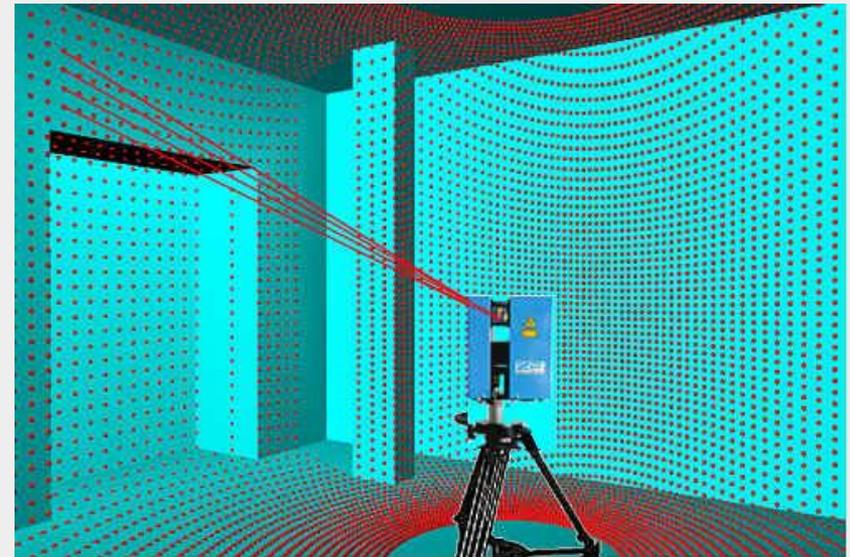


# Terrestrisches Laserscanning – aktueller Stand und Probleme



# Gliederung

- **Überblick über neue Laserscanner**
- **Überblick über aktuelle Möglichkeiten der Scan-Referenzierung bzw. -Verknüpfung**
- **Tendenzen in der Hardware-Entwicklung**
- **Entwicklungstendenzen in der Auswertung**

# Aktueller Überblick über neue Laserscanner

**vermutlich aktuell immer noch der schnellste Scanner für Reichweiten über 30 m**

## **Z + F Imager 5016**

**Fa. Zoller+Fröhlich**

- **bis zu 1.016000 Punkte/Sekunde**
- **max. Reichweite 360 m**
- **Messgenauigkeit  $\leq 1$  mm (10 m)**
- **Laserklasse 1**
- **GPS und Indoor Navigationssystem**
- **Gewicht. 7,5 kg**
- **80 Mpixel Panoramakamera**



Quelle: [www.zf-laser.com](http://www.zf-laser.com)

# Aktueller Überblick über neue Laserscanner

## Leica RTC 360

- Im Nahbereich bis 2.000.000 Punkte/s
- Reichweite 0,5 m bis 130 m (Refl. 78 %)
- 3D-Punktgenauigkeit 2 mm/10 m, 5 mm/40 m
- Laserklasse 1,  $\lambda = 1550$  nm
- Impulsgerät mittels Waveform Digitising
- HDR-3-Kamerasystem mit 36 Mpixel
- Automatisierte Felderfassung mit Scanverknüpfung und Datenübertragung ins Büro mittels Tablets
- Gewicht 5,3 kg,



Quelle: [leica-geosystems.com](http://leica-geosystems.com)

**Videounterstütztes Inertialmesssystem zur Bewegungsverfolgung der Scanner-Position relativ zur vorherigen Stationierung in Echtzeit**

# Aktueller Überblick über neue Laserscanner

**Handscanner für Aufgaben mittlerer Genauigkeit wie z.B. Gebäudeinnenraumerfassungen**

## **ZEB Horizon von GeoSLAM (UK)**

**handgeführter 3D-Scanner für professionellen Einsatz innen und außen**

- bis zu 300.000 Punkte pro Sekunde
- Reichweite bis zu 100 m (< 60 m sinnvoll)
- Automatische Registrierung der Scans
- 3D Punktgenauigkeit: 1 – 3 cm
- Verknüpfung der Videodaten einer ZEB-Kamera mit der Punktwolke des Scanners möglich
- Hand-, Rucksack- oder Drohnenlösung
- Gewicht 1,3 kg
- Mietpreis 490 € pro Tag



Quelle: <https://geoslam.com>

## Aktueller Überblick über neue Laserscanner

### Polaris LR von Teledyne Optech

- Polaris LR – in drei verschiedene Reichweiten wählbar:
  - 250m mit Messfrequenz 500 kHz,
  - 750m mit Messfrequenz 200 kHz
  - 2000m mit Messfrequenz 50 kHz
- Messprinzip: Laufzeitmessung (Impulsmessverfahren)
- 250 GB SSD Festplatte,
- 2 interne Kameras -> 80 Megapixel Panoramabilder)
- Integrierter GNSS Empfänger
- Max. Punktdichte 2 mm auf 100m
- Distanzmessgenauigkeit 5 mm auf 100m
- Gewicht 11,2 kg



## 3D-Datenerfassung des Blauen Wunders mit dem Polaris

Umfang der Messung:

- 15 Scanstandpunkte
- Dauer der Messung:  
4 Stunden



Quelle: Rabisch, Laserscanning europe, 2019

## 4. Messung des Blauen Wunders

### Vorgehensweise:

- Nutzung der Mittleren Reichweite (bis zu 750m)
- Scandichte 30mm auf 100m
- Vereinzelte Scans mit geringerer Auflösung (auf Brücke)
- Messung ohne Targets, Cloud to Cloud Registrierung
- Aufmaß aufgrund von Bauarbeiten nur von einer Seite der Brücke möglich
- Nutzung der internen Kamera für Kolorierung der Punktwolke



# Überblick über Verfahren zur Scan-Referenzierung bzw. -Verknüpfung

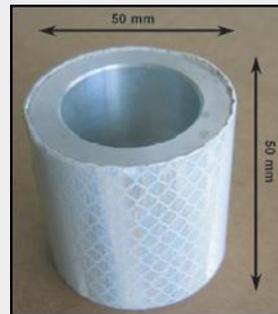
## Grundsätzliche Möglichkeiten zur Registrierung und Verknüpfung mehrerer Scans

- a) **Verknüpfung über künstliche Zielzeichen (Targets)**  
**= absolute Orientierung und Verknüpfung**  
→ vor allem zur Georeferenzierung
- b) **Verknüpfung durch Nutzung der Informationen aus den 3D-Punktwolken**  
**= relative Orientierung und Verknüpfung**  
Bezug ist lokales Koordinatensystem des 1. Scans

## Verknüpfung über künstliche Zielzeichen – absolute Orientierung

Bestimmung der Transformationsparameter zwischen den Systemen durch identische Punkte:

- Zielmarken, Kugeln usw. – u. U. automatisch identifizierbar



- ⇒ Schätzung der Transformationsparameter i.d.R. durch Ausgl. nach MkQ.  
Erforderlich: mind. 3 Punkte mit Koordinaten in beiden Systemen zur Bestimmung von 6 oder 7 Parametern, besser 5 – 6 Targets

**Vorteil:** Keine Überlappung der Punktwolken notwendig, Georeferenzierung

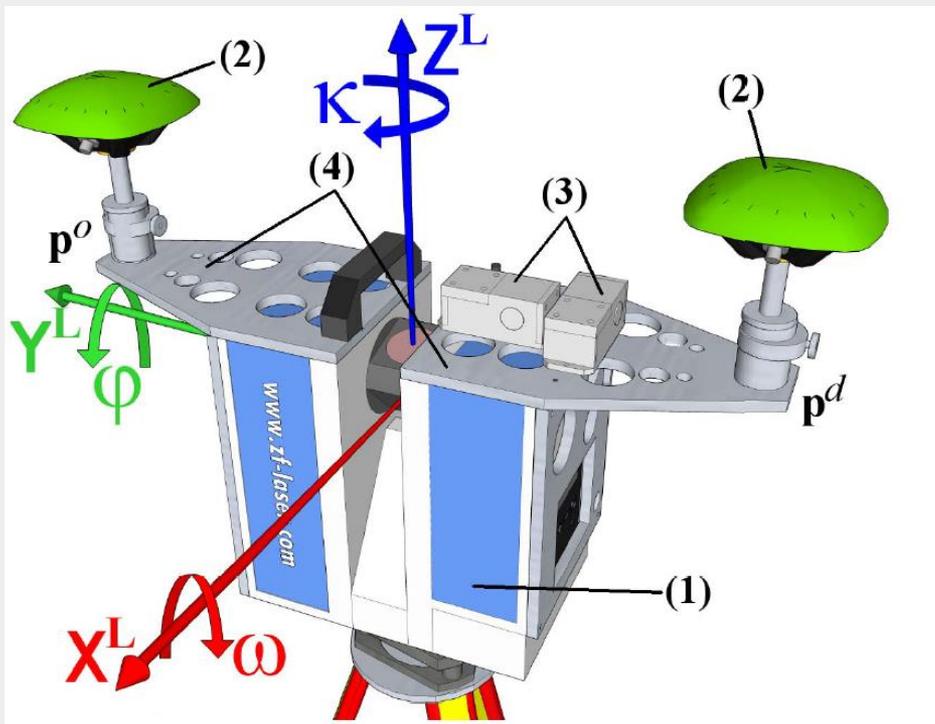
## Direkte (Geo)referenzierung mittels Zusatzinformationen

Nutzung von Beobachtungen durch zusätzlicher Sensorik

(2) GNSS

(3), (4) Inertialmesssysteme (IMU)

Neigungssensoren (z.B. Kompensator)



**Pro:** direkte Georeferenzierung  
i.d.R. effizienter

**Contra:** i.d.R. kostenintensiver  
Verfügbarkeit eingeschränkt

Paffenholz (2012)

## Relative Orientierung (Registrierung)

*Relative Orientierung der einzelnen Standpunkte zueinander*

Zwei grundsätzliche Methoden zur Herstellung der relativen Orientierung zwischen zwei Punktwolken:

- **Exakte Bestimmung** über homologe Objekte, i.a. Ebenen oder markante Punkte, Linien bzw. Flächen (müssen zuvor aus der Punktwolke extrahiert werden, geht nur teilautomatisiert)
- **Näherungsweise Bestimmung** in einem Iterationsverfahren (ICP-Algorithmus → Iterative Closest Point Algorithm)

# Nutzung der Information der Punktwolken

**a) Iterative Closest Point-Algorithmus (ICP)**, vor allem zur Feintransformation:

- 1) Ermittlung benachbarter Punktpaare aus den Scans
- 2) Berechnung der Transformationsvorschrift ( $\mathbf{R}$ ,  $\mathbf{t}$ )
- 3) Transformation der zu registrierenden Punktwolken
- 4) Iteration bis zum Abbruch des Algorithmus, anhand vorgegebenen Punktabständen

**Vorteil:** effizient, automatisch realisierbar

**Nachteile:** Startwerte notwendig (z. B. aus Lage des Scanners) , ggf. Konfigurationsprobleme, Überlappung der Punktwolke von  $> 30\%$  notwendig

# Vor-Ort-Registrierung im Scanner

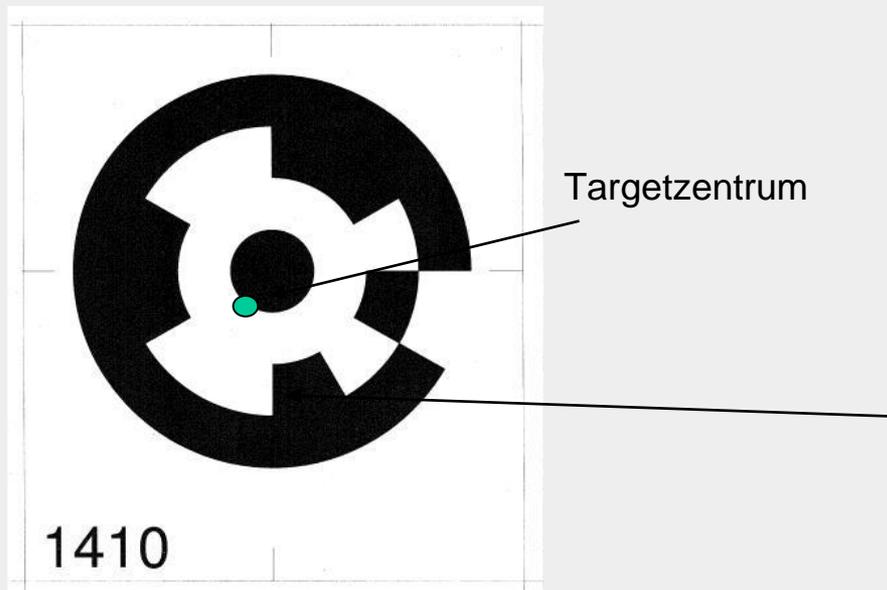


Quelle: BA Bischoff  
Balarin, HTW 2018

On-Site-Registrierung FARO FOCUS S 350 – Vor-Ort-Registrierung – FARO SCENE ab 7.0

