



7. Vermessungsingenieurtag 2008
Industrielle Messtechnik und Laserscanning

Neue Entwicklungen bei der Präzisionsstreckenmessung

Prof. Dr.-Ing. Rainer Joeckel
Labor für Elektronische Messtechnik

Hochschule für Technik Stuttgart
Fakultät Vermessung, Mathematik und Informatik
Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart
0711 / 8926-2563, rainer.joeckel@hft-stuttgart.de
www.vermessung.hft-stuttgart.de



Einleitung

Industrielle Messtechnik

- Objektgrößen D von ca.:

$$0,1 \text{ m} \leq D \leq 30 \text{ m}$$

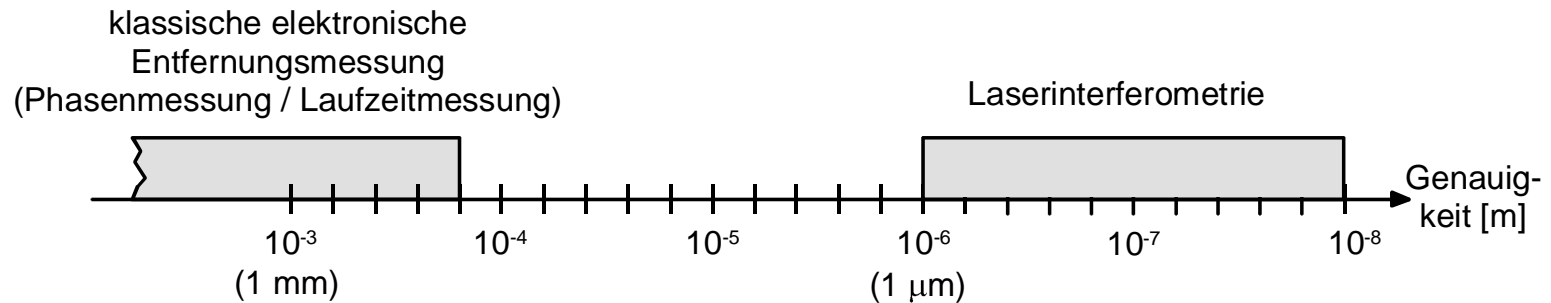
- Messgenauigkeit S von ca.:

$$1 \text{ } \mu\text{m} \leq S \leq 0,5 \text{ mm}$$



Einleitung

Messmittellücke



Zusätzliche Probleme hierbei:

- Klassische elektronische Entfernungsmessung relativ ungenau
- Laserinterferometrie kein absolutes Streckenmessverfahren und mit hohem Messaufwand verbunden



Einleitung

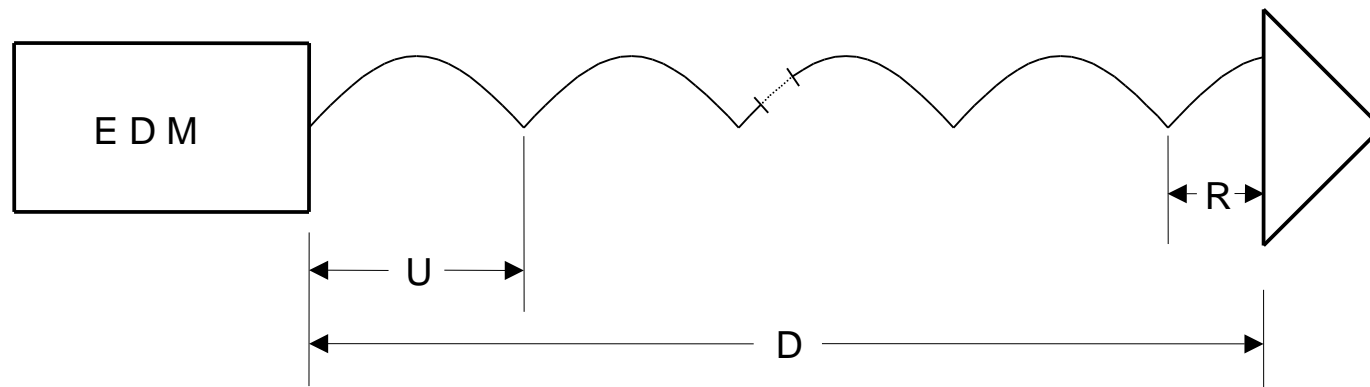
Teilweise Überbrückung dieser Messmittellücke durch neue Entwicklungen:

1. Weitere Steigerung der Genauigkeit und Messgeschwindigkeit bei der klassischen elektronischen Entfernungsmessung
2. Neues sehr schnelles Messverfahren, das im Genauigkeitsbereich 0,05 mm bis 0,01 mm arbeitet
3. Einschränkung bei der Laserinterferometrie zum Teil durch die Entwicklung von „Absolutinterferometern“ beseitigt



Phasenmessung

Klassische Entfernungsmessung durch Phasenmessung



$$D = N \cdot U + R \quad \text{wobei} \quad U = \frac{c}{2f}$$

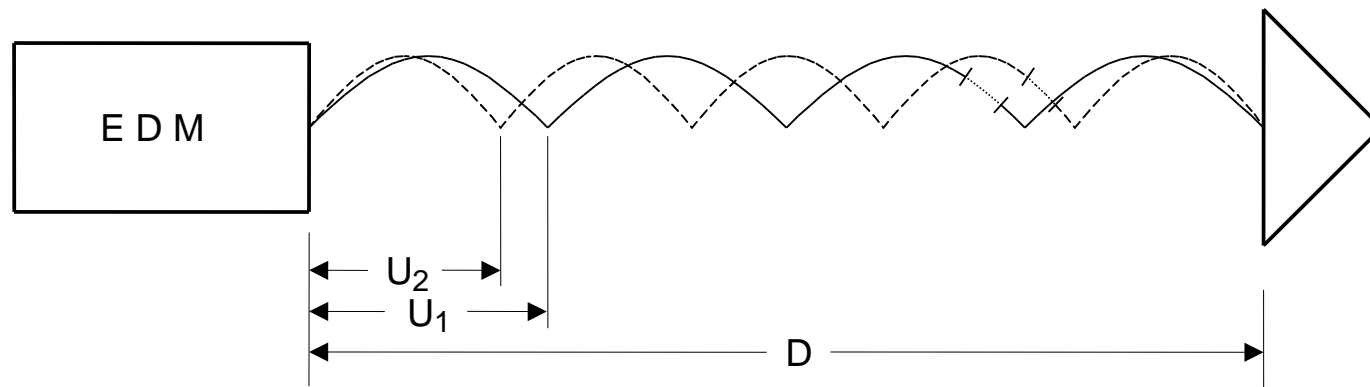
c = Lichtgeschwindigkeit

f = Maßstabsfrequenz



Phasenmessung

Verfahren mit variabler Maßstabsfrequenz



$$D = N_1 \cdot U_1 = N_2 \cdot U_2 = \dots$$

$$R = 0$$

$$U_1 = \frac{c}{2f_1}$$

$$U_2 = \frac{c}{2f_2}$$



Phasenmessung

Nach diesem Prinzip arbeitete das seit längerem nicht mehr hergestellte Mekometer ME5000 von LEICA.

Die unter günstigen Bedingungen erreichbare Genauigkeit betrug ca. 0,2 mm.

Dieses Mekometerprinzip wurde von LEICA durch Erweiterung des Frequenzbereiches und Erhöhung der Messfrequenz und Auflösung für den Lasertracker weiterentwickelt.

Erreichbare Genauigkeit: 0,02 mm

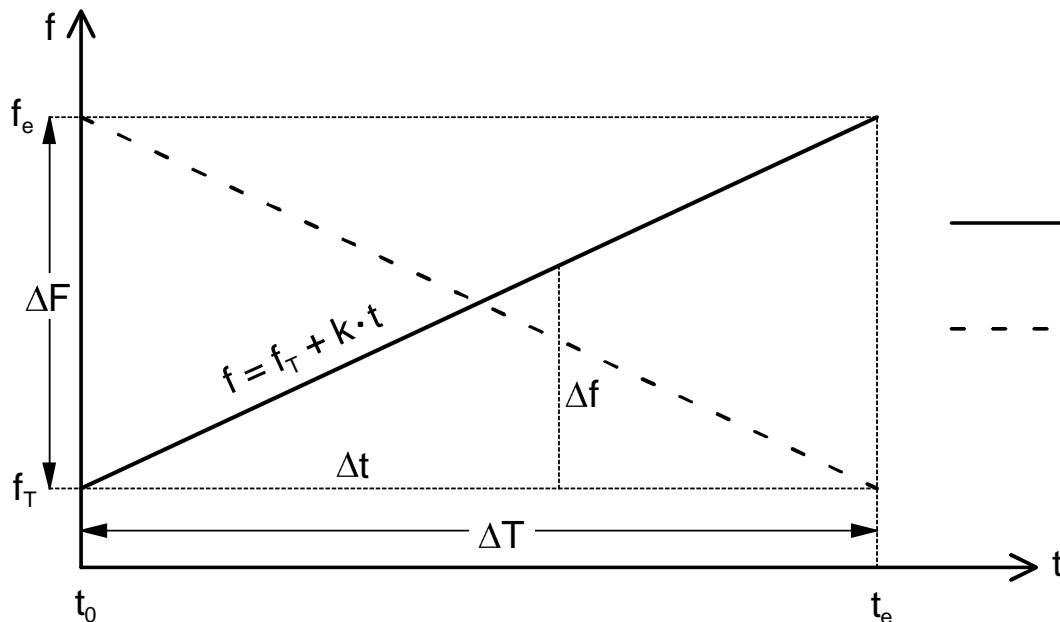
Bei allerdings relativ langer Messdauer von $> 0,1$ s.



Coherent Laser Radar

Coherent Laser Radar (CLR)

Grundlage hierfür ist die sogenannte „Chirp-Modulation“, eine lineare Frequenzmodulation



————— „Chirp-up“

- - - - - „Chirp-down“

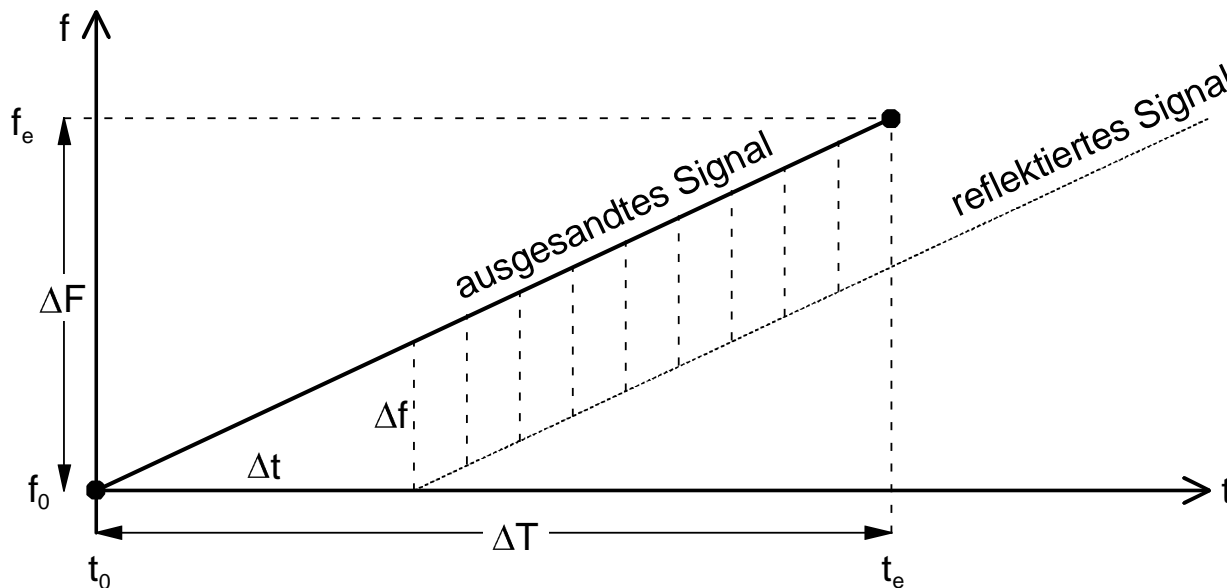
$$k = \frac{\Delta F}{\Delta T}$$

f_t = Trägerfrequenz



Coherent Laser Radar

Laufzeitmessung mit „chirp-modulierten“ Impulsen



$$\Delta t = \frac{\Delta T}{\Delta F} \cdot \Delta f$$

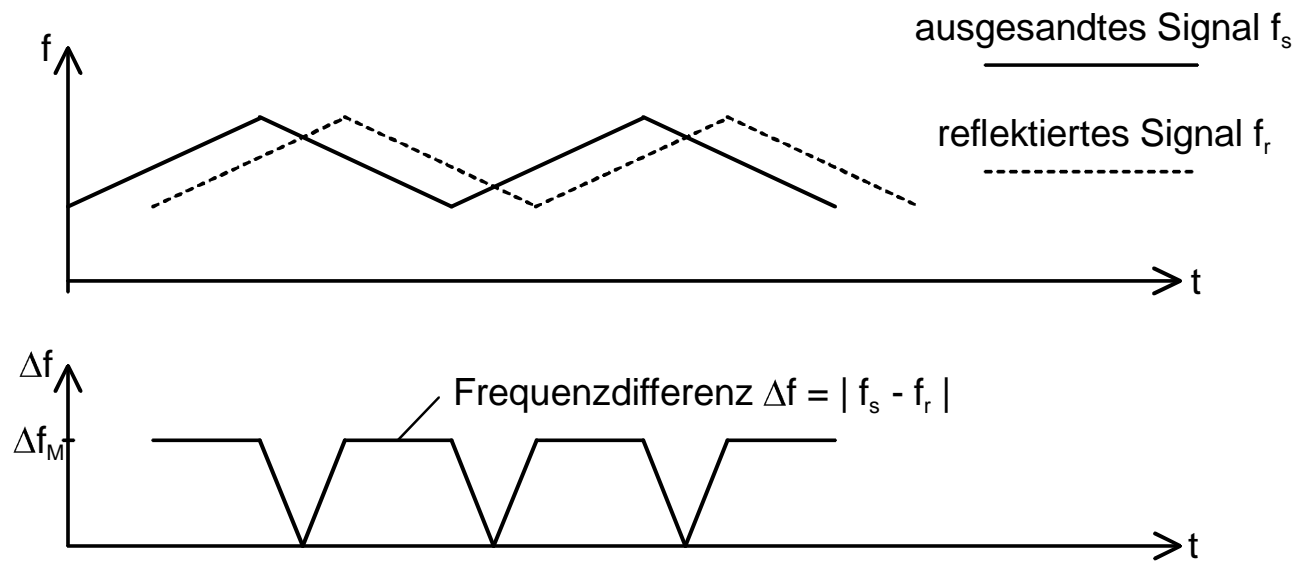
$$D = c \frac{\Delta t}{2} = \frac{c_0 \cdot \Delta T}{n \cdot \Delta F} \Delta f$$

$$D_{\max} = \frac{c_0}{2n} \cdot \Delta T$$



Coherent Laser Radar

„Chirp-Modulation“ beim Coherent Laser Radar



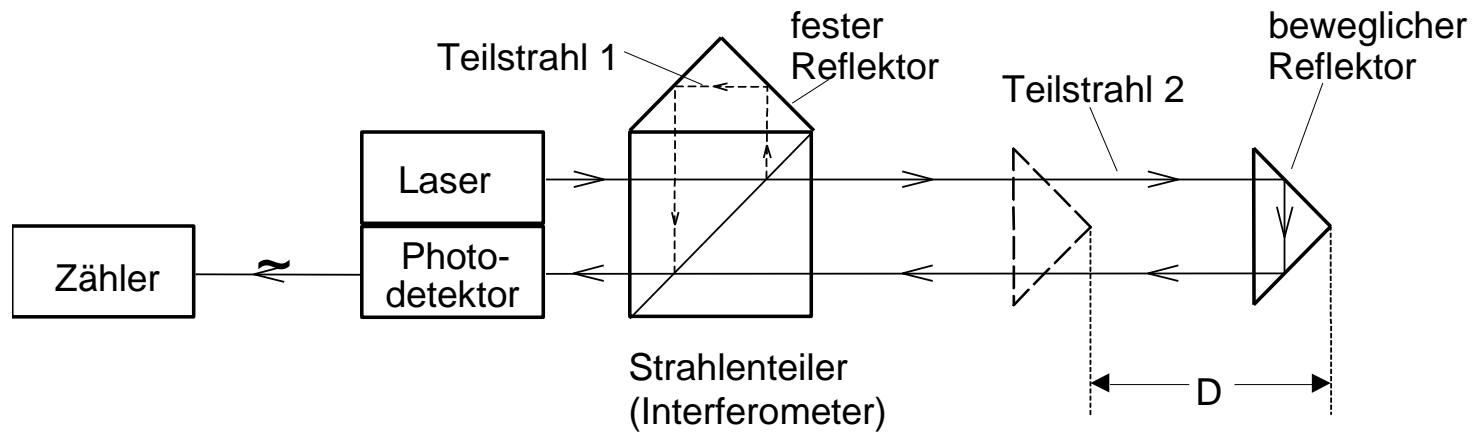
$$D = \frac{c_0 \cdot \Delta T}{2n \cdot \Delta F} \cdot \Delta f_M$$

$$\Delta f_M = |f_s - f_r|_{\max}$$



Laserinterferometrie

Laserinterferometrie



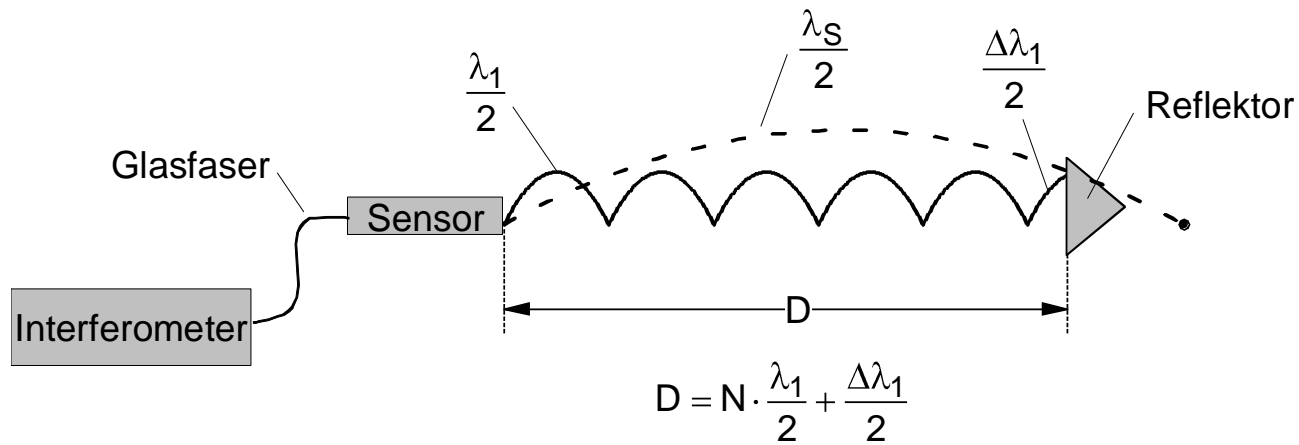
$$D = N \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda \approx 0,7 \mu\text{m}$$



Laserinterferometrie

Absolutinterferometrie



$$\lambda_S > D \quad \rightarrow \quad \lambda_S \gg \lambda_1$$



Laserinterferometrie

Problem ist hierbei die Bestimmung von N.

Lösungsansatz von JENNEWEIN mit drei oder mehr Laserquellen mit z.B.:

$$\lambda_1 = 780,2 \text{ nm} \quad \lambda_2 = 788,5 \text{ nm} \quad \lambda_3 = 780,5 \text{ nm}$$

Daraus abgeleitete „synthetische“ Wellenlänge λ_S :

$$\lambda_{S_1} = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{|\lambda_2 - \lambda_1|} = 74,1 \text{ } \mu\text{m} \quad \lambda_{S_2} = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_3}{|\lambda_3 - \lambda_1|} = 2,030 \text{ mm}$$

Eindeutigkeitsbereich hier: $\frac{\lambda_{S_2}}{2} \approx 1 \text{ mm}$

Dieses System hat die Praxisreife noch nicht erreicht.



Präzise Messsysteme

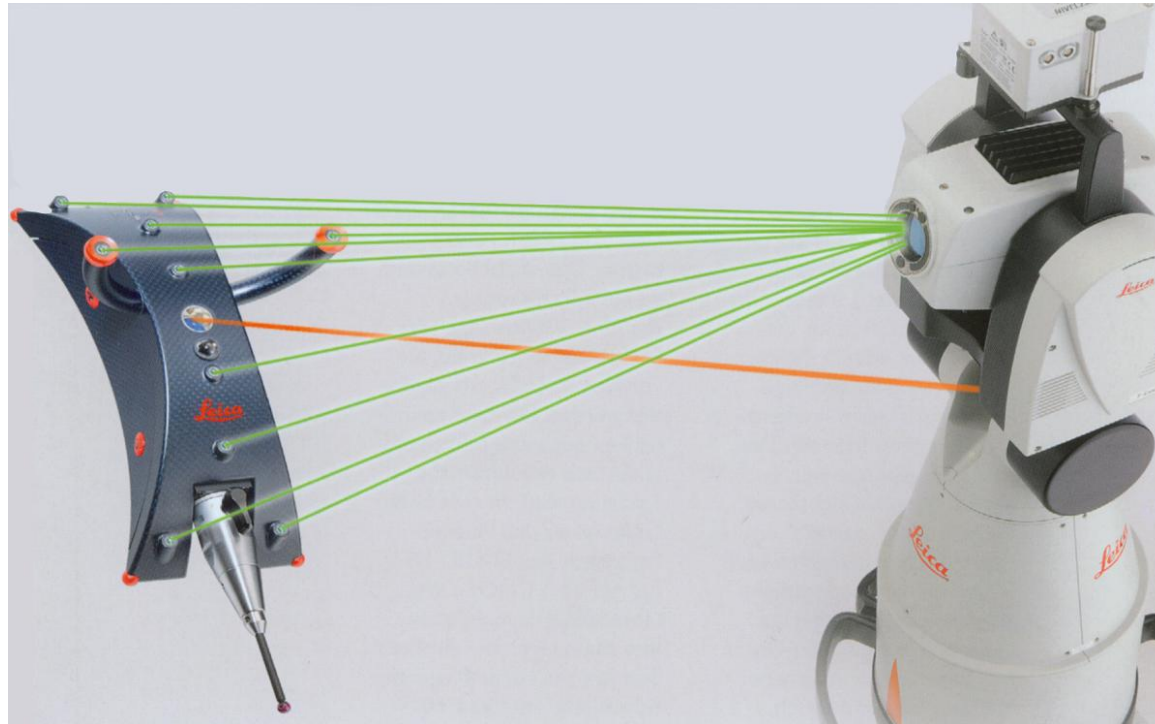
Derzeit genaueste mobile Messsysteme:

- Coherent Laser Radar
- Lasertracker (z.B. von LEICA oder FARO)

Lasertracker sind im Prinzip interferometrische Messsysteme, verfügen jedoch noch nicht über ein Absolutinterferometer.

Präzise Messsysteme

z.B. der Lasertracker von LEICA misst interferometrisch, der absolute Streckenbezug muss aber mit einem zusätzlichen absoluten Distanzmesssystem (ADM) nach dem Mekometerprinzip hergestellt werden.





Präzise Messsysteme





Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick:

- Die Lücke bei den mobilen Messmitteln in der industriellen Messtechnik ist durch die neuen Entwicklungen wesentlich kleiner geworden.
- Im Genauigkeitsbereich 0,01 mm bis 1 μm ist die Lücke noch nicht geschlossen.
- Weitere Genauigkeitssteigerung beim Coherent Laser Radar und die absolut messende Laserinterferometrie könnten diese Lücke ganz schließen.

Quelle: Joeckel/Stober/Huep , Elektronische Entfernungs- und Richtungsmessung und ihre Integration in aktuelle Positionierungsverfahren. Hüthig-Wichmann-Verlag, 2008.