
Qualitätsmanagement und Kalibrierung geodätischer Instrumente



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Gliederung der Veranstaltung

I Teil Vorlesung

- **Was ist Qualitätsmanagement**
- **Qualitätsmanagement und Vermessungsbüros**
- **Qualitätsmanagement und Geodätische Messinstrumente**
- **Kalibrierung der Messmittel**
- **ISO Normen für Geodätische Instrumente**
- **Übersicht Kalibrierverfahren am IGP**

II Teil Demonstration A61 Messlabor

- **Kalibrierverfahren im Messlabor des IGP**



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich



Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau
 Planung und Vermessung



ISO 9001

Um noch besser auf Kundenwünsche einzugehen, rascher und flexibler am Markt zu reagieren, setzen wir das Instrument des Qualitätsmanagements ein. Anfang 1998 haben wir in unserer Firma das Qualitätsmanagement eingeführt und am 13. November desselben Jahres haben wir die Zertifizierung nach ISO 9001 bestanden. Anlässlich des Zertifizierungsaudits der SGS-ICS wurde der Nachweis erbracht, dass dieses Qualitäts-Management-System die Anforderungen der folgenden Norm erfüllt:

SN EN ISO 9001 : 1984.

Am 15. März 2005 bestand unser Büro zum dritten Mal die Rezertifizierung nach ISO.

Die Zertifizierung umfasst Planungs- und Ingenieurdienstleistungen im Hoch- und Tiefbau, Umwelt- und Kulturtechnik, Siedlungswasserbau, Expertisen, Baukontrollen, Geoinformatik, Amtliche und Private Vermessung.



Weitere Informationen über die Qualitätsrichtlinien der ISO 9001 finden Sie auf der Homepage der International Organization for Standardization - ISO.

Rizzoli AG Ingenieurbüro und Vermessungsplanung, Postfach 49, 8570 Oberrieden
 Tel. 071 820 26 10 Fax 071 820 26 11 e-mail: info@rizzoli.ch
 80015 Rizzoli AG in Service





Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Zertifizierte Ingenieurbüros (Ausschnitt)

Amt/Unternehmen	Stand QMS	zertifiziert
GeoTeam AG Geomatik, Tunnel- und Ingenieurvermessung, 6375 Beckenried	vorhanden	9001
Hersche Ingenieure AG 9050 Appenzell, 9056 Gais, 9413 Oberegg	vorhanden	9001
Gossweiler Ingenieure AG Planung, Tiefbau, Vermessung, Geoinformatik, Kulturtechnik 8600 Dübendorf	vorhanden	9001



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Zertifizierung nach ISO 9000

- **Nachweis, dass offizielle Verfahren (enthaltend Abläufe, Zuständigkeiten) festgelegt sind und nur nach den genehmigten Verfahren gearbeitet wird**
- **Nachweis durch Zertifizierungsfirma, die in der Schweiz vom *metas* dem Bundesamt für **Met**rologie und **A**kkreditierung **S**chweiz, CH-3003 Bern-Wabern, vormals Eidgenössisches Amt für Messwesen (EAM) akkreditiert wird**



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Akkreditierungs- und Kalibrierstellen der Schweiz



Für in anderen Industrie- und Dienstleistungsbereichen benötigten Messgrößen sind zur Zeit über 80 solcher meist privater Kalibrierstellen in der Schweiz vorhanden, welche eine Akkreditierung des METAS besitzen .

Eine akkreditierte Kalibrierstelle verfügt über ein Qualitätsmanagement-System und genehmigte Kalibrierverfahren.



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Ziele eines QM-Systems in einem Unternehmen (Verm Büro)

- **Unternehmensweite Verantwortung**
- **Kontinuierliche Verbesserung der Arbeitsabläufe und Produkte**
- **System-Ansatz**
- **Vorbeugung**
- **Minimierung der Fehlerkosten**
- **Qualität als Übereinstimmung mit Anforderungen**



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Internationale Normen für Qualitätssicherung

ISO 9000 (neu 9000:2000)

- **Die EN ISO 9000 ist ein Satz von fünf Universalnormen für ein Qualitätssicherungssystem (weltweit anerkannt)**
- **Gegenwärtig haben 120 Länder die ISO 9000 als nationale Standards akzeptiert.**
- **Die umfassendste von den Standards ist die **ISO 9001(alte Version)**. Sie gilt für Industrien, die mit dem Entwurf und der Entwicklung, der Herstellung, der Installation und dem Warten von Produkten oder Diensten verbunden sind. Die Standards gelten gleich für Gesellschaften in jeder Industrie und von jeder Grösse.**
- **Nach der neuen Fassung gibt es keine Abstufung zwischen 9001, 9002 und 9003. Alle Unternehmen zertifizieren sich nach DIN SN EN ISO 9000:2000.**
- **Die ISO 9000 (auch 9000:2000) verlässt sich auf ein System von Revisionen, um Nachweise zu liefern, dass die Organisation die Erfordernisse der Norm erfüllt.**



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Zertifizierung/ Audit

Zertifizierung nach DIN EN ISO 9000: Die **Zertifizierung** wird ausgesprochen, wenn z. B. ein Betrieb den Nachweis erbringt, dass er alle Anforderungen des Qualitäts-Managements-Systems nach DIN EN ISO 9001 umgesetzt hat. Er erhält nach erfolgreichem Abschluss mehrerer Audits ein Zertifikat gemäss dem Qualitäts- Managements-Systems DIN EN ISO 9000.

