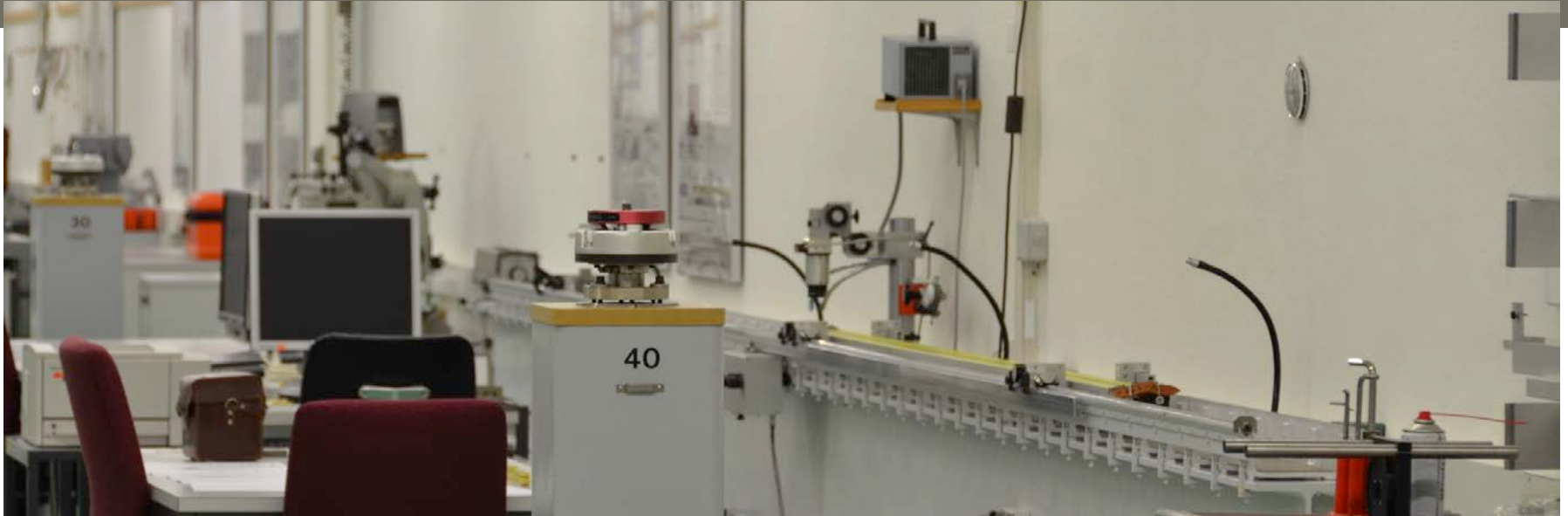




Kalibrier- und Prüfeinrichtungen für geodätische Sensoren im DACH-Raum

DGK-ÖGK-SGK Dreiländertagung, Potsdam, 8. November 2017

Andreas Wieser, ETH Zürich

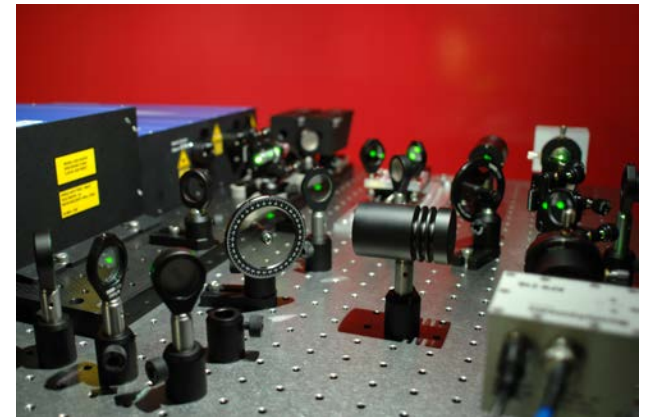
Kalibrieren und Prüfen – warum?

- Zusammenhang Messwert – Messgrösse
- Eigenschaften von Sensoren, Instrumenten und Messsystemen kennen und quantifizieren
- Genauigkeit kennen, quantifizieren, garantieren oder steigern
- Rückführung der Messgrössen auf Standards

Weil wir messen.

Prüfung und Kalibrierung geodätischer Sensoren sind

- zentrale Elemente wissenschaftlicher
Forschung an geodätischen Instituten
- integrierte Dienstleistung
der Instrumentenhersteller
- Dienstleistung spezieller Anbieter
und Institutionen
- integraler Bestandteil
geodätischer Dienstleistungen



Quelle: IGP, ETH Zürich



Institutionen und Instrumente

- Prüfung und Kalibrierung durchgeführt von
 - Universitäten, Hochschulen & Forschungsinstitutionen, Herstellern
 - Metrologie-Institutionen
 - Betrieben / Büros
- Für alle „geodätischen“ Sensoren und Instrumente
- Hier Auswahl, mit Fokus auf
 - ausgewählte Universitäten, Hochschulen und Institutionen im DACH-Raum, mit F&E in dem Bereich
 - ausgewählte Instrumente bzw. Sensoren
 - für Interessenten zugängliche Einrichtungen mit beträchtlichem Errichtungs-/Betriebsaufwand



Quellen: Landesgrenzen: TM_WORLD_BORDERS-0.1.ZIP, Provided by Bjorn Sandvik, thematicmapping.org; Hintergrund: GlobCover 2009 land cover map, © ESA 2010 and UCLouvain; Städte: OpenStreetMap

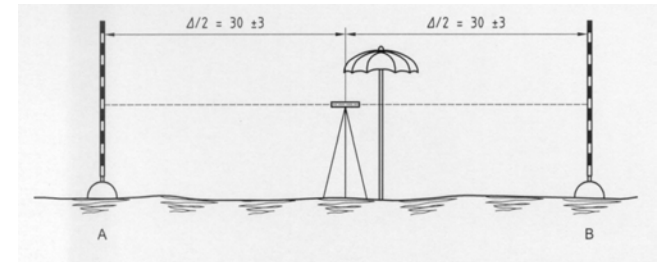
Prüfung - Kalibrierung

Prüfung

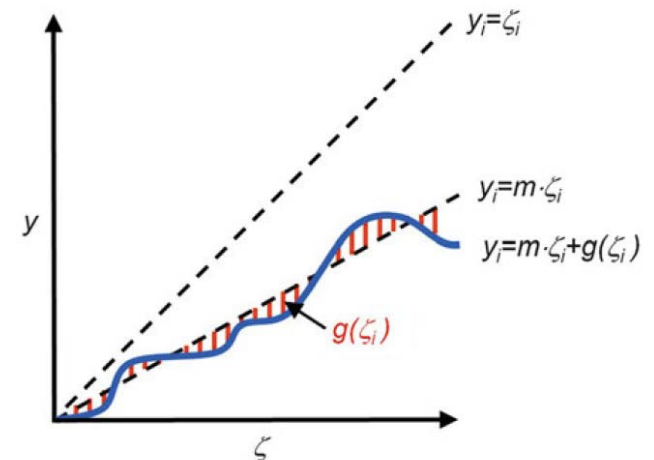
- Eigenschaften beurteilen
- Eignung beurteilen
- Häufig einfach durchführbar (z.B. ISO 17123)

Kalibrierung

- Messwert – Messgrösse (wahrer Wert)
- Rückführung auf Standard
- Bekannte & reproduzierbare Bedingungen
- Ergebnisse: Funktionen, Parameter, quantifizierte Unsicherheiten
- Zunehmend: Black-box Systeme und nicht kontrollierbare Bedingungen

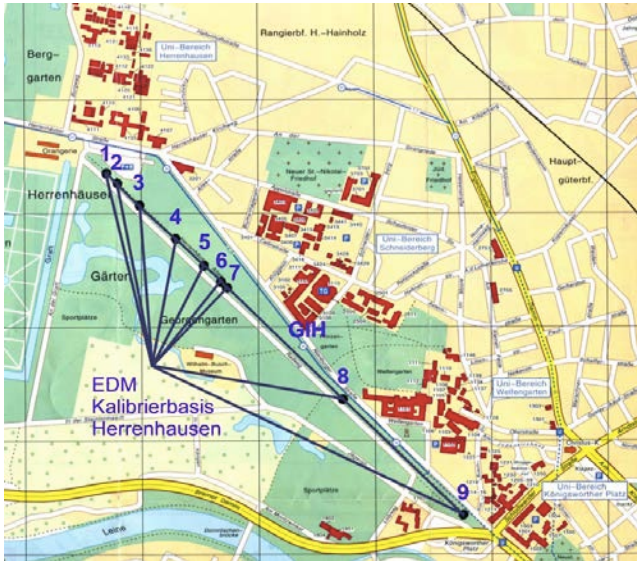


Quelle: ISO 17123-2



Quelle: Woschitz, Heister (2017)

EDM - Pfeilerbasis



Quelle: GIH, Leibniz Universität Hannover (2010)

- Pfeiler linear angeordnet (hz und v)
- Teilstrecken über gängige Feinmassstäbe verteilt
- Tw. auch für GNSS, Kreisel etc.



Quelle: Pollinger, PTB (2017)



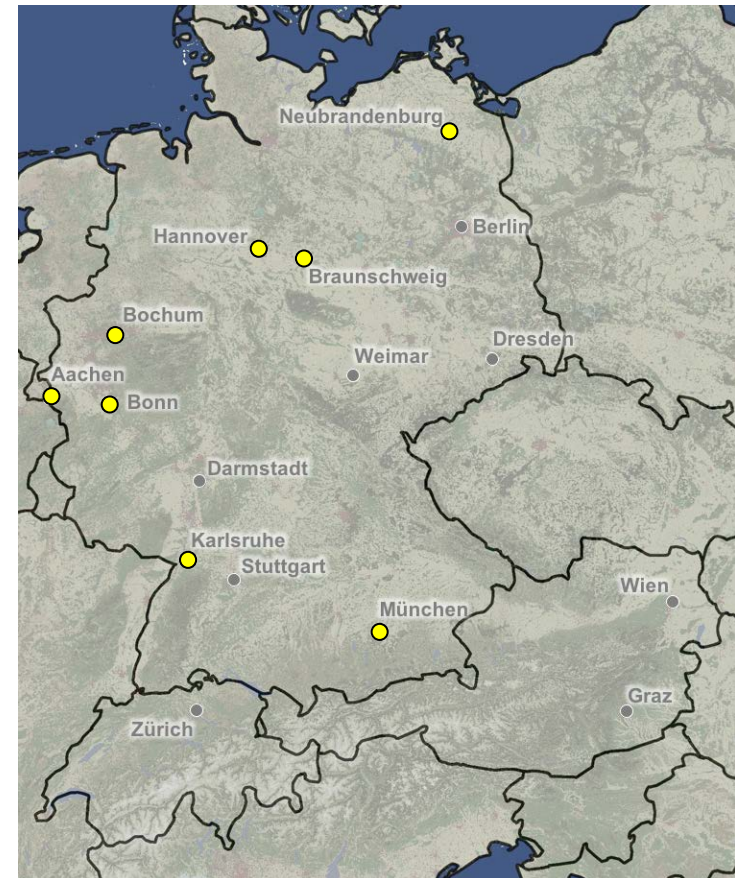
Quelle: Heger, HS Neubrandenburg (2017)



Quelle: Heunecke (2015) ZfV

EDM - Pfeilerbasis

- Mehrere Anlagen unterschiedlicher Länge (ca. 250 – 1700 m)
- Teilstrecken i.A. nach Schwendener
- Basen tw. auch für GNSS geeignet
- In Summe ca. 100 Instrumente / Jahr (davon 20% Eigenbedarf)
- Ringversuch 2009/2011 auf Kalibrierbasis der UniBw (1100m):
 $U = 0.2 \text{ ppm}$ ($k=2$)
- Pfeilerbasis der PTB/TU Braunschweig (600m): T alle 10 m, p/rh alle 100 m

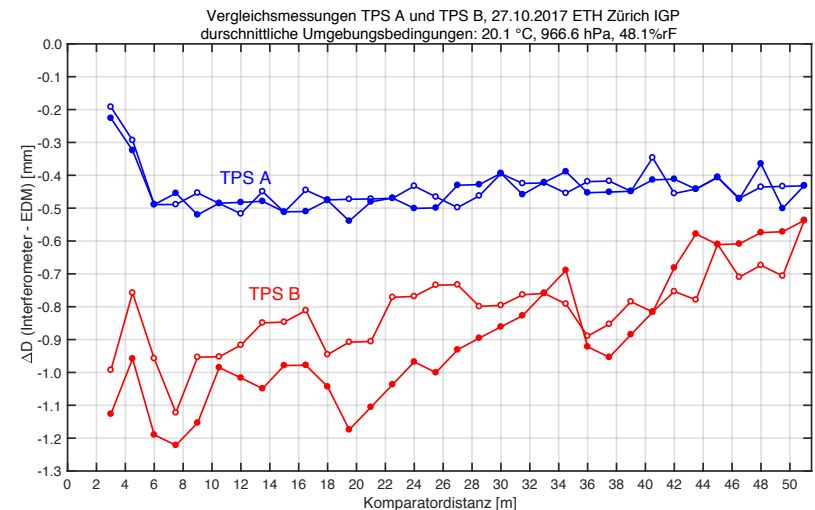


EDM - Horizontalkomparator



Quelle: IGP, ETH Zürich

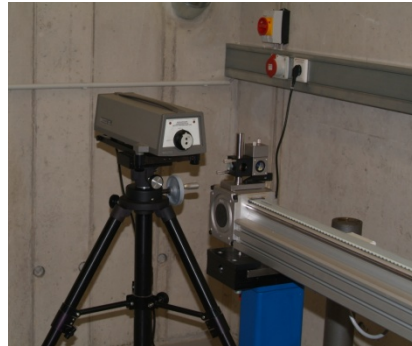
- Nichtlinearitäten inkl. zyklische Abweichungen
 - Masstab (Nahbereich)
 - Additionskonstante (je nach Anlage)
 - Präzision
-
- Tw. auch RL & Handheld EDM



