

Analyzing & Testing

NETZSCH

Proven Excellence.

Kraftgesteuerte Messzelle für Dilatometeranwendungen

Tagung "Feinwerktechnische Konstruktion"
Dr. Fabian Wohlfahrt, 27.09.2019

Agenda

1. Motivation
2. Zielsetzung
3. Lösungsansätze und Lösungsfindung
4. Realisierung einer kraftgesteuerten Dilatometermesszelle
5. Messtechnischer Nachweis und charakteristische Eigenschaften
6. Zusammenfassung



Handlungsbedarf

Merkmal	Stand der Technik
Messbereich der Längenänderung	5 mm
Auflösung der Längenänderung	1,25 nm
Unsicherheit der Längenänderung	$\sim 4 \cdot 10^{-4}$
Erfassung der Anpresskraft	keine Erfassung
Konstanz der Anpresskraft	nicht konstant
Einstellung der Anpresskraft	manuell
Kraftbereich	0,15 N – 0,45 N
Reibungseinfluss auf Probe	Führungsreibung
unterschiedliche Ausgangslängen	verschiedene Fühlstempel
Messung der Ausgangslänge	manuell mit Messschieber
Unsicherheit der Ausgangslänge	$\sim 1 \cdot 10^{-3}$

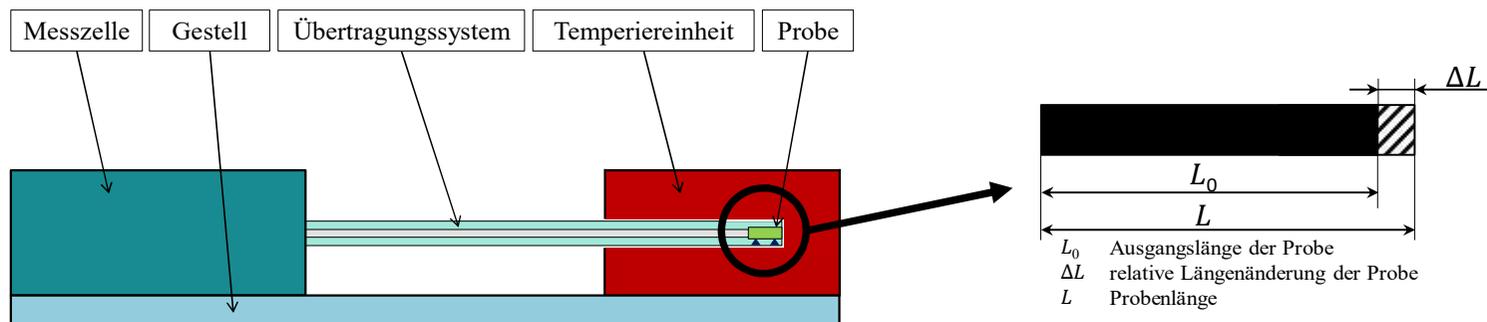
1. Werkstoffinnovation führt zu erweiterten Anforderungen an die Messgeräte, welche nicht durch den Stand der Technik erfüllt werden
2. Speziell: Dilatometer - Messgerät zur Ermittlung der thermischen Längenausdehnung

Agenda

1. Motivation
- 2. Zielsetzung**
3. Lösungsansätze und Lösungsfindung
4. Realisierung einer kraftgesteuerten Dilatometermesszelle
5. Messtechnischer Nachweis und charakteristische Eigenschaften
6. Zusammenfassung

Thermische Analyse - Dilatometrie

- Definition Dilatometrie:
 „Messung der Änderung der geometrischen Abmessungen der Probe bei einer vernachlässigbaren Krafteinwirkung auf die Probe, während diese einer Temperaturänderung unterworfen ist“ [DIN51005]

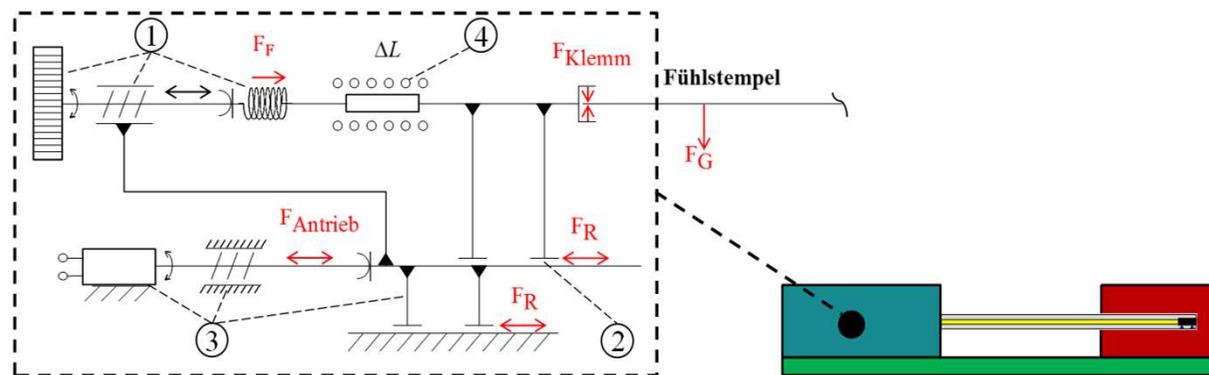


- Berechnung des mittleren Längenausdehnungskoeffizienten:

$$\bar{\alpha}(T_0; T) = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta T} = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{\Delta L}{T - T_0}$$

Ziele für Weiterentwicklung

Technisches Prinzip einer etablierten Messzelle



Ziele:

1. kleine & konstante bzw. definiert beeinflussbare Anpresskräfte (①)
2. störungsfreie Bewegung des Fühlstempels (②)
3. Erweiterung des Arbeitsbereichs für alle denkbaren Probenausgangslängen (③)
4. Erweiterung des Messbereichs und der Auflösung der Längenmessung (④)
5. automatische Erfassung der Probenausgangslänge (③, ④)

Agenda

1. Motivation
2. Zielsetzung
- 3. Lösungsansätze und Lösungsfindung**
4. Realisierung einer kraftgesteuerten Dilatometermesszelle
5. Messtechnischer Nachweis und charakteristische Eigenschaften
6. Zusammenfassung

KEP - Planungsphase

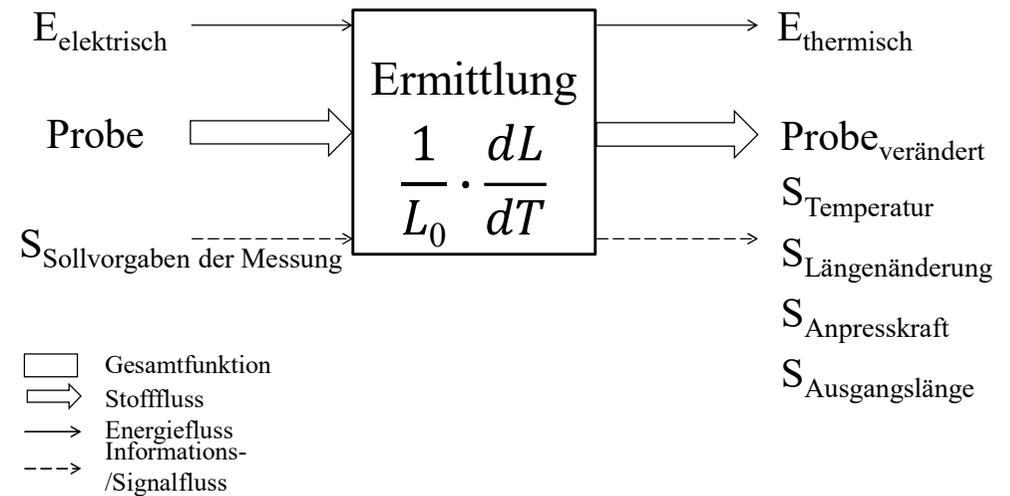


Anforderungsliste

Festlegung von Kennwerten für:

- Erfassung der Längenänderung
 - Bewegung des Fühlstempels
 - Erfassung der Probenausgangslänge
 - Einstellbereich der Anpresskraft
 - Montage des Fühlstempels
 - Abmessungen
 -
- ... gegliedert in Fest-, Mindestforderung und Wünsche

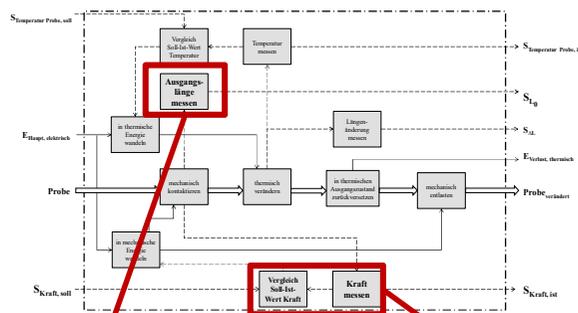
Gesamtfunktion



Konzeptphase - Funktionsstruktur



Erweiterung der Funktionsstruktur



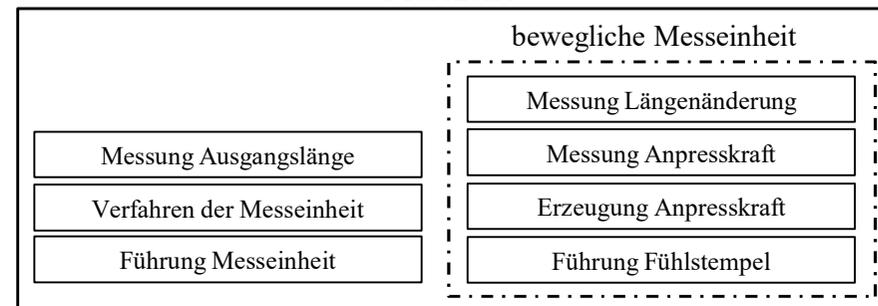
Erfassung der
Probenausgangs-
länge

Messung und
Regelung der
Anpresskraft

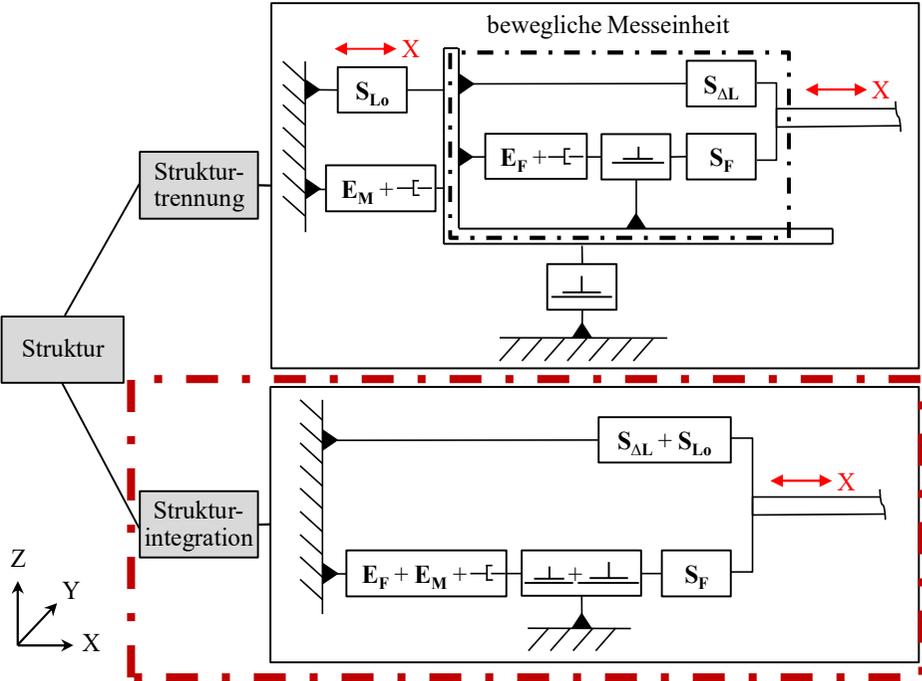
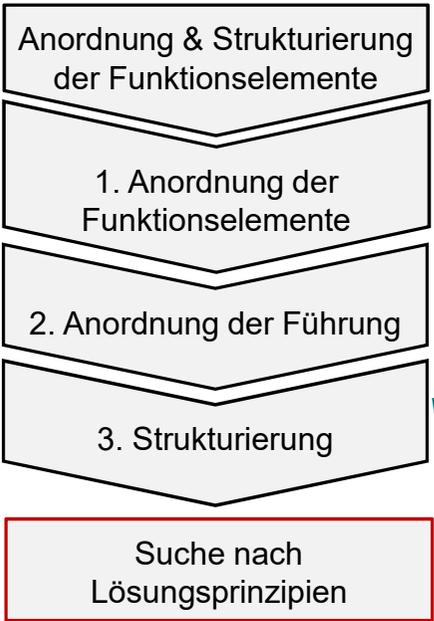
➔ Ableitung der
Funktionselemente

➔ Erarbeitung von
Lösungsvarianten

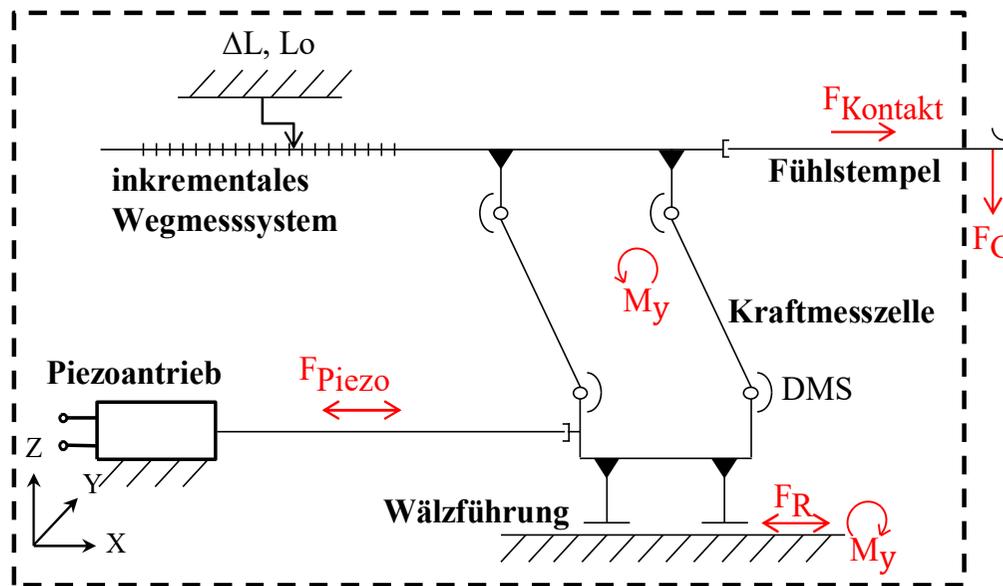
Messzelle



Konzeptphase – Lösungsfindung



Präferiertes Technisches Prinzip einer kraftgesteuerten Dilatometermesszelle



Vorteile des gewählten technischen Prinzips:

- nahezu unbegrenzter Messbereich bei gleichbleibender Auflösung
- kleine & konstante bzw. definiert wählbare Anpresskräfte
- störungsfreie und reproduzierbare Bewegung des Fühlstempels
- Erweiterung für beliebige L_0
- automatische Erfassung von L_0



Patent in US, CN, DE, FR, GB, IT, CH, NL, JP

(US9791330 (B2), CN104849133 (B), EP2910922 (B1), JP6031541 (B2))

Agenda

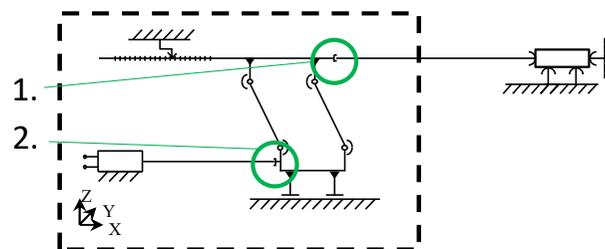
1. Motivation
2. Zielsetzung
3. Lösungsansätze und Lösungsfindung
- 4. Realisierung einer kraftgesteuerten Dilatometermesszelle**
5. Messtechnischer Nachweis und charakteristische Eigenschaften
6. Zusammenfassung

Entwurfsphase - Gestaltforderungsplan

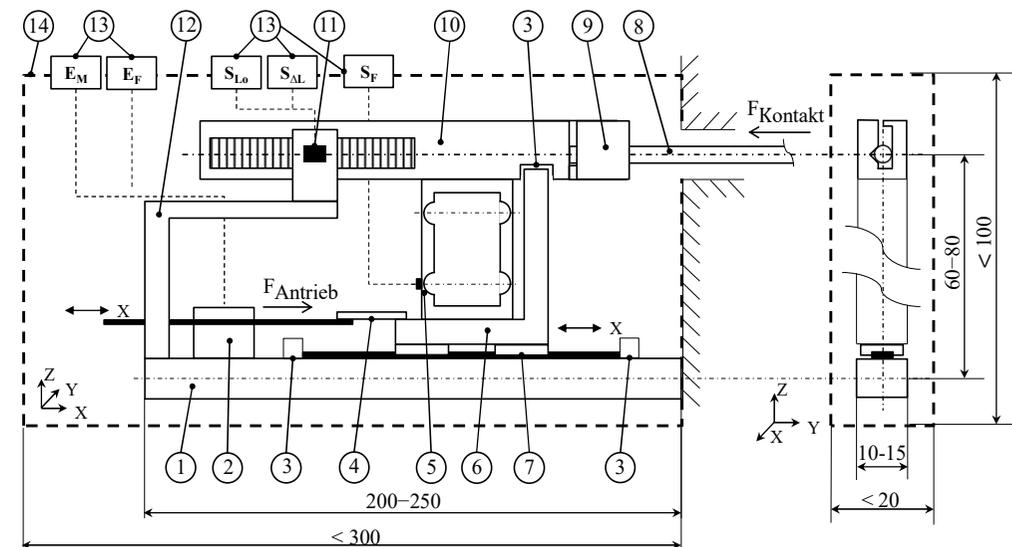


Betrachtung verschiedener
Detaillösungen für Kopplungen:

1. Fühlstempel
2. Piezoschreitantrieb



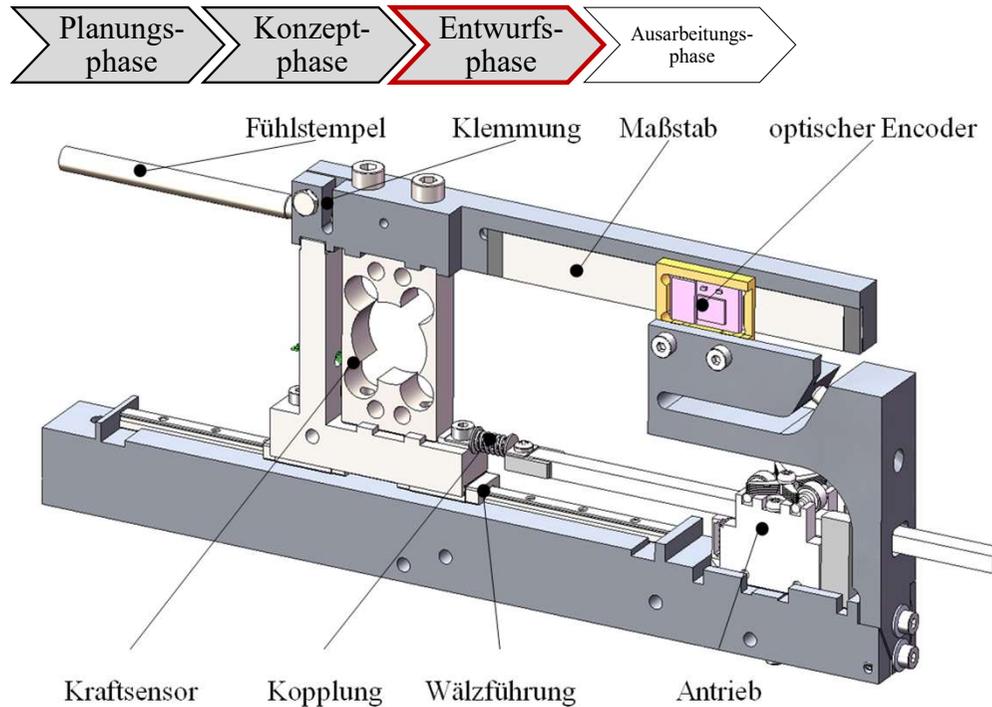
Vergleich – Bewertung
– Abschluss



Legende:

- | | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|---|
| 1...Messzellenträger | 5...Kraftmesszelle mit DMS | 10...Maßstabsträger | • Messung Anpresskraft S_F |
| 2...Piezoschreitantrieb | 6...Führungsadapter | 11...inkrementales Wegmesssystem | • Messung Längenänderung $S_{\Delta L}$ |
| 3...mechanischer Anschlag | 7...Wälzführung | 12...Sensorträger | • Messung Ausgangslänge S_{L_0} |
| 4...Kopplung des Antriebs | 8...Fühlstempel | 13...vakuumdichte Durchführung | • Erzeugung Anpresskraft E_F |
| | 9...Klemmung Fühlstempel | 14...vakuumdichte Trennstelle | • Verfahren der Messeinheit E_M |

Entwurfsphase - Konstruktionsentwurf



Angewandte Konstruktionsprinzipien:

- Prinzip der Funktionsintegration
- Prinzip des Vermeidens von Überbestimmtheiten
- Prinzip der Fehlerminimierung, Innozenz, Invarianz
- Prinzip der direkten und kurzen Krafteinleitung

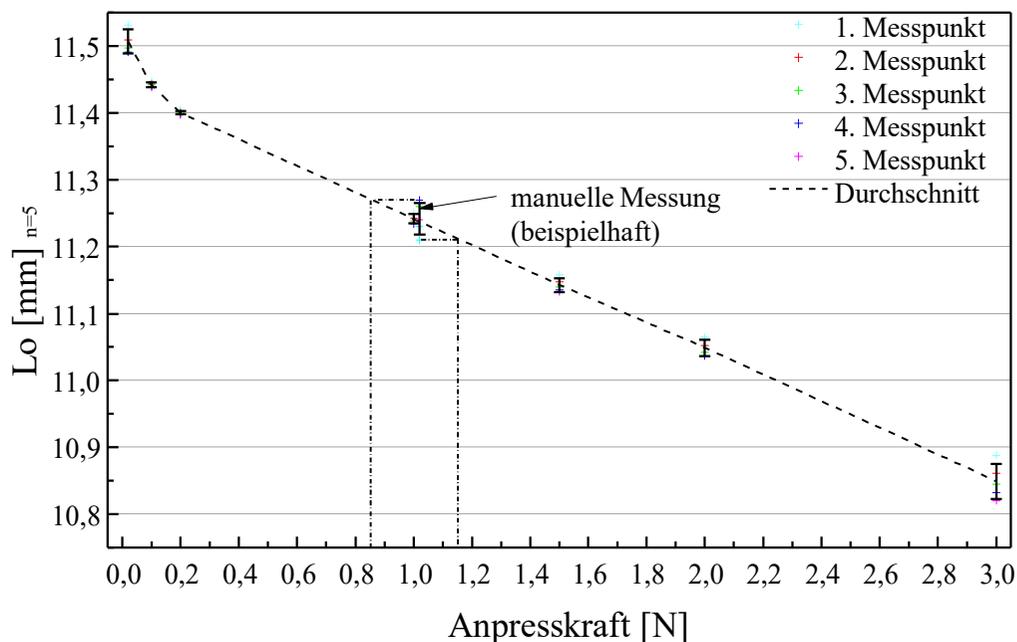
Regelungsschema:

- geschlossener Kraftregelkreis

Agenda

1. Motivation
2. Zielsetzung
3. Lösungsansätze und Lösungsfindung
4. Realisierung einer kraftgesteuerten Dilatometermesszelle
- 5. Messtechnischer Nachweis und charakteristische Eigenschaften**
6. Zusammenfassung

1. Einfluss der Anpresskraft auf die Probenausgangslänge



Isolationsmaterial (Styrodur®, BASF):

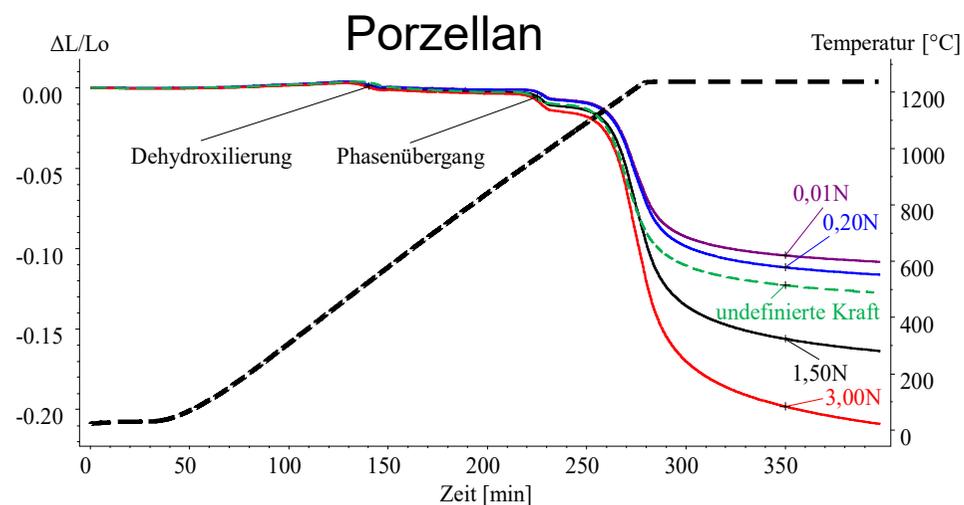
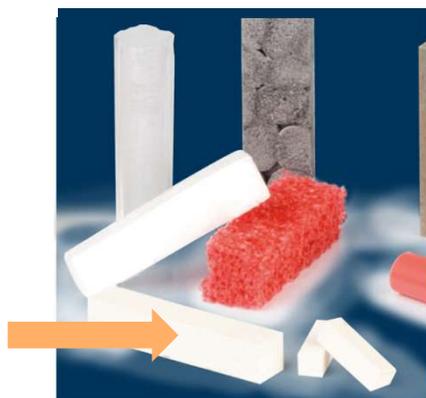
- L_0 wird durch Anpresskraft beeinflusst (bis zu 5%)
- Manuelle Messung:
 - Standardabweichung höher
 - Variation der Anpresskraft $\sim 0,3\text{N}$



Vorteil der kraftgesteuerten Messzelle:

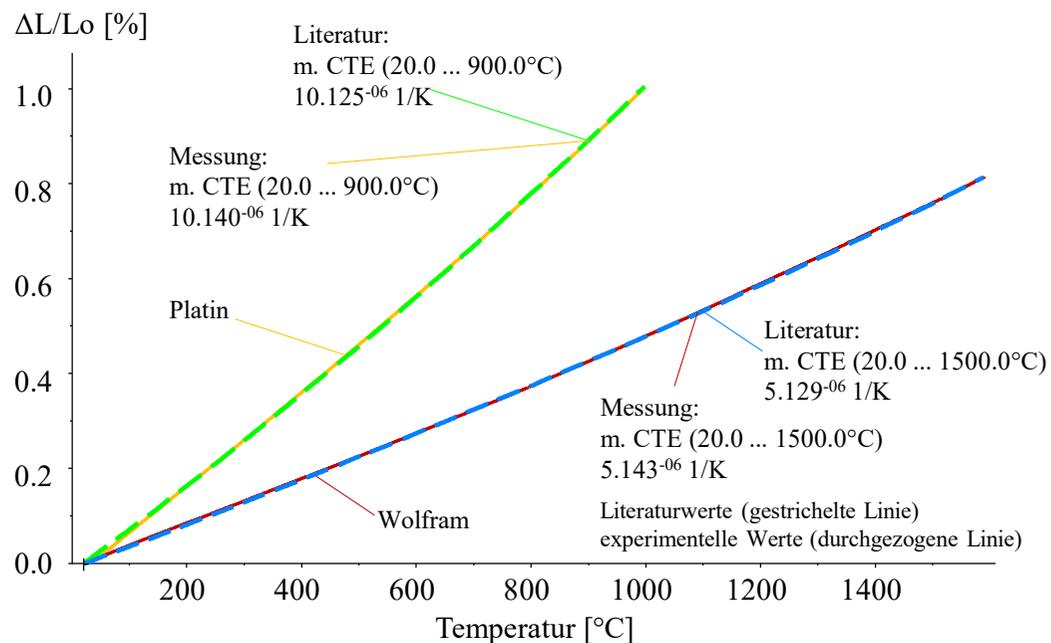
- definierte Kontaktierung der Probe
- Messbedingungen mit späterer Längenänderung vergleichbar

2. Einfluss der Anpresskraft auf die Längenänderung



➔ kleine und konstante Anpresskräfte erforderlich & mit kraftgesteuerter Messzelle realisierbar

3. Längenänderung von Referenzproben (Platin und Wolfram)



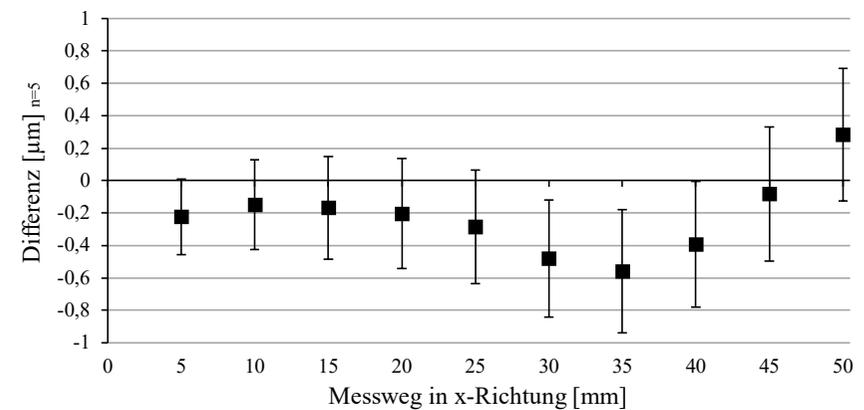
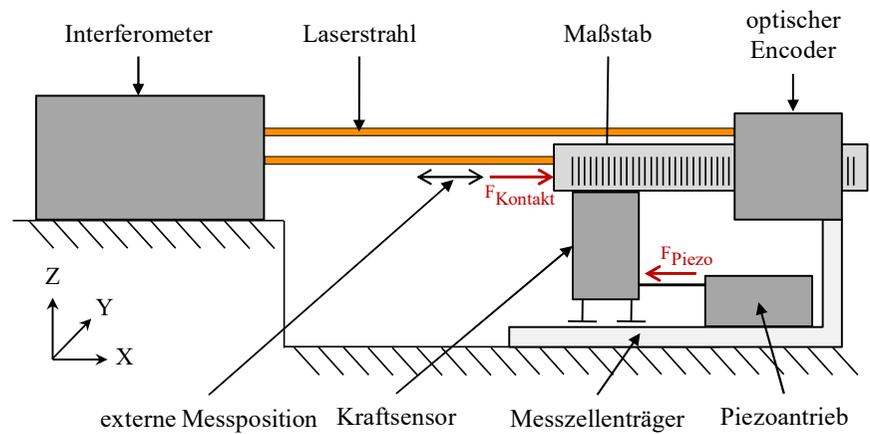
Ergebnisse im Bereich der Unsicherheit der Referenz-Ausdehnungswerte



Einsatz der kraftgesteuerten Messzelle zur Bestimmung von thermisch induzierten Längenänderungen in guter Übereinstimmung möglich

Messtechnischer Nachweis - Längenmessung

4. Messabweichung der kraftgesteuerten Messzelle



➡ relative Messabweichung der Längenmessung kleiner $2 \cdot 10^{-5}$

Charakteristische Eigenschaften - Vergleich

Merkmale	etablierte Messzelle	kraftgesteuerte Messzelle
Längenerfassung	LVDT	inkrementales Wegmesssystem
Messbereich der Längenänderung	5 mm	~ · 10 50 mm
Auflösung der Längenänderung (nach elektronischer Verarbeitung)	1,25 nm	~ · 10 0,10 nm
Unsicherheit der Längenänderung	$\sim 4 \cdot 10^{-4}$	~ · 10 $\sim 2 \cdot 10^{-5}$
Erfassung der Anpresskraft	keine Erfassung	✓ Erfassung über Kraftsensor
Konstanz der Anpresskraft	nicht konstant, da Veränderung der Federvorspannung	✓ definierbar (Regelabweichung $\pm 0,25$ mN)
Einstellung der Anpresskraft	manuelle Verstellung der Federvorspannung	✓ elektronisch / softwaregesteuert
Kraftbereich	0,15 N – 0,45 N	~ · 10 0,01 N – 3,00 N
Reibungseinfluss auf Probe	Führungsreibung	✓ im Rahmen des Kraftregelkreises eliminiert
unterschiedliche Ausgangslängen	verschiedene Fühlstempellängen bzw. Verlängerungsstücke	✓ Messbereich ausreichend
Messung der Ausgangslänge	manuell über Messschieber	✓ automatisch über inkrementales Wegmesssystem
Unsicherheit der Ausgangslänge	$\sim 1 \cdot 10^{-3}$	~ · 100 $\sim 2 \cdot 10^{-5}$

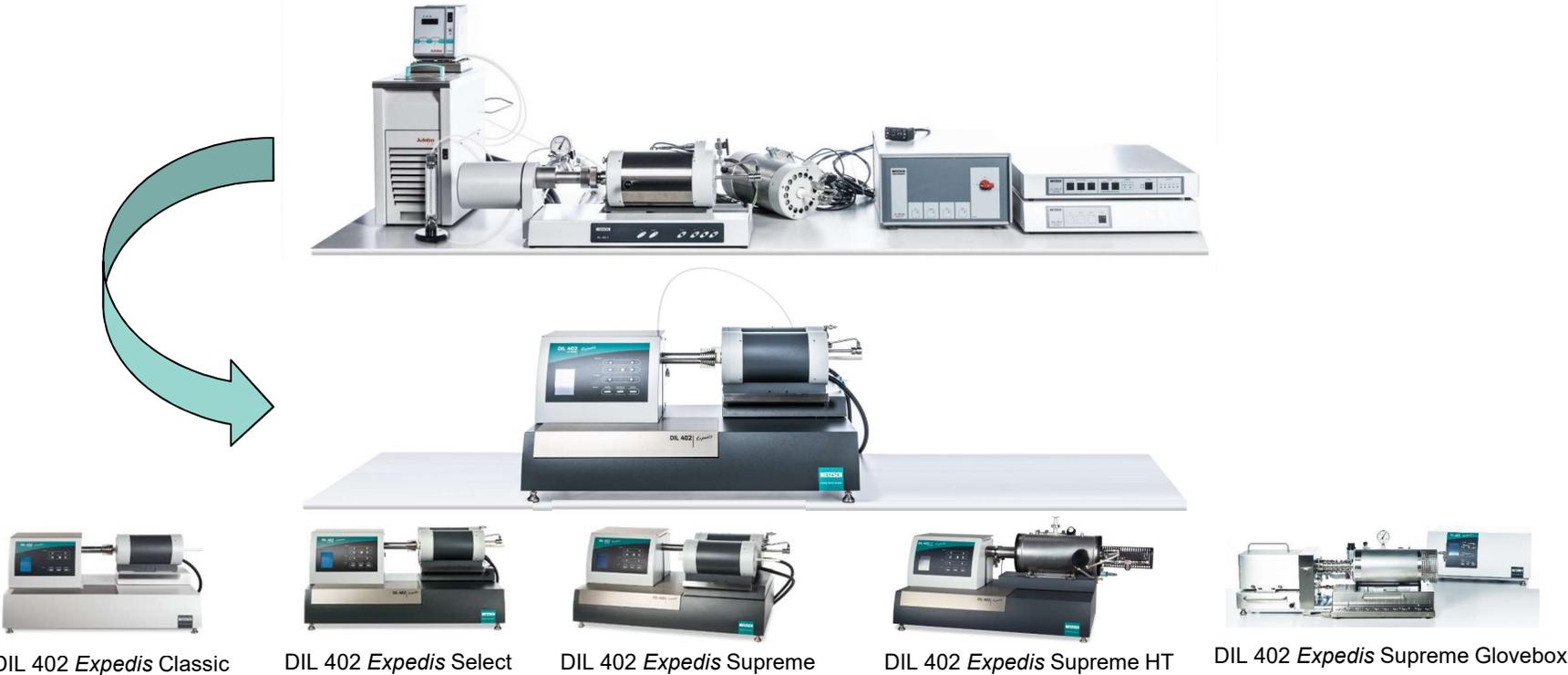
Agenda

1. Motivation
2. Zielsetzung
3. Lösungsansätze und Lösungsfindung
4. Realisierung einer kraftgesteuerten Dilatometermesszelle
5. Messtechnischer Nachweis und charakteristische Eigenschaften
- 6. Zusammenfassung**

Zusammenfassung

- Erreichte Entwicklungsziele der kraftgesteuerten Messzelle:
 - Erweiterung des Messbereichs und der Auflösung
 - kleine & konstante bzw. definiert wählbare Anpresskräfte
 - störungsfreie Bewegung des Fühlstempels
 - Erweiterung des Arbeitsbereichs für alle denkbaren Probenausgangslängen
 - automatische Erfassung der Probenausgangslänge
 - **deutlich geringere Gesamtunsicherheit der Längenmessung (Δl und L_0)**
- weitere Vorteile:
 - Vereinfachte Bedienung & Reduzierung Bedienerinfluss
 - Erhöhung Servicefreundlichkeit

Einsatz der kraftgesteuerten Messzelle – neue Produktserie



DIL 402 *Expedis* Classic

DIL 402 *Expedis* Select

DIL 402 *Expedis* Supreme

DIL 402 *Expedis* Supreme HT

DIL 402 *Expedis* Supreme Glovebox

You can rely on NETZSCH.

NETZSCH

Proven Excellence.

Dr. Fabian Wohlfahrt

Head of Mechanical Engineering

NETZSCH-Gerätebau GmbH

BU Analyzing & Testing

Phone: +49 9287 881 382

Fax: +49 9287 881 405

e-mail: fabian.wohlfahrt@netzsch.com

www.netzsch-thermal-analysis.com