



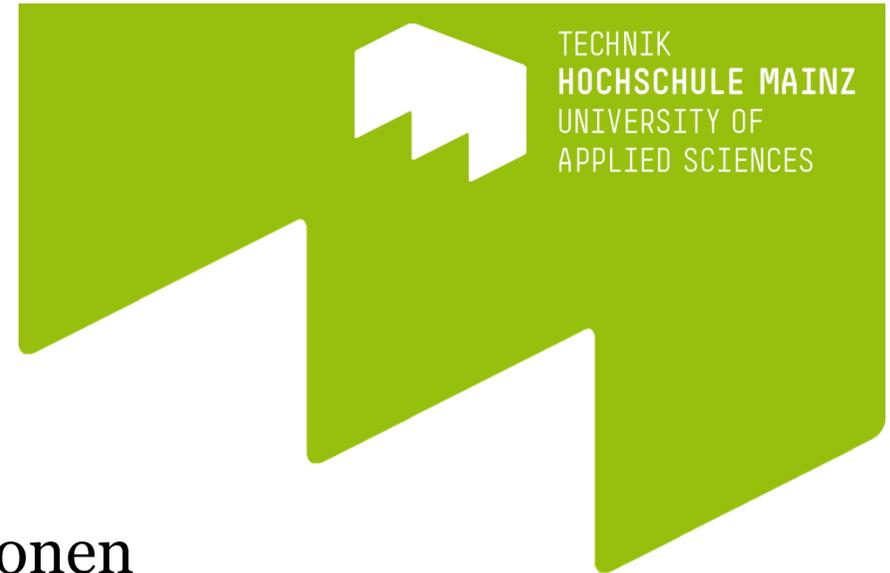
TECHNIK
HOCHSCHULE MAINZ
UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

Geodätische Totalstationen als *Machine Vision* Plattform

Geodätisches Kolloquium der TUD gemeinsam mit dem DVW e. V.

Prof. Dr. Martin Schlüter

Agenda



- Was ...
... sind Geodätische Totalstationen
als *Machine Vision* Plattform?
- Mainzer Anwendungen ...
... von Modularen Digitalkameratheodoliten
und Modularen Digitalkameratachymetern *MoDiTa*
- Perspektiven für *MoDiTa 2.0*

Bildgebende polare Messsysteme (Bsp.)

... für eher statische Anwendung im Bauwesen ...



Geotech



Lasertech TruPulse mit iPhone

... modulare Prototypen ...



Qdaedalus an Leica MS50, ETH Zürich



IATS 2 TU München

MoDiTa 2.0 an Leica MS50, i3mainz

Motorisierte High-End Totalstationen



Topcon



Trimble



Leica



Modulare Digitalkameratachymeter

GitHub

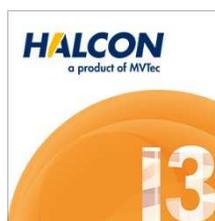
- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

IDS It's so easy



Visual Studio



Leica TS30

Konsequente Nutzung aktueller Standards:

- ✓ Motorisierte Präzisionstachymeter als Basis: Leica Geosystems
- ✓ High-End Industriekameras: IDS Imaging
- ✓ Okularadapter auf der Basis von Industrieoptiken: Eigenentwicklung
- ✓ Integrierte Machine Vision Library für Zielerkennung: MVTec Halcon
- ✓ Messung, Selbstkalibrierung, Auswertung unter Microsoft C#.NET



Kameras für MoDiTa

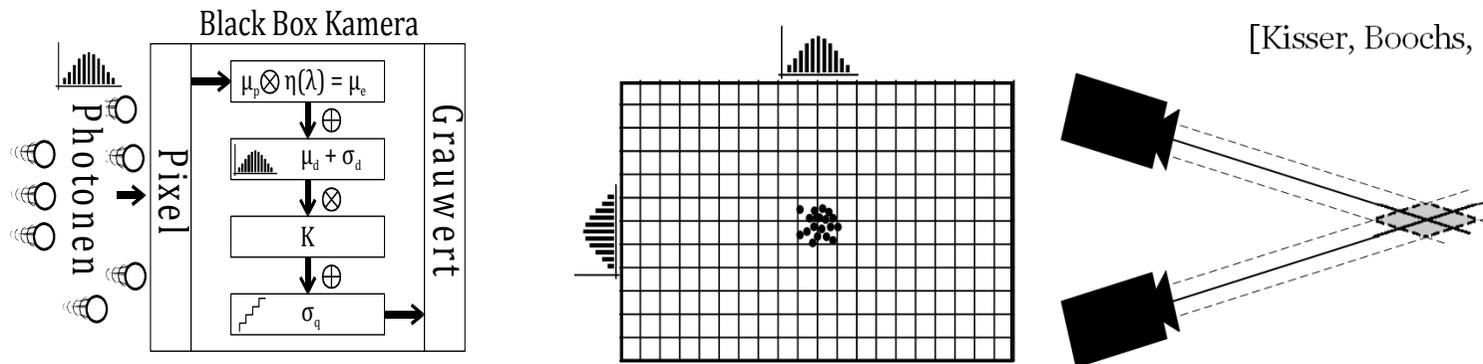


	Sensor	Abmessungen	mgon/pixel	Stärken	
UI-2240	Sony	1280 x 1024 4,6µm		CCD ...	'07
UI-1485	e2v	2560 x 1920 2,2µm	0,2 ... 0,5	Arbeitspferd	'09
UI-3480	ON S.	2560 x 1920 2,2µm		ähnlich UI1485 mit USB 3.0	'16
UI-1120	NIT	758 x 576 10,0µm	0,9 (... 2,3)	High Dynamic Range	'11
UI-3240	e2v	1280 x 1024 5,3µm	0,5 ... 1,2	Global Shutter, Linescan	'12
UI-3250	e2v	1600 x 1200 4,5µm		Global Shutter, Linescan	'15
UI-3080	Sony	2456 x 2054 3,4µm	0,3 ... 0,8	High-End Allrounder?	'17