EDM - Horizontalkomparator



Quelle: Hennes, KIT(2017)



Quelle: Schwarz, Bauhaus Universität Weimar (2017)



Quelle: Pollinger, PTB (2017)



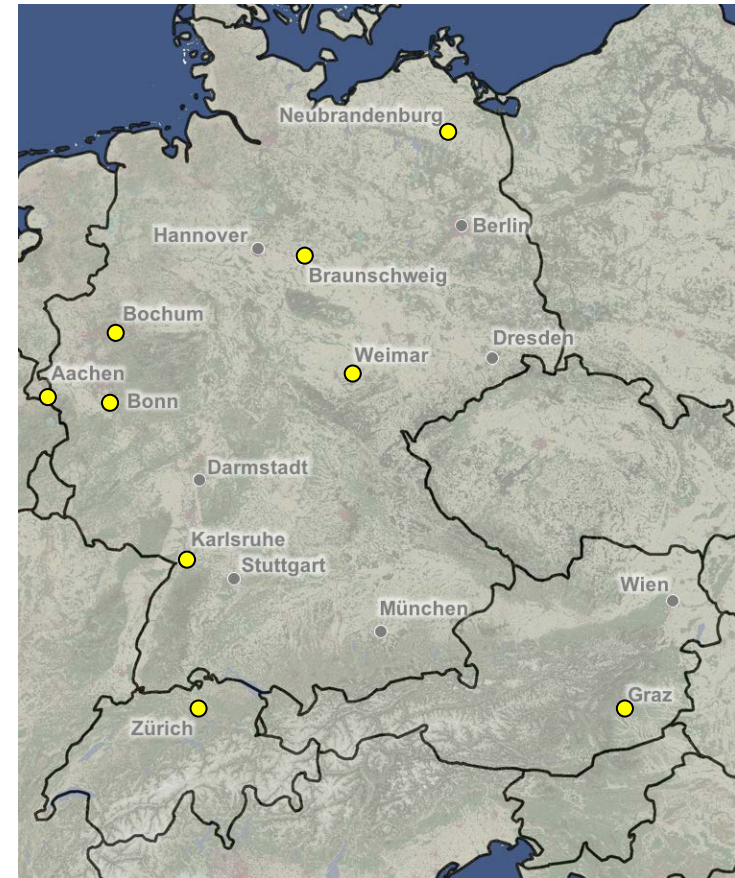
Quelle: Heger, HS Neubrandenburg (2017)



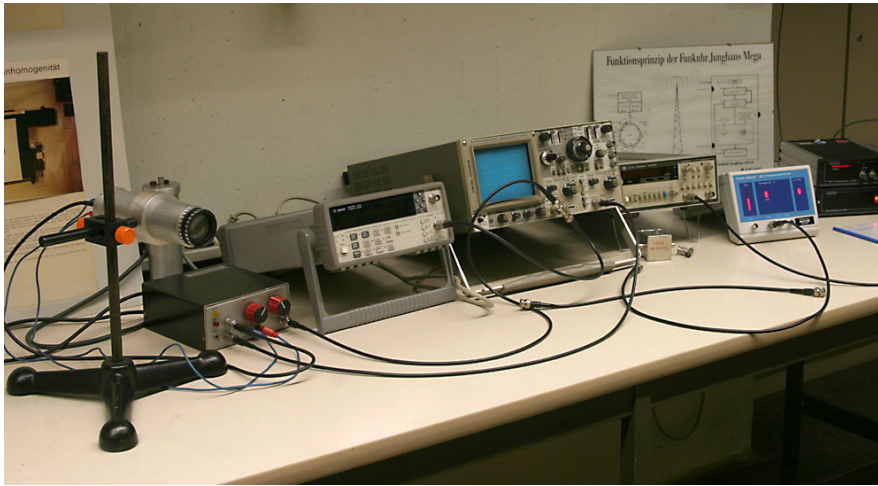
Quelle: Lienhart, TU Graz (2017)

EDM - Horizontalkomparator

- Mehrere Anlagen unterschiedlicher Ausstattung und Länge (ca. 20 – 50 m)
- In Summe ca. 80 Instrumente / Jahr (davon 30% Eigenbedarf)

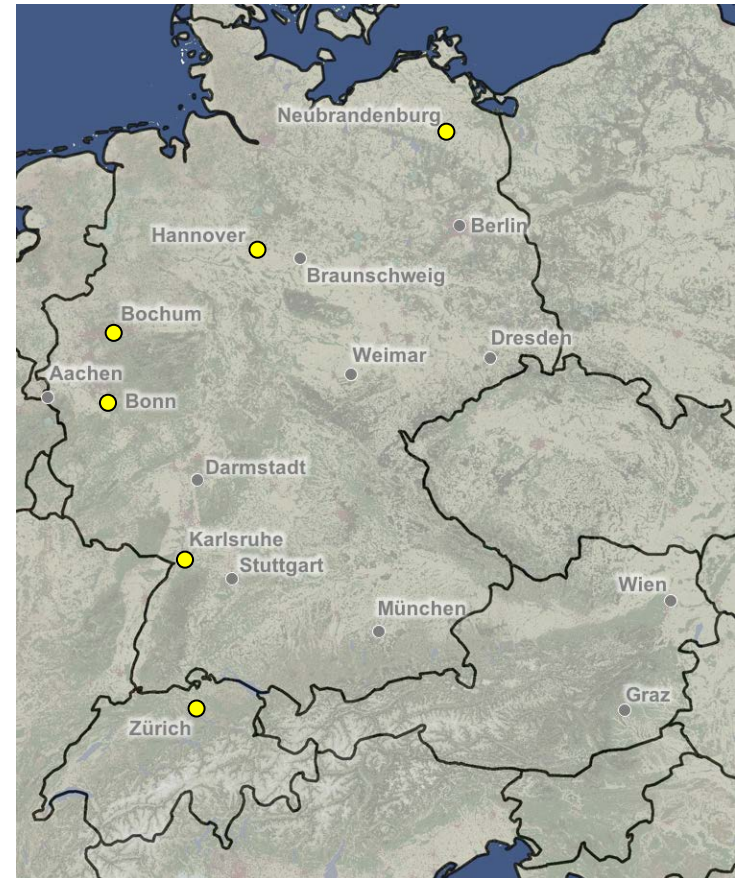


EDM - Frequenzmessung

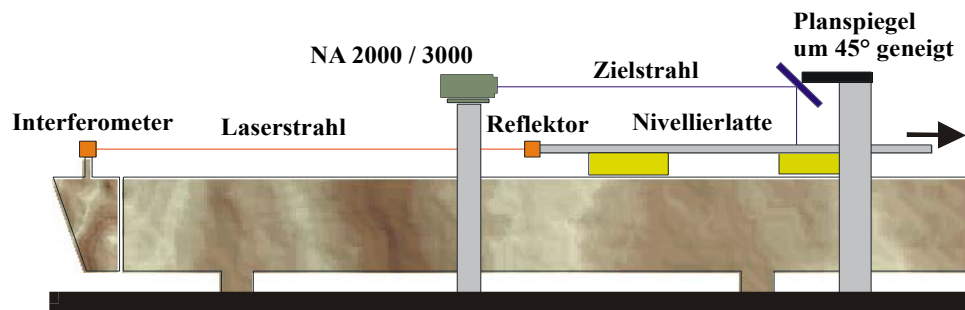


Quelle: <http://www.hochschule-bochum.de/fbv/einrichtungen-und-labore/lmt.html>

- Kaum noch genutzt: in Summe ca. 15 Instrumente / Jahr angegeben

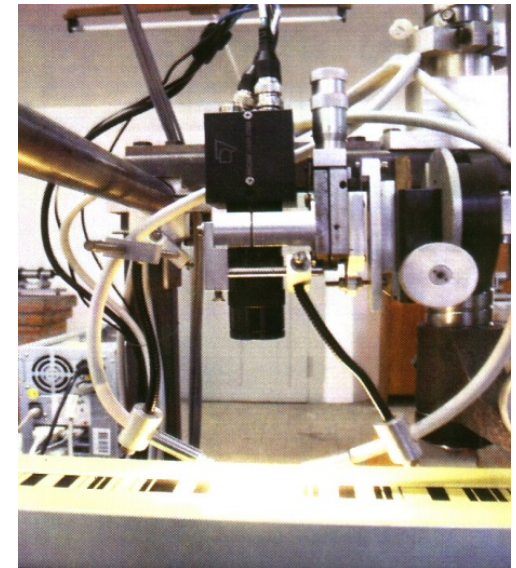


Nivellierlattenkalibrierung



Quelle: Heunecke, UniBw (2017)

- Massstab
 - Nichtlinearitäten
 - Nullpunkt
-
- Grösstenteils Kalibrierung der Latte in horizontaler Stellung
 - An wenigen Institution: vertikal und/oder Systemkalibrierung

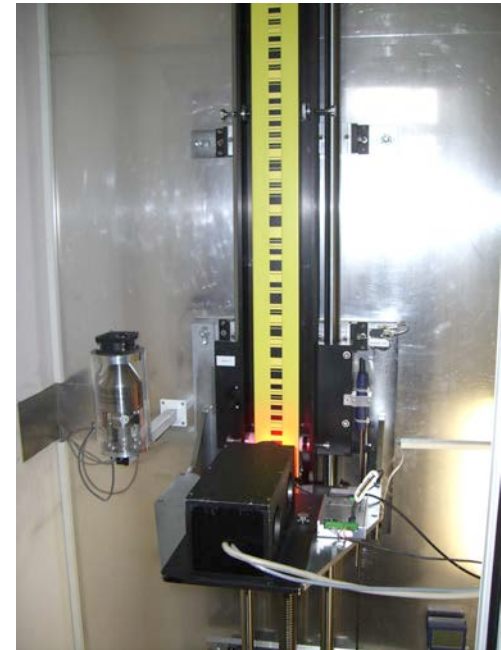


Quelle: Möser, TU Dresden (2017)

Nivellierlattenkalibrierung



Quelle: Woschitz, TU Graz (2017)



Quelle: Wasmeier, TU München (2017)

Nivellierlattenkalibrierung

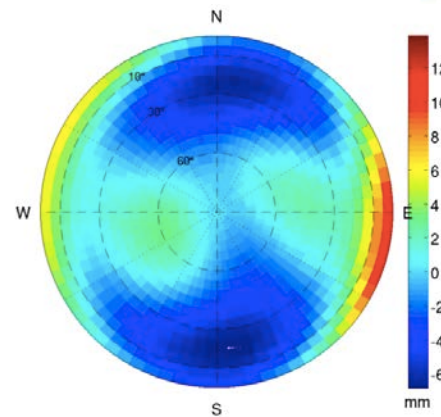
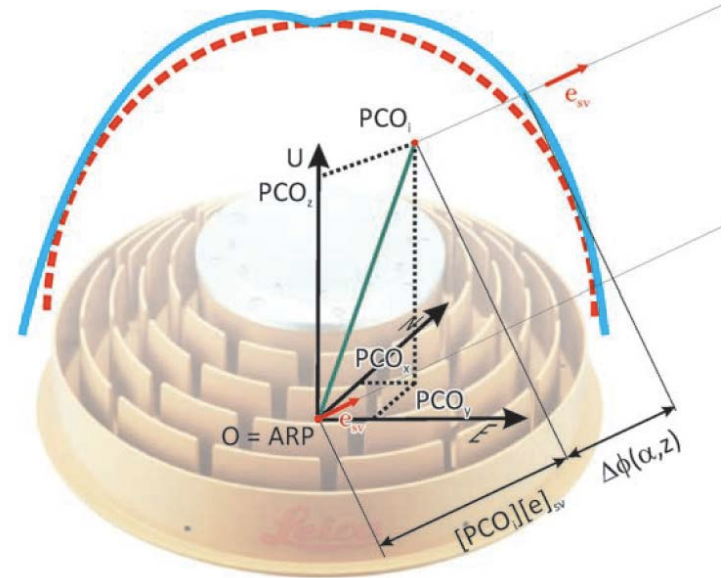
- In Summe ca. 200 Latten / Jahr, davon ca. 10% Eigenbedarf



GNSS-Antennen



Quelle: IGP, ETH Zürich (2016)



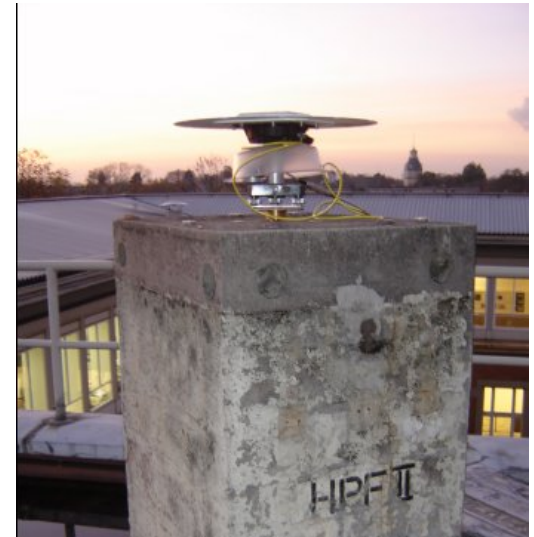
Quelle: <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>

Quelle: Kersten, Schön (2010) Towards Modeling Phase Center Variations for Multi-Frequency and Multi-GNSS

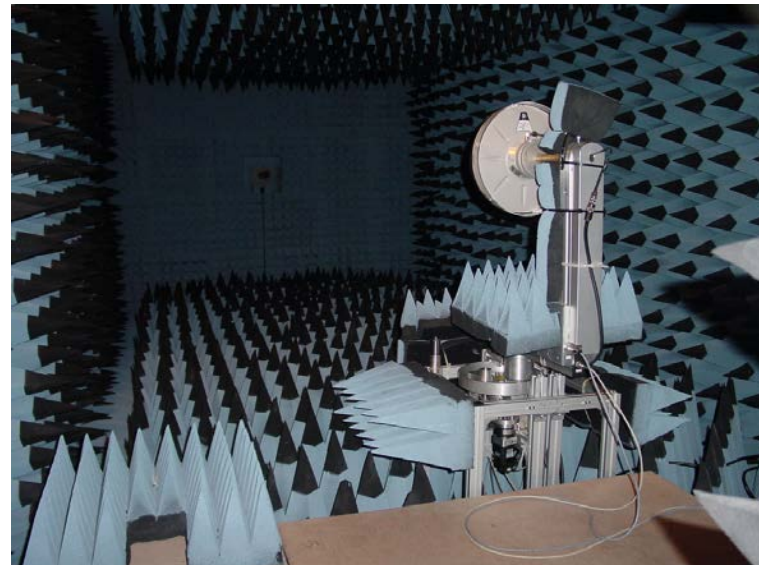
GNSS-Antennen



Quelle: IfE, Leibniz Universität Hannover



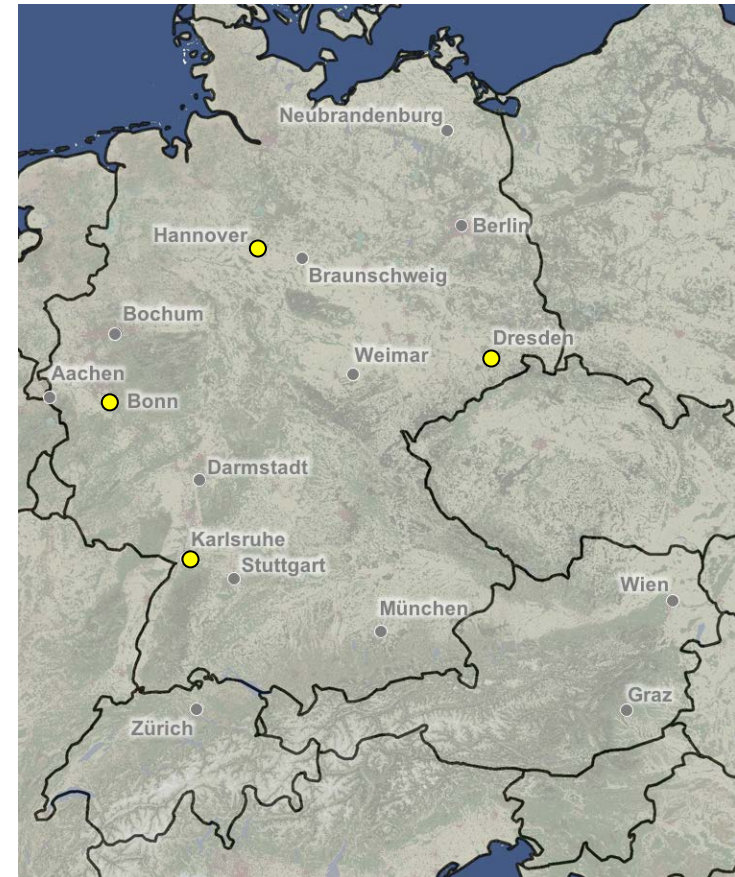
Quelle:
http://www.gik.kit.edu/pruefung_gps_antenn_en.php



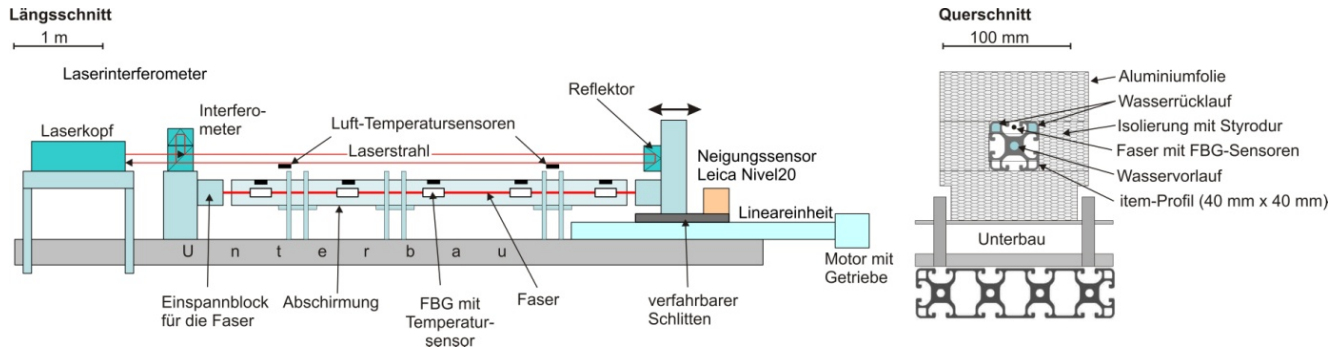
Quelle: IGG, Universität Bonn

GNSS-Antennen

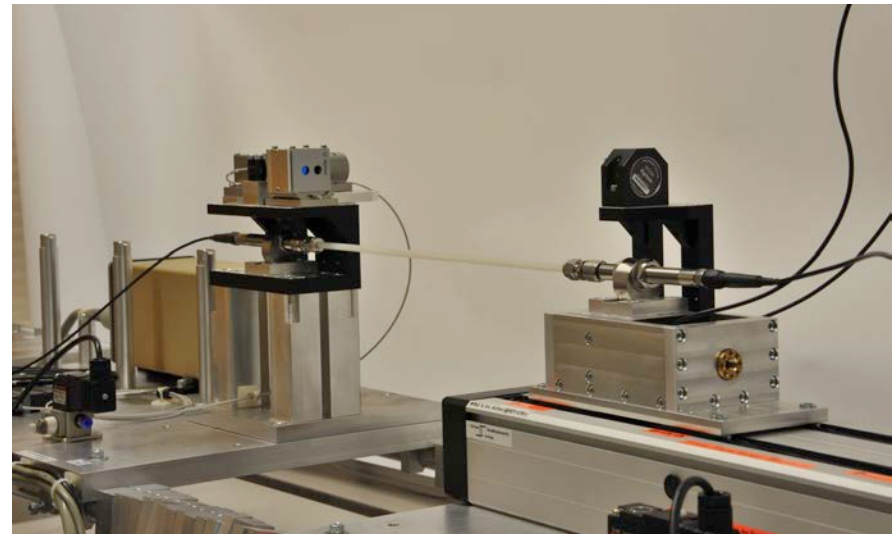
- PCO und PCV
- Absolut oder relativ
- Reale GNSS Signale oder synthetische Signale
- In Summe ca. 75 Antennen / Jahr, davon ca. 25% Eigenbedarf



Faseroptische Dehnungssensoren (FOS)



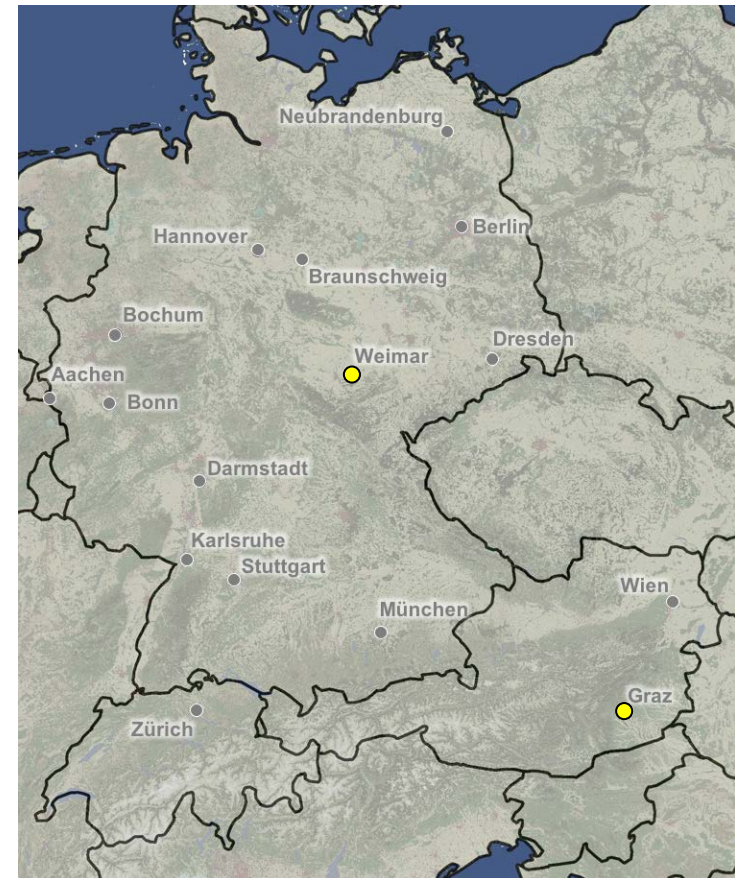
Quelle: Schwarz, Bauhausuniversität Weimar (2017)



Quelle: Lienhart, TU Graz (2017)

Faseroptische Dehnungssensoren (FOS)

- Rohe Messgrösse z.B. Wellenlänge
- Dehnungskennlinie
- Linearitätsabweichungen
- Hysterese
- Messbereich
- Temperatureinflüsse



Terrestrische Laserscanner (TLS)

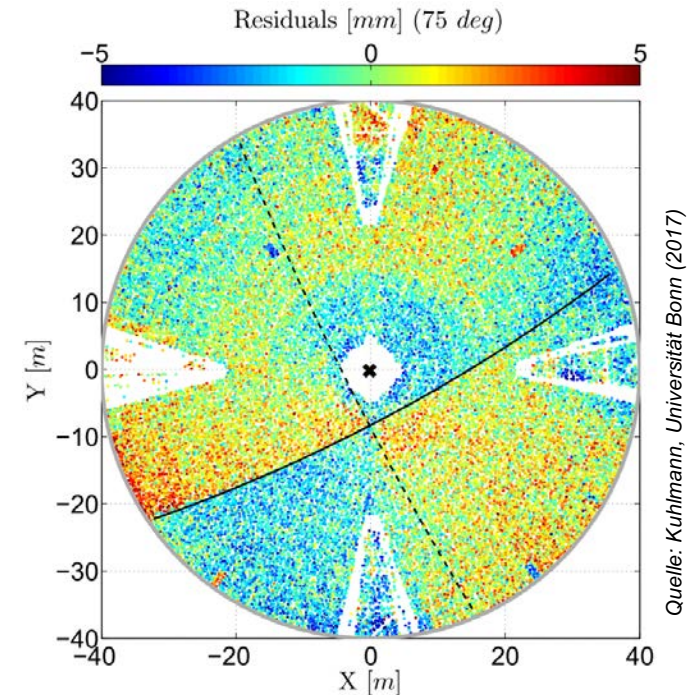
- Modellierung instrumentell bedingter Abweichungen
- z.B. Modell nach Lichti 2007 («Additional Parameters»):

$$\delta\theta = c_0 + c_1\theta + c_2 \sin\theta + c_3 \sin(3\varphi) + c_4 \cos(3\varphi)$$

$$\delta\varphi = b_1 \sec\theta + b_2 \tan\theta + b_3 \sin(2\varphi) + b_4 \cos(2\varphi) + b_5 \varphi + b_6 \cos(3\theta) + b_7 \cos(4\theta)$$

$$\delta r = a_0 + a_1 r + a_2 \sin\theta + a_3 \sin\frac{4\pi r}{U_1} + a_4 \cos\frac{4\pi r}{U_1} + a_5 \sin\frac{4\pi r}{U_2} + a_6 \cos\frac{4\pi r}{U_2} + a_7 \sin(4\varphi) + a_8 \cos(4\varphi)$$

U_1, U_2	...	Feinmassstäbe
a_j	...	Parameter für Distanzkorrektur
b_j	...	Parameter für Horizontalwinkelkorrektur
c_j	...	Parameter für Vertikalwinkelkorrektur



TLS Kalibrierfelder



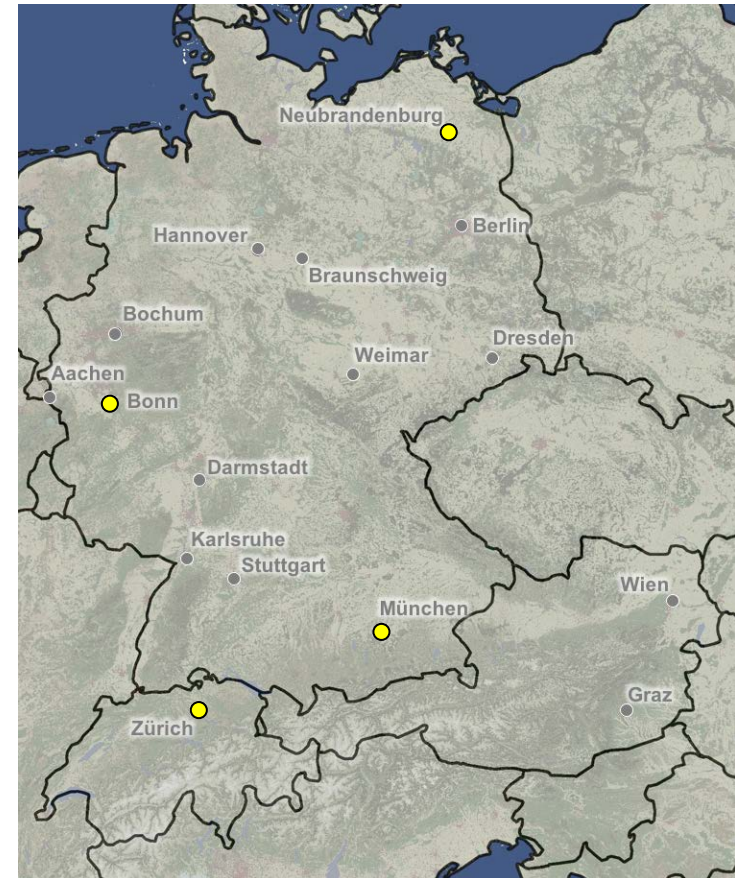
Quelle: Wasmeier, TU München (2017)



Quelle: Kuhlmann, Universität Bonn (2017)

