

# Analyse von räumlichen Punktverteilungen beim Laserscanning zur Verbesserung der Parameterschätzung deformierter Flächen

Geodätische Woche 2013, Essen

Christoph Holst & Heiner Kuhlmann

08. Oktober 2013

## TLS-basierte, flächenhafte Deformationsanalyse

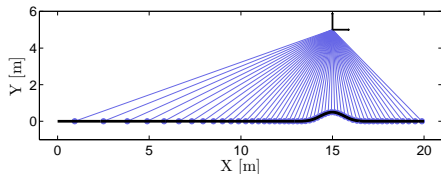
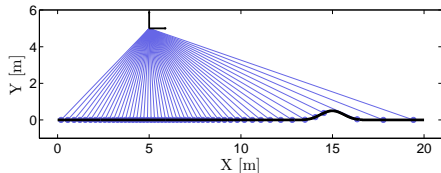
- ▶ Abtastung einer deformierten Oberfläche
- ▶ Positionen, Formen und Größen lokaler Deformationen unbekannt



<http://www.intermetric.de>

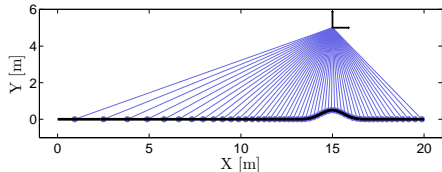
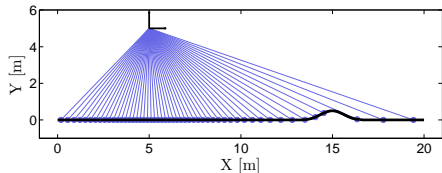
## TLS-basierte, flächenhafte Deformationsanalyse

- ▶ Abtastung einer deformierten Oberfläche
- ▶ Positionen, Formen und Größen lokaler Deformationen unbekannt
- ▶ Punktlage und -genauigkeit abhängig von Messgeometrie



## TLS-basierte, flächenhafte Deformationsanalyse

- ▶ Abtastung einer deformierten Oberfläche
- ▶ Positionen, Formen und Größen lokaler Deformationen unbekannt
- ▶ Punktlage und -genauigkeit abhängig von Messgeometrie

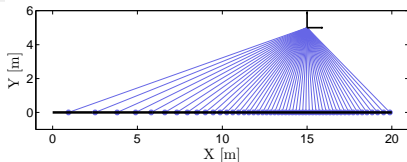
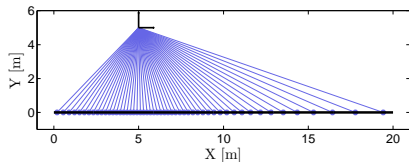


- ▶ **Ziel:** Parametrisierung abgetasteter Oberflächen zur flächenhaften Deformationsanalyse

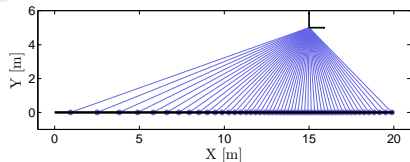
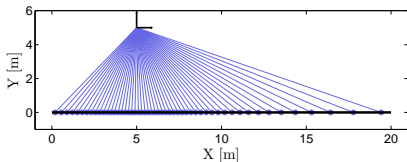
- ▶ Beeinflusst die **räumliche Verteilung** die Parameterschätzung?
- ▶ Kann die **Anzahl** der Beobachtungen minimiert werden?

⇒ **Analyse / Optimierung der Netzkonfiguration**

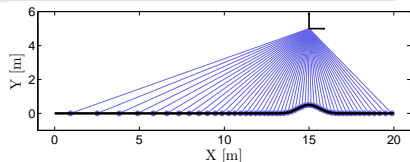
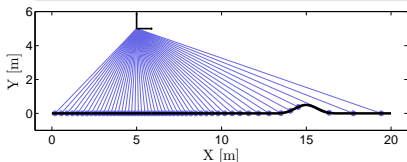
- ▶ Scan einer **nicht deformierten** Oberfläche
- ▶ Annahme: Einfluss der räumlichen Verteilung auf Parameterschätzung **nicht signifikant**



- ▶ Scan einer **nicht deformierten** Oberfläche
- ▶ Annahme: Einfluss der räumlichen Verteilung auf Parameterschätzung **nicht signifikant**



- ▶ Scan einer **deformierten** Oberfläche
- ▶ Annahme: Einfluss der räumlichen Verteilung auf Parameterschätzung **signifikant** (wenn Deformation unbekannt)



## Arbeitshypothese

Die **räumliche Verteilung** der Beobachtungen (basierend auf der Messgeometrie) beeinflusst die Parameterschätzung bei Vorliegen einer Deformation signifikant.



