



TECHNIK
HOCHSCHULE MAINZ
UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

Modulare Digitalkamera- Tachymeter – MoDiTa 2025

Martin Schlüter

i3
mainz

Modulare Digitalkameratachymeter

Systembeschreibung

- Aufbau
- Kameras
- Mathematik
- Software

Hochgeschwindigkeitsanwendungen ...

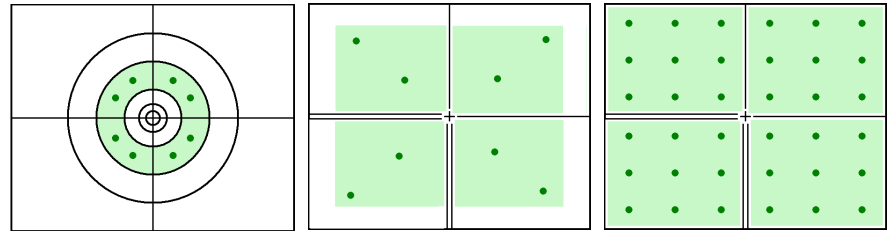
Ingenieurgeodätische Anwendungen ...

Modulare Digitalkameratachymeter „*MoDiTa*“ ...



IDS UI-3250 at Leica MS50

- ✓ ... verknüpfen High-End Industriekameras modular und flexibel mit motorisierten geodätischen Präzisionstachymetern
- ✓ ... erlauben automatische, bildbasierte Zielungen mit Genauigkeiten in der Größenordnung des Tachymeters
- ✓ ... profitieren vom motorisierten Autofokus bildgebender Totalstationen
- ✓ ... erlauben einfache Selbstkalibrierung:



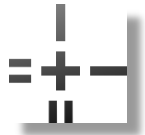
C-Mount Okularkameras



Modell	Sensor	Pixel		mgon/pixel	Kommentar	ab
UI-3480	ON S.	2560 x 1920	2,2µm		similar UI-1485, USB 3.0	'16
UI-3250	e2v	1600 x 1200	4,5µm	0,4 ... 1,0	Global Shutter, Linescan	'15
UI-3240	e2v	1280 x 1024	5,3µm	0,5 ... 1,2	Global Shutter, Linescan	'12
UI-3370	CMOSIS	2048 x 2048	5,5µm	0,5 ... 1,2	NIR / Low light & Motion	'20
U3-3040	Sony	1456 x 1088	3,5µm	0,3 ... 0,8	Global Shutter, Linescan	'23
U3-3080	Sony	2448 x 2048	3,5µm	0,3 ... 0,8	High-End Allround	'23
U3-3160	ON S.	1920 x 1200	4,8µm	0,4 ... 1,0	Global Shutter, AoI VH	'23

- ✓ Kameras sind am Okularadapter mit beliebiger Drehung um die Zielachse montierbar: Anschieben & Fixieren per Klemmschraube

Mathematisches Modell



Richtungsvektor zum Zielpunkt zur Zeit t



Teilkreisablesungen,
Kompensatorablesungen,
reflektorlose Distanzmessung

[Walser 2004],
[Schlüter et al. 2008],
[Zschiesche et al. 2022]

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} (t) = D \cdot R_{IP} \cdot R_{IA} \cdot R_{IP}^T \cdot R_H \cdot R_V \cdot R_K \cdot \frac{1}{\|[\dots]\|} \cdot \begin{bmatrix} x(t) + \Delta x \\ y(t) + \Delta y \\ c \end{bmatrix}$$



x, y via Bildzuordnung mit Bezug zum aktuellen Strichkreuz
 t UTC ← PC-Zeit oder GPS-Uhr & Trigger
 s Fokussstellung ← Schrittmotor
 R_K Rotationen Sensor zu Messfernrohr
 c Kamerakonstante Messfernrohr
 $\Delta x, \Delta y$ Verzeichnungsparameter

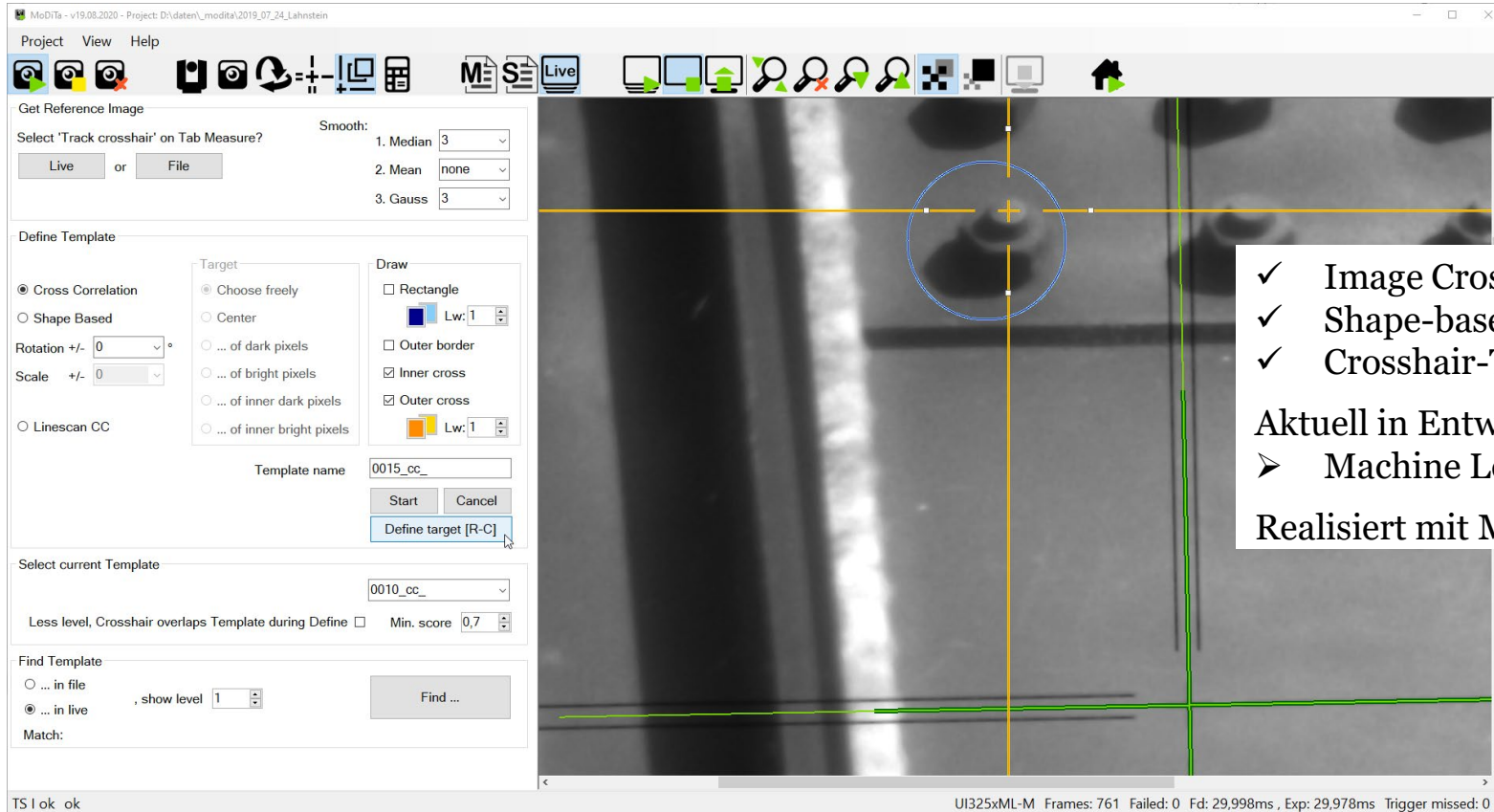
{ Selbstkalib-
 brierung
 als $f(s)$



[Brown 1971],
[El-Hakim 1986]



Template festlegen – Software Screenshot



- ✓ Image Cross-Correlation,
- ✓ Shape-based Matching,
- ✓ Crosshair-Tracking

Aktuell in Entwicklung:

- Machine Learning Support

Realisiert mit MVTec Halcon.



[Lisa Mosis, 2019]



Modulare Digitalkameratachymeter

Systembeschreibung ...

Hochgeschwindigkeitsanwendungen

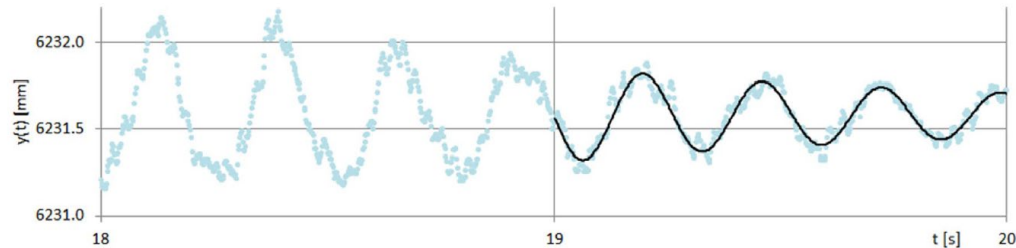
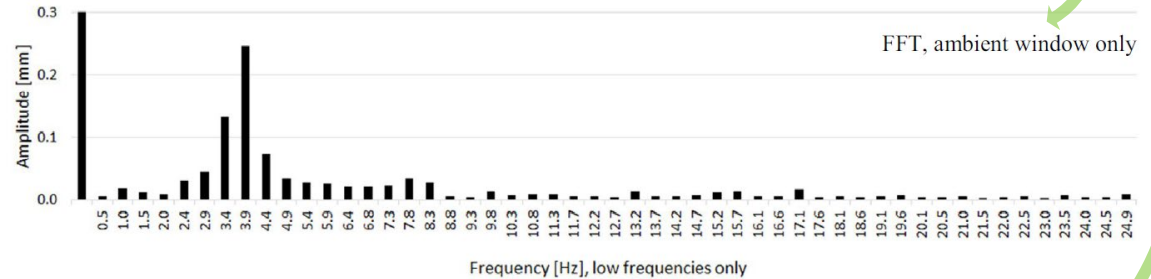
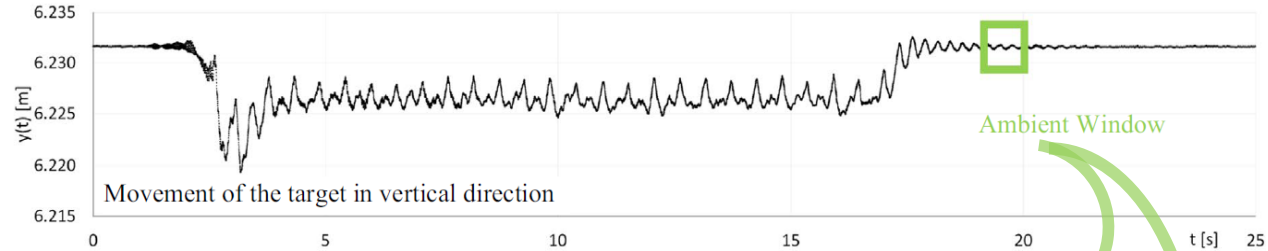
- Optisches Structural Health Monitoring (SHM)
- High speed tracking

Ingenieurgeodätische Anwendungen ...

Optisches Structural Health Monitoring (SHM)

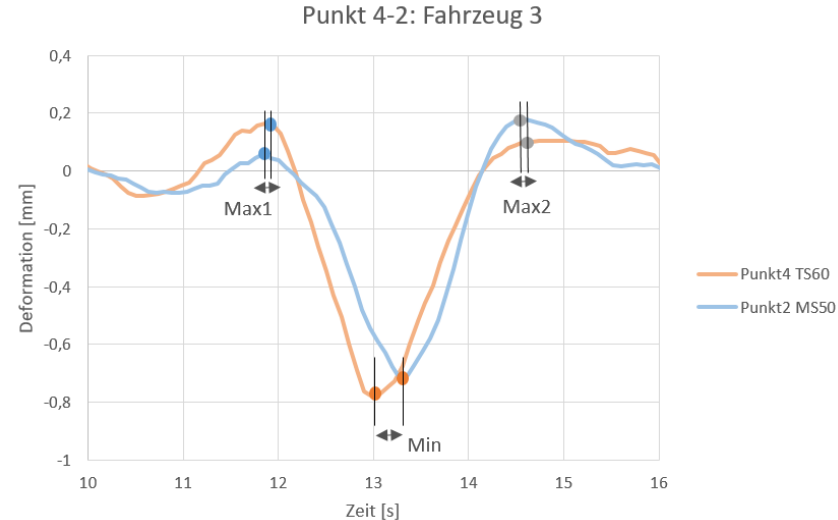
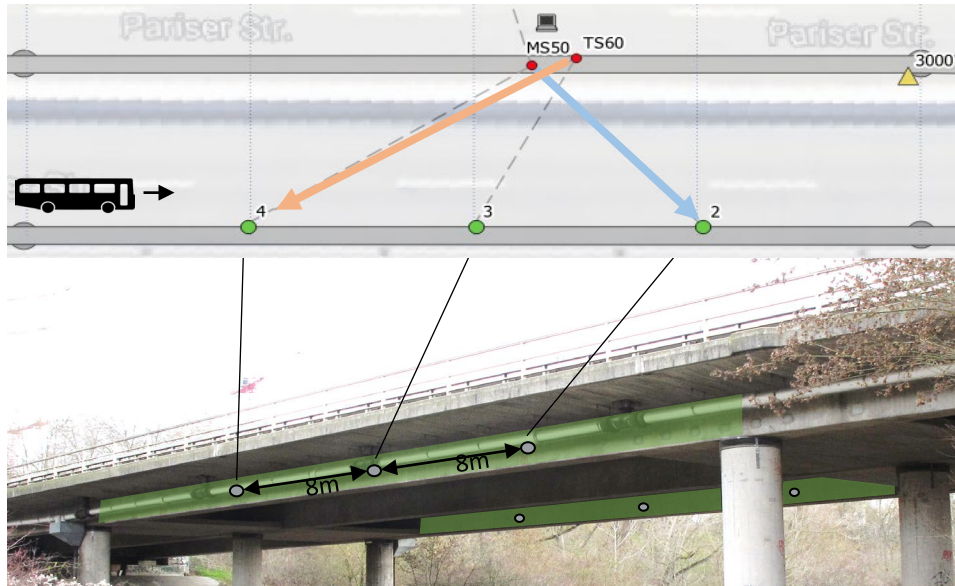


[Kira Zschiesche, Marvin Fitzke, Martin Schlüter, PFG, 2022]



Optisches Structural Health Monitoring (SHM)

- ✓ Die berührungslose, optische Messtechnik weist reproduzierbare Brückenantworten bei Referenzfahrten nach: Hier am Beispiel einer Stahlbetonbrücke, bei Überfahrten von Gelenkbussen des ÖPNV, Wildgrabenbrücke, Mainz, B40

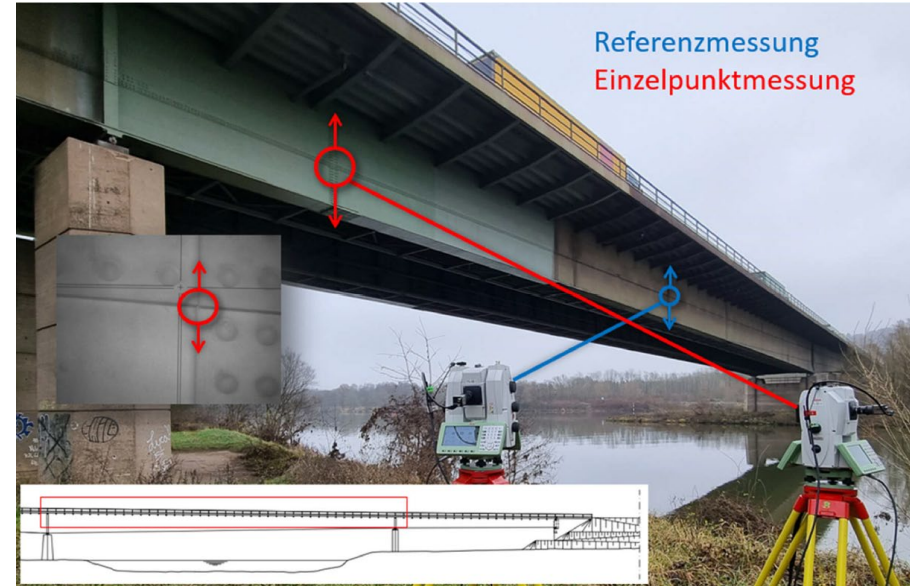
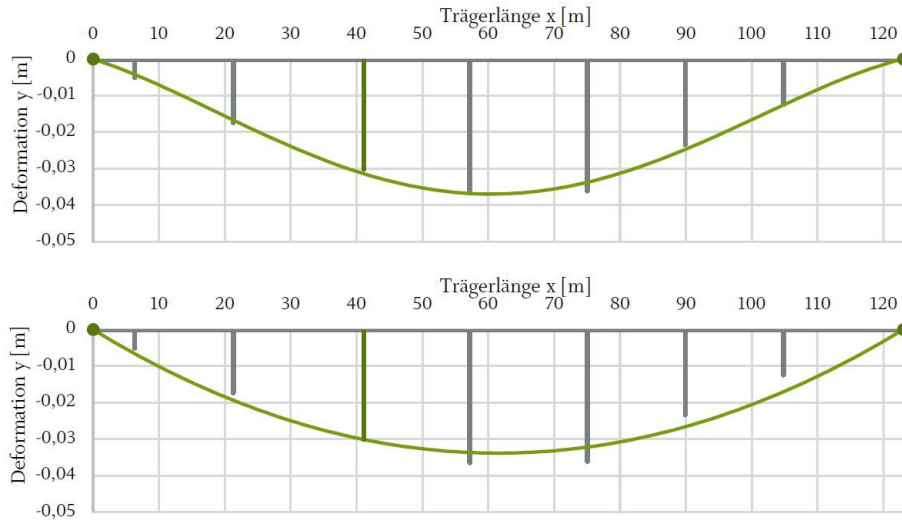


[Simon Ziegler, Masterarbeit, 2021]



Optisches Structural Health Monitoring (SHM)

- ✓ Ermittlung von Biegelinien, fließender Schwertransport mit '44 Tonnen' als Referenz, Videoauswertung in Verbindung mit Maximalauslenkungen, Ehranger Brücke, A64a



[Michael Biele, Lukas Haas, Cedric Jager, Alexander Milch, Masterprojektarbeit, 2021/22]

Optisches Structural Health Monitoring (SHM)

- ✓ Lastversuche ASFINAG/Uni Graz, Gschnitztalbrücke, Brenner Autobahn A13
- ✓ 2 Referenzfahrzeuge bei temporären Sperrungen; Studierendenprojekt



[Tobias Altmaier, Niklas Bockschecker, Fynn Hommer , Malte Horn, Leoni Kinzel , Lukas Laub, Luisa Trapp, 2023]



Optisches Structural Health Monitoring (SHM)

- ✓ Lastversuche ASFINAG/Uni Graz, Gschnitztalbrücke, Brenner Autobahn A13
- ✓ 2 Referenzfahrzeuge bei temporären Sperrungen; Studierendenprojekt



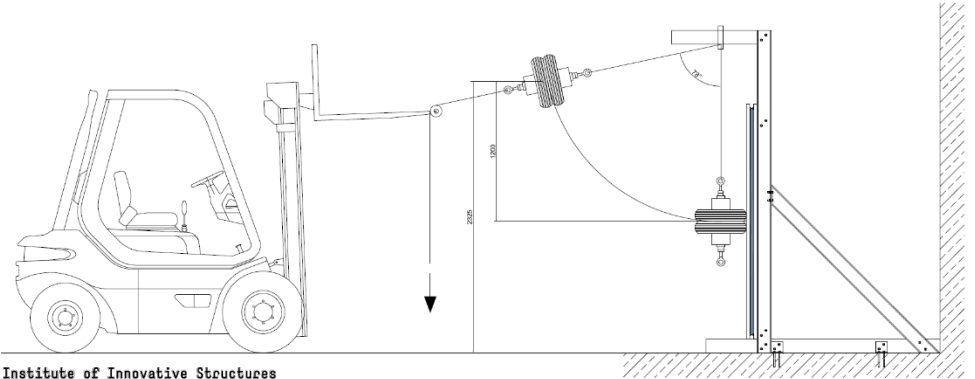
[Tobias Altmaier, Niklas Bockschecker, Fynn Hommer , Malte Horn, Leoni Kinzel , Lukas Laub, Luisa Trapp, 2023]