TLS Kalibrierfelder

- Schätzung der Kalibrierparameter aus Scans von mehreren Standpunkten
- Nutzung von Zielzeichen und/oder Kalibrierobjekten
- Optimierung der Konfiguration hinsichtlich Schätzbarkeit und Trennbarkeit der Parameter
- Viele offene Fragen

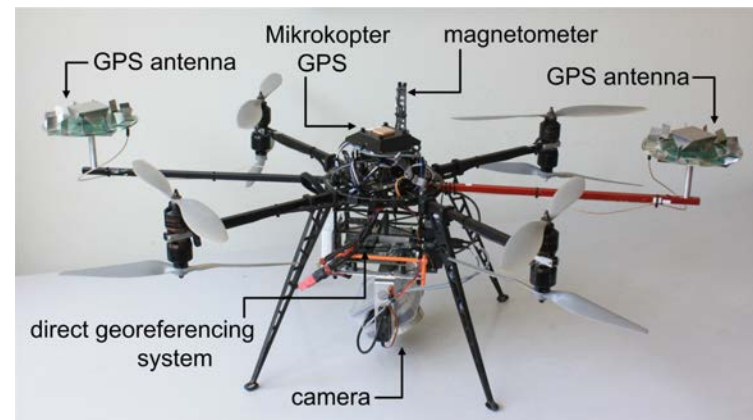


Mobile Multisensorsysteme (MSS)

- Position und Orientierung der Sensoren relativ zueinander
- Synchronisierung der Sensoren bzw. Messwerte
- Trajektorie der Plattform (6 DOF)
- Modell / Daten



Quelle: Leica Geosystems

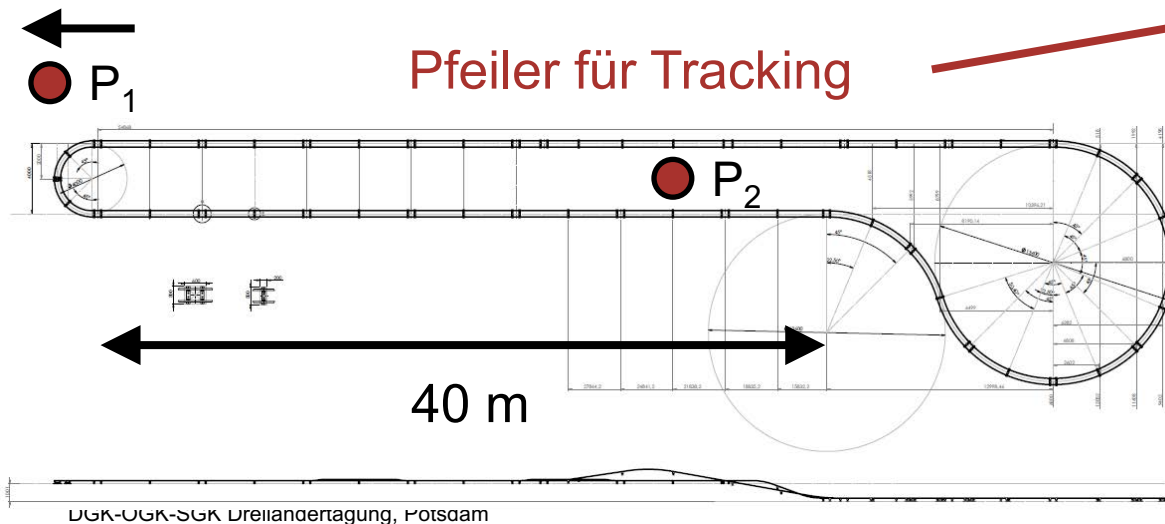


Quelle: Kuhlmann, Universität Bonn (2017)

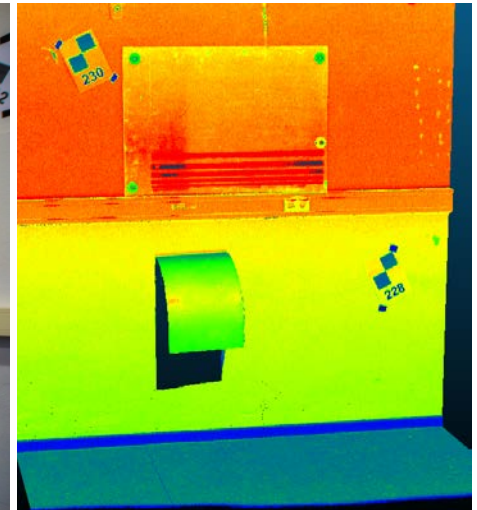
MSS – Prüfbahn (Bonn)

- schienengebundene Referenztrajektorie (Länge ca. 140 m) mit Messwagen zur Adaption von kinematischen MSS
- Variation der Bahn in allen 6 Freiheitsgrade (3 Translationen + 3 Rotationen)
- Tracking des kinematischen MSS von Pfeilern aus

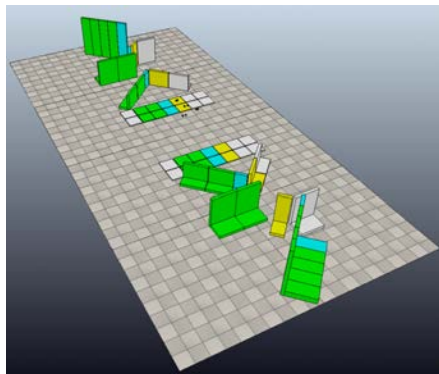
Quelle: H. Kuhlmann (2017, persönlich)



MSS – Prüf- und Kalibrierfelder



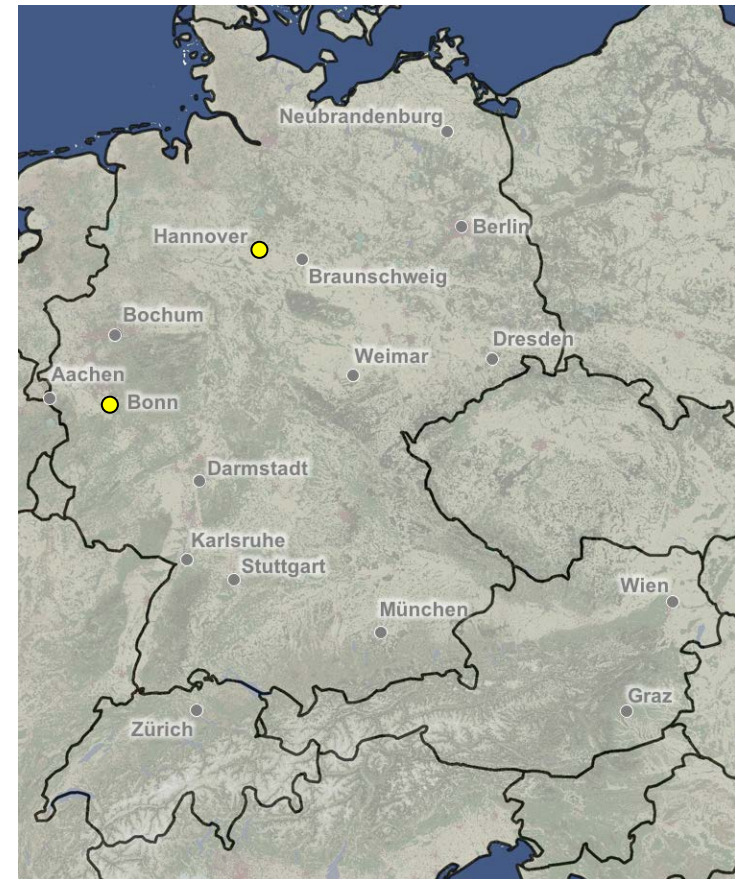
Alexander Dorndorf (2014) Masterarbeit, GIH



Quelle: H. Kuhlmann (2017, persönlich)

MSS – Prüf- und Kalibriereinrichtungen

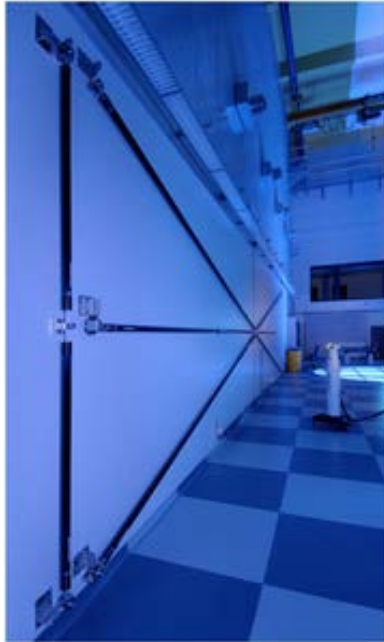
- Äussere Systemkalibrierung
- Kalibrierung innerer Parameter
- Beurteilung der Qualität von kinematisch aufgenommenen 3D-Punktwolken



Weitere Anlagen, spezielle Sensoren und Instrumente

- Automatisierter Neigungstisch mit interferometrischer Referenzmessung (UniBw)
- Beschleunigungsmesser-Prüfanlage (Bauhaus Universität Weimar)
- Prüfanlage für Membranen hydrostatischer Messsysteme (Bauhaus Universität Weimar)
- Interferometrische Prüfung und Kalibrierung von Neigungsmessern (Bauhaus Universität Weimar)
- Prüfeinrichtung für Magnetfeldeinflüsse auf Nivelliere (Universität Bonn)
- Prüfkörper für TLS Auflösungsuntersuchungen (Universität Bonn)
- Prüfkörper für TLS-basierte Bestimmung von Freiformflächen (TU Wien)
- Kalibriereinrichtung für Messarme (Universität Bonn)
- TLS Prüffeld (Universität Bonn)
- Prüfanlage Hz-Winkel (Universität der Bundeswehr)
- Kreisel-Kalibriereinrichtung / Klimakammer (Universität der Bundeswehr)
- Prüfeinrichtung für TPS Schutzgehäuse (ETH Zürich)
- Kreiselprüfeinrichtung (TU Graz)
- Kreiselprüffeld (ETH Zürich)
- Prüfanlage für hydrostatisches Messsystem (ETH Zürich)
- Prüfkörper für die vergleichende Beurteilung von Laserscannern (TU München)
- Kalibrieranlage für rotative Messsysteme in Direktantrieben / Encoderkalibrieranlage (KIT)
- Präzisionsdrehtisch für Latenzzeitbestimmung bei Trackern und Tachymetern (KIT)
- Präzisionstesteinrichtung für kinematische Messmittel bis 5 m/s (KIT)
- Tetronom-Kugelstab (KIT)
- Kollimatoren zur Prüfung von Tachymetern und Nivellieren (diverse)
- Prismenprüfanlage (KIT)
- Referenzwand zur Bestimmung der Antastabweichung von Trackern und Scannern (PTB)
- Kalibriereinrichtung zur Bestimmung der Temperatúrausdehnung von Längenmassstäben (TU München)
- Kalibriereinrichtung für Okularkameras von Tachymetern

Spezielle Sensoren und Instrumente



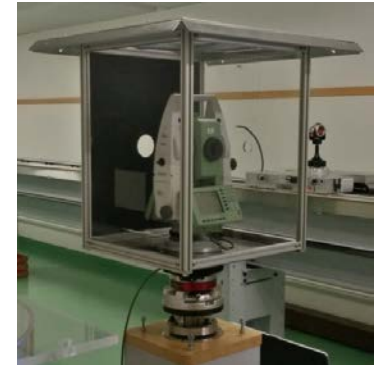
Quelle: Pollinger, PTB (2017)



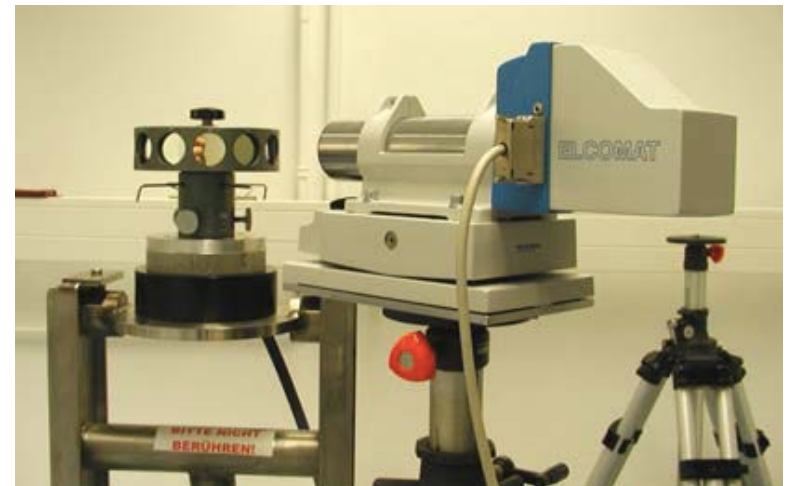
Quelle: Wunderlich et al. (2013)



Quelle: Wasmeier (2017)



Quelle: IGP, ETH Zürich (2015)



Quelle: Hennes, KIT (2017)

Zusammenfassung

- Unzählige Prüf- und Kalibriereinrichtungen für geodätische Sensoren und Instrumente im DACH-Raum
 - EDM, Tachymeter, Nivelliere und Nivellierlatten
 - GNSS Antennen
 - TLS
 - MSS
 - FOS, Tracker, ...
- Aufbau und Pflege der Einrichtungen i.d.R. aufwändig aber wesentlich für Forschung, Entwicklung und Praxis
- Potential für verstärkte Nutzung der Einrichtungen und Kompetenz



Further Reading: H. Woschitz, H. Heister (2017) Überprüfung und Kalibrierung der Messmittel in der Geodäsie. In: W. Schwarz (Hrsg) Handbuch der Geodäsie – Band Ingenieurgeodäsie. Springer

Ermöglicht durch Informationen und Inhalte von

J. Blankenbach

D. Eling

B. Heck

W. Heger

M. Hennes

O. Heunecke

T. Kersten

H. Kuhlmann

W. Lienhart

M. Mayer

M. Möser

I. Neumann

H. Neuner

W. Niemeier

J.-A. Paffenholz

F. Pollinger

R. Presl

S. Schön

W. Schwarz

R. Staiger

P. Wasmeier

Th. Wunderlich