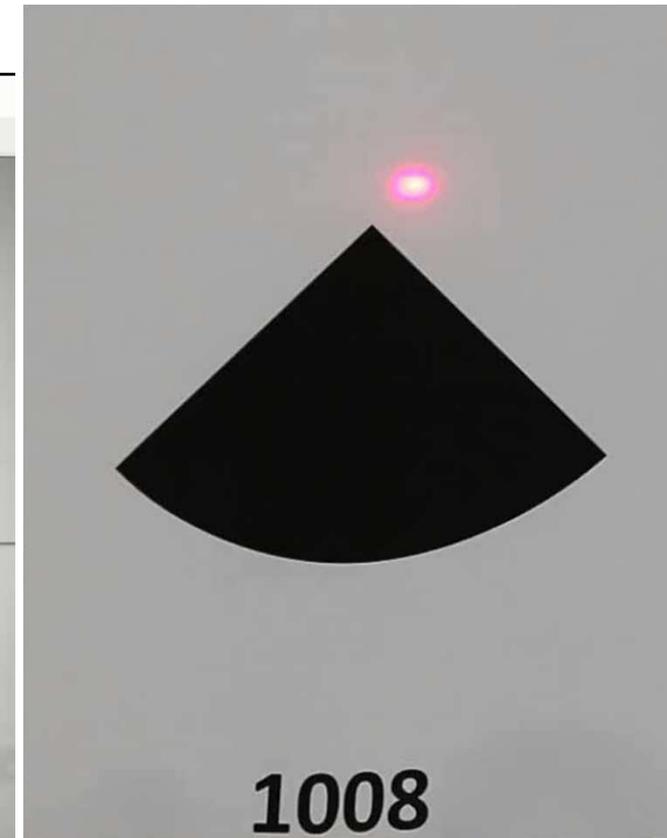
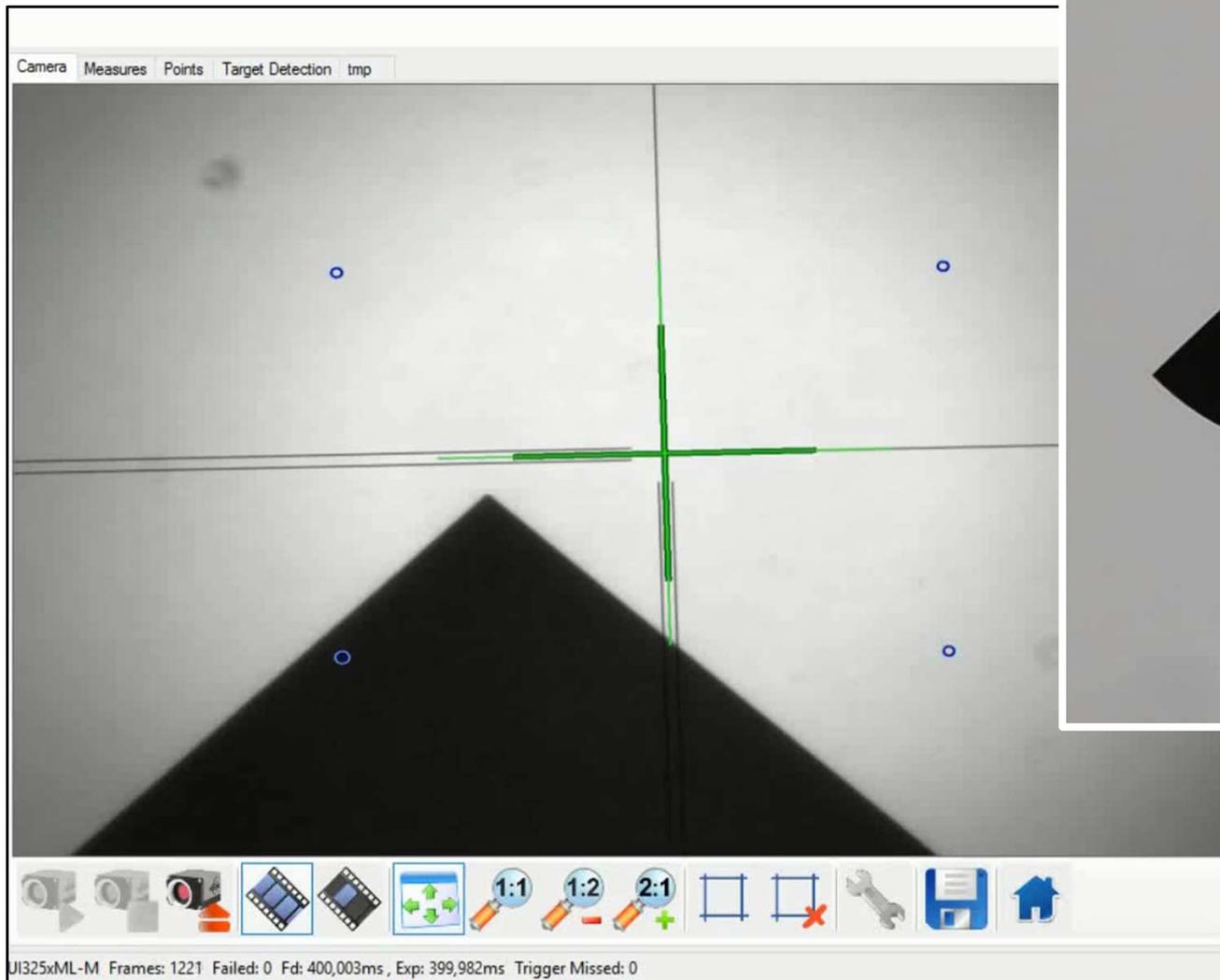
Forschung zu Industriekameras am i3mainz Genauigkeitsabschätzung von Bündelblockausgleichungen mit Hilfe des EMVA1288 Standards



[Kisser, Boochs, Paulus 2017]



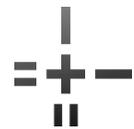
Ablauf einer Selbstkalibrierung



Sicht Objektraum

Sicht Software

Mathematisches Modell



Richtungsvektor zum Zielpunkt zur Zeit t



Teilkreisablesungen,
Kompensatorablesungen,
reflektorlose Distanzmessung

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



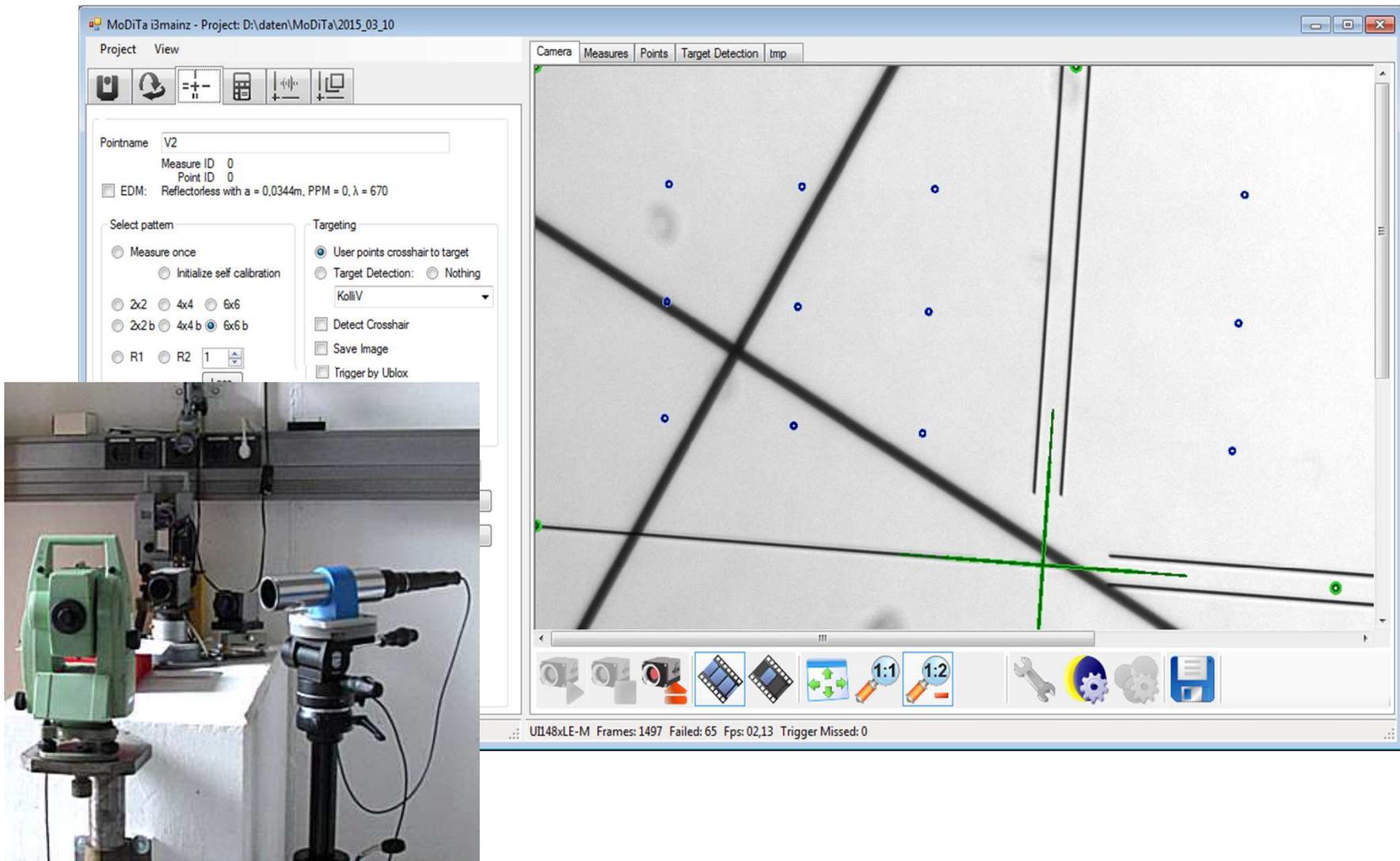
- x, y via Bildzuordnung mit Bezug zum aktuellen Strichkreuz
- t UTC ← PC-Zeit oder GPS-Uhr & Trigger
- s Fokussstellung ← Schrittmotor
- R_K Rotationen Sensor zu Messfernrohr ← Selbstkalib-
- c Kamerakonstante Messfernrohr ← brierung
- $\Delta x, \Delta y$ Verzeichnungsparameter ← als $f(s)$

[Walser 2004],
[Schlüter et al. 2008]

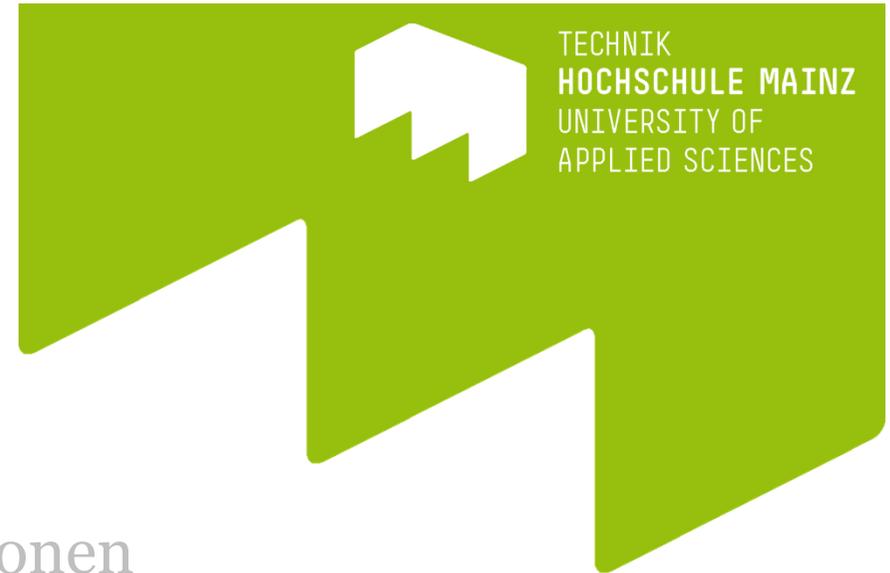
[Brown 1971],
[El-Hakim 1986]