Tracking schnell bewegter Objekte



Pendelschlag-
prüfung für
absturzsichernde
Verglasungen
n. DIN 18008-4



Institute of Innovative Structures
TECHNOLOGICAL UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Selbstkalibrierung
vor einer Serie von
Pendelschlag-
prüfungen

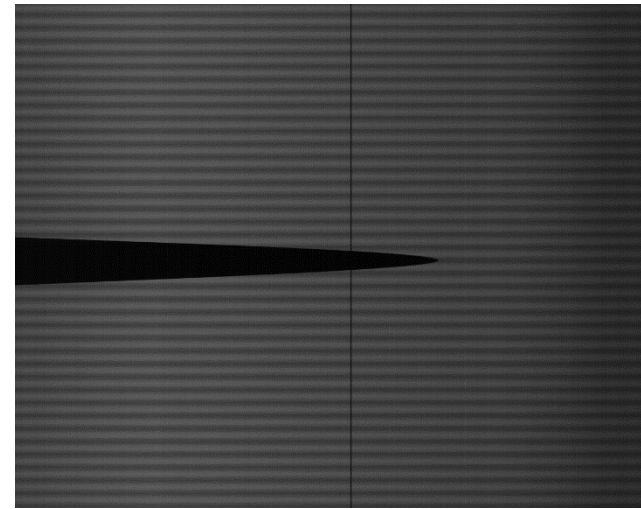
[Viktoria Roth,
Bachelorarbeit, 2017]



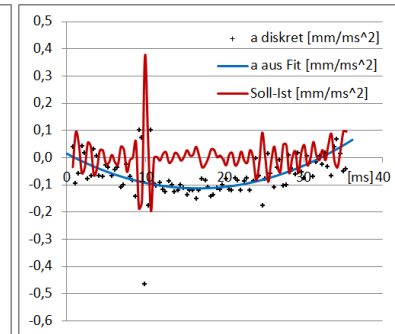
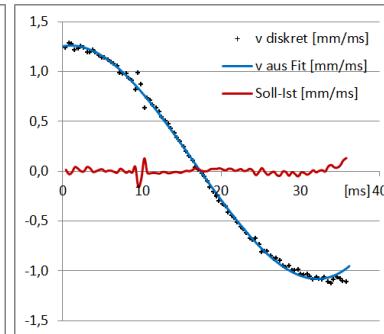
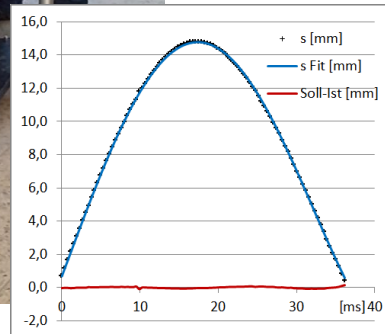
Tracking schnell bewegter Objekte



[Arno Heidelberg, Bachelorarbeit, 2016]



UI-3250-M im VAOI Merge Mode mit $t=0,38\text{ms}$ pro Zeile, ~ 100 rel. Zeilen



Postprocessing von Bildern im Einzelzeilenmodus

The screenshot shows the MoDiTa software interface. The main window title is "MoDiTa - v19.08.2020 - Project: D:\daten\modita\2018_07_30_linescan". The interface includes a menu bar (Project, View, Help), a toolbar with various icons, and a central display area showing a vertical line scan image with a yellow zigzag pattern. On the left, there is a table listing image files with their names, start times, and processing status. Below the table is a "Postprocessing" panel with various controls and buttons.

Name	Start time	Is done	Process
Dot	2018-07-30T16-37-24.664	False	<input type="checkbox"/>
Dot	2018-07-30T16-44-31.767	True	<input type="checkbox"/>
	2018-07-30T17-20-59.308	True	<input type="checkbox"/>
	2018-07-30T17-21-04.322	True	<input type="checkbox"/>
	2018-07-30T17-21-14.080	True	<input type="checkbox"/>
	2018-07-30T17-21-35.184	True	<input type="checkbox"/>
	2018-07-30T17-25-18.376	True	<input type="checkbox"/>
SchraubeLinks	2018-07-30T17-25-37.716	True	<input type="checkbox"/>
SchraubeLinks	2018-07-30T17-25-58.906	True	<input type="checkbox"/>
GewindeLinewiseAol	2018-07-30T17-28-46.398	True	<input checked="" type="checkbox"/>

Postprocessing

Lw: 1

Clear All Only New

PostProcessing Template: 0011_cL_Mutter

Sequence Count: 1 / 1 Selected plane: None

Image Count: 1 / 0 / 1

New plane: 0000_

Draw Sequence from File Calculate from selected Sights



Modulare Digitalkameratachymeter

Systembeschreibung ...

Hochgeschwindigkeitsanwendungen ...