Ein **Audit** ist eine Inspektion der Dokumente und Aufzeichnungen, die Ihr Qualitätssystem ausmachen. Man kann auch sagen, es ist eine Inspektion der Art, wie die Leute in der Organisation arbeiten. Es ist erforderlich dass das gesamte Unternehmen regelmässig geplanten interne Revisionen (Audits) des Qualitätssystems betreibt.



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Die ISO 9000 in der geodätischen Praxis

QM setzt in alle Phasen bei der Abwicklung von Vermessungsaufträgen ein. Der Ablauf der auftragsbezogenen Aktivitäten ist grundsätzlich derselbe wie beim traditionellen Ingenieurbüro.

Die internen Abläufe müssen schriftlich beschrieben werden

Jede qualitätsrelevante Aktivität muss mittels Qualitätsaufzeichnungen (z.B. Absteckungsprotokolle, Handskizzen, Datenfiles) geprüft und dokumentiert werden.

Das QM-System beschreibt die Handhabung der Qualitätsaufzeichnungen, wie z. B. Aufbewahrungsort und -dauer, verantwortliche Personen, Nummerierungssystem

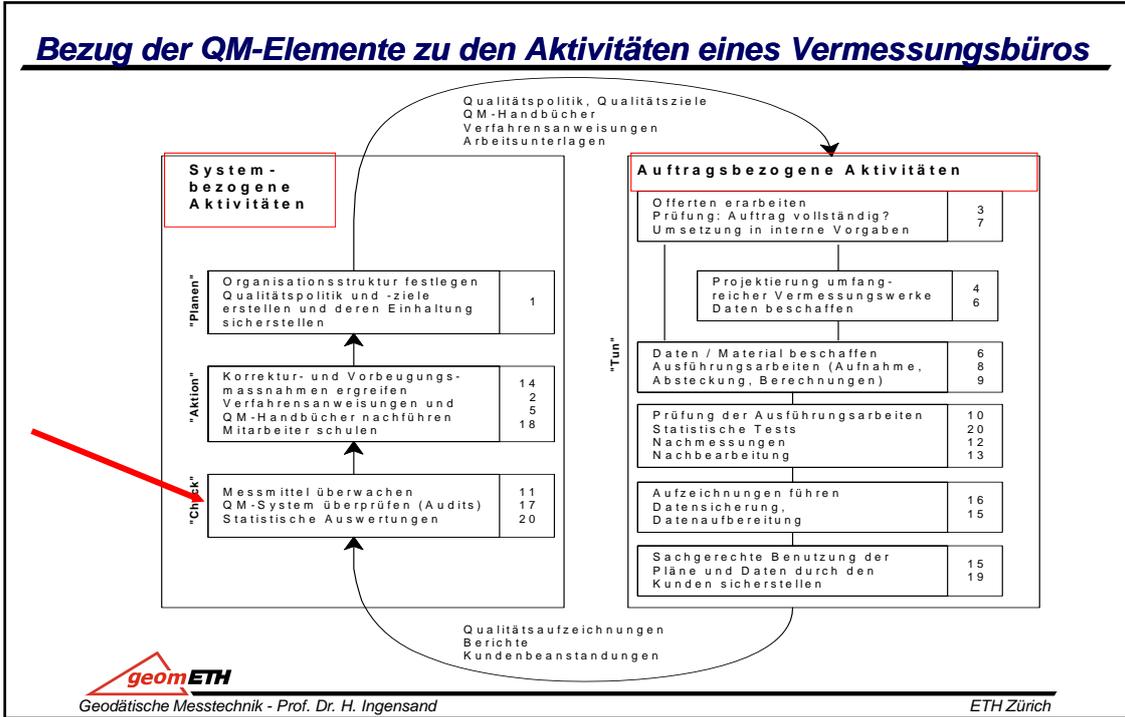
Neben der eigentlichen Daten (z. B. Punktkoordinaten, Deformationsmessungen etc.) sind auch Informationen über die Daten (Metadaten) zu erfassen, damit die Qualität der Daten beurteilt werden kann.

Z.B. :Herkunft der Daten, Zuverlässigkeitsrechtecke, Konfidenzellipsen (Fehlerellipsen), Datum der Messung, Operat, Gültigkeit (offiziell, provisorisch, nachgeführt), Konsistenz, Art der Punktversicherung.



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich



QM-Elemente gemäss Norm SN EN ISO 9000

1	Verantwortung der Leitung	8	Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit der Produkte -	15	Verpackung, Konservierung Versand,
2	QM-System				
3	Vertragsprüfung	9	Prozesslenkung		
4	Designlenkung	10	Prüfungen	16	Lenkung von Qualitätsaufzeichnungen -
5	Lenkung der Dokumente und Daten	11	Prüfmittelüberwachung		
		12	Prüfstatus	17	Interne Qualitätsaudits
6	Beschaffung	13	Lenkung fehlerhafter Produkte	18	Schulung
7	Lenkung der vom Kunden beigestellten Produkte	14	Korrektur- und Vorbeugungsmassnahmen	19	Wartung
				20	Statistische Methoden

geomETH
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Prüfmittelüberwachung: Instrumenten Logbuch

Instrumenten-Logbuch Logbuch-Nummer: 1108
 Version: 1
 Ersetzt Version: -
 Geprüft/ Freigabe: 01.05.96 Mn
 Standort: Abt. Vermessung

Instrumententyp: Tachymeter TC1610
Serien-Nummer: 513 157

Genauigkeit:
 - Distanz: $\sigma = 2\text{mm} + 3\text{ppm}$
 - Richtung: $\sigma = 0.2 \text{ mgon}$
 - Vertikalwinkel = 0.2 mgon

Kalibrierung

<i>Messgrösse:</i>	<i>Prüfanweisung:</i>	<i>Kalibrierintervall:</i>
Ziellinienfehler	vgl. 110241	6 Monate
Höhenindexfehler	vgl. 110241	6 Monate
Additionskonstante	vgl. 110611	6 Monate
Massstab	vgl. 110611	6 Monate
Frequenz	Externes Labor	12 Monate

Am Instrument vorgenommene Aktivitäten
 (Kalibrierungen, Reparaturen, Justierungen)

Datum	Beschreibung	Visum	Bemerkungen
.....
.....
.....

Seite 1 von 4



Kalibrierung (Überprüfung der Messmittel)



Kalibrieren der Messmittel

(Der Begriff Kalibrieren wurde früher auch für das Justieren verwendet)

- Die **Kalibrierung** ist eine Forderung der von der Norm ISO 9000 verlangten Messmittellenkung (in der Norm als "Prüfmittellenkung" bezeichnet).

Mit der Kalibrierung wird nachgewiesen:

die Richtigkeit einer Messgröße eines Messgerätes ohne Eingriff ins Messsystem.

Dass das Instrument funktionstüchtig ist und die vorgegebene Genauigkeit erreicht

- **Kalibrierschein oder Kalibrierzertifikat:**

Dokumentiert die messtechnischen Eigenschaften, sowie die Rückführung auf das nationale Normal.



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Rückführung

Vergleichbarkeit von Messmitteln und Messverfahren

Bezug (Anschluss) eines Messergebnisses oder eines Wertes eines Normals auf das nationale oder internationale Normal durch eine ununterbrochene Kette von Vergleichsmessungen mit Angabe der Messunsicherheit

Beispiel: Länge

EDM → Interferometer (IGP) → Frequenznormal (METAS)



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Internationale Normen für die Kalibrierung geodätischer Instrumente

ISO-17123		Optics and optical instruments – Field Procedures for testing geodetic and surveying instruments
17123_1	1998	Theory
17123_2	1999	Levels
17123_3	1999	Theodolites
17123_4	1999	Electro-optical distance meters (EDM instruments)
17123_5	2001	Electronic tacheometers
17123_6	2001	Rotating lasers
17123_7	2003	Optical plumbing instruments
17123_8	i.V.	GPS Field Measurement System in real time (RTK)



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Praktische Durchführung im Ingenieurbüro

Ein nach Norm ISO 9000 zertifiziertes Ingenieurbüro verfügt über Verfahren, welche die Prüfmittellenkung (Messmittellenkung) und somit auch die Kalibrierung sicherstellen.

In einem Ingenieurbüro betrifft dies typischerweise folgende "Prüfmittel" (Beispiele):

- **Tachymeter**
- **Laser-Distanzmessgeräte**
- **GNSS-Empfänger inkl. Auswerte-Software**
- **Nivelliergeräte und Nivellierlatten**
- **Laserscanner (noch nicht, in Arbeit)**
- **Zubehör (z. B. optisches Lot, Dosenlibellen)**



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Kalibrierintervall

Für die Messmittel, welche der Messmittellenkung unterstehen, ist ein Kalibrierintervall anzugeben, innerhalb dessen eine Kalibrierung stattfinden sollte. In der Praxis hat sich folgende Regelung bewährt:

Kalibrierintervall	Massnahmen:
Vor jedem Messeinsatz:	Nivellierprobe
alle 6 Monate:	Kleine Instrumenten-Prüfung Index-, Ziellinienabweichung, optisches Lot (Dreifuss), Lattenrichter, Stabilität der Reflektor-Prismen
alle 12 Monate:	Grosse Instrumenten-Prüfung Enthält die kleine Instrumenten-Prüfung und darüber hinaus: Bestimmung der Massstabs- und Additionsunbekannten bei EDM, Frequenzmessung EDM-Geräte, Nivellierlatten-Kalibrierung, Lattenfusskalibrierung

Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Arten von Kalibrierverfahren

- **Feldverfahren** **z.B 21 Streckenverfahren feste Pfeiler für EDM**
Teststrecken für Nivellement
- **Laborverfahren** **(feste Laboreinrichtung erforderlich)**
- **Komponenten und Systemkalibrierungen**
Z.B. Nivellierlatte und Nivelliersystem

Messzeugnis (Kalibrierzertifikat)

Datum: 17.08.99

Seite 2 von 5

Kalibrierzertifikat



Kalibriergegenstand:
Invar-Strichcodeplatte im Sonderausführung: AIs-Gehäuse mit Einhängvorrichtung am Lattenkopf zum Gebrauch als Hängelatte

Kalibrierverfahren:
Longitudinalkomparator mit feststehendem photoelektrischen Metallmikroskop und horizontaler Prüflinglagerung, automatisierter Vorschub und Maßablauf; Längsmessung mit Laserinterferometer IIP 5507/3, automatisierter Strichcodierung mit photoelektronischem Mikroskop Zeiss DPV Compact, Standardunsicherheit der Kantendetektion $0,7\mu\text{m} = 0,41\mu\text{m} \cdot k$.

Messbedingungen:
Der Prüfling wurde horizontal in den günstigsten Punkten gelagert. Aus dem Längsprofil (s. Abb. 2) können Durchhang und eventuelle Uregelmäßigkeiten entnommen werden. Das vorliegende Profil zeigt kein besonderes Fehlverhalten. Die interferometrische Maßachse weicht um 10 cm aus der idealen Abbiegungslinienrichtung ab; eventuelle handlich verursachte Meßabweichungen sind in der o.ä. Standardunsicherheit der Kantendetektion berücksichtigt. Es wurden alle Code-Striche des Prüflings über die gesamte Länge von 3 m erfaßt. Die Frühlingsreferenztemperatur entspricht der Lufttemperatur, da eine Akklimatisierungszeit von 24 Std. eingehalten wurde. Die Beagungs temperatur der Kalibriermessungen betrug 20° C. Bei der Korrektur der Meßergebnisse wurde ein Ausdehnungskoeffizient für Invar von 0,1 ppm berücksichtigt. Bei der linearen Regression zur Maßstabbestimmung wurden alle Beobachtungen gleichgewichtig unter Berücksichtigung einer mittleren Standardunsicherheit von 1,3 μm für die Kantendetektive eingewirkt.

Umgebungsbedingungen:

Temperatur:	(21,6 ± 0,2) °C
Rel. Luftfeuchte:	(45 ± 2) %
Luftdruck:	(998 ± 1) hPa

Messergebnis und Messunsicherheit:

Die Maßunsicherheit der Code-Teilung (Code-Strich-Länge) berechnet aus den (Ein-Soll)-Differenzen der Vergleichsmessungen (s. a. Tabelle 1).

$u_{CT} = 9,7 \mu\text{m}$.

Maßstabsfaktor (Fehler) der Code-Teilung

$m_{CT} = 1,000 011 \pm 0,000 000 2$.

Abweichung des fiktiven Skalen-Nullpunktes (Nullpunktfehler) zur Aufsatzfläche

$k_{NPT} = -0,023 \text{ mm} \pm 0,008 \text{ mm}$.

$k_{NPT} \leq 0,05 \text{ mm}$ (DIN 19717)

(Positive Vorzeichen: Nullpunkt liegt innerhalb der Aufsatzfläche; Negative Vorzeichen: Nullpunkt liegt außerhalb der Aufsatzfläche)

Die angegebenen Maßunsicherheiten entsprechen dem zweifachen Schätzwert ihrer Standardabweichungen (Vertrauensniveau = 95%).

Alle Ergebnisse der Vergleichsmessungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt und in den Abbildungen 1,2 graphisch dargestellt.

Konformitätsaussage: Das Prüfergebn entspricht den Spezifikationen des Herstellers und den Anforderungen der DIN 18 717.



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Labor Kalibrierverfahren im IGP Messlabor

Das IGP Messlabor ist nicht akkreditiert, wird aber von METAS als Messlabor für geodätische Messverfahren anerkannt.

IGP ist Mitglied der Gesellschaft zur Kalibrierung Geodätischer Messinstrumente (GKGM)



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Übersicht: Kalibrierverfahren des IGP Messlabors

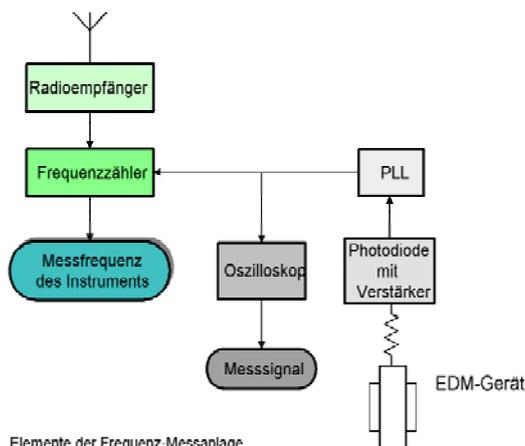
- **Frequenzprüfung**
- **Längenkalibrierungen**
 - Laserscanner
 - Range Imaging Kameras
 - EDM
 - Messbänder
 - Nivellierlatenprüfung
- **Fokusablaufprüfung**
- **Kinematische Tests**
 - Tracking Tachymeter
 - Kinematisches Laserscanning
- **Neigungsprüfung**
 - Elektronische Neigungsmesser
 - Neigungsmesser in Tachymetern
- **Prismenprüfungen**
- **Systemprüfung von Nivellierverfahren**
- **Richtungsmessungen mit Kollimatoren**



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Frequenzmesseinrichtung



- ① Elektrooptischer Distanzmesser
- ② Photodiode mit Verstärker
- ③ Phase Locked Loop-Schaltung



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Zertifikat: Frequenzmessung

Frequency calibration		Nr. of protocol	000 - 030	
Date:		21.11.2000		
Contractor:		Paul Scherrer Institut		
5232 Villigen		Operator: H. Oesch		
Instrument:		Leica TC 2002		
Serial-Nr.		359867		
Comments:				
Environment		Temperature: 21,0 °C		
Measurements (Minimum number: 10)				
Nr.	Time	Nominal value f_n , according	Measured frequency f_m	$\Delta f = f_m - f_n$
		display EDM [Hz]	according freq. measuring system [Hz]	
1	00:30	50'000,169	50'000,151	0,018
2	01:00	50'000,156	50'000,141	0,015
3	01:30	50'000,151	50'000,134	0,017
4	02:00	50'000,144	50'000,126	0,018
5	02:30	50'000,136	50'000,116	0,020
6	03:00	50'000,134	50'000,114	0,020
7	03:30	50'000,129	50'000,108	0,021
8	04:00	50'000,125	50'000,103	0,022
9	04:30	50'000,119	50'000,097	0,022
10	05:00	50'000,114	50'000,091	0,023
11	05:30	50'000,109	50'000,085	0,024
12	06:00	50'000,105	50'000,081	0,024
13	06:30	50'000,101	50'000,076	0,025
14	07:00	50'000,097	50'000,072	0,025
15	07:30	50'000,093	50'000,068	0,025
16	08:00	50'000,089	50'000,064	0,025
17	08:30	50'000,087	50'000,060	0,027
18	09:00	50'000,085	50'000,057	0,028
19	09:30	50'000,081	50'000,054	0,027
20	10:00	50'000,080	50'000,051	0,029
Mean value [Hz]		f_n	50'000,082	Δf
Stand. dev. [Hz]		σ_{f_n}	0,027	$\sigma_{\Delta f}$
Scale correction k [ppm] = $\Delta f/f$			0,5 ppm	$\sigma_k = \sigma_{\Delta f}/f$
				0,08 ppm

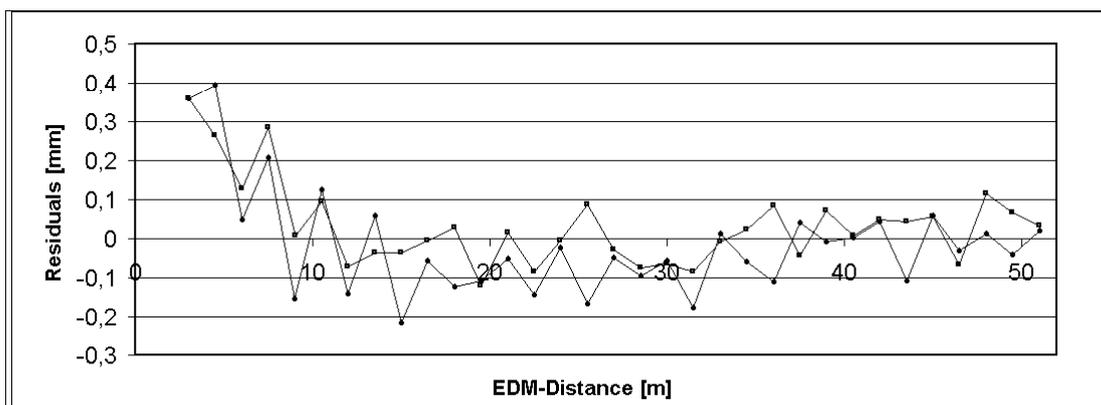
Institute of Geodesy and Photogrammetry		ETH-Hauggerberg		CH-8006 Zürich	
CERTIFICATE					
Frequency of electro-ole distance meter			Calibration laboratory		
Contractor		Geo Astar AG		Order: 06-036	
		Barnhöfstrasse 96			
		CH-8193 Rüschlikon			
Distance meter		Zeiss Ric/Ele TSCM		Nr: 219586	
Date		27.08.1999			
Operator		Oesch / Pleish			
Temperature		20,0 °C			
Results and precision					
Frequency, nominal					
50'000,000 Hz					
Frequency, measured					
50'000,082 Hz					
Standard deviation					
0,020 Hz					
Scaling factor correction					
-0,4 ppm					
Standard deviation					
0,3 ppm					
Comments					
Measurements of frequency by Frequency Counter HP 53171 A					
Simultaneous calibration by					
Normal frequency of Meltingen (D), 77,6 Hz					
Attachments					
Signatures					
Head of calibration laboratory			Head of Institute		