**Analyse des Einflusses einer Deformation**  
auf die Parameterschätzung in Abhängigkeit von der Netzkonfiguration





## Lösung über strenges Gauß-Helmert Modell

Zielfunktion

$$f(\mathbf{l}, \mathbf{p}) : m \cdot s \cdot \sin(t) + b - s \cdot \cos(t) = 0$$

Linearisierte Zielfunktion

$$\mathbf{B} \cdot (\mathbf{v} - \hat{\mathbf{v}}) + \mathbf{A} \cdot (\mathbf{p} - \hat{\mathbf{p}}) + f(\mathbf{l} + \hat{\mathbf{v}}, \hat{\mathbf{p}}) = \mathbf{0}$$

Jacobi-Matrizen

$$\mathbf{A} = \left. \frac{\partial f}{\partial \mathbf{p}} \right|_{\mathbf{l} + \hat{\mathbf{v}}, \hat{\mathbf{p}}} \quad \mathbf{B} = \left. \frac{\partial f}{\partial \mathbf{l}} \right|_{\mathbf{l} + \hat{\mathbf{v}}, \hat{\mathbf{p}}}$$

Widersprüche

$$\mathbf{w} = -\mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{v}} + f(\mathbf{l} + \hat{\mathbf{v}}, \hat{\mathbf{p}})$$

Parameterschätzung

$$\begin{bmatrix} \mathbf{k} \\ \Delta \hat{\mathbf{p}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{B} \Sigma_{\parallel} \mathbf{B}^T & \mathbf{A} \\ \mathbf{A}^T & \mathbf{0} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{w} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

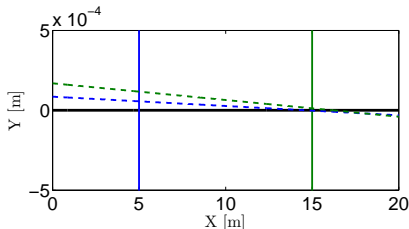
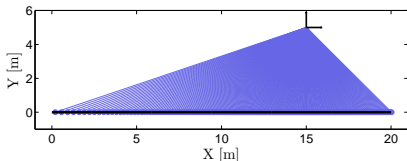
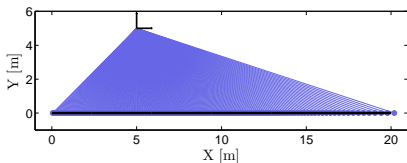
Verbesserungen

$$\hat{\mathbf{v}} = \Sigma_{\parallel} \cdot \mathbf{B}^T \mathbf{k}$$

Update

$$\hat{\mathbf{p}} = \Delta \hat{\mathbf{p}} + \hat{\mathbf{p}}$$

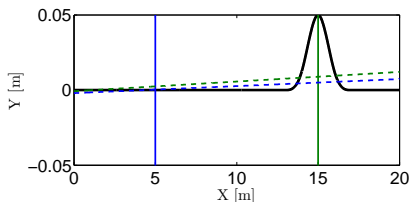
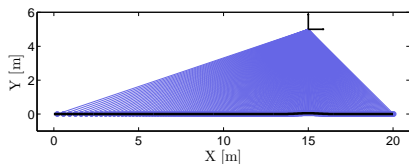
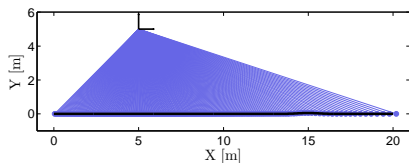
## Keine vorhandene Deformation



► Unterschied: **nicht** signifikant

- Konfiguration hat keinen signifikanten Einfluss auf Parameterschätzung
- Parameter  $\hat{m}$  und  $\hat{b}$  nicht signifikant unterschiedlich

## Vorhandene Deformation von 0.05m



► Unterschied: **signifikant**

- Konfiguration hat signifikanten Einfluss auf Parameterschätzung
  - Parameter  $\hat{\mathbf{m}}$  und  $\hat{\mathbf{b}}$  signifikant unterschiedlich
- ⇒ **Analyse der Netzkonfiguration zur Ursachenklärung**

## Redundanzanteile $r_i$

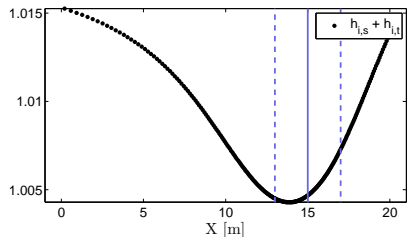
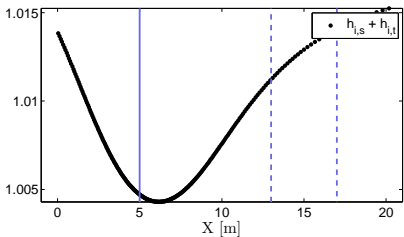
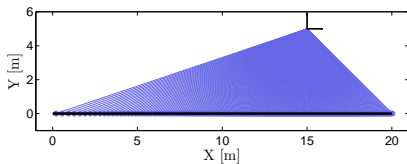
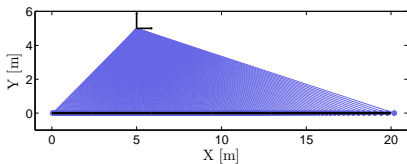
- ▶  $\Sigma_{vv} = g(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \Sigma_{ll})$
- ▶ Redundanzanteile:  $r_i = [\Sigma_{vv} \cdot \Sigma_{ll}^{-1}]_{i,i}$
- ▶ Kontrollierbarkeit einer Beobachtung:  $r_{i,s}$  und  $r_{i,t}$

## Redundanzanteile abhängig von ...

- ▶ Netz-/ Messgeometrie
- ▶ Varianzen für Strecke und Winkel
- ▶ Parameterschätzung (Parameterwerte, Linearisierung)

## Einflussfaktoren $h_i$

- ▶ Einflussfaktoren:  $h_i = 1 - r_i$
- ▶ Einfluss einer Beobachtung:  $h_{i,s}$  und  $h_{i,t}$
- ▶ **Einfluss eines Punktes:**  $h_{i,st} = h_{i,s} + h_{i,t}$



Anteil Punkteinfluss...	5m	15m
außerhalb Deformation	92%	63%
innerhalb Deformation	<b>8%</b>	<b>37%</b>

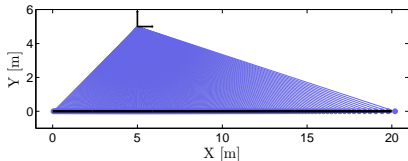


**Homogenisierung des Einflusses unabhängig von Konfiguration**

- ▶ **Idee:** Homogenisierung des Einflusses der Deformation durch Homogenisierung der Konfiguration

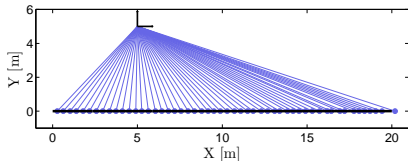
### Originale Punktwolke

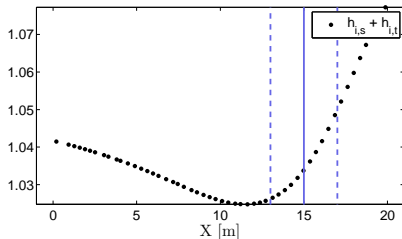
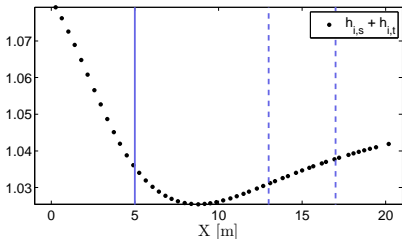
- ▶ Punktabstand variabel und abhängig von Geometrie



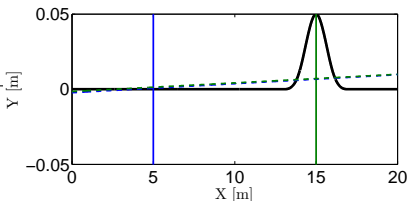
### Homogenisierte Punktwolke

- ▶ Punktabstand gerastert (entlang Fläche)
- ▶ Rastergröße = maximaler Punktabstand benachbarter Punkte





Anteil Punkteinfluss...	5m	15m
außerhalb Deformation	79%	79%
innerhalb Deformation	<b>21%</b>	<b>21%</b>



- ▶ Einfluss Deformation: **homogenisiert**
- ▶ Unterschied Parameter: **nicht signifikant**

## **Einfluss der Konfiguration auf Parameterschätzung**

- ▶ nicht signifikant ohne Deformation
- ▶ signifikant bei Vorliegen einer (nicht parametrisierten) Deformation

## **Optimierung der Konfiguration**

- ▶ Möglichkeiten: gleichmäßig, krümmungsabhängig, ...
- ▶ verringert / eliminiert Einfluss der Konfiguration auf Parameterschätzung



## TLS-basierte, flächenhafte Deformationsanalyse

TLS-Messung

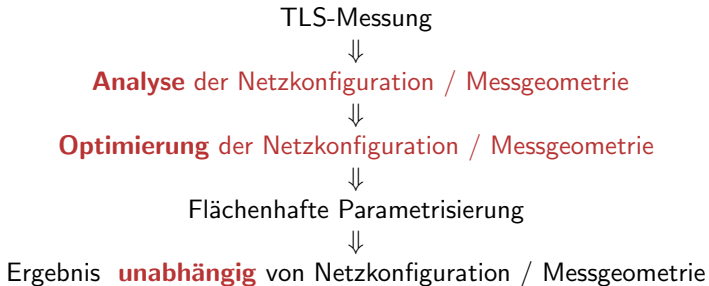


Flächenhafte Parametrisierung



Ergebnis **abhängig** von Netzkonfiguration / Messgeometrie

## TLS-basierte, flächenhafte Deformationsanalyse



**! Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**

## Christoph Holst & Heiner Kuhlmann

- ▶ Institut für Geodäsie und Geoinformation, Uni Bonn
- ▶ Tel.: 0228/73-3570
- ▶ Email: [c.holst@igg.uni-bonn.de](mailto:c.holst@igg.uni-bonn.de)