Ingenieurgeodätische Anwendungen

- Einrichten vertikaler Strukturen
- Prüfeinrichtungen
- Astronomische Azimutbestimmung
- Theodolitbasiertes Vorwärtseinschneiden
- Kollimation und Autokollimation
- Projekte zum Aufbau der Satellitendateninfrastruktur EDRS

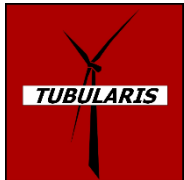
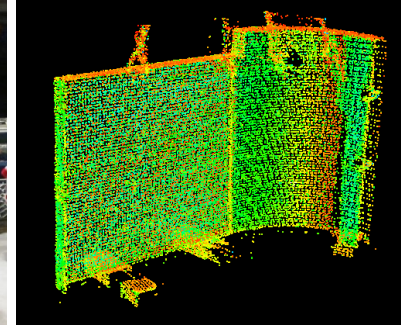


Einrichten vertikaler Strukturen

PCC-Tower (Pre-cast concrete tower)

Erforschung, Entwicklung und Erprobung eines neuartigen Betonfertigteilkonzepts zum Bau von besonders hohen Windenergieanlagen, Onshore
Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM),
ZF4119601 Kl5, 1.1.2016 – 31.08.2017 (31.11.2017)

[Carina Justus, ZIM/BMWI 2016-2017;
Sandro Mertens, Bachelorarbeit 2016;
Benjamin Kuhn, Bachelorarbeit 2017;
Thibault Colette, Ender Kurt, Christoph Schenk,
Christian Schmitt, Masterprojektarbeit 2017]



Hachmeister

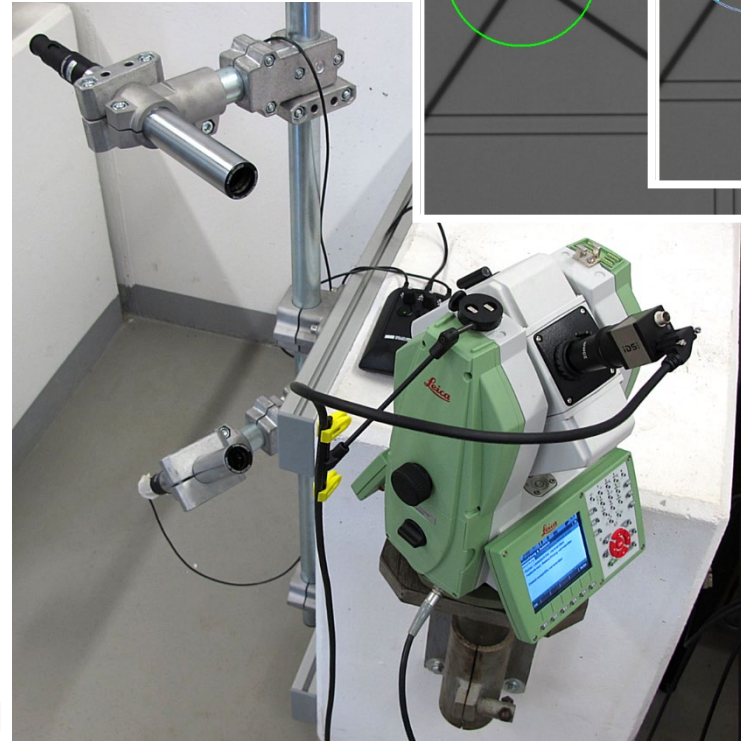


Automatisierte Instrumentenprüfung

Automatisierter Achsprüfstand
zur Bestimmung von:

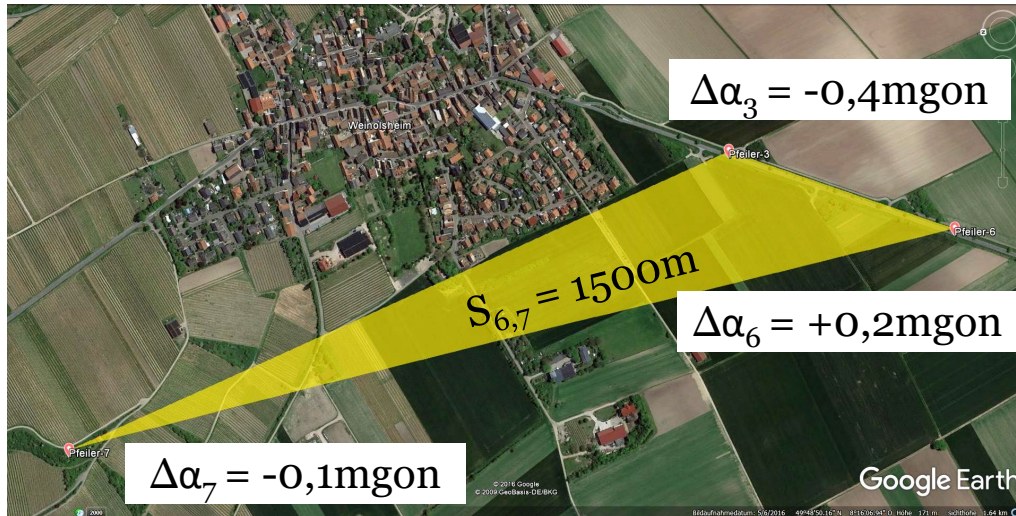
- Zielachsabweichung,
 - Kippachsabweichung,
 - Höhenindexabweichung
-
- ✓ Zentrum Template automatisch,
 - ✓ Anfahren in beiden Fernrohrlagen, mehrere Sätze, automatisch,
 - ✓ Anzahl Kollimatoren beliebig,
 - ✓ für Fokusstellung ∞