Längenkalibrierungen im Messlabor des IGP

Interferometrische Messbahn des IGP



Leica TDA 5005



Längenkalibrierung von Scalebars

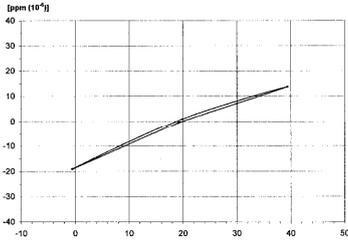
 <small>Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Ecole polytechnique fédérale de Zurich Politecnico federale di Zurigo Swiss Federal Institute of Technology Zurich</small>	
Institute of Geodesy and Photogrammetry ETH-Hönggerberg CH-8093 Zürich CERTIFICATE Length of scale bars Calibration laboratory	
Contractor	Leica AG Order: 859-2779-841 Photogrammetrie und Metrologie CH-5035 Unterentfelden
Scale bar	ECDS Nr: 2122006
Date	15.09.1999 Data set 990182
Operator	Oesch
Temperature	19.9 °C
Results and precision Coded side: Length between marks 1002.003 mm Standard deviation 0.005 mm Uncoded side: Length between marks 1001.283 mm Standard deviation 0.003 mm	
Comments Measurement of length by Laser – Interferometer HP 5529A Last date of Calibration 05.12.2000 Next date of Calibration 04.12.2002	
Attachments	
Zürich, 16.09.1999 Head of calibration laboratory Head of institute	

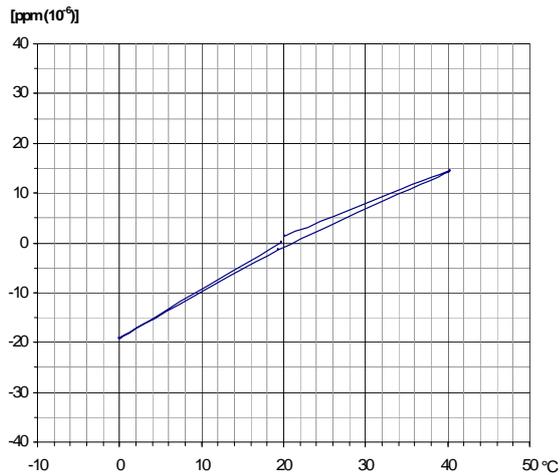


Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Temperaturausdehnungskoeffizienten Bestimmung

 <small>Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Ecole polytechnique fédérale de Zurich Politecnico federale di Zurigo Swiss Federal Institute of Technology Zurich</small>	
Institute of Geodesy and Photogrammetry ETH Hönggerberg CH-8093 Zürich Certificate Determination of the coefficient of expansion Calibration laboratory	
Contractor:	Bundesamt für Landestopographie Order: 000126 Seftigenstrasse 254 CH - 3084 Wabern
Invar rod:	Zeiss LD13 Serial No.: T2
Measurement cycle:	20 → 40 → 20 → 0 → 20 [°C] Data Set: 2255
Operator:	H. Oesch
Results: Coefficient of expansion: 0.8 ppm / °C Standard deviation: 0.06 ppm / °C	
	
Zürich, 26. 01. 2000 Head of calibration laboratory Head of institute	



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Components: Interferometric Staff Calibration



Scale Determination



Zero Point Calibration

ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich		Ecole polytechnique fédérale de Zurich Politecnico federale di Zurigo Swiss Federal Institute of Technology Zurich	
Institute of Geodesy and Photogrammetry		ETH Hönggerberg CH-8093 Zürich	
Certificate			
Precision levelling staff		Calibration laboratory	
according DIN 18717 / ISO 12858-1			
Contractor:	Swissphoto Vermessung AG Dorfstrasse 53 CH - 8105 Watt	Order:	990906
Staff:	Zeiss LD12	Serial No.:	15503
Date:	06.09.1999	Data Set:	990228
Operator:	H. Oesch		
Temperature:	20.3 °C		
Results and precision			
Staff-scale:	1 ± 1.5 ppm		
Standard deviation:	0.3 ppm		
Zero point constant:	0.063 mm		
Standard deviation:	0.001 mm		
Comments:	Measurement of the length by Laser- Interferometer HP 8529A Last date of calibration 05.02.1999 by EAM Next date of calibration 04.02.2000		
Attachments:			
Zürich, 06.09.1999			
Head of calibration laboratory			Head of institute



