

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik  
Institut für Feinwerktechnik und Elektronik-Design

# Weiterentwicklung der Hardware und der Regelung eines Linearservoantriebes für FDM-Drucker

17. Tagung Feinwerktechnische Konstruktion  
Dresden, 26.09.2024

# Gliederung

## Weiterentwicklung eines Linearservoantriebes für FDM-Drucker

### **Einleitung**

Motivation

Entwicklungsgeschichte

### **Trajektorienfolgeregelung**

Regelungsentwurf

Simulation

### **Implementierung**

Trajektoriengenerator

### **Zusammenfassung & Ausblick**

# Einleitung

## Motivation

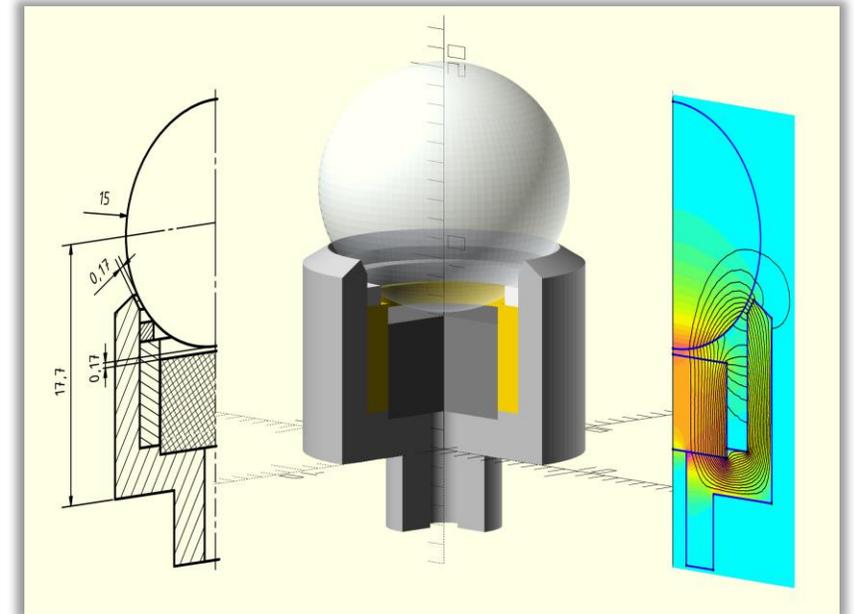
- Weiterentwicklung der Delta-FDM-Bauweise
- Vorteile der Delta-Bauweise
  - Geringere zu bewegende Massen und damit größere dynamische Steifigkeit
  - Hohe Druckgeschwindigkeiten und Beschleunigