

Ingenieurvermessung 3/3

Neigungsmessung

Klassifizierung

Sensoren

- eigenständig*
- als Bestandteil von Meßgeräten*
- als Clinometer*

Bezug

- geometrisch*
- dynamisch*

Neigungsgeber

- Flüssigkeit*
- Pendel*

Flüssigkeitssysteme

- Flüssigkeitshorizont*
- elektronische Neigungsmesser, Kompensatoren*
- Libellen*

Pendelsysteme

- Einfachpendel, Doppelpendel*
- Faden- oder bandaufgehängt*
- Starrkörpersystem: Stab mit Kugellager oder Blattfeder*
- Gelenkpendel*
- Horizontalpendel*

Abgriff

Optische (visuelle) Ablesung



Klinometer (Huggenberger), Genauigkeit 0.2 mgon



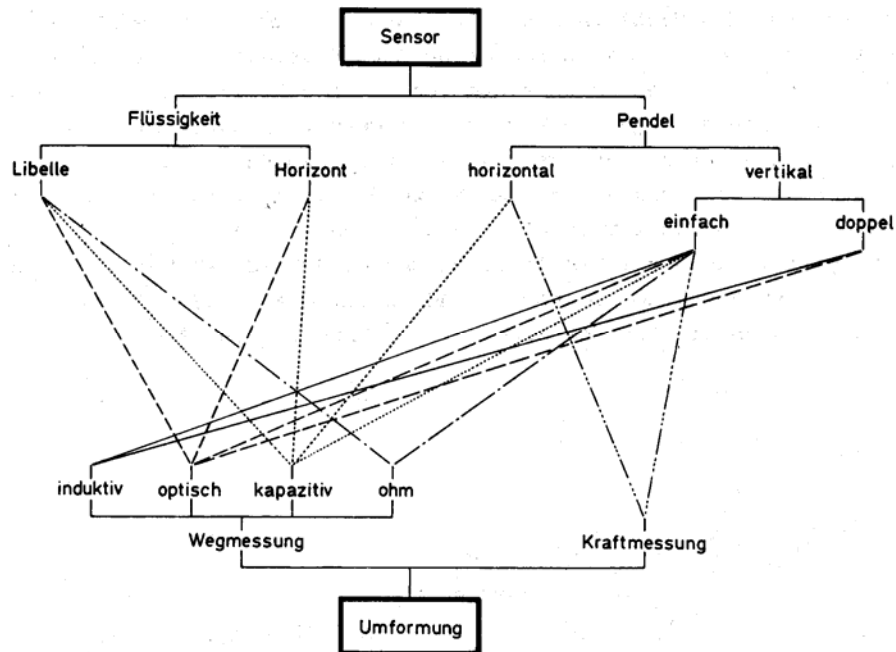
Aufsetzplatte für Klinometer



Präzisions-Wasserwaage mit Winkelanschlag, Genauigkeit 0.02 mm/m

Elektrischer Abgriff

Genauigkeit bis $1\mu\text{m/m}$



Sensoren und Umformungsverfahren

Beispiele

Kompakt-Sensor: Applied Geomechanics

Flüssigkeit

Libelle

Resistiv

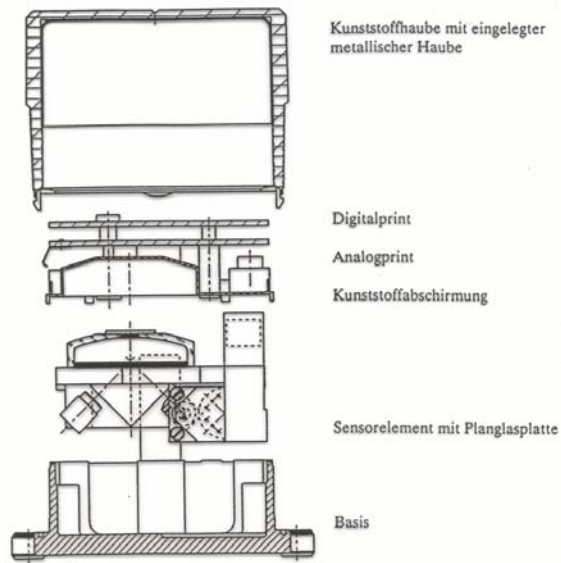


Tiltmeter, Applied Geomechanics

Nivel 20: Leica

Flüssigkeitssensor (Flüssigkeitshorizont)

optischer Abgriff

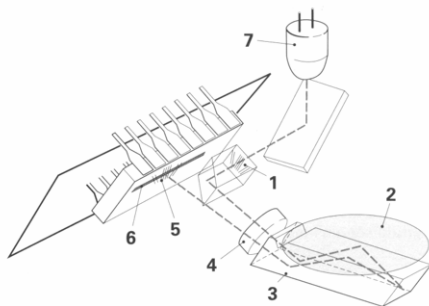


Aufbau Nivel 20, Leica

Zweiachsig (gleichzeitige Messung ohne Umstellen)
 serielle (RS232 oder 485) oder wahlweise analoge Schnittstelle
 Messbereich $\pm 1.5 \text{ mm/m}$
 „Auflösung $1 \mu\text{rad}$ “ = 0.06 mgon

Neigungssensor in Leica-Instrumenten

Optisch



- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| 1 - Strichplatte | 5 - Abbildung der Strichplatte |
| 2 - Oeloberfläche | 6 - CCD - Lineararray |
| 3 - Umlenkprisma | 7 - Beleuchtung (LED) |
| 4 - Abbildungslinse | |

Abb. 3: Neigungssensor

Neigungssensor in Leica-Instrumenten, TPS-Serie

Inclinometer, Schaevitz

Horizontalpendel

Minilevel: Wyler

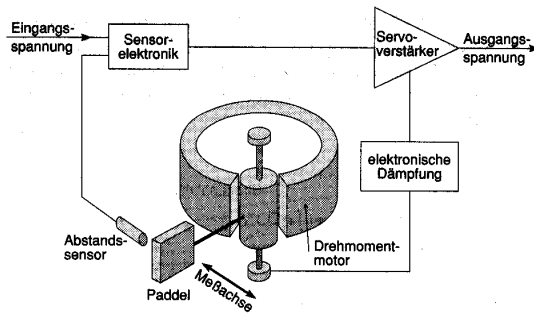
Vertikalpendel - kapazitiver

Abgriff

Geber: Archimedische

Spiralfeder,

analoge Frequenzmessung



Funktionsprinzip Horizontalpendel (Schwarz, 1995)

Zerotronic, Clinotronic: Wyler

Vertikalpendel

kapazitiver Abgriff

digitale Frequenzmessung



Zerotronic, Wyler

SPECIFICATION	ZERO 1	ZERO 10	ZERO 30	ZERO 60	ZEROMATIC 50
Fullscale	+/- 1°	+/- 10°	+/- 30°	+/- 60°	+/- 0.5°
Limits of error within 24 hours (TA = 20°C)	0.017% F.S. + 0.07% R.O.	0.0042% F.S. + 0.02% R.O.	0.0046% F.S. + 0.01% R.O.	0.0037% F.S. + 0.01% R.O.	0.015% F.S. + 0.04% R.O.
Limits of error within 6 months (TA = 20°C)	0.14% F.S. + 0.25% R.O.	0.055% F.S. + 0.15% R.O.	0.037% F.S. + 0.1% R.O.	0.028% F.S. + 0.06% R.O.	0.15% F.S. + 0.10% R.O.
Temperatur error / °C (-40°C <= TA <= 85°C)	0.04% F.S. + 0.2% R.O.	0.008% F.S. + 0.03% R.O.	0.005% F.S. + 0.02% R.O.	0.004% F.S. + 0.01% R.O.	0.04% F.S. + 0.2% R.O.
Resolution (TA = 20°C)					
(Sampling-Time: 0.1 sec)					
w/o Filter	+/- 0.0358 % F.S.	+/- 0.00888 % F.S.	+/- 0.0143 % F.S.	+/- 0.0131 % F.S.	+/- 0.00859 % F.S.
with Filter	+/- 0.0128 % F.S.	+/- 0.00315 % F.S.	+/- 0.00454 % F.S.	+/- 0.00430 % F.S.	+/- 0.00286 % F.S.
(Sampling-Time: 1.0 sec)					
w/o Filter	+/- 0.0128 % F.S.	+/- 0.00315 % F.S.	+/- 0.00454 % F.S.	+/- 0.00430 % F.S.	+/- 0.00286 % F.S.
with Filter	+/- 0.00429 % F.S.	+/- 0.00100 % F.S.	+/- 0.00124 % F.S.	+/- 0.00122 % F.S.	+/- 0.00100 % F.S.
(Sampling-Time: 10.0 sec)					
w/o Filter	+/- 0.00429 % F.S.	+/- 0.00100 % F.S.	+/- 0.00124 % F.S.	+/- 0.00122 % F.S.	+/- 0.00100 % F.S.
with Filter	+/- 0.00222 % F.S.	+/- 0.000573 % F.S.	+/- 0.000668 % F.S.	+/- 0.000692 % F.S.	+/- 0.000458 % F.S.
Repetition	Repetition is included in „Resolution“, see above				
Differential Linearity (within 0.1% F.S.)	Differential Linearity is included in „Resolution“, see above				

<p>Remarks: F.S. = fullscale R.O. = readout w/o Filter = raw values with Filter = floating average over 10 values Resolution means smallest stable value available (noise) All the specifications listed are given only as typical values</p>	<p>The sensor as such is acting like an <u>integrating A/D converter</u>. This means that during the pre-set sampling time (which is max. 2 seconds) all the various internally collected values (angles or frequencies) will be integrated to one single signal.</p>
--	---

Tabelle: Spezifikationen Zerotronic, Wyler

Talyvel: Spectrum Metrology

Vertikalpendel

doppelbandaufgehängt

induktiver Abgriff

Messbereich: 180 mgon = 3 mm/m

Auflösung: besser als 0.03 mgon = 0.5 µrad

Systemgenauigkeit: 0.06 mgon = 1 µrad = 1µm/m

Übersicht

Neigungsmesser	TALYVEL	SCHAEVITZ „Inclinometer“	NIVELTRONIC	ZERO- TRONIC	NIVEL 20
Hersteller	Rank Taylor Hobson (GB)	Schaevitz Engineering (USA)	Tesa S.A. Wyler AG CH	Wyler AG	Leica AG
Geberprinzip	Vertikalpendel	Horizontpendel	Vertikalpendel	Spirale	
Abgriffprinzip	Induktiv	Positionssensor	Induktiv	Kapazitiv	Optisch
Messbereiche	I : ± 8“ II : ± 100“ III : ± 25“	± 1° (± 5 V)	I : ± 150“ II : ± 30“	I : ± 1° II : ± 10° III : ± 30° IV : ± 60°	I : ± 300“ II : ± 400“ III : ± 1300“
Langzeitdrift des Null- punkts	1-2“ / mehrere Monate	7“/Jahr	Keine Herstlerangaben	Keine Angaben	Keine Anga- ben
Linearität der Anzeige	± 1“	± 1.4	± 1“	„	„
Ansprechempfind- lichkeit	0.1“	0.04“	0.2“	„	0,2“

Spezifikationen typischer Neigungsmesser

Eigenschaften und Randbedingungen

Achsen

Meßbereich

Auflösung

Linearität

Reproduzierbarkeit

Erschütterungen, Vibrationsfestigkeit

Temperaturabhängigkeit

Langzeitstabilität

abhängig vom Gebertyp

dynamische Eigenschaften

Stromversorgung

Netzanschluss?

Mögliches Messverfahren

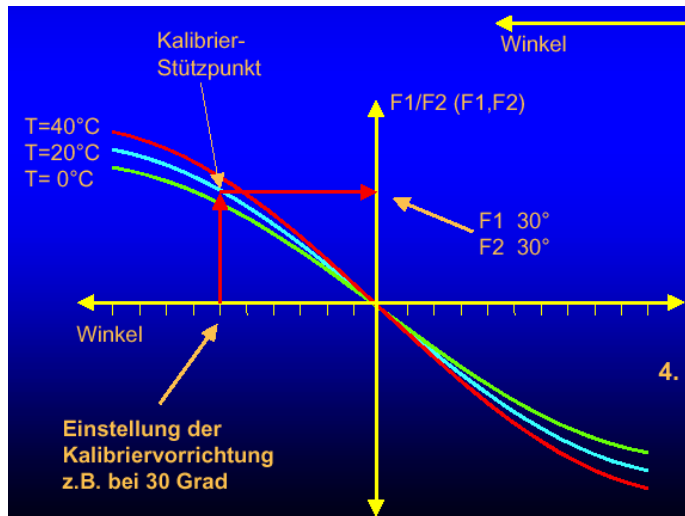
online, permanent

Datentransfer

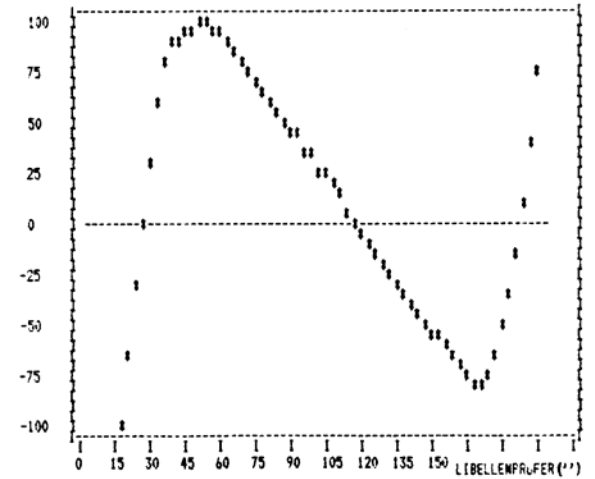
Justierung und Kalibrierung

Nullpunktjustierung

Maßstabsabgleich



Kalibrierfunktion



Kennlinie eines Neigungsgebers

Äußere Einflüsse

Temperatur

Erschütterungen

Vibrationen

Güte der Aufsatzfläche

Montage

2- bzw. 3-Punkt-Lagerung

Gewindestange oder Stiftschraube

auf Beton: eingießen der Füße in Epoxidharz

in Bohrlöchern: in verdichtetem Sand betten oder in Beton eingießen

Anwendungen im Maschinenbau

Neigung

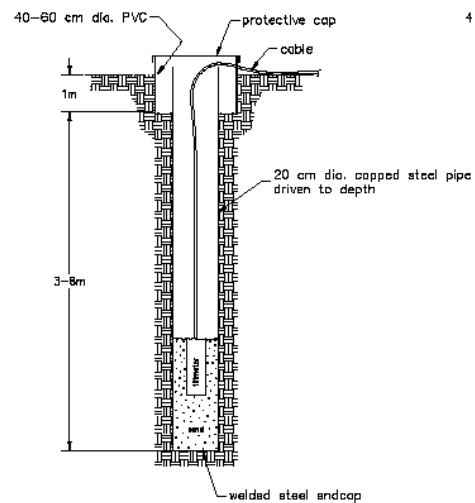
Geradheit

Verfahren

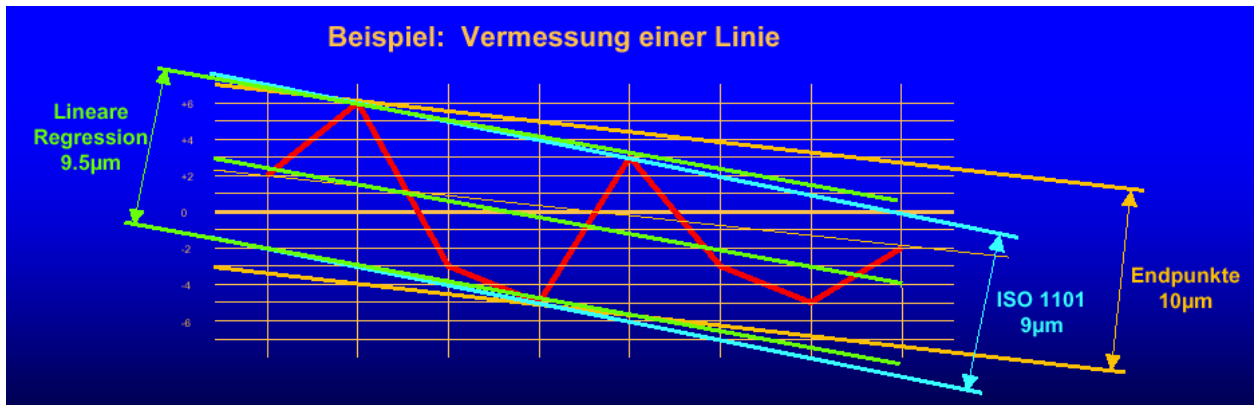
Beschreibung der Abweichung über ausgleichende Gerade und Residuen

Endpunktmethode

ISO1101



Applikation von Neigungssensoren



Definition der Geradheit

Ebenheit

Messverfahren

wie Geradheitsmessung mit mäanderförmigem oder mindestens kreuzweisem Vorgehen

Beschreibung der Abweichung über

Geländemodell berechnen

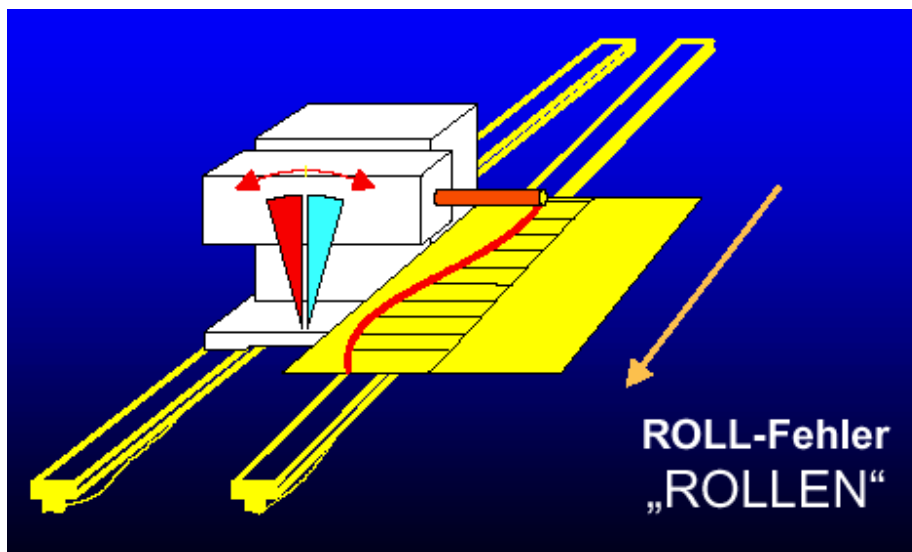
ggf. Bezug auf ausgleichende Ebene

ggf. Parallele

Berührebenen mit minimalem Abstand (ISO1101)

Rechtwinkligkeit

Parallelität



Bestimmung der Parallelität

Anwendungen beim Monitoring

Aufgaben

Setzungen

oberflächennaher Tunnelbau (Unterfahrung von Gebäuden und Verkehrswegen)

Überwachung von Bodenverbesserungsmaßnahmen

Hebung

Unterwasserbetonsohle in tiefen Baugruben beim Lenzen

Verformung

Brücken, weit gespannte Träger und Balken

Durchbiegung von Schlitzwänden (Baugruben)

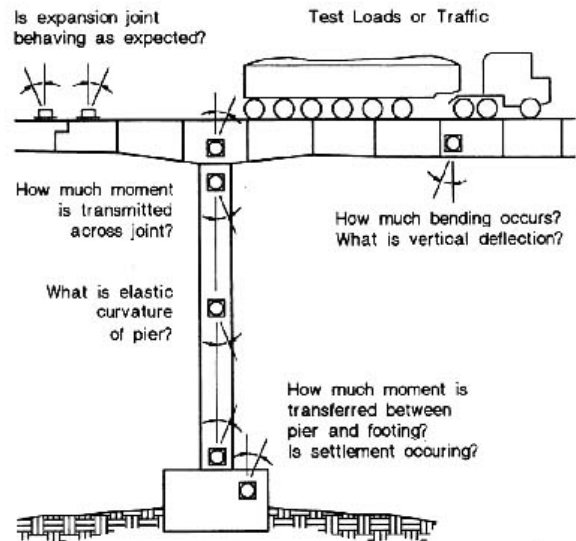
Neigung

GPS-Permanentstationen

Beispiele

- Monitoring Brücke
- Monitoring von GPS-Permanentstationen
- Hangrutschungen
- Vulkan-Monitoring

MONITOR BRIDGE PERFORMANCE



Applikation von Neigungsmessern beim Monitoring einer Brücke

Literatur

MÖSER, M.; MÜLLER, G.; SCHLEMMER, H.; WERNER, H. [2000]: *Handbuch der Ingenieurgeodäsie - Grundlagen*. 3. Neubearbeitete Auflage, Wichmann, Heidelberg.

SCHWARZ, W. [1990]: *Vermessungsverfahren in Maschinen- und Anlagenbau*. Schriftenreihe DVW Band 13 Verlag Konrad Wittwer.

Witte, B.; Schmidt, H. [1995]: *Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen.. 3. Auflage*, Wittwer Verlag, Bonn.

www.geomechanics.com

www.geomechanics.com/pdf/volcano.pdf

Lotung

Definition

Einweisung von Punkten in die Lotlinie

Bestimmung der Größe und Richtung von Abweichungen von der Lotlinie

Verfahren

optische Lotung

mechanische Lotung

Begriffe

Ablotung

Auflotung

Optische Lotung

Verfahren optische Lotung

Geradenlotung: zentrische Lotung: Instrument in Ziellinie

Ebenenlotung: exzentrische Lotung: Instrument exzentrisch

Vertikalstellung durch

Libelle

Kompensator

Flüssigkeitshorizont

Ebenenlotung (exzentrische Lotung)

Lotungsgenauigkeit

Anwendung Ebenenlotung

Zentrische Lotung (Stehachse in Ziellinie)

Verlauf der Ziellinie

zentrisch (kollinear zur Stehachse)

exzentrisch (bzgl. Stehachse)

Optische Präzisionslote

Kompensatorlote

Kompensator kann nur in einer Ebene eine vertikale Ausrichtung realisieren (Zielebene), Abhilfe:

Zielung in 2 Lagen (100 gon verdreht) oder Ausrüstung mit 2 Kompensatoren (Leica ZL, NL)

Genauigkeit

1:100.000 bis 1:200.000 (1 mm bzw. 0.5 mm auf 100 m)

Nachteil

anfällig gegen Erschütterungen

Libellenlote

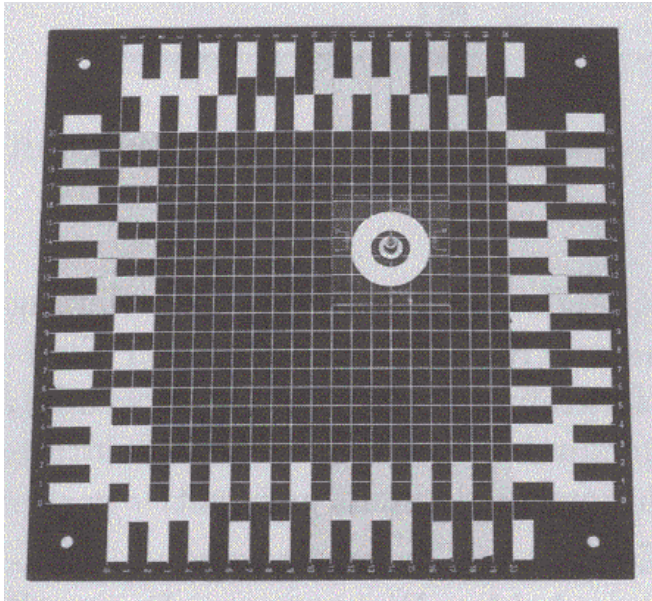
1:30.000 bis 1:50.000 und 1:100.000

besonders wichtig: äußerst genaue Spielpunktbestimmung

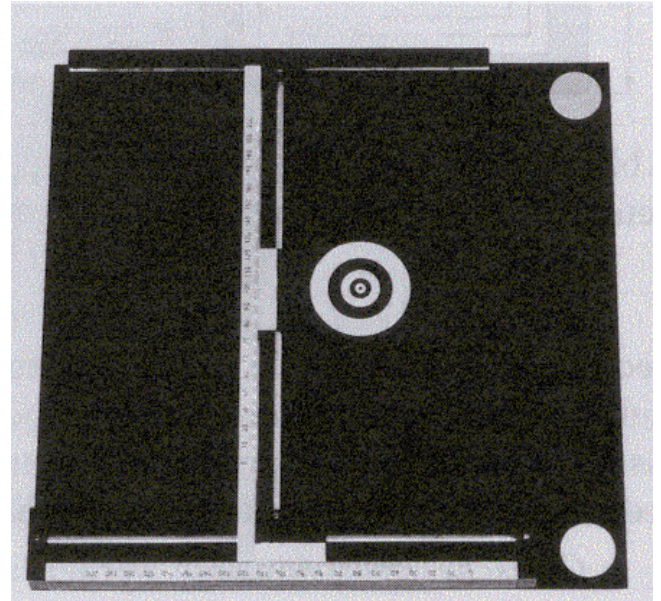


Zenit-Nadirlot ZNL (Wild)

Zieltafeln



Zieltafeln (Witte, 1989)



Lotung mit Autokollimation

Lotverfahren

Schätzfeldermethode

Einweismethode

Einstellmethode

Anwendung

Optische Lotung im Gleitschalenbau

Optische Lotung bei konischen Bauwerken: Lotung im Innern

Zubehör

Laserokular

Theodolite und Nivelliere als Lotinstrumente

Zenitokular bei Theodolit, gebrochenes Okular

ca. 1:70.000

Verfahren

Mit Einrichten

nach Morlot, beschrieben in Jacobs, 1991

Objektivprisma

1:70.000

auch mit Nivellier, z.B. Ni2 (Zeiss)

auch mit Laserokular

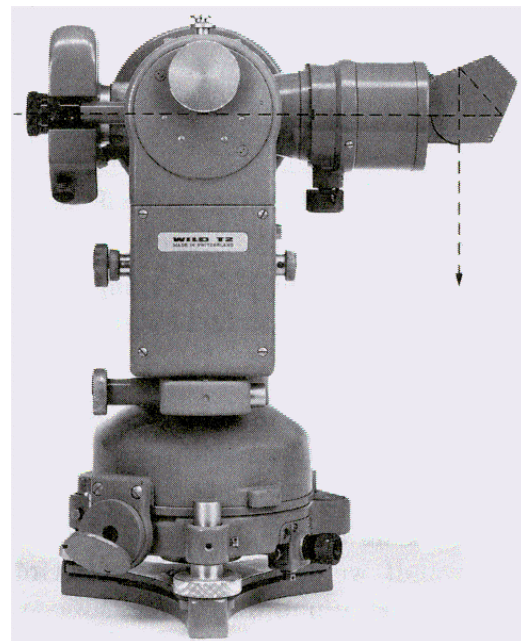
Verfahren

mit Ablesung an Meßlatten

Verfahren mit Schätzfelderteilung

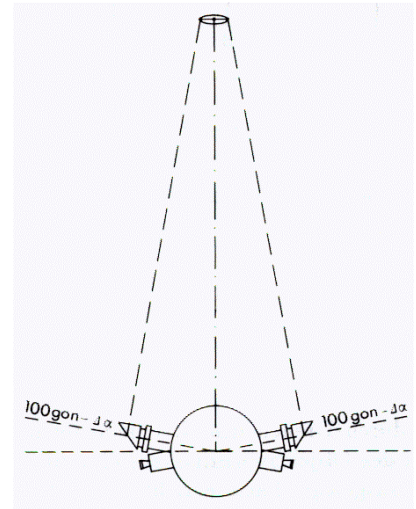
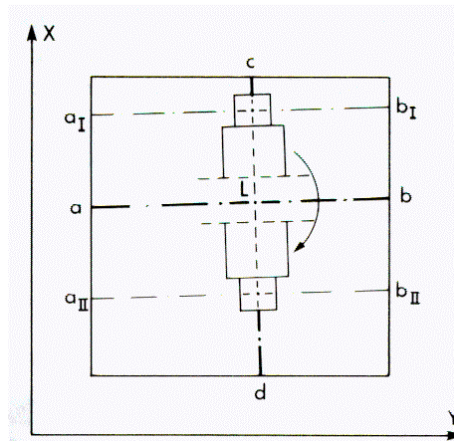
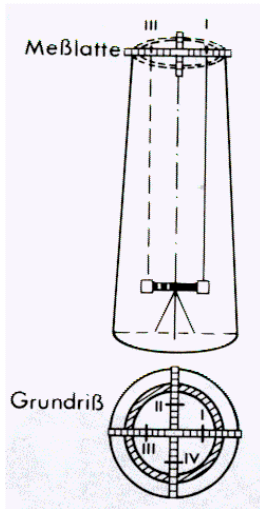
Einstellverfahren

Genauigkeit



Prismenvorsatz für Lotung mit Theodolit

Lotung mit Richtungsübertragung
mittels Prismenvorsatz



Lotung mit Prismenvorsatz (Witte, 1989)

Richtungsübertragung durch Doppellotung
Genauigkeitsbestimmende Faktoren

Mechanische Lotung

Typen

Pendellot

Schwimmlot, Umkehrlot

Abgriff

visueller Abgriff

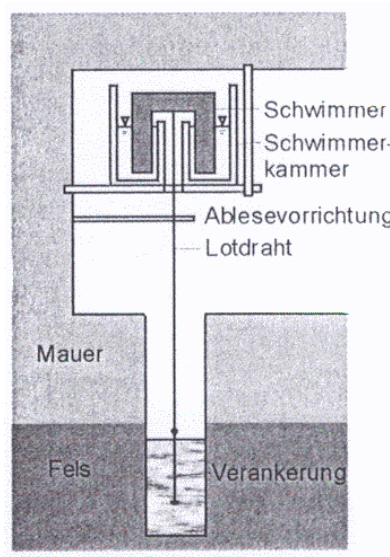
automatisierter Abgriff

Pendellot

Ausführung

Genauigkeit

Schwimmlot



Schwimmlot (Möser, 2000)

Ausführung
Genauigkeit

Lotanlagen

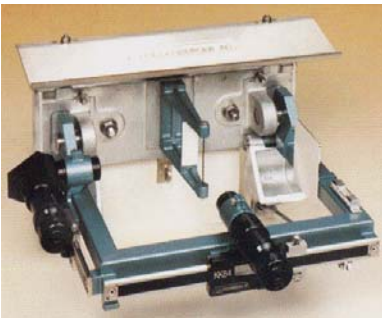
SOKKISHA

Huggenberger

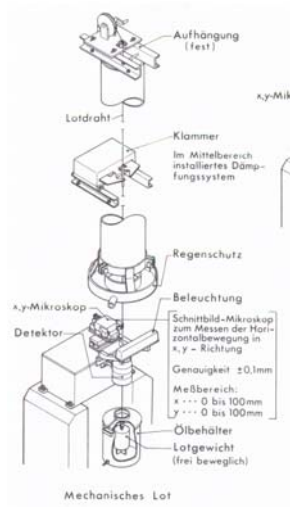
Lotabgriffsysteme

Koordinimeter

Koordiskop KK84, Huggenberger



Koordiskop LL84, Huggenberger



Loteinrichtung Sokkisha

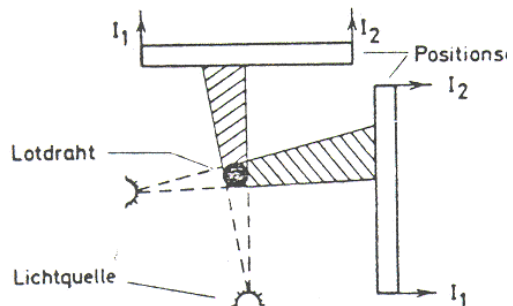
Nach Scherer: Mit Digitalisiertablett
Genauigkeitsbestimmende Faktoren

Reproduzierbarkeit des Lotdrahtverlaufs

Zentrierung

Ablesegenauigkeit

Variierende Massenanziehung



Elektrooptischer Abgriff der Lotlage

Nivellement

Ergänzung zu den Vorlesungsinhalten Höhenmessung in gsm 3

Geometrisches Nivellement

Trigonometrische Höhenübertragung, Spielart: motorisiert

Hydrostatische Höhenbestimmung

Höhenbestimmung mit GPS

Genauigkeitseinteilung nach Möser (2000) nach Standardabweichung für 1 km Doppelnivellement

< 0.5 mm	höchste Genauigkeit
< 1 mm	hohe Genauigkeit
< 4mm	mittlere Genauigkeit
< 8 mm	niedere Genauigkeit
> 8 mm	niedrigste Genauigkeit

Beseitigung systematischer Abweichungen

*Zielachsabweichung und Gang der Fokussierlinse:
gleiche Zielweiten, Justierung*

*Kompensatoreinspielabweichung, Komperatorrestabweichung, Horizontschräge:
rote Hose*

*Vibrationseffekte:
Libellennivelliere, Gummipplatten unter Stativspitzen, Vermeidung von dynamischen Erregerquellen*

*Refraktion:
gleiche Zielweiten, homogener Untergrund mit schlechter Wärmespeicherkapazität, kritische Untergründe eher bei Wechsellpunkten*

Messtechnologien

Einfachnivellement

Parallelnivellement

Präzisionsnivellierlatten mit (möglichst) zwei Lattenteilungen

RVVR

0.1 mm Standardabweichung

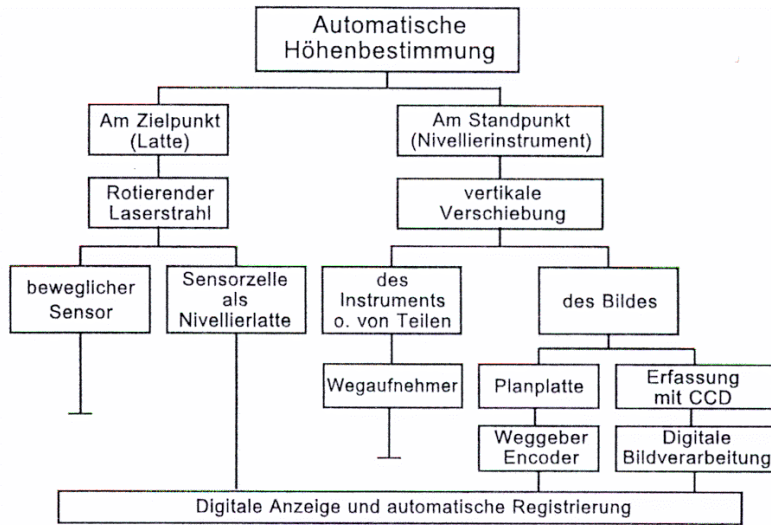
Doppelnivellement

Profilaufnahme

Rostaufnahme

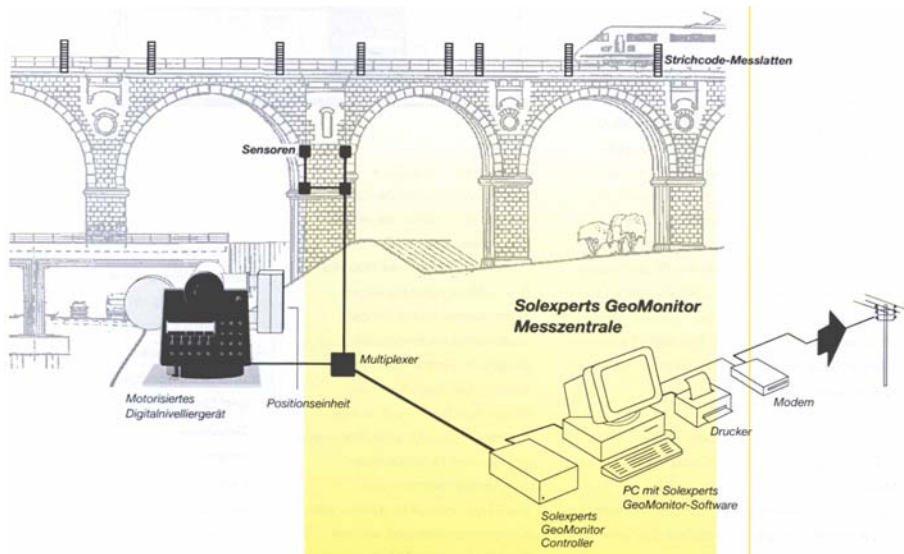
Permanentüberwachung

Automatisierte Höhenmesssysteme



Klassifizierung der Höhenmesssysteme

Motorisierte Digitalnivelliere



Automatisiertes Nivellement (Sol experts)

Motorisiertes Nivellement

Für größere Gebiete, die linienhaft erfaßt werden sollen

Motorisiertes Nivellement, Beispiele

1973, TU Dresden:

mit NI002: 0.4 mm/km

1996: Lausitzer Braunkohle AG

NA3003

Lattenhöhe 2.30 m, schwere Spezialuntersätze

Stativabsenkung durch hydraulische Hebevorrichtung

1.5 km Einzelniv/h

Gesamtleistung: 1100 km Doppleniv

0.5 mm/km ... 0.6 mm/km

RV und bei einsinkgefährdeten Strecken RVVR

1999: Wehmann

DiNi11: 0.4 mm/km

Höhenbestimmung durch vertikale Distanzmessung

Mechanische Höhenbestimmung

Bandmaßstab

Teilungsabweichung

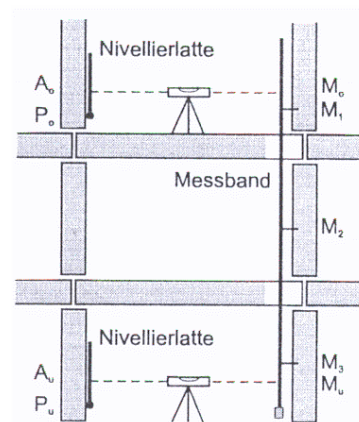
Temperatur

Zugkraft $k_{\text{Dehnung}} = l/A (F - F_0)$

F_0 : die bei horizontaler Eichung
verwendete Zugkraft

F : Ist-Zugkraft

Bandgewicht



Höhenbestimmung durch vertikale Distanzmessung

Vertikale Distanzmessung mit EDM

Prismenkonstante

Temperatur

Nivellitische Fluß- und Talübergänge

Nivellement aus der Mitte nicht möglich

Beobachtungsanordnung, um die durch Nivellement aus der Mitte eliminierbaren Fehlereinflüsse zu vermeiden

Distanz: bis zu 1 km mit einer Sicht

Voraussetzung

symmetrischer Geländeform

Aufstellung symmetrisch zur Geländeform

streng symmetrisches Beobachtungsprogramm

Instrumente

mindestens 1 auf jeder Seite

Präzisionsinstrumente

bei Digitalnivellier evtl. Code vergrößern (2... 4-fach beim DiNi 10, Schauerte et al, 1999)

Beobachtungsprogramm

Zielweite bis 300 m

gegenseitig gleichzeitige Messung auf beiden Flußseiten

eliminiert Einflüsse von Instrumentenfehlern

Ausrüstungswechsel nach der Hälfte der Beobachtungszeit

auch: 4 Instrumente verwenden und Kollimation von je 2 auf einer Flußseite (absoluter Horizont):

Instrumente: Zeiss Ni 2 mit Drehkeilvorsatz: (Details: z.B. (Kahmen, 1997))

Elimination der Refraktion

gleichartiges Profil gewährleisten

gleichzeitig messen

mindestens 5 Sätze auf jeder Flußseite messen

auch: als trigonometrische Höhenübertragung mit gleicher Anordnung

Ufer/Beobachter	Nivellierstandpunkt	Lattenstandpunkt	Ablesung
A: links	I1	L1	r_1
A: links	I1	L2	v_1
B: rechts	I2	L2	v_2
B: rechts	I2	L1	r_2
$\Delta h_1 = r_1 - v_1$ und $\Delta h_2 = r_2 - v_2$ Uferwechsel			
B: links	I1	L2	v_3
B: links	I1	L1	r_3
A: rechts	I2	L1	v_4
A: rechts	I2	L2	r_4
$\Delta h_3 = r_3 - v_3, \Delta h_4 = r_4 - v_4$ und $\Delta H = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4}{4}$			

Beispiel Beobachtungsprogramm (Möser et al, 2000)

Rotationslaser

Nivellier mit Rotationslaser

Laserstrahl

sichtbar dh. auch zur Absteckung (Bau) sehr gut geeignet

unsichtbar: Detektor erforderlich

Horizontierung

Fußschrauben und Libelle

Kompensator

einige: kippbarer Kopf oder Adapter zur Einstellung von Vertikalebene

Höhenbestimmung

Latten mit verschiebbarem Photodetektor

Detektor (Freihandempfänger) auch ohne Latte verwendbar:

Anwendung: Höhenübertragung

Nivellierlatte vollständig mit Phototransistoren bestückt

integrierter Mikroprozessor wertet die Höhenablesung aus

bei Instrumenten mit sichtbarem Laserstrahl:

visuelle Ablesung an der Latte oder Absteckung

Anwendung hauptsächlich Höhenübertragung im Bau

Hydrostatische Höhenbestimmung

Hydrostatische Höhenbestimmung

Beruht auf Prinzip der kommunizierenden Röhren (Schlauchwaage)
Messung (und Überwachung) von (kleinen) Höhenunterschieden
keine Sichtverbindung erforderlich
eher stationärer Einsatz

Hydrodynamische Höhenbestimmung

Messstellen werden bewegt
Flüssigkeitsspiegel bleibt relativ zu den Meßstellen (annähernd) konstant
Messung des Druckunterschiedes durch Membran

Physikalisches Modell

Bernoullische Gleichung

Unterteilung Schlauchwaagen

Stationäre Systeme
bewegliche Systeme
automatisierte Systeme

Typen

Füllstandssysteme
Überlaufsysteme
Wägesysteme

Abtastverfahren

Mechanische Abtastung
Schwimmergesteuerte Wegaufnehmer
Optische Abtastung
Interferometrische Abtastung
Elektrische Abtastung

Ausführung einfache Schlauchwaage

Messbereich ± 20 cm
Genauigkeit 1mm ... 1 cm
Anwendung

Präzisionsschlauchwaagen

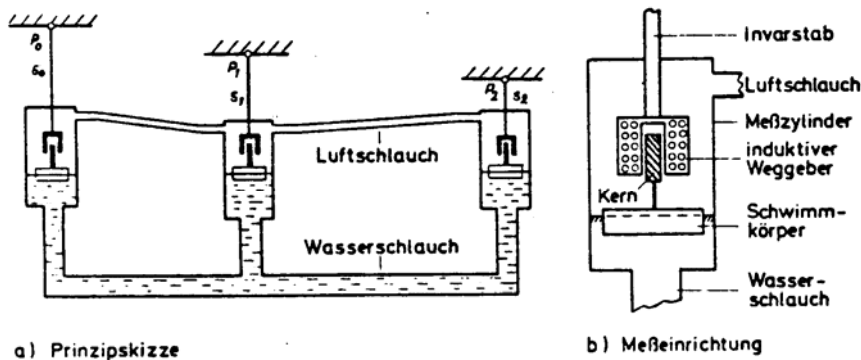
Genauigkeit bis 0.01 mm
elektrischer Abgriff
optisch, resistiv, induktive, kapazitive oder piezoresistive Sensoren
Füllstands- oder Druckmeßsysteme

Abgriffverfahren Präzisionsschlauchwaagen

Antasten der Oberfläche mit Tastspitze bzw. Messung der Hubbewegung eines Schwimmers

Berührungslose Abstandsmessung

Messung des Gewichtes oder Bodendruckes einer Flüssigkeitsäule bzw. Messung der Druckkraft eines Auftriebskörpers



Automatisiertes hydrostatisches Nivellement

Beispiele

Freiberger Präzisionsmechanik: ASW 2000

Präzisionsschlauchwaage mit schwimmergesteuertem Weggeber und induktivem Abgriff

Überlaufsystem

Wägesystem

Druckmesssysteme

Präzisionsschlauchwaage mit induktivem Abgriff und Mehrpunktabgriff

Präzisionsschlauchwaage mit kapazitivem Mehrstellenabgriff

Genauigkeitsbestimmende Faktoren

Einflußgrößen:

Druck Dichte (Homogenität, Temperatur), Höhenbezug (Nullpunkt), Maßstab

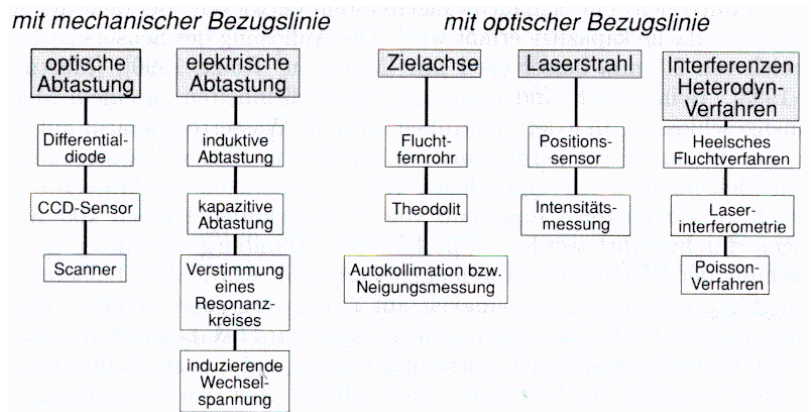
bei Steigrohren: Kapillarwirkung

Schwingende Wassersäule (bei plötzlichen Höhenänderungen)

Vergleich Fehlereinflüsse bei Schlauchwaage und Druckmesssystemen (s. Möser)

ALIGNEMENT

Einsatzbereich: einige m bis einige 100 m
 Genauigkeit: wenige μm bis mm



Klassifizierung von Alignements-Verfahren

Mechanisches Alignement

Mechanische Fluchtung: Prinzip und Bauverfahren

Bezugsgerade realisiert durch gespannte (Perlon-)Schnur oder Draht („Ausschnüren“)
 Bauverfahren
 bis 25 m: ± 2 mm
 spezielle Drahtspannvorrichtung: ± 1 mm
 auch: kontinuierliche automatische Abtastung

Mechanische Referenzlinie

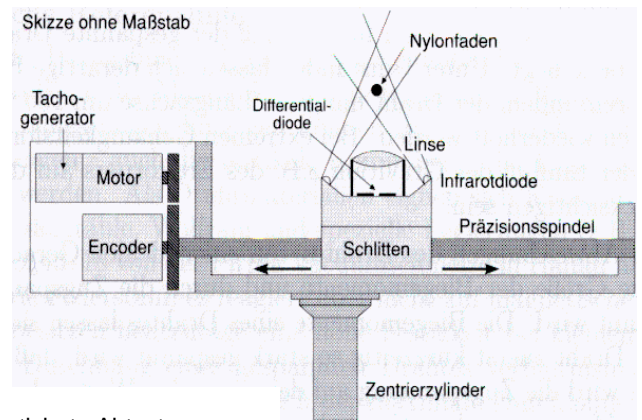
- Material
- Durchhang
- Eigenschwingung
- Geradheit
- Zugkraft:
- Ablesevorrichtung mit Millimeterskala: 0.2 mm
- elektrischer Abgriff: besser als 0.1 mm

Optische Abgriffsysteme für mechanisches Alignement

- CERN-Pfeilhöhenmeßsystem*
- Licht-Schatten-Verfahren mit telezentrischer Abbildung*

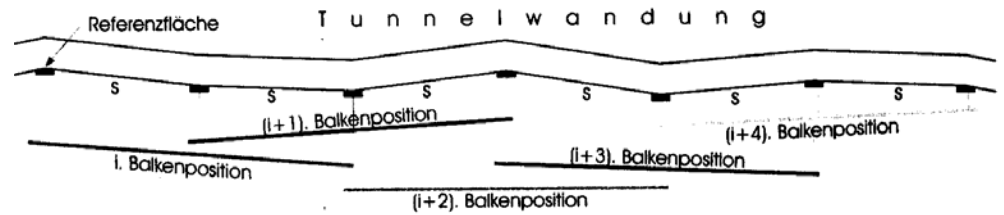
Elektrische Verfahren der Drahtabtastung

- Induzierende Wechselspannung*
- kapazitiv*
- Induktiv, Verstimmen eines Resonanzkreises*



Automatisierte Abtastung (Schwarz, 1995)

Balkenmessprinzip



Optisches Alignment

Balkenmessprinzip (Schwarz, 1999)

Optische Referenzlinie

Ziellinie eines Fernrohrs

Laserstrahl

immer: Refraktionseinfluss

Alignements mit Fluchtfernrohren

Fluchtfernrohr = Theo mit Kippachshöhe = 0

Zentrierung: z.B. Taylor-Hobson (10 μm), sonst < 0.5 mm

z.B. zwei Planplattenmikrometer mit Meßbereich 2.5 mm

0.04 mm ... 0.2 mm auf 30 m bei günstigen Bedingungen im Labor

1 mm mit Standardzubehör im Feld

Geradheitsmessung mit Theodolit

Brechungswinkelmessung

Beobachtung von Miren, Einstellbereich 100 mm, ablesbar auf 0.1 mm

Geradheitsmessung mit Autokollimation

Optische Fluchtung mit Lasergeräten

Optische Referenzlinie

Laser zur Realisierung von Fluchtgerade

Bezugsebene

geeignet zur Steuerung von Bau- Verlege- und Vortriebsmaschinen

vertikale Steuerung im Gleitschalungsbau

Strahlung (sichtbar oder IR)

Flucht laser

einstellbare Neigungen -15% ... + 15%

Genauigkeit 5 mm/100 m

Detektor: Genauigkeit: einige Zehntel mm/100 m (Präzisionslaser) bis 2 mm/100 m

Kanalbaulaser

5 mm/100 m ... 10mm/100 m (Baulaser)

Tunnellaser

Theodolit als Flucht laser

Geradheitsmessung mit Laserstrahlen und Positionssensoren

Verschiebbar montierter Positionssensor

Auflösung: einige μm

Genauigkeit handelsüblicher Systeme (nach Herstellerangaben)

5 $\mu\text{m}/\text{m}$... 50 $\mu\text{m}/\text{m}$ bis zu 30 m (LTC Opto Electronik, Stuttgart)

10 μm ... 100 μm bis zu 10 m (Spindler Hoyer)

auch Aligment mit einklappbaren Zielmarken

Vielstellenmeßsystem mit transparenten Sensoren

Interferometrische Geradheitsmessung

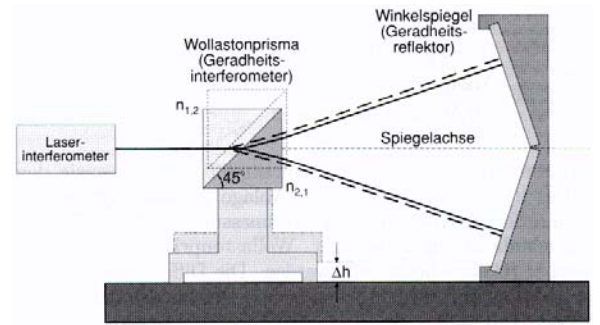
Bezugsgerade: Winkelhalbierende des

Geradheitsreflektors

Problem: Refraktion

Genauigkeit: ca. 3 μm ... 150 μm , abhängig vom

Messweg



Interferometrische Geradheitsmessung (Schwarz, 1995)

Literatur

WITTE, B.; SCHMIDT, H. [1995]: *Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen.. 3. Auflage*, Wittwer Verlag, Bonn.

MÖSER, M.; MÜLLER, G.; SCHLEMMER, H.; WERNER, H. [2000]: *Handbuch der Ingenieurgeodäsie - Grundlagen. 3. Neubearbeitete Auflage*, Wichmann, Heidelberg.

SCHWARZ, W. [1995]: *Vermessungsverfahren in Maschinen- und Anlagenbau. Schriftenreihe DVW Band 13* Verlag Konrad Wittwer.

Kreisel

Verwendung

Funktionsweise

Abgriff der Kreiselachse

Instrumentenparameter Bandnulllage

Eichwert

Korrekturen für absolute Azimutmessung

geometrisch bedingte Korrektur

physikalisch-geometrische Korrekturen

$$\text{Polbewegung: } (x_p \sin L + y_p \cos L) / \cos B$$

$$\text{Lotabweichung: } \eta \tan B + (\xi \sin A - \eta \cos A) / \tan z$$

messtechnisch bedingte Korrekturen

Korrekturen für relative Azimutmessung

Präzisionsvermessungskreisel

Anforderungen

Gyromat 2000, DMT

GAK 1, Leica

Gi-B31, MOM, Budapest

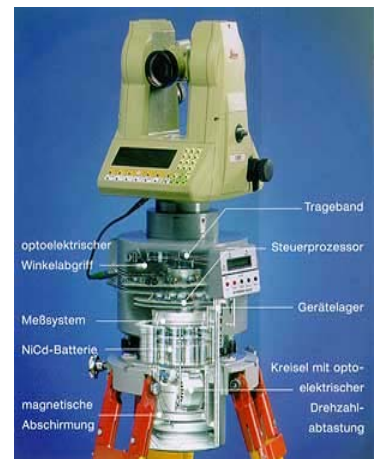
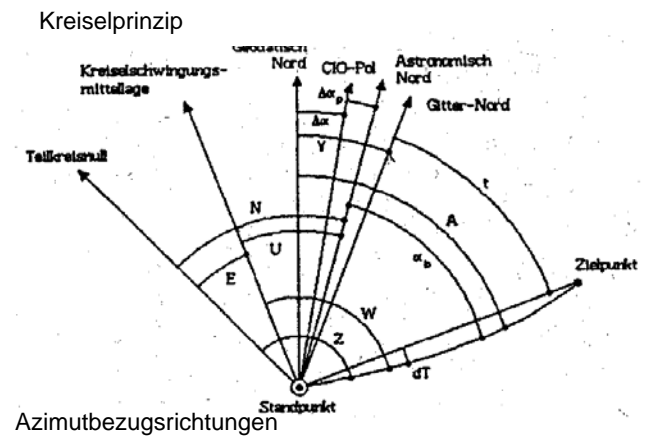
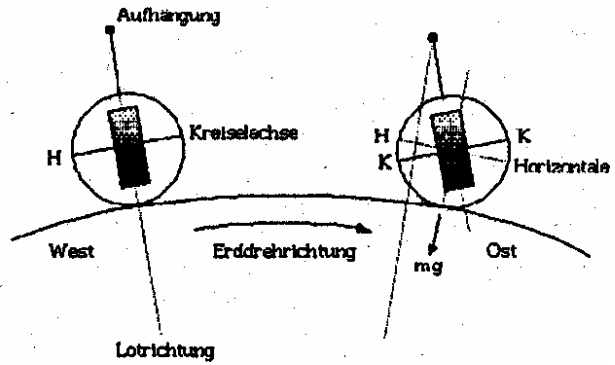
Erforderliche Prüfverfahren (Heister, 2000)

Literatur (Vertiefend)

HEISTER, H. [2000]: Orientierungskontrolle mit Hilfe von Präzisions-Kreiselmessungen. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 12/2000, S. 700-701.

HEISTER, H. [1992]: Zur Anordnung von Kreiselmessungen unter besonderer Berücksichtigung von systematischen Fehlereinflüssen. In: XI Kurs f. Ingenieurvermessung, Bd 2, Dümmler Verlag.

KORITKE, N. [1991]: Vortrieb, Vermessung und Durchschlag beim Bau des Eurotunnels. AVN, Heft 3/1991, Seite 73-88.



Gyromat 2000, DMT

Distanzmessung

Verfahren im Überblick (s. Graphik unten)

Mechanische Verfahren kurze Distanzen

- Strich- und Stahlmaßstäbe, Endmaße
- Mikrometer, Messschieber, Messuhren
- Messschieber
- Schraubenmikrometer
- Messuhr

Wegaufnehmer

- Taster
- berührungslos

Lasertriangulationssysteme

Mechanische Verfahren für mittlere Distanzen

- Messbänder
- Distanzmessung mit Invardrähten
- Distometer ISETH
- Distinvar DIM von CERN

Extensometer

- Tape-Extensometer (Slope Indicator, Washington)
- Sliding Deformeter
- Stangen-Extensometer

Optische Distanzmessung – Basislatte

Elektrooptische Distanzmessung für lange Distanzen

- Reflektorlose Distanzmessung

Interferometrie

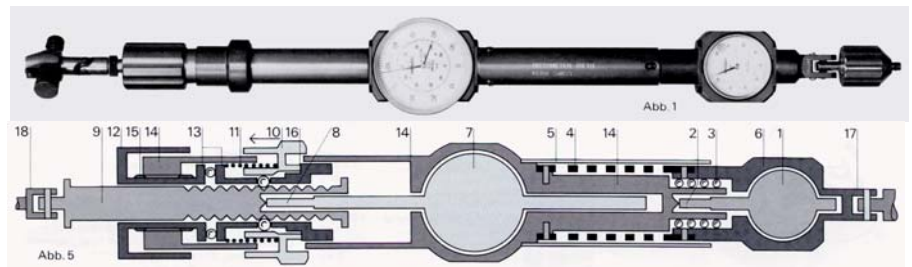
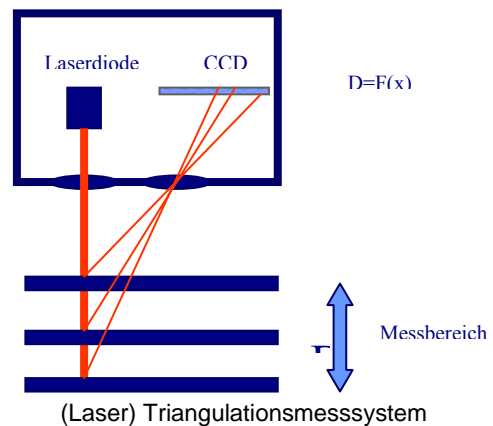
- Zweistrahl-Interferometer nach Michelson
- Zwei-Moden-Heterodyn-Verfahren
- HP-Interferometer
- kommerzielle Systeme (Schwarz, 1995) vgl. Tabelle
- systematische Messabweichungen
- Interferometrische Winkelmessung
- Systematische Messabweichung bei Installation

Totwegfehler

Kosinifehler

Verletzung des Abbéschen Komparatorprinzips

Ungenauigkeiten der Maßübertrag



Distometer ISETH

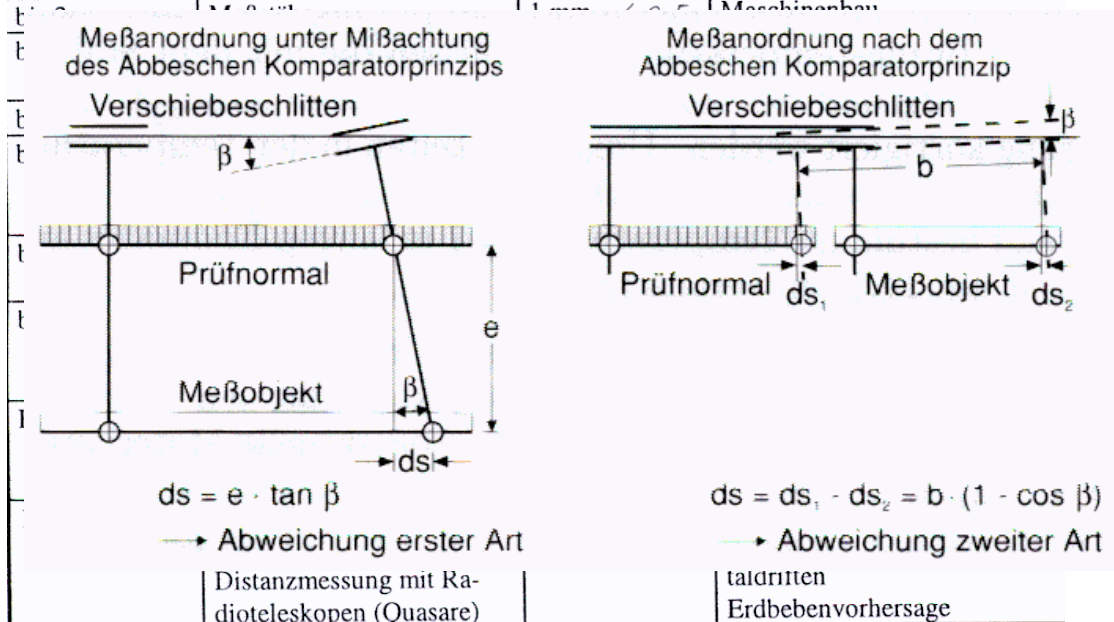


Stangenextensometer

Hersteller	maximale Reichweite in m	maximale Verfahrenstypische Schwindigkeit in m/s	maximale Auflösung in nm	Daten- transfer- rate in Hz
Hewlett-Packard HP 5528A	40	0,71	15 - 2,5	20 - 1500
Zygo AXIOM 2/20	±5,3	1,80	2,5	500 - 2000
Spindler&Hoyer ZLI 150	20	1,20 - 0,01	80 - 1,0	
Metra-Blansko	30	1,00	20,0	
Renishaw	40	1,00	1	10 - 5000
Feinmeß LMS 200	25 (40)	0,4	100 - 10	
Zeiss Jena ZLM 300	20 (80)	6,4 - 1,6	10 - 2,5	bis 20 000
Nanomach Mach-1	5 - 20	1,0	80 - 10	

Abbe'sches Komparatorprinzip (Möser et al., 2000)

Distanz	Verfahren/Instrument	Genauigkeit	Bemerkung
bis 30 cm	Messschieber, Mikrometer	0,1 - 0,5 mm 0,01 ... 0,1	Maschinenbau, Baumesstechnik
bis 100 m	Messlatte	1 mm ... 0,5	Maschinenbau



Aus: Möser et al., 2000

Literatur

SCHWARZ, W. [1995]: Vermessungsverfahren in Maschinen- und Anlagenbau. Schriftenreihe DVW Band 13 Verlag Konrad Wittwer.

MÖSER, M.; MÜLLER, G.; SCHLEMMER, H.; WERNER, H. [2000]: Handbuch der Ingenieurgeodäsie - Grundlagen. 3. Neubearbeitete Auflage, Wichmann, Heidelberg.

Div. Internetseiten der Hersteller

3D-KOORDINATENBESTIMMUNG in der industriellen Messtechnik

Anwendungen der industriellen Messtechnik

Flugzeuge/Fahrzeuge/Schiffe
Maschinenbau (Motoren, TBM,...)
Roboterkalibrierung
Radioteleskope
Stahlkonstruktionen (Fertigung)
Tübbingkontrolle (Fertigung)
Experimentalanlagen (Beschleuniger, Gross-Laser)
Kraftwerksanlagen (Turbinen, Aggregate)
Längenmessverfahren in der Industrie

Koordinatenmessmaschine

Abgriffsysteme Länge
Taster
Einflüsse auf die Genauigkeit
Messbereiche und Genauigkeiten
Überprüfung der Genauigkeit

Koordinatenbestimmung durch Winkelmessung

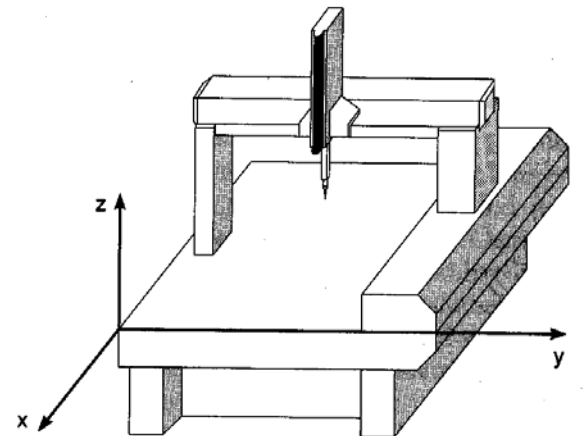
Mögliche Verfahren
Verfügbare Messsysteme

Theodolitmesssystem

Verfahren
Theodolite
Unsicherheitsbudget für Theodolitmesssysteme
Leistungsparameter
Forderungen an ein Theodolitmesssystem
Anwendungsbeispiele
Praktische Hinweise

Triangulationstaster

Längenmessverfahren



Koordinatenmessmaschine, Schwarz, 1990

Polare Koordinatensbestimmung

Lasertracker LTD500

Tracker 4000 SMX

Auswahlkriterien für Messsysteme

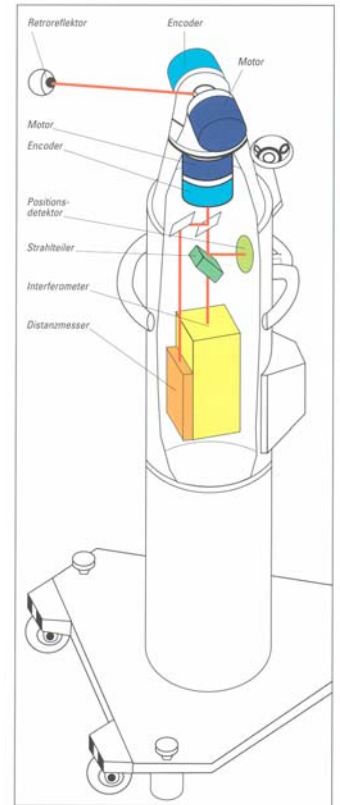
Literatur

SCHWARZ, W. [1995]: Vermessungsverfahren in Maschinen- und Anlagenbau.

Schriftenreihe DVW Band 13 Verlag Konrad Wittwer.

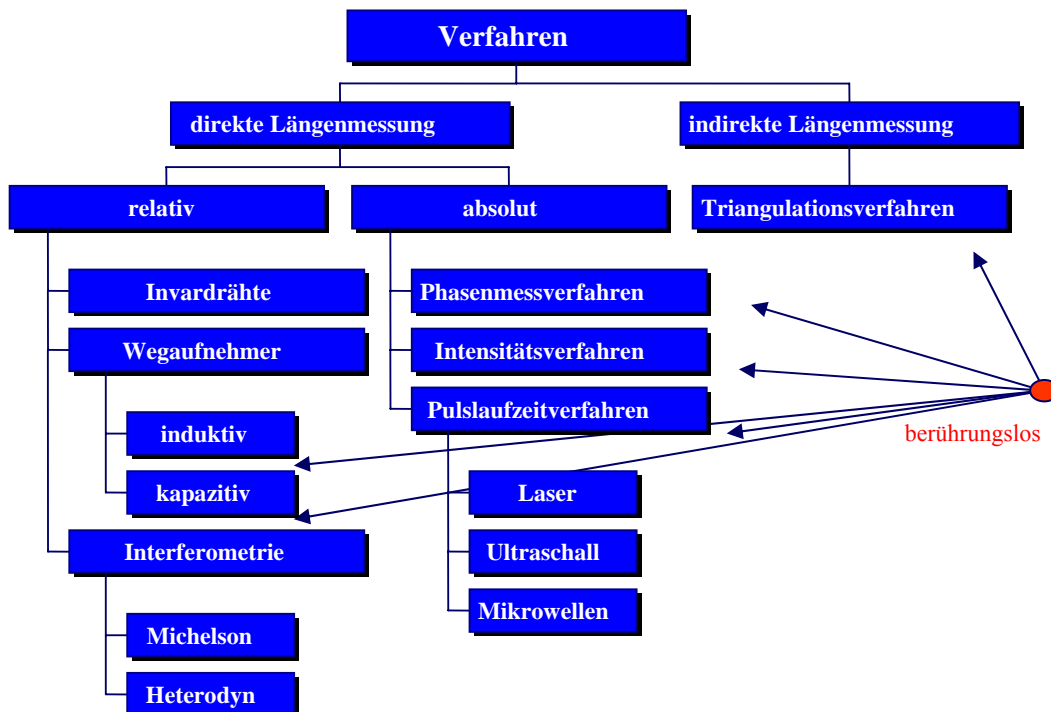
SCHLEMMER, H. [1996]: Grundlagen der Sensorik: Eine Instrumentenkunde für

Vermessungsingenieure. Verlag Wichmann, Heidelberg.



3D-Lasertracker: Prinzip

Aufbau Lasertracker (Leica)



Längenmessverfahren in der Industrie

3D-KOORDINATENBESTIMMUNG - Laserscanning

Laserscanner - Merkmale

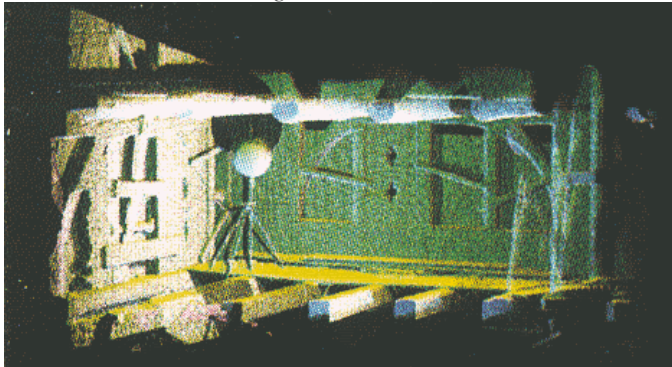
Rotierender Spiegel
rotierender Kopf/Spiegel
Gepulster Laser
Laufzeitmessung
Scanrate im kHz-Bereich
Intensitätsmessung
Begrenzung des Auflösungsvermögens durch Fleckgröße
Problematik der Erfassung von Kanten und Ecken
Fleckgröße entscheidend
Intensitätsbild

Software am Beispiel Callidus

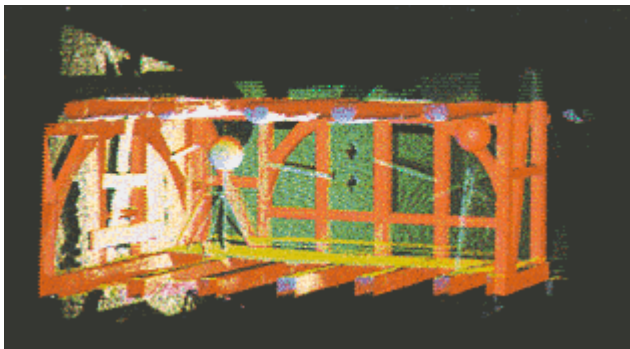
automatisches Erkennen ebener Flächen
Berechnung von Raumkanten und -ecken aus Flächen
Interaktive Konstruktion von Grundgeometrien
Konstruktion eines räumlichen Modells aus den geometrischen Elementen
Aneinanderfelderung
Modellvorschau mit Längen- und Flächenbemaßung
100% Autocad-kompatibel:
Datenformate SAT (für Flächen), DXF und VRML
Speicherung individueller Ansichten

Vom Intensitätsbild zur Punktwolke

1. Im 3D-Extractor erzeugte Punktwolke



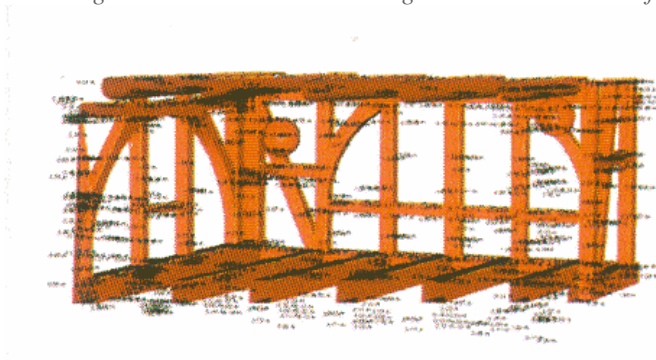
2. Extrahieren der Flächen aus der Punktwolke



3. Exportfähige 3D-Ansicht



4. CAD-gerechte 3D-Ansicht mit Längen- und Flächenbemaßung



Kriterien der erforderlichen bzw. erreichbaren Abtastdichte

Auflösung auf Objekt

Genauigkeit der Zielerfassung

Cyrax 2500 der Firma Cyra

- Genauigkeit 6 mm @ 50 m
- Präzision (Auflösung) 2 mm @ 50 m
- Fleckgröße 6 mm @ 50 m
- Messbereich
1.5 m ... 100 m
- Scanbereich 40° x 40°
- Arbeitsbereich Kopf 360° (H),
105° ... 90° (B)



Cyrax 2500 (Cyra)

Leica HDS 2500

Wie Cyrax 2500

Leica HDS 3000

-
- 360°*270°
- Aufstellung auf bekanntem Punkt, Orientierung über Anschlussrichtung
- Stark gebündelter Laserstrahl
- Rasterweite 1.2 mm, frei wählbar, entfernungsunabhängig
- 6 mm echte 3D-Genauigkeit
- Große Reichweite (>100 m)
- Großer vertikaler Bildbereich aus Beispiel: bis 155°



HDS 3000 (Leica)

Leica HDS 4500

-
-
- Extrem schnell (125.000 Punkte/s, max: 500.000 Punkte/s)
- Größtes Sichtfenster (360°*310°)
- Nahbereich (bis 53 m)
- hohe Auflösung (15.000*36.000)



HDS 4500 (Leica)

Imager 5003 der Firma Zoller + Fröhlich

-
- **Präzision (Auflösung)**
0.01° (H) bzw. 0.018° (V)
0.82 mm (Distanz)
dh. Bildauflösung 36000px * 20000px
- **Fleckgröße 3...4 mm @ 1 m**
- **Messbereich**
bis 53 m
Scanbereich vertikal 270°
Arbeitsbereich Kopf 360° (H)
- **Messgeschwindigkeit**
500000 pixel/s



Image 5003(Zoller und Fröhlich)

Callidus der Firma Callidus Precision Systems

Scanbereich. Hz: 360°, V: 180°

Auflösung

- *horizontal: 1°, 0.5°, 0.25°, 0.125°, 0.0625°, vertikal: 1°, 0.5°, 0.25°*
- *Distanz: 3 Messbereiche*
 - *mm: bis 32 m*
 - *cm: bis 80 m*
 - *dm: bis 150 m (theoretische maximale Messweite)*

Genauigkeit: „Flächengenauigkeit im mm-Bereich“ (Herstellerangabe)



Callidus (Callidus Precision Systems)

LMS Z420 der Firma Rieg

- **Genauigkeit: 10 mm + 20 ppm (bis 250 m)**
- **Präzision (Auflösung)**
0.01° (H) bzw. 0.01° (V)
5 mm (Distanz)
- **Fleckgröße: 8 mm @ 50 m**
- **Messbereich**
Hz: 360°, V: 80°
bis 1000 m (je nach Option und Reflexionsvermögen)
- **Messgeschwindigkeit: 9000 pixel/s**



BU LMS Z420 (Riegel)

Laserradar Leica LR200

Früher MV200 (Metric Vision)

2-24 m, Hz: Vollkreis, V: +/- 45°

1000 Messungen/s

50 µm (2Hz) ... 0.3 mm (1000 Hz)

Übersicht

Anwendungskriterien

- *Wenig komplexe Objekte*
- *Geometrische Formen als Modellierungsgrundlage günstig*
- *keine semantische Information erforderlich*

	Leica HDS 2500 <i>ehemals Cyrax 2500</i>	Leica HDS 3000 <i>ehemals ZF Imager 5003</i>	Leica HDS 4500	Callidus CPW 8000	Rieg LMS - Z420
Messbereich Hz	40°, Head ± 360°	360°	360°	360°	0° - 360°
Messbereich	40°, Head ± 105°-90°	270°	180°	300°	0° - 80°
Reichweite	1.50 m ... 100 m	k. A.	32 m (SR) 80 m (MR) 150 m (LR)	80 m	2 ... 1000 m (LR) 250 m (SR) bei ρ = 80% 300 m (LR) 80 m (SR) bei ρ = 10 %
Linienabstand	≥ 0.25 mm (H)* @ 1.5 m 1.2 mm @ 50 m	k. A vermutlich variabel			Spaltenabstand 0.01° (H)
Punktabstand	≥ 0.25 mm (V) @ 1.5 m 1.2 mm @ 50 m	größter: 20 mgon (H) 18 mgon (V)		≥ 0.002 mm (H+V)	0.01° (V)
Punkte pro Zeile pro Spalte	≤ 1000 ≤ 1000	18000 15000			360° : 0.01° = 36000 80° : 0.01° = 8000
Punkte / s	1000 bei 1 Spalte/s 200 bei 2 Spalten/s	500000 Pixel/s (LR)	500000 Pixel/s 125000 bei 10-15 m	50000 Pixel/s	≤ 9000 / s
typische Dauer	5 ... 15 min	140 sec ... 10 min (max)	100 sec (mittlere Auflösung)		1 ... 20 scans/s (V im Ber. 80°) 5 ... 8000 s/scan (H + V bei 80°)
Punktauflösung	< 1mm				5 mm (SR) 20 mm (LR)
Distanzauflösung		0.82 mm (LR)*			
Winkelauflösung		0.018° (V) 0.01° (H)	0.018° (V) 0.01° (H)	0.002° (H+V)	2 mgon V 3 mgon (H)
Distanzgenauigkeit	4 mm	(LR): ≤ 5 mm Linearität, ≤ 2mm Drift	mm (SR) ≤ 5 mm cm (MR) dm (LR)	2 mm bei 30m	10 mm (SR), 20 mm (LR) je + 20 ppm
Winkelgenauigkeit	60 µrad = 4 mgon	0.01° (H, V)	± 0.02°		
Punktgenauigkeit	< 6 mm @ 50 m	k. A.			
Reflexgröße @ 50 m	< 6 mm @ 50 m	0.1 mrad (SR), Ø @ 1m : 3-4 mm 0.3 mrad (LR)			0.25 mrad = 8 mm
Modelloberfläche	2 mm @ 50 m		"mm - Bereich"		
Gewicht	20.5 kg + 7.3 kg (power supply)	k. A.	13 kg + 16 kg (Batterie)		14.5 kg
Preis	200000 €		60000 €		30000 €
Software	Cyclone, Cloudworx	LFM - Viewer, LFM Compensator, LFM - Modeller, Octocad	Cyclone, Cloudworx		

Messprinzip	Doppelspiegel, Zufallsprinzip "Radar", gepulste/Laser (2) (time-of-flight), grün Intensität!	roter Laser, 780 nm 32 mW (LR) 22 mW (SR)	vertikaler Laserfläche Laufzeit - Messung	PW („pulsed wave“) Pulsaufzeit + Phasendifferenz	rotierender bzw. oszillierender Spiegel Class 1 (SR), Class 3R (LR) nahes IR
Kontrollmodul	Video-Kamera				
Dataoutput / Interface		IEEE 1394 (4 MB/s)	IEEE 1394		RS232 für Konfiguration / parallel (für Daten)

*spaltenweises Scannen

*LR = Long Range version (53,5 m)
SR = Short Range (25,2 m), ca. 50 %
des LR - Wertes

*ab 40 m erste Reflexions-
material erforder-
lich

*ausgehend von 0.01° ...15°/s

- *Bauaufmaß*
 - *Bestandsaufnahme*
 - *Bauplanung*
 - *Bauüberwachung*
 - *Raumausstattungsplanung*
- *Industrie*
 - *Erfassung von (Produktions-)anlagen*
- *Immobilien-gewerbe*
 - *Raumaufmaß für Miets- und Nebenkostenberechnung*
- *Gebäudemanagement*
 - *Dokumentation*
 - *Energiekosten*
 - *Instandhaltungskosten*

Literatur

SCHWARZ, W. [1995]: *Vermessungsverfahren in Maschinen- und Anlagenbau. Schriftenreihe DVW Band 13*
Verlag Konrad Wittwer.

SCHLEMMER, H. [1996]: *Grundlagen der Sensorik: Eine Instrumentenkunde für Vermessungsingenieure. Verlag*
Wichmann, Heidelberg.

4D-KOORDINATENBESTIMMUNG

Geodätische polare Messsysteme

Aus GSM wird als bekannt vorausgesetzt: Robottachymeter

- Hersteller, Gerätetypen
- Merkmale - Hardware
- Merkmale im praktischen Einsatz
- Betriebsarten mit Zielverfolgung
- Funktionsprinzipien

Leistungsparameter Trackende Tachymeter

- allgemein
- “Stop and go” (statisch)
- Leistungsmerkmale “kinematisch”

Untersuchungsmethoden

- Einzelkomponenten
- Kreisbahn
- Linearbahn

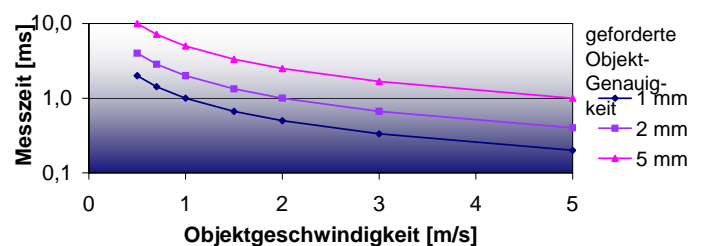
Anwendungsbeispiele im Überblick

- Kartierung
- Absteckung
- Deformationsüberwachung
- Navigations/Positions-Kontrolle von Baumaschinen
- Tunnelbohrmaschinen (TBM Führung)
- automatische Polygonzugmessung APM (0.5 mgon)
- Straßen- und Brückenbau (Lastkahnpositionierung)
- Gleisverlegemaschinen /Straßenfertiger (0.6 mgon)
- Planiermaschinen, Bulldozer, Grader (2..4 mgon), Bagger...
- Roboterkalibrierung

Anwendungsaspekte – Beispiele

- Aufnahme (jüdischer Friedhof)
- Monitoring mit kombinierter Datenübertragung (GeoMos, GeoMoS)
- Deformationsüberwachung
- beim Verschieben von Bauwerken
- Staumauer
- Hangrutschung
- Baumaschinensteuerung
- Schnelle Bewegungen

Begrenzung der erreichbaren Punktgenauigkeit durch Objektgeschwindigkeit und Messzeit



Literatur

Datentransfer

MÖSER, M.; MÜLLER, G.; SCHLEMMER, H.; WERNER, H. [2000]: *Handbuch der Ingenieurgeodäsie - Grundlagen*. 3. Neubearbeitete Auflage, Wichmann, Heidelberg.

ATR-Prinzipien

INGENSAND, H.; BÖCKEM, B. [1997]: *Automatic Location and Pointing Techniques in Local Positioning Systems*. In: Grün, A.; Kahmen, H.: *4th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, Zürich 1997*, S. 329-338.

Allgemein zu Anforderungen

HENNES, M. [2000]: *Zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit trackender Totalstationen. Beitrag zu XIII Kurs f. Ingenieurvermessung, München, 13.-17.3.2000*, in: Schnädelbach, K.; Schilcher, M.: *Ingenieurvermessung 2000*, Wittwer Verlag, Stuttgart, S. 334-339..