## Neuheiten in der Scanregistrierung vor Ort

- Automatische Referenzierung mittels codierter Targets



Targetnummer Startsektor der Targetcodierung

Nummerberechnung des Targets  
Felder im Uhrzeigersinn von  $2^0$  bis  $2^{11}$

$$2^0 + 2^3 + 2^4 + 2^7 + 2^8 + 2^{10} = 1433$$

dunkle Felder enthalten Codierung

$$1433 - 23 = 1410$$

„23 - mystische Zahl der Informatik“

### Targetcodierung bei FARO

Quelle: BA Bischoff, Balarin, 2018

## Tendenzen in der Hardwareentwicklung

- Die Entwicklung der Mid-Range-Scanner ist bezüglich Genauigkeit und Messgeschwindigkeit an einem Punkt, wo weitere Steigerungen kaum möglich bzw. ökonomisch sinnvoll sind (1 mm Genauigkeit bzw. Geschwindigkeiten von 1 Mio. Punkten pro Sekunde (2 Mio. im Nahbereich) .
- **Das Auflösungsvermögen der Scanner begrenzt für Reichweiten > 350 m die Genauigkeit.**
- Bei der Qualitätssicherung der Laserscanner sind Fortschritte durch in der Gerätesoftware eingebundene Feldprüfprogramme zu verzeichnen, z. B. dem DVW-Verfahren zur standardisierten Überprüfung von TLS.
- Die Verknüpfung mehrerer Scans auf verschiedenen Standpunkten erfolgt automatisch, bezogen auf die Registrierung der Punktwolke des 1. Scans während der Aufnahme der nächsten Scans → damit kann Vollständigkeitsprüfung der Datenerfassung deutlich erleichtert werden.
- Die Mehrzahl der Scanner wird von Nichtgeodäten genutzt, die über keine oder unzureichende geodätische Kenntnisse verfügen und zuvor nur unzureichend geschult werden. Deshalb sind **Weiterbildungsmaßnahmen durch Geodäten für Nichtgeodäten im Bereich (TLS) sehr wichtig.**
- Nach einem Preisverfall vor ca. 10 Jahren sind Scanner wieder teurer geworden. Das wird sich in naher Zukunft jedoch drastisch für Scanner mit Zentimetergenauigkeiten ändern, wenn aufgrund der Anforderungen an Scanner für autonomes Fahren Scannerhersteller wie **HOKUYO** sehr kleine Scansensoren mit Reichweiten < 100m als Massenprodukte preisgünstig herstellen werden.

## Tendenzen in der Scan-Auswertung

**Einfache Modellierungen, z. B. von Gebäudeetagen erfolgen heute weitgehend automatisch und erfordern im Regelfall nur geringe Nacharbeiten → dann Auswertungsfortsetzung in CAD-Programmen**

**Genauere Modellierungen funktionieren oft nicht automatisch, erfordern erhebliche manuelle Arbeiten und sind so zeitaufwändig und teuer, da**

- Vermaschungen der Punktwolken für genauere Modelle notwendig sind, sie funktionieren meist automatisch, erfordern aber meist manuelle Nacharbeiten
- Automatisierte Modellierung anhand einfacher Primitiver wie Zylinder, Quader, Kegel, Kugeln, ... funktionieren nur dann gut, wenn das Objekt diesem Körper auch exakt entspricht
- Nacharbeit sind auch bei automatischen Rohrleitungstools erforderlich
- **DESHALB Verhältnis Außendienst –Innendienst** bei Scananwendungen zwecks Modellierung im Regelfall immer noch zwischen **1 : 10 und 1 : 15**

## Vergleich Laserscanning - Photogrammetrie

- **Photogrammetrie** und **Terrestrisches Laserscanning** sind heute Technologien für gleiche Anwendungsfälle, wobei Untersuchungen gezeigt haben, dass das **Optimum in einem Mix aus beiden Technologien** besteht.
- Laserscanning ist bei Entfernungen  $> 20$  m etwas genauer und dort im Vorteil, wo georeferenzierte Ergebnisse gefordert werden - dann sind jedoch Targets zur Referenzierung erforderlich.
- Beide Verfahren, TLS und Photogrammetrie erfordern jedoch für Modellierungsaufgaben sehr leistungsfähige Rechentechnik und Auswertesoftware, um die enormen Datenmengen (bis zu mehreren Terrabyte) bearbeiten zu können.
- Beide Verfahren, TLS und Photogrammetrie erfordern für Modellierungsaufgaben gut geschultes Auswertepersonal.