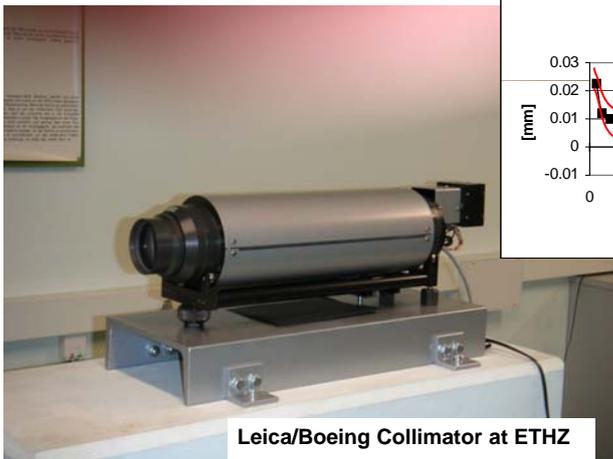
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

Comparator Principle

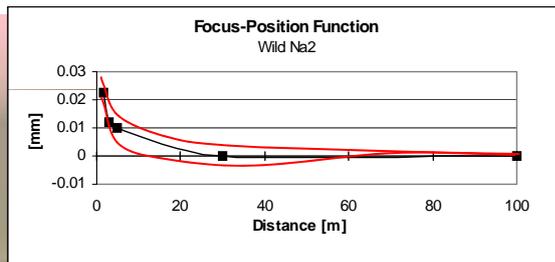
ETH Zürich

Test Procedures of Components:

Determination of the Focus-Position-Function



Leica/Boeing Collimator at ETHZ
With Focusing Lens



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Neigungskalibrierung



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

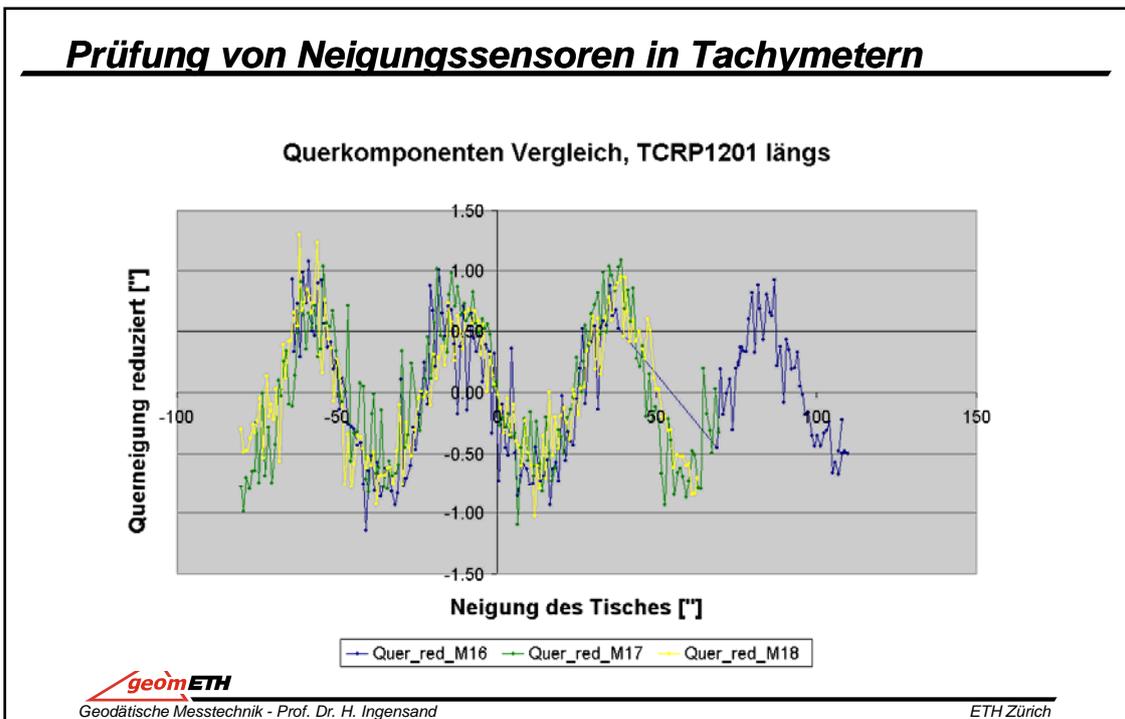
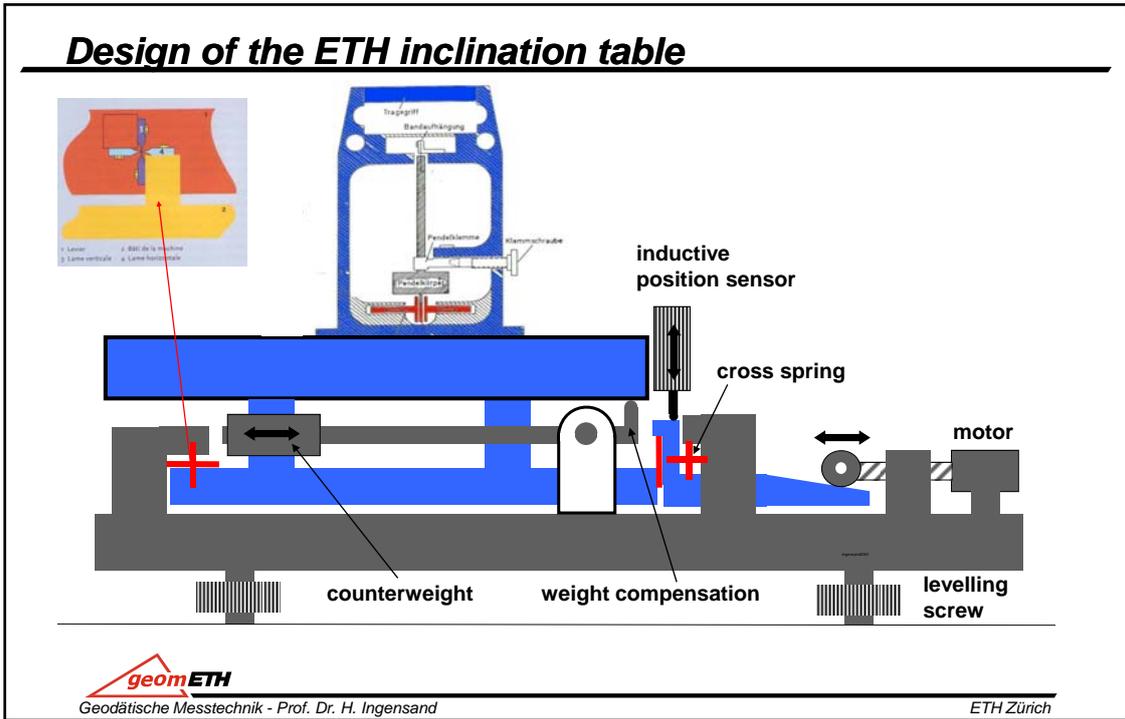
ETH Zürich

ETH Neigungstisch



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich



Systemkalibrierungen



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

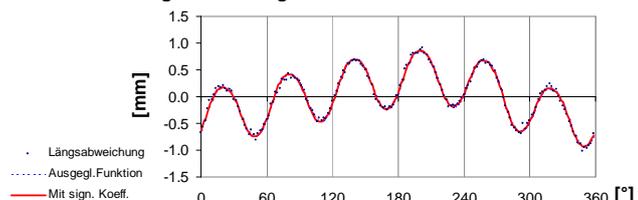
ETH Zürich

Systemkalibrierung am Beispiel: 360°-Prisma

- **Gebrauchslage**
 - **kein Laboraufwand**
 - **globales Genauigkeitsmass aus Soll-Ist-Vergleich ableitbar**
 - **ausreichende Auflösung**
 - **Anzahl der zu berücksichtigenden Einflussparameter klein bzw. Variation leicht realisierbar**
 - Distanz (nur für Höhenkomponente)
 - Höhenunterschied
 - **Trennbarkeit der Einflussfaktoren**
 - **Bestimmung im gesamten Messbereich**
- ↘ **bisher keine Erfahrung bzgl. Exemplarstreuung ATR**



Längsabweichung



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Kinematische Kalibrierung



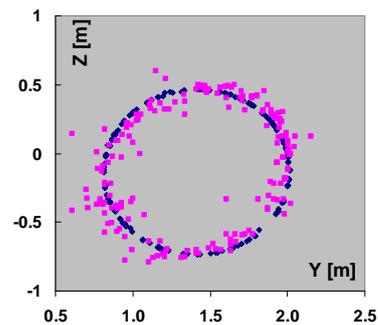
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Kinematische Kalibrierung: Kreisbahn-Verfahren



Testeinrichtung
 0.6 U/s , $v_{U, \max} = 3 \text{ m/s}$
 $r = 0.2 \text{ m} \dots 0.8 \text{ m}$



Resultate

Beispiel TCA1800:

$r = 0.6 \text{ m}$, $d = 21 \text{ m}$, $v_U = 1 \text{ m/s}$

→ $\omega_r = 3 \text{ gon/s}$

→ unregelmässiges tracking

Residuen 20-fach überhöht



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Kinematische Tests von Laserscannern



Time [s]	RPS	Scanning Resolution	Velocity [m/s]	# Control Points	3D Accuracy [mm]	
					'free'	'fix'
100	25	middle	0.10020	5	3.4	1.8
		high	0.10021		2.9	1.6
	33	middle	0.10020		3.4	2.0
		high	0.10021		3.9	2.4
200	25	middle	0.10020	8	3.3	1.8
		high	0.10021		3.2	2.1
	33	middle	0.10020		2.3	1.9
		high	0.10021		2.9	2.0
300	25	middle	0.10022	13	3.0	1.8
		high	0.10021		3.6	2.2
	33	middle	0.10021		2.9	2.1
		high	0.10022		2.3	1.9



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Ende



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich