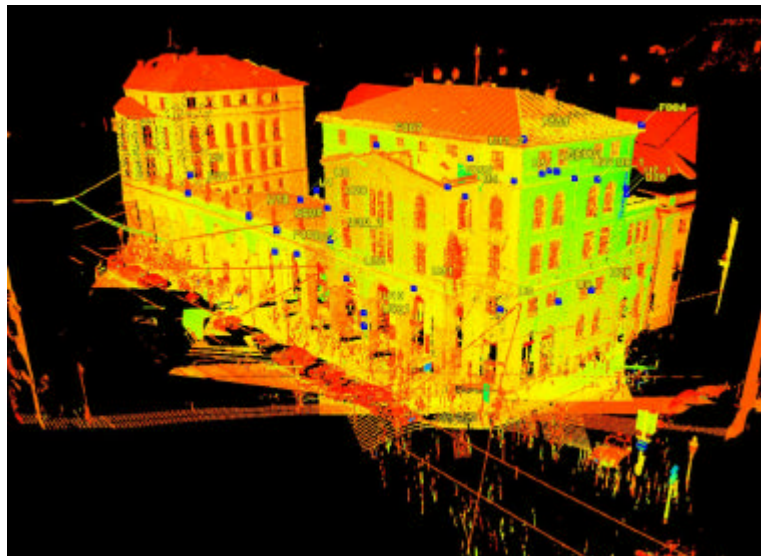
Anwendungsbeispiel – Maximilianstr.

2. Scannen – 6 Standpunkte 16 Scans (Szenen) mit Cyclone Scan



Anwendungsbeispiel – Maximilianstr.

Gesamte Scanworld mit den genutzten Cyra Targets

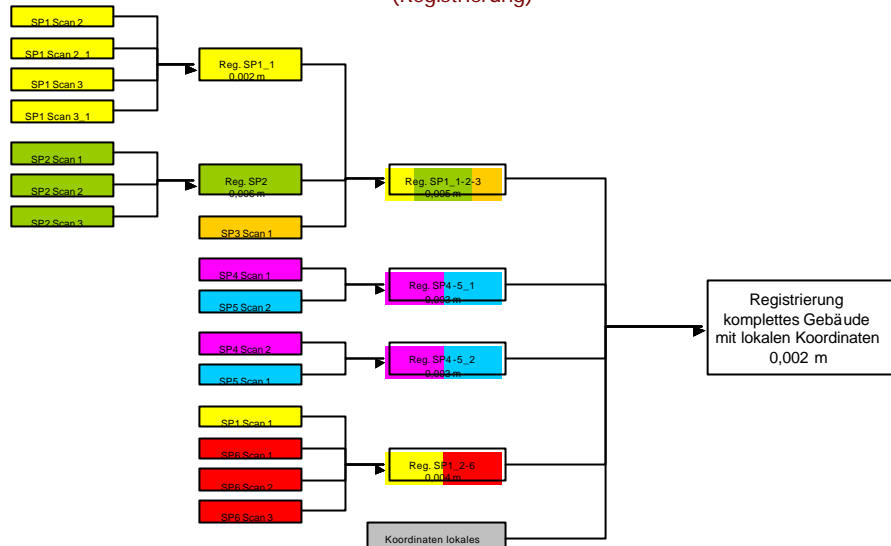


7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Anwendungsbeispiel – Maximilianstr.

3. Orientierung und Verknüpfung der Punktwolken zu einem 3D-Modell mit Cyclone (Registrierung)

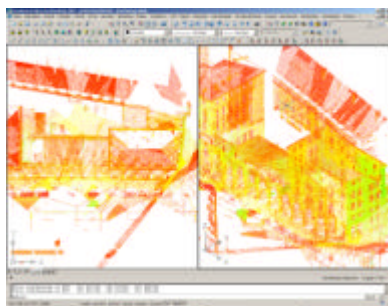


7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

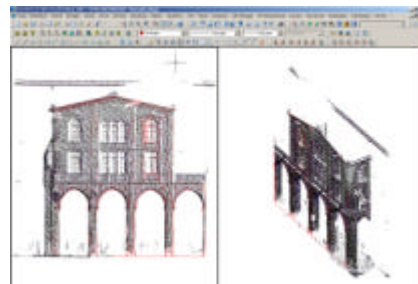
Vorname Nachname

Anwendungsbeispiel – Maximilianstr.

4. Import der Punktwolken in AutoCAD über die Schnittstelle Cyclone CloudWorx



Import der gesamten Punktwolken



Legen von Schnitten entlang der Koordinatenachsen

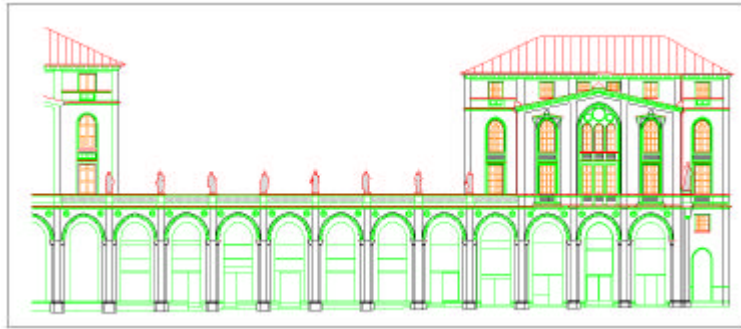
7. Seminar GIS & Internet vom 15. bis 17. September 2004 – UniBwMünchen

Vorname Nachname

Anwendungsbeispiel – Maximilianstr.

5. Bearbeitung ausgewählter Punktwolken im CAD

Erstellung des 2D-Fassadenplanes



Vergleich / Kontrolle mit den terrestrischen Messungen

Sockel - Mauerstärken

Probleme im Bereich schlechter Schnittgeometrien

Anwendungsbeispiel – Maximilianstr.

6. Aufwand

- Erkundung
 - 1 Tag mit Auftraggeber
- Scannen
 - 2 Tage, wobei die angebrachten Ziele über Nacht vor Ort belassen wurden
 - Parallele Aufnahme der Ziele tachymetrisch im örtlichen System durch den Auftraggeber
- Datenhandling / Registrierung 1 Tag
 - Restklaffungen siehe vorh. Folie 4: 2 mm
 - Aufgrund unzureichender identischer Targets wurden Wandflächen als identische geometrische Objekte mit in der Registrierung genutzt

Anwendungsbeispiel – Maximilianstr.

- Bearbeitung im AutoCAD
- Ca. 1 Woche
- Import der Punktwolken über die Schnittstelle Cloudworx problemlos
- Linien und Flächenerzeugung muss manuell mit hohem Arbeitsaufwand getätigt werden
- Da AutoCAD eher ein Design- als Modellierungsprogramm ist, wurde zur Erzeugung eines 3D Modells das Programm 3D Max eingesetzt
 - Der Import der Punkte in dieses Programm geschieht dabei über eine ASCII Datei mit den Punktkoordinaten

Anwendungsbeispiel – Maximilianstr.

7. Endergebnis: Modell aus 3D Max und animiertes Video-Modell



Institut für Geodäsie
Universität der Bundeswehr München

Architekturaufnahme mit 3D-Scannern

Pilotprojekt "Maximilianstraße München"
zusammen mit
Ingenieurgesellschaft Karner mbH - München

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. H. Heister
Prof. Dr.-Ing. O. Heunecke

Scanneraufnahme mit Leica HDS 2500:
Dipl.-Ing. W. Liebl
Dipl.-Ing. S. Pink

Modellierung und Animation:
Dipl.-Ing. E. Dutescu

Einsatzmöglichkeiten und weitere Anwendungen

- **Archäologie** (Aufnahme und Dokumentation)
- **Architektur** (Fassaden und Stadtmodelle)
- Bauingenieurwesen (Baudokumentation, Bauwerksüberwachung, Schadensdokumentationen)
- **Anlagenbau** (Bestandaufnahme – Planung - Kollisionsprüfung)
- Topographie und Bergbau
- Tunnelbau
- **Stadtmodelle**
- Prozessautomation & Robotics
- Technische Sonderanwendungen

Einsatzmöglichkeiten und weitere Anwendungen

- 3D-Stadtmodelle



GEODATA Cityscanner:
Fusion von
Bildsensorik und
Scannertechnologie

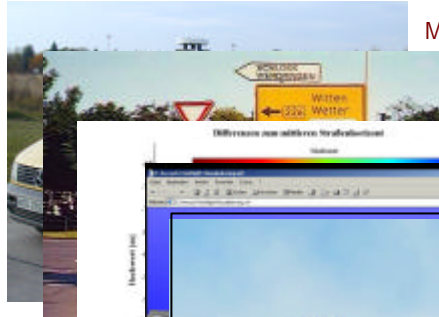
Cityplanner:
Visualisierung von
Planungsvarianten

Cityexplorer: VRML basierter Walk-Through

Einsatzmöglichkeiten und weitere Anwendungen

- Strassen- und Verkehrswesen

IKV – Institut für Geodäsie der UniBw M



MoSES – Mobiles Strassen-Erfassungs-System

- Straßeninformationsbank / Bestandspläne

- Straßenzustandsaufnahme

- Verkehrsraumeinschränkungen

- Animierte Visualisierung

Zusammenfassung – Ausblick

- **Große Bandbreite** von Anwendungen
 - Klassische Ingenieurdisziplinen, Architektur, Restauration, Archäologie, Medizin, Filmanimation,
- Instrumentelles **Angebot sehr groß** – kein „All-Round-System“
- **Große Software Produktpalette** mit unterschiedlichen Schwerpunkten
- **Vorzüge gegenüber traditionellen Methoden**
 - **Bedeutende Zeitersparnis** bei der Außenaufnahme
 - **Vollständigkeit** und Exaktheit der Vermessung
 - Sichere Vermessungstätigkeit durch **berührungslose Messverfahren**
 - Messaufnahme auch bei **Nacht** möglich
 - Erfassung auch sehr **komplexer detailreicher** Oberflächen
 - Schnelle und genaue Bestimmung von **Flächen, Volumen, Profile, Schnitte, Isohypsen**
 - Überführung der 3D-Objekte in die **CAD-Systeme der Nutzer**

Zusammenfassung – Ausblick

• Nachteile der Scannertechnologie

- **Black-Box-System** – Überprüfung / Kalibrierung?
- Messtechnik noch **nicht 100% ausgereift** – insbesondere bei hohen Genauigkeitsforderungen
- Bearbeitung **großer Datenmengen** / spezielle Software
- **Modellierung** ist subjektiv
- Topozentrische Messung z.Zt. **nicht** möglich
- **Hohe Anschaffungskosten**

• Ausblick

- Zusammenführung der „**optimalen**“ Eigenschaften
- **Weiterentwicklung** der Software
- **Direkte** Georeferenzierung / zusätzliche Sensoren
- Verknüpfung von **Farb-CCD-Informationen** und Scannertechnologie

oder ist Scannertechnologie eine innovative Sackgasse ?

Zusammenfassung – Ausblick

??? Ist PMD- Technologie die Zukunft ???

Photonic – Mixer – Device Technologie:

Jedes Pixel einer CCD-Kamera ist mit einem Distanzsensord ausgestattet!

⇒ Es werden direkt 3D-Koordinaten bestimmt



So sieht eine PMD-Kamera aus!