Prüfstand Achsabweichungen



Agenda



- Was ...
... sind Geodätische Totalstationen
als *Machine Vision* Plattform?
- Mainzer Anwendungen ...
... von Modularen Digitalkameratheodoliten
und Modularen Digitalkameratachymetern *MoDiTa*
- Perspektiven für *MoDiTa 2.0*

Georeferenzierung von Satellitenkomponenten

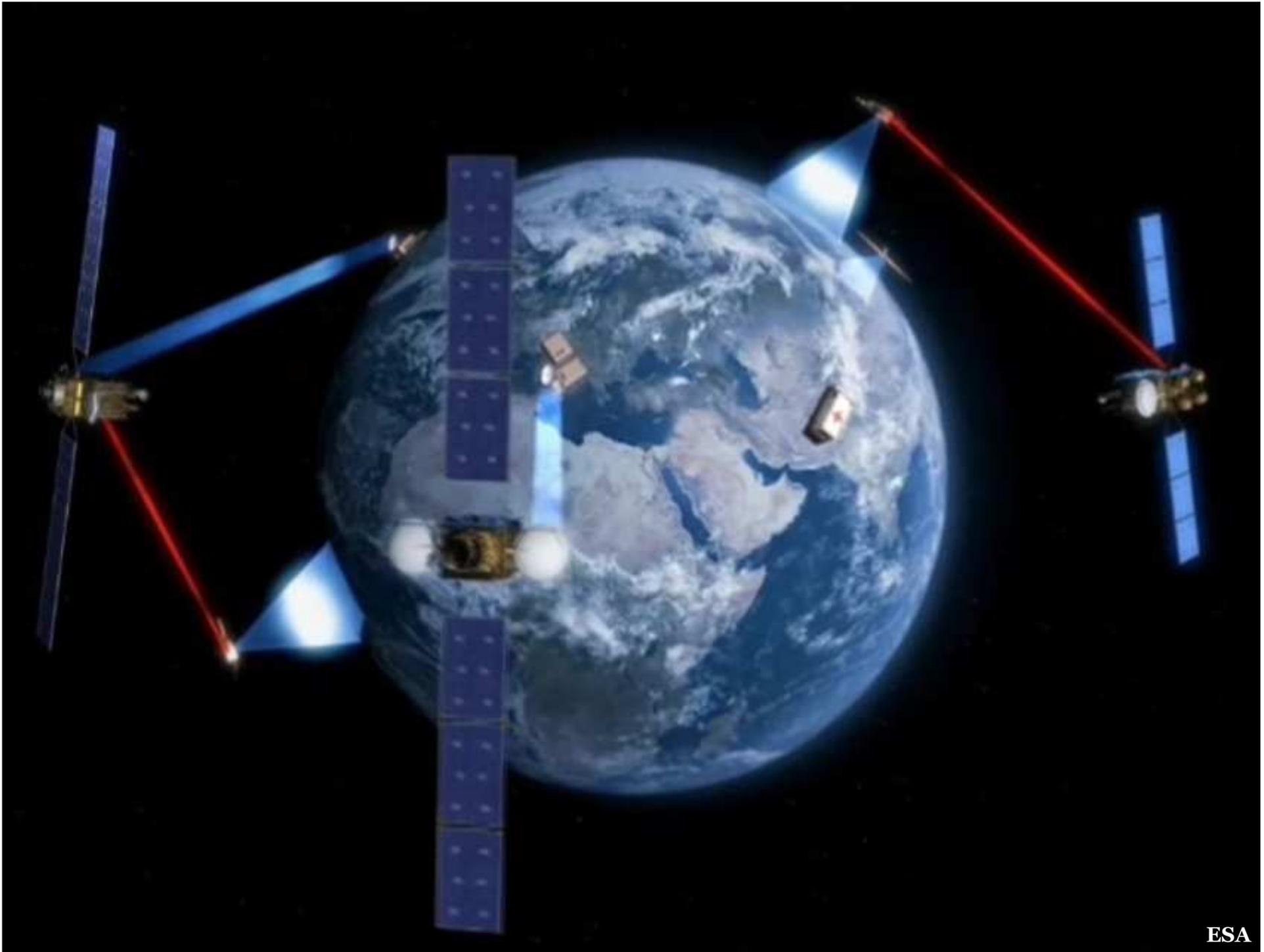


Referenzwürfel Alphasat

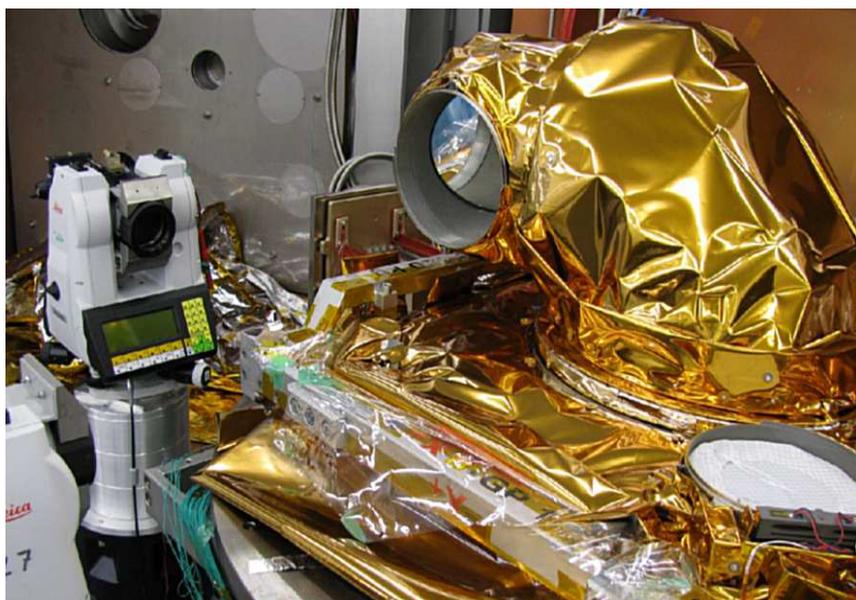


i3mainz-Digitalkameratheodolit auf Basis des Autokollimationstheodolits Leica TM5100A

3D-Raumbezug für Satellitenkomponenten mittels Autokollimation und Kollimation



Geometrische Kalibrierung von Laserterminals

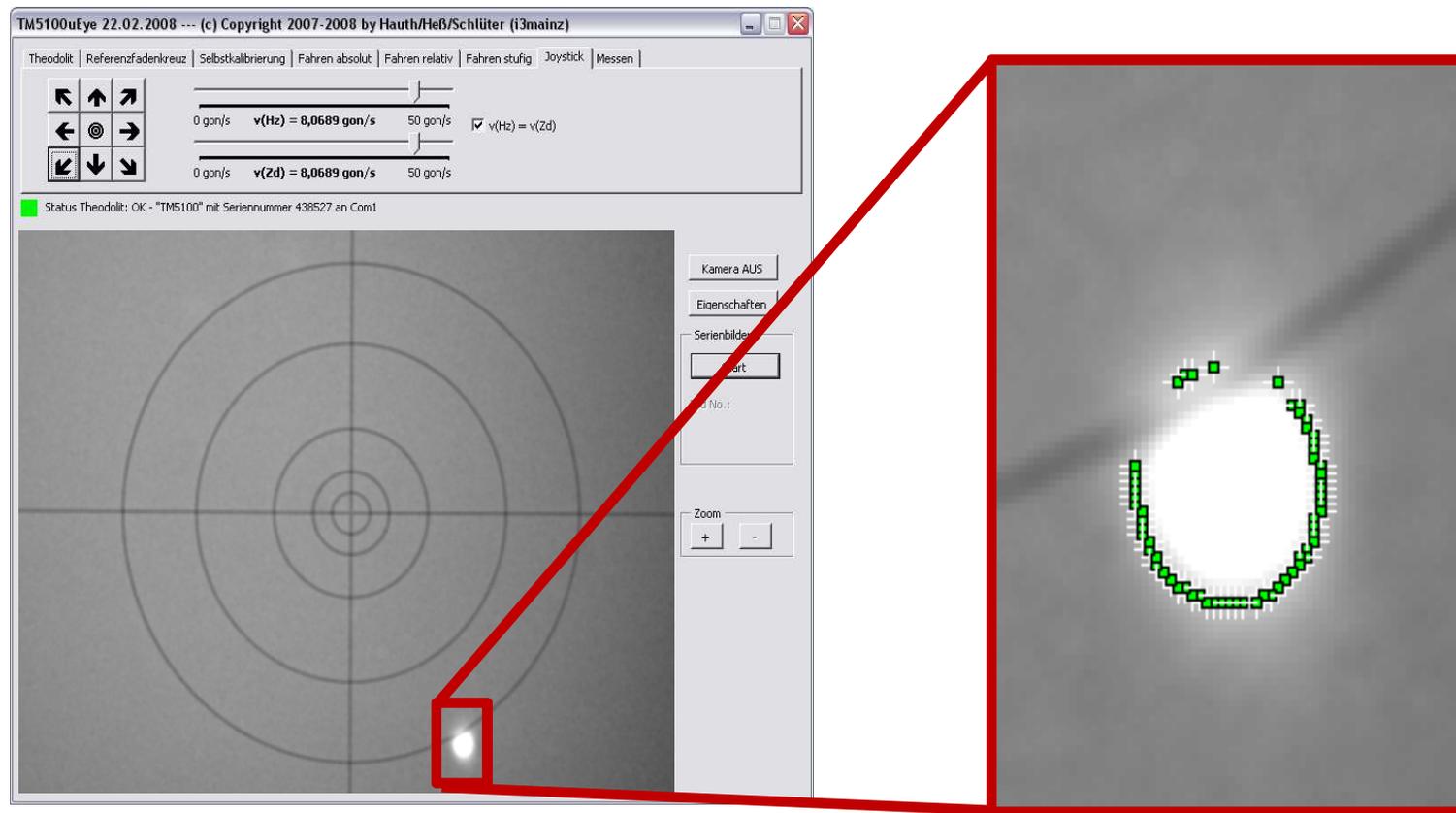


Ideen zünden!

2006	Kalibrierung des Laserterminals für den Satelliten TerraSAR-X, Deutschland, erfolgreich im Orbit,
2007	Kalibrierung des Laserterminals für den Satelliten NFIRE, USA, erfolgreich im Orbit,
2007 - 2008	Kinematisches Tracking: Realisierung von zwei motorisierten Digitalkameratheodoliten,
2009	Erfolgreicher Ersteinsatz der motorisierten Digitalkameratheodolite am Laserterminal MLT,
2008	BMBF-Forschungsprämie an i3mainz!
2009	BMBF-Forschungsprämie an i3mainz!
2012	Kalibrierung von Laserterminals für Alphasat
European Data Relay Satellite System	
2014	Sentinel 1A
2015	Sentinel 2A
2016	Sentinel 1B
	Eutelsat 9B, 1. von 4 Relais-Satelliten bis 2020
2017	Sentinel 2B



Kollimation in den Kommunikationslaser

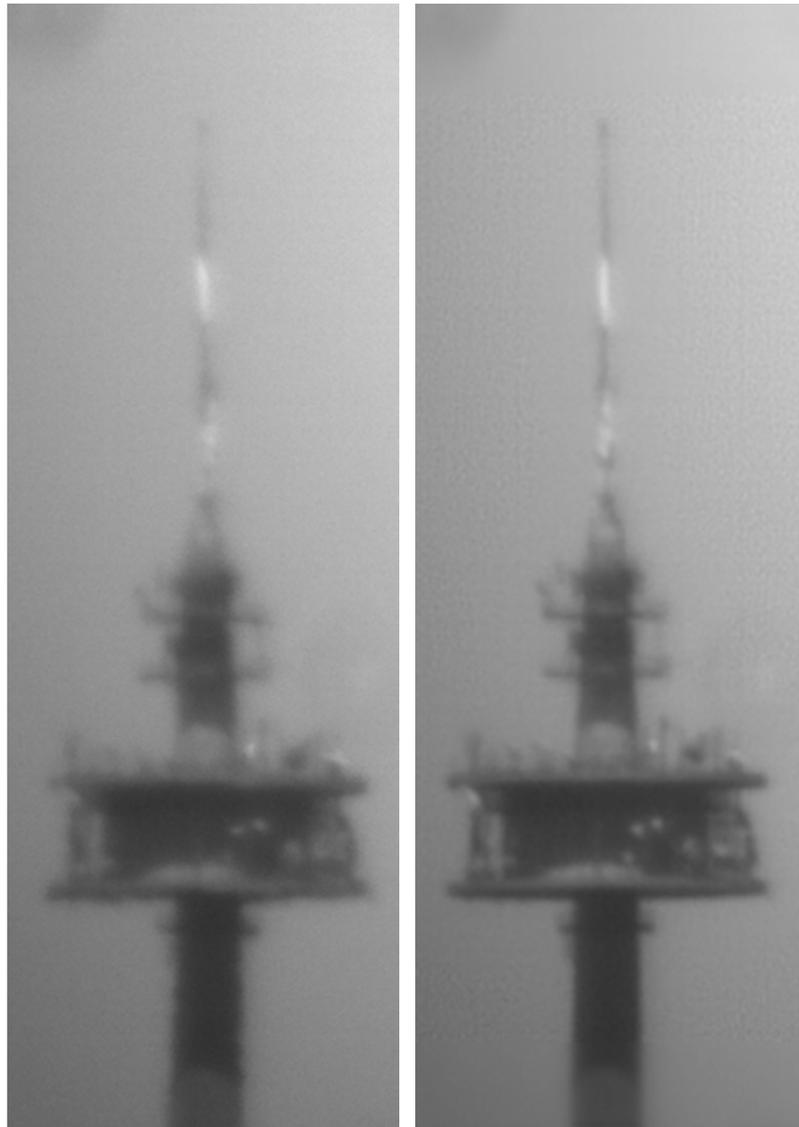


Machine Vision Komponenten:

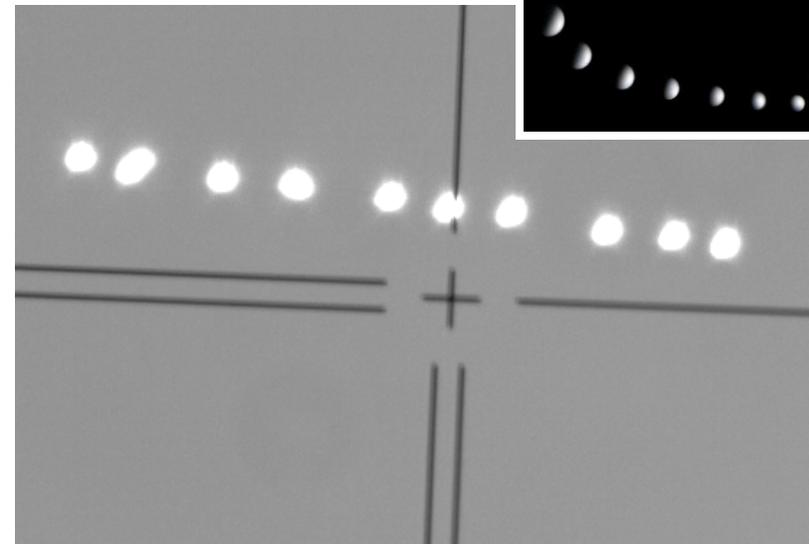
- Zentrumsbestimmung für Laserdot über robusten Ellipsenfit
- Strichkreuzerkennung und -matching



MoDiTa und „moderate Bewegungen“



Phasen der Venus
Chris Procter, TBGS Observatory



Astronomische Azimute;
hier Planet Venus im Tageslicht

Luftunruhe mittels
Bildserien ausgleichen

Digitale Online-Datenbanken für astrogeodätische Azimute

HORIZONS	Jet Propulsion Laboratory, Pasadena → Sonne, Venus, Mars, Jupiter 8 Planeten, 175 Monde, 3149 Kometen, 586873 Asteroiden, Raumfahrzeuge Rektaszension, Deklination → topozentrische Richtungen
HIPPARCOS	Zentrum für Astronomie Heidelberg → ~ 60 Navigationssterne ~ 90.000 Fixsterne Rektaszension, Deklination → geozentrische Richtungen
Erdrotation, Schaltsek.	Int. Earth Rotation and Reference Systems Service IERS, Central Bureau of the ... am BKG, Frankfurt a.M.
Sternzeit	Zentrum für Astronomie, Heidelberg



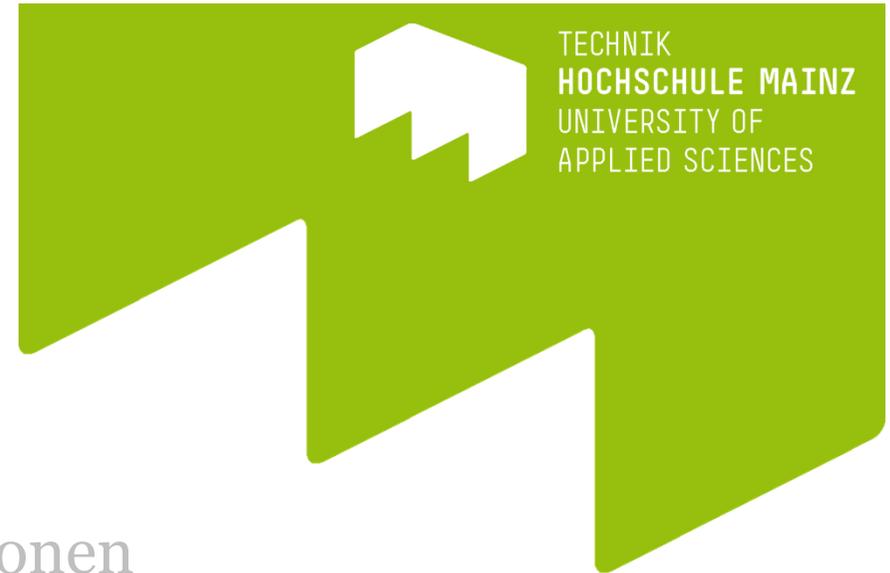
3D-Orientierung von Laserterminals



- 2008** Calar-Alto-Observatorium, Sierra de Los Filabres, Spanien
- 2008** Tesat Bodenstation, Backnang, Deutschland
- 2009** ESA OGS, Teneriffa – GPS-Kampagne
- 2010** ESA OGS, Teneriffa – astrogeodätische Kampagne
- 2013** Mount Wilson Observatorium, Los Angeles, USA
- 2014** TOGS / LCT-SAL, Sonderflughafen Oberpfaffenhofen



Agenda



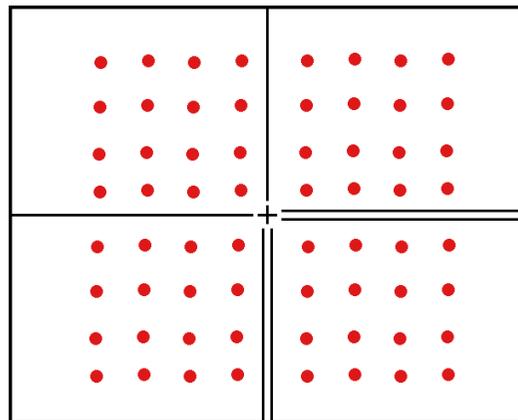
- Was ...
... sind Geodätische Totalstationen
als *Machine Vision* Plattform?
- Mainzer Anwendungen ...
... von Modularen Digitalkameratheodoliten
und Modularen Digitalkameratachymetern *MoDiTa*
- **Perspektiven für *MoDiTa 2.0***

MoDiTa für Schwingungsmessungen

USB 3.0 Kameras

IDS UI-3240 /3250:

- ✓ Synchronisierte Bildfenster bis 2000Hz (1D- / 2D- / 3D-Modi)
- ✓ Schneller Einzelzeilenmodus mit Taktraten bis 62.5kHz (1D-Schwingungsmessung)



Nach der Selbstkalibrierung ist jedem Pixel im Kamerablickfeld eine präzise Zielrichtung zugeordnet!



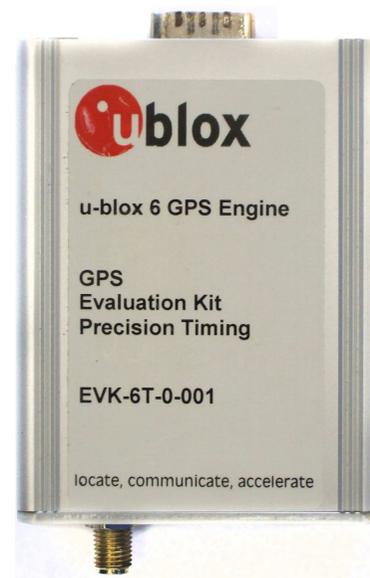
MoDiTa auf Basis eines Leica TCRM1103 bei der Erfassung von Hängerbewegungen, Honsellbrücke, Ffm.

Zeitstempel für Schwingungsmessungen

Einsatz von ublox GPS-Uhren mit Kameras IDS UI-3240, 3250:

1. GPS-Uhr als Kameratrigger:
derzeit bis 2000Hz
2. GPS-Uhr als Zeitreferenz:
Die GPS-Uhr schaltet eine Leuchtdiode (LED), um die Dauer und Regelmäßigkeit von Einzelzeitnahmen zu erfassen;
derzeit bis 62500Hz.

Die oben angegebenen Frequenzen sind primär *kamerabedingt*. Im Bereich weniger μ -Sekunden und kürzer sind Signallaufzeiten in Abhängigkeit von der Kabellänge zu beachten.



Schwingungsmessung bei Zugdurchfahrt

Messdistanz: 7m

Aufnahmefrequenz: 100Hz

Reale Aufnahmezeit des „Videos“: ~ 3,5s



Mainz Nordbrücke, westlicher Brückenkopf

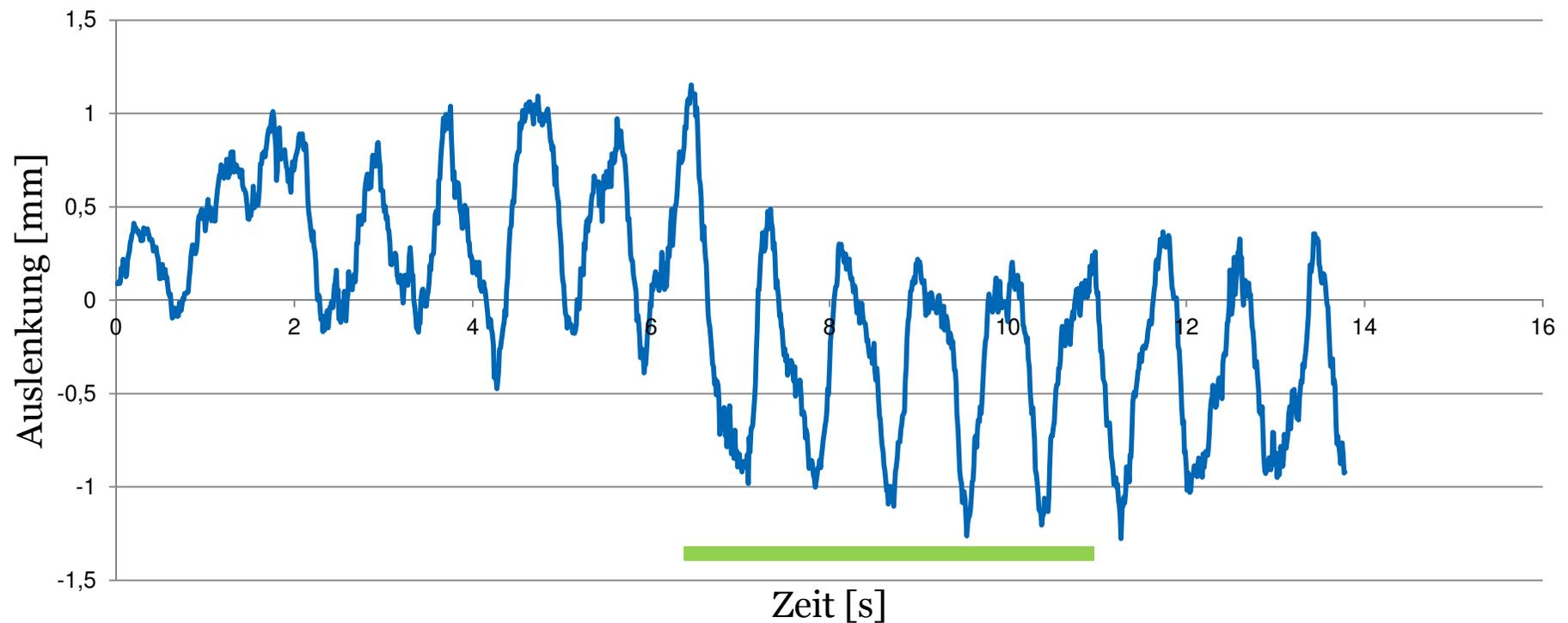
Beobachtung natürlicher Ziele;
2D-Erfassung, Umprojektion auf Gleisrichtung;
Berechnung absoluter metrischer Amplituden



„Ring“; direkt am Bahngleis, Mainz Nordbrücke



Schwingungsaufzeichnung Zugdurchfahrt

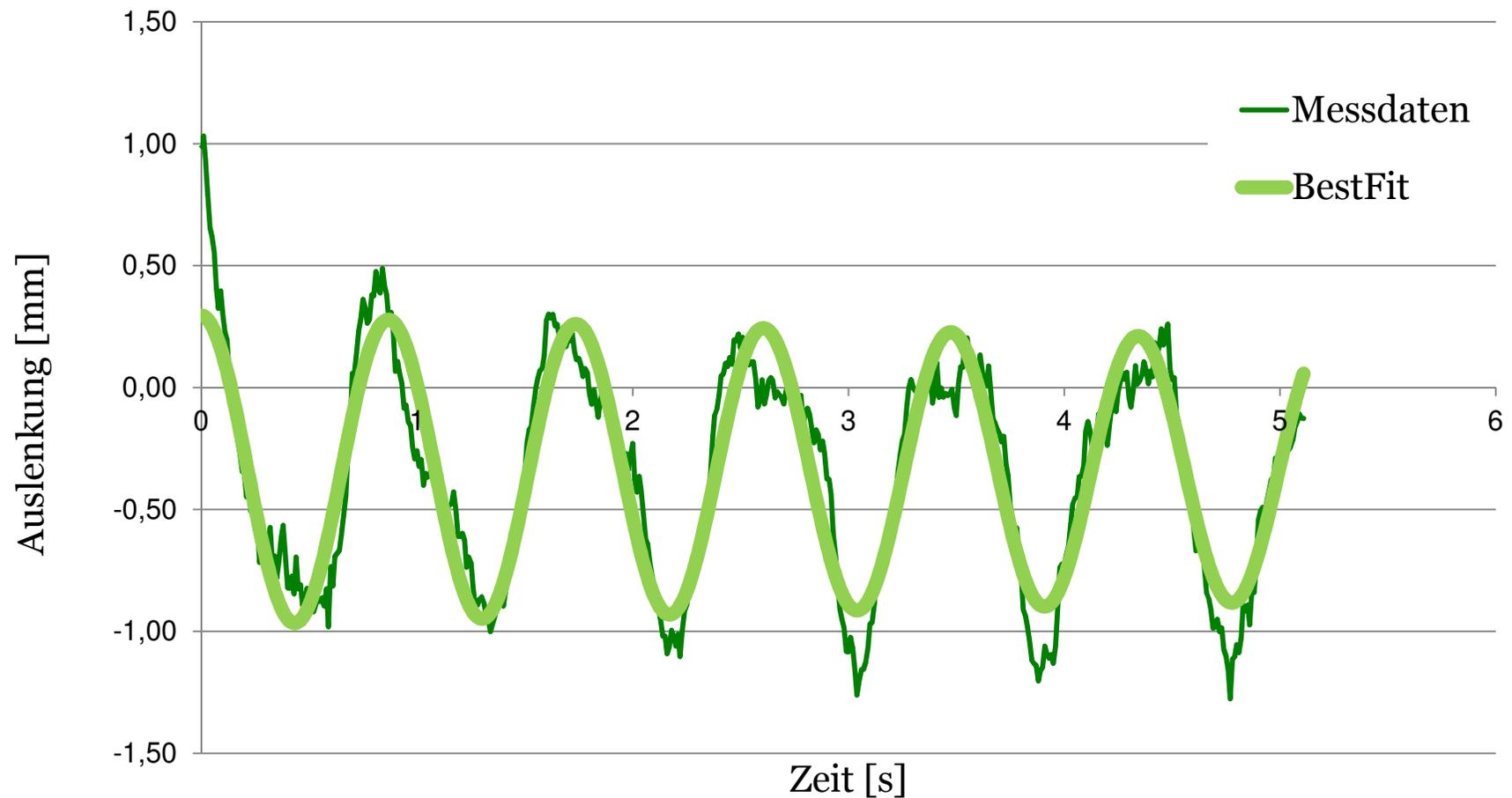


Messfrequenz 100 Hz
kein HW-Trigger
Messdistanz: ca. 20m

Maximale permanente
Aufzeichnungsdauer:
bei 62,5kHz: 16ms (1024 Zeilen)
bei 1000Hz: >15 min
bei 100Hz: > 1h



Frequenzanalyse Zugdurchfahrt

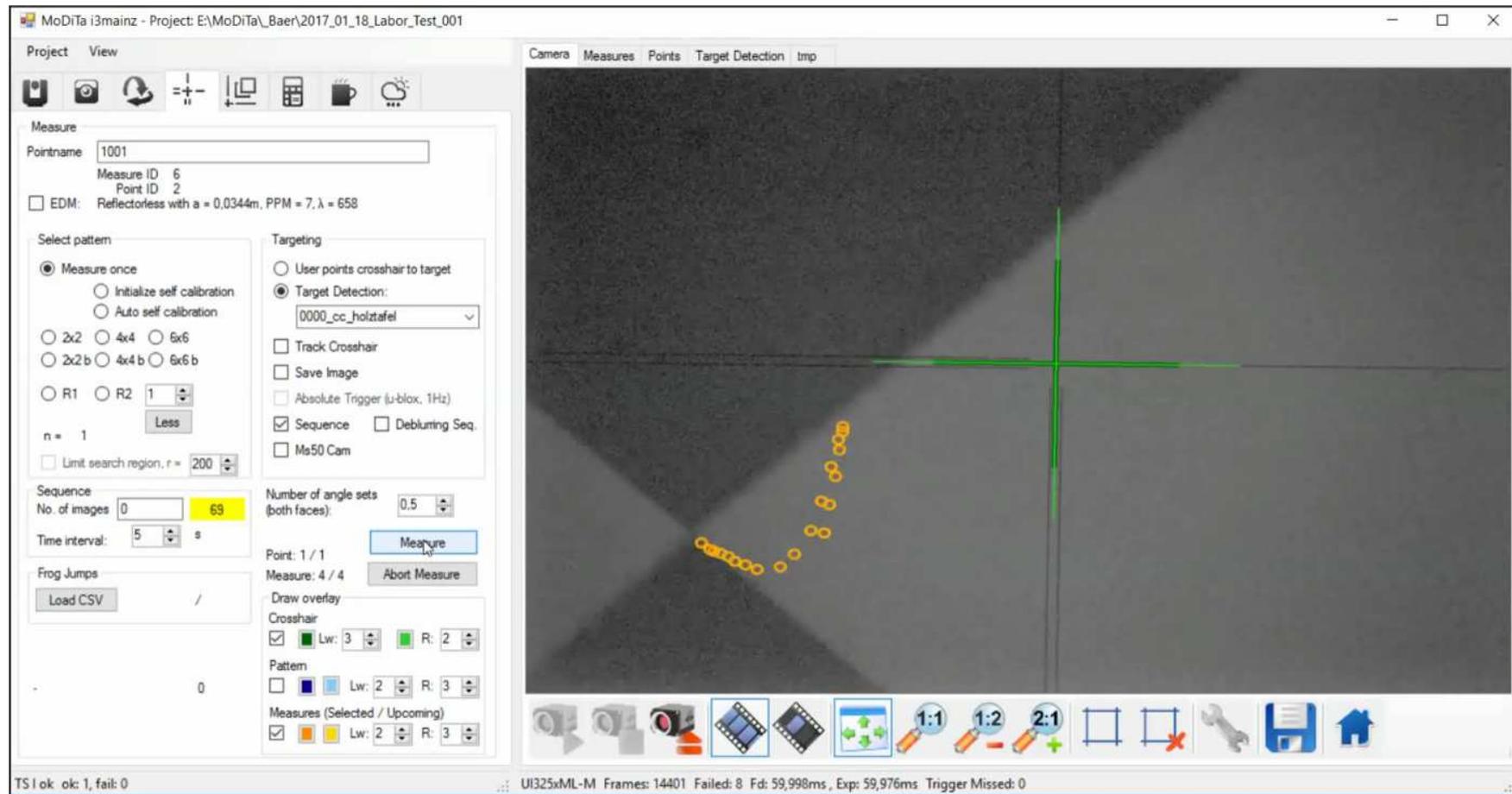


Messfrequenz 100 Hz
kein HW-Trigger
Messdistanz: ca. 20m

Amplitude: $\hat{y} = 0,64 \text{ mm}$
Periodendauer: $T = 0,87 \text{ s}$
Frequenz: $f = 1,15 \text{ Hz}$

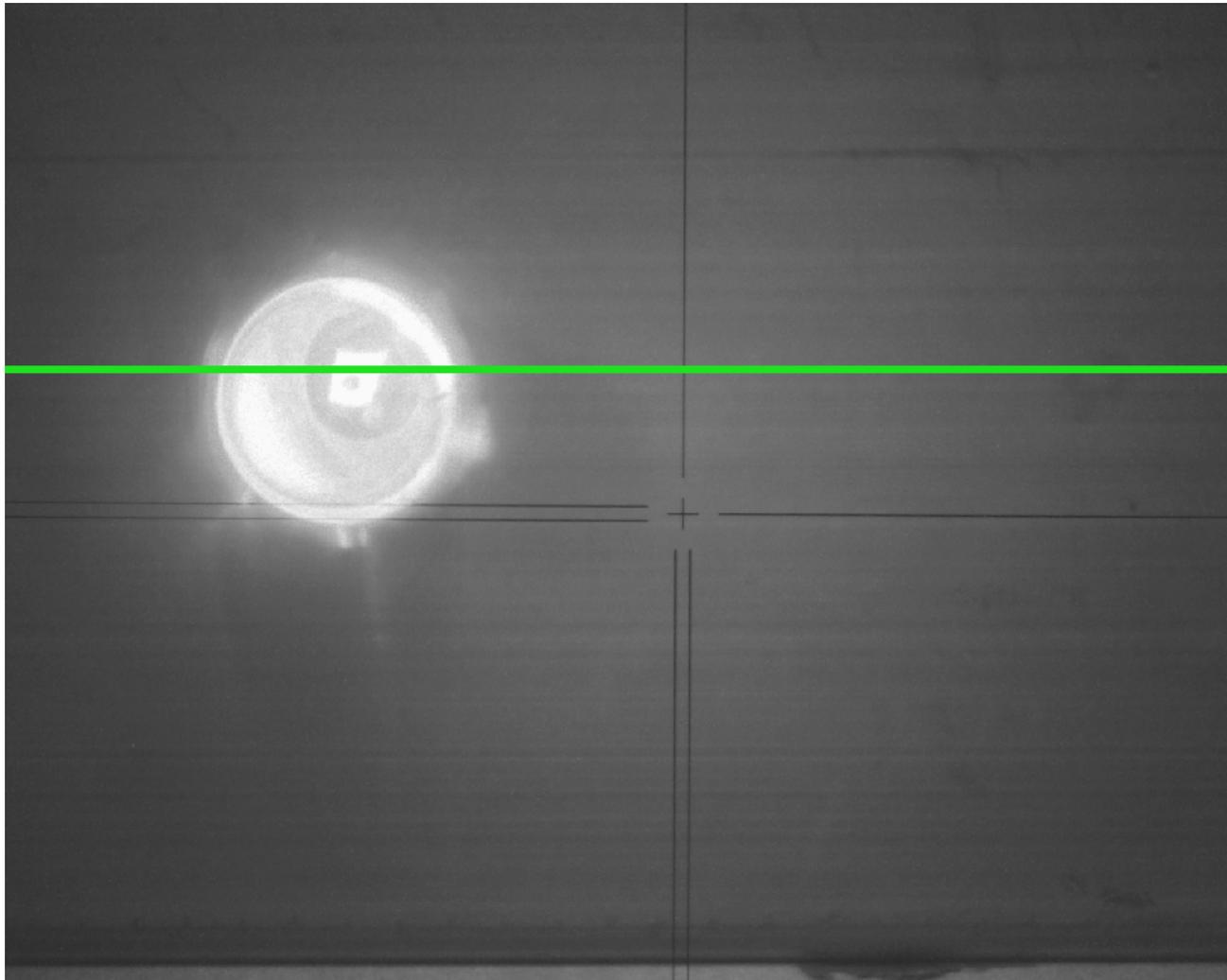


Kinematisches Tracking in Near-Realtime



➔ Anwender kann die Gültigkeit von Bildzuordnungsergebnissen direkt bei der Messung einschätzen

GPS-Uhr als Zeitreferenz

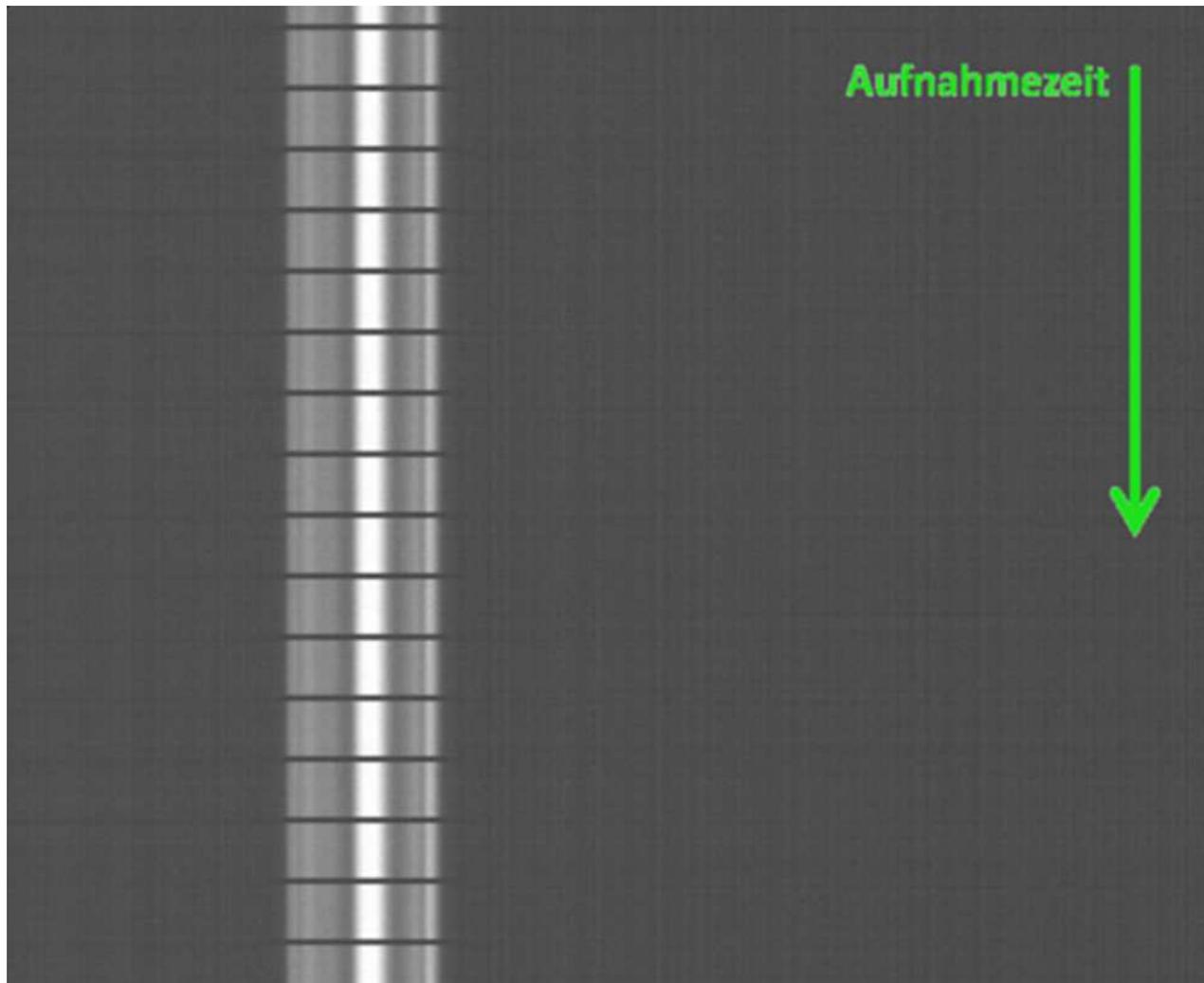


Für Aufnahme
im schnellen
Einzelzeilenmodus
ausgewählte
CMOS-Zeile

mit Blick auf
GPS-getriggerte
LED, hier „an“.