[Martin Heppe, 2015]



Exemplarische Ergebnisse eines Feldtests

IDS UI-3250-M an Leica MS50 mit 1Pixel $\sim 0,6\text{mgon}$
8 Parameter: Projektive Abbildung, keine Verzeichnung
je 4x4 (oder 2x2) Zielungen in beiden Fernrohrlagen
Referenz: GNSS-Prüffeld Weinolsheim; Pfeiler 3, 6, 7



Restklaffungen $\Delta\alpha$ „Soll-Ist“ gegen GNSS-Referenzkoordinaten
(nach UTM-Korrektur)



Ausschnitt Messbild

[Alexander Bär, 2017]

Astronomische Azimutbestimmung

Integration von:

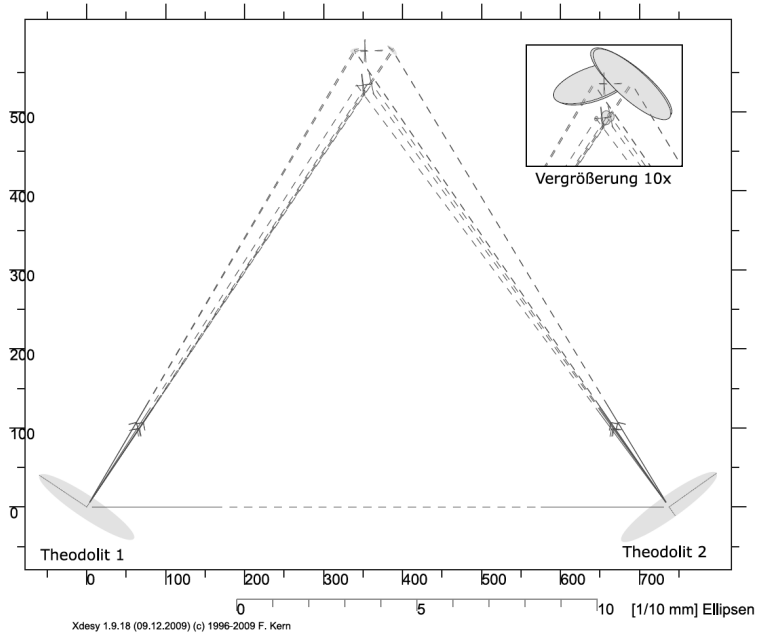
- Total station
Leica TS60
- Camera sensor
Sony IMX250LLR
- GPS-Trigger
ublox 6T, M8T



- ✓ Sternzeit: Zentrum für Astronomie ZAH, Heidelberg
- ✓ Rotationsachse der Erde, (Schaltsekunden): Reference Systems Service IERS
- ✓ Topozentrische Richtungen für Sonne, Venus, Mars, Jupiter: via JPL HORIZONS, Pasadena
- ✓ Geozentrische Richtungen für ~60 Navigationssterne: via HIPPARCOS, ZAH



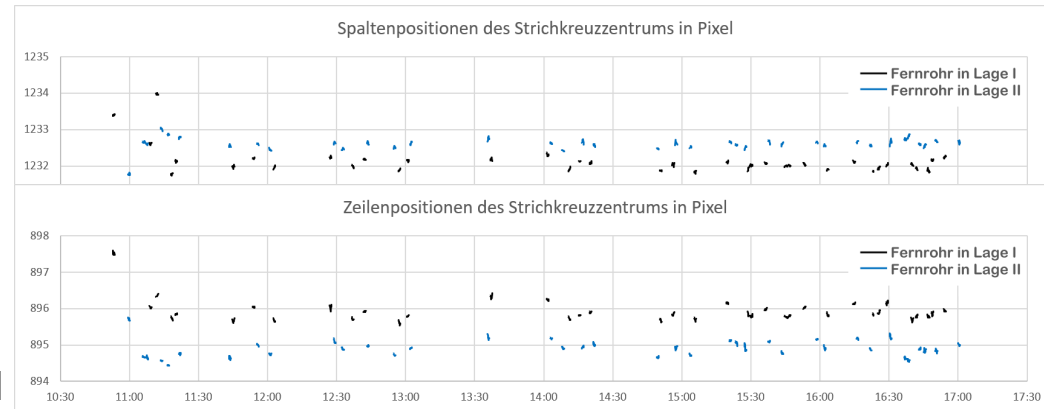
Theodolitbasiertes Industriemesssystem



[Philipp Atorf et al. 2019]



Prüfkörper für
Mikrotomographen,
Theodolit u. Beleuchtung,
[Kira Zschiesche, 2016]



- ✓ 3D-Vorwärtseinschneiden mit einem Objektabstand von etwa 700 mm
- ✓ Vollautomatisches, permanentes Strickkreuz-Tracking optimiert die Genauigkeit (2019)