Fortlaufender Tachymeterblick *einer* CMOS-Zeile auf eine GPS-getriggerte LED



Vorgabe des GPS-Triggers ublox 6T an die LED:
0,9ms „an“,
0,1ms „aus“

Taktrate der Kamera UI-3240 im schnellen Einzelzeilenmodus:
62500 Zeilen/s

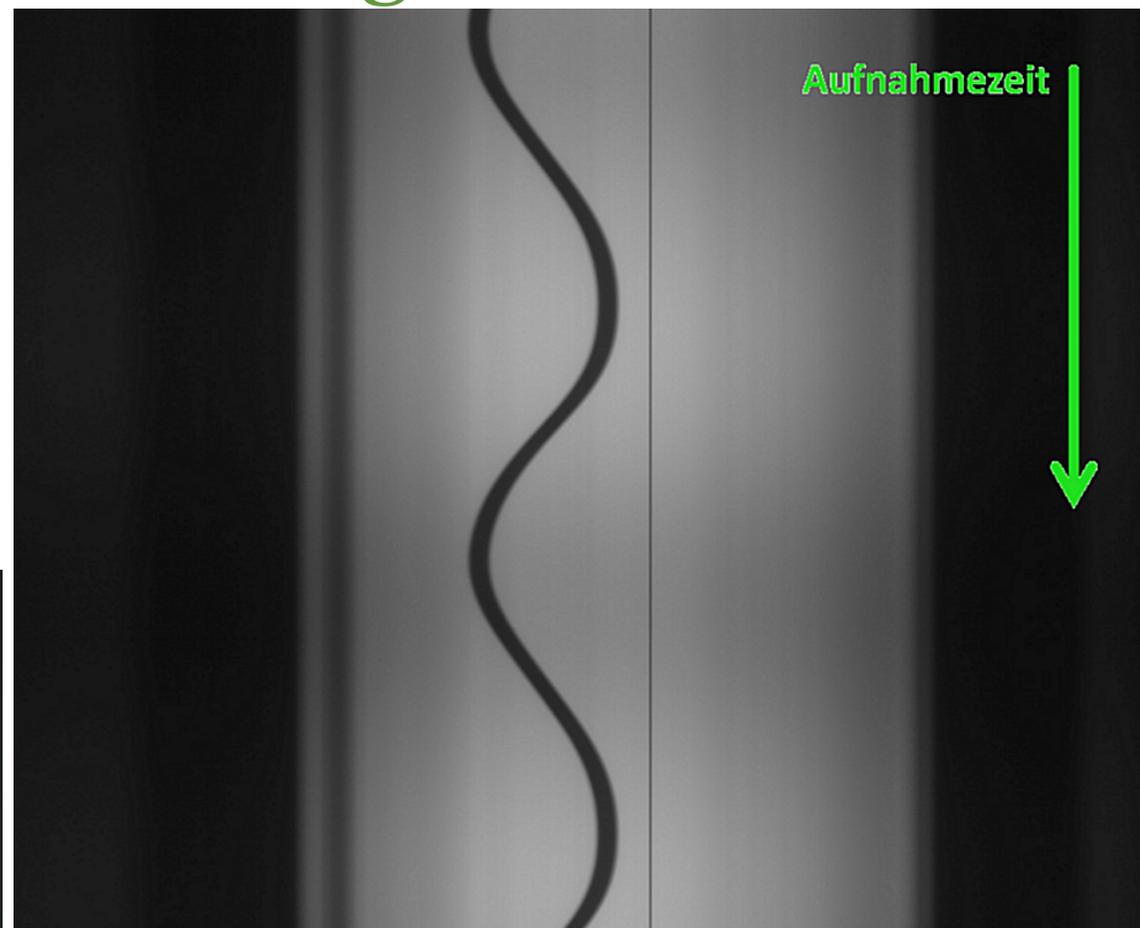
Sollwerte:
56,25 Zeilen/ms „an“
6,25 Zeilen/ms „aus“

Dargestellt sind
1024 Einzelzeilen
während einer (theor.)
Aufnahmedauer von
16,384ms



Aufnahme einer schwingenden Saite

- ✓ Taktrate 62500Hz
- ☹ Nach 1024 Bildzeilen wird stets eine Pause von 15 Zeilen $\approx 0,24\text{ms}$ benötigt
- ☹ Extrem hohe Taktraten benötigen viel Licht



Fazit

Das Wichtigste kurz und knapp



TECHNIK
HOCHSCHULE MAINZ
UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES



Digitale Okularkamera an Leica MS50



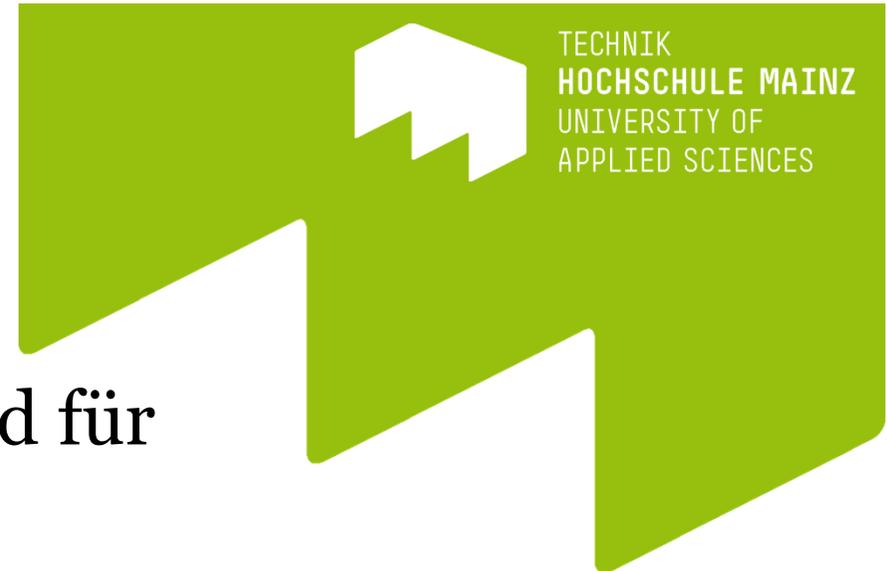
MS50:

- ✓ ATR
- ✓ Motorfokus
- ✓ Koaxiale Kamera
- ✓ Übersichtskamera

➔ Die digitale Okularkamera profitiert in erster Linie von den Autofokusfunktionen der bildgebenden Totalstation, hier der Leica MS50.

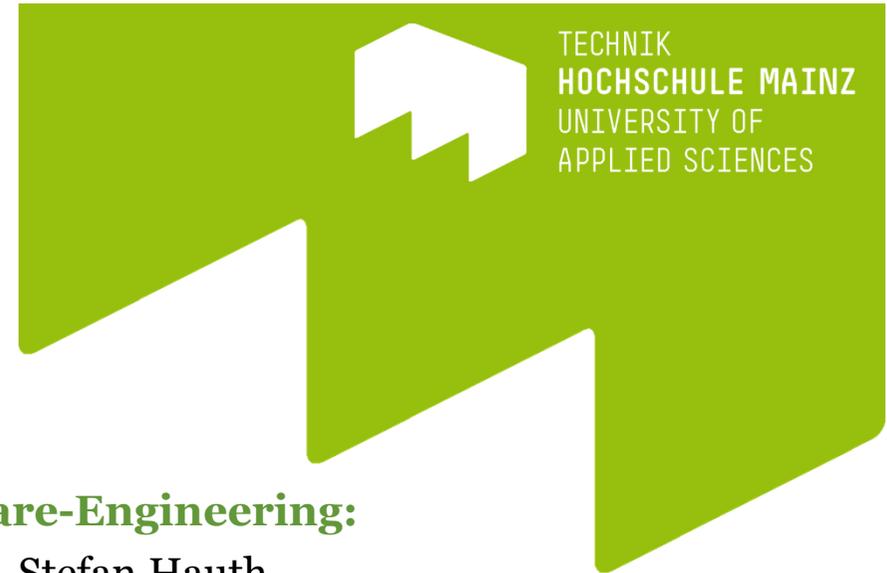


Anwendungen MoDiTa



- ✓ Automatisierter Prüfstand für Achsabweichungen
- ✓ Kollimation Laserstrahl u. AK. Referenzwürfel
- ✓ Astrogeodätische Azimute, absolut zeitreferenziert
... bis hier: Fokus in der Regel auf ∞ ...
- ✓ Schwingungsmessungen mit präzisen Zeitstempeln
- ☺ Erste High-Speed-Anwendungen in Vorbereitung

Mitgedacht und mit geschafft haben ...



TECHNIK
HOCHSCHULE MAINZ
UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES



... im **Software-Engineering**:

Henning Heß, Stefan Hauth,
Florian Thiery, Jens Bingenheimer,
Martin Heppe, Arno Heidelberg

... in **Anwendungen**:

Bruno Keßler, Waldemar Kisser,
Carina Justus, Franziska Haupt,
Annika Besetzny, Emil Azar,
Florian Sauerwein, Jan Schaper,
Thomas Wolf, Maggi Vogt,
Torsten Walter, Stefan Boes,
Robert Schäfer, Raphael Bretscher,
Kira Zschiesche, Carina Justus,
Alexander Bär, Victoria Roth

Förderungen



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