Kollimation und Autokollimation

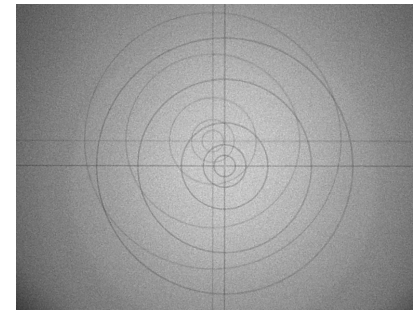
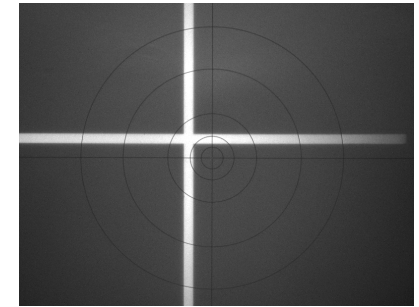
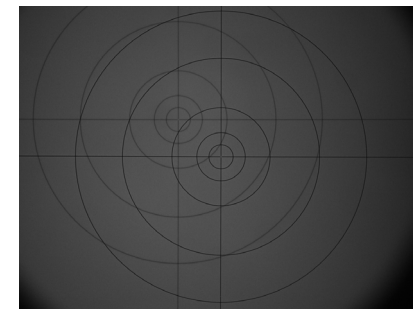


Optischer Referenzwürfel, Alphasat



i3mainz-Digitalkameratheodolit,
Leica TM5100A

Mit Kollimations- und Autokollimationszielungen wird höchste Winkelmessgenauigkeit erreicht, da stets in der Fernrohrstellung ∞ gearbeitet wird und so das Umfokussieren entfällt.

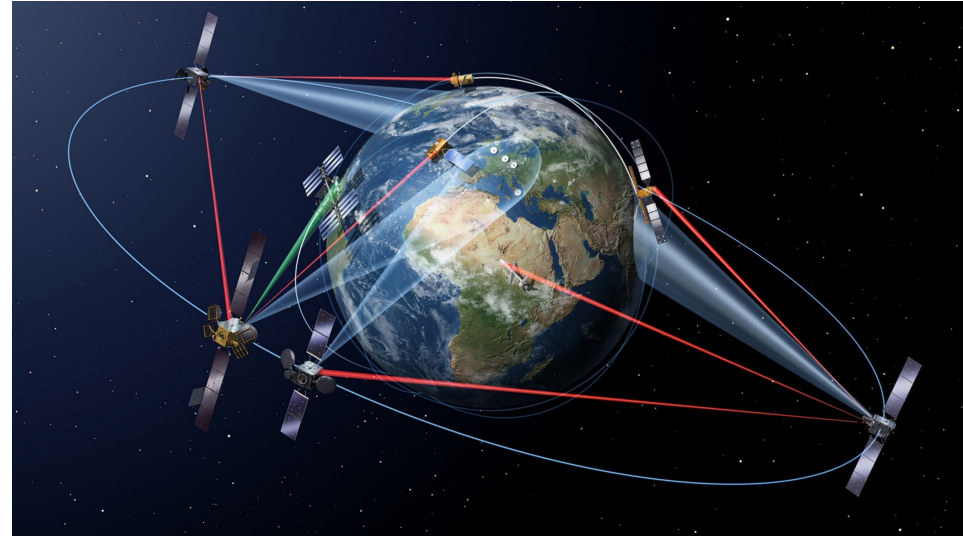


Photos: Tesat Spacecom

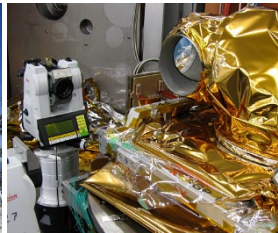
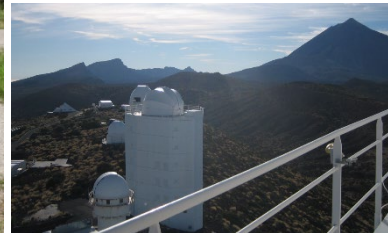


Projekte zum Aufbau der Satellitendateninfrastruktur EDRS

- 2006** Laborkalibrierung des Laserterminals für TerraSAR-X, erfolgreich im Orbit
- 2007** Laborkalibrierung des Laserterminals für den Satelliten NFIRE, erfolgreich im Orbit
- 2008** Calar-Alto-Observatorium, Sierra de Los Filabres, Spanien
- 2008** Tesat Bodenstation, Backnang, Deutschland
- 2009** Erfolgreicher Ersteinsatz der motorisierten Digitalkameratheodolite am Laserterminal MLT
- 2010** ESA Optical Ground Station, Izaña, Teneriffa
- 2012** Einrechnung des LCT für den Satelliten Alphasat I-XL, Inmarsat, erfolgreich im Orbit
- 2013** Mount Wilson Observatorium, Los Angeles, USA
- 2014** TOGS / LCT-SAL, DLR Oberpfaffenhofen



Airbus, 2019



Danke für die
Aufmerksamkeit.



TECHNIK
HOCHSCHULE MAINZ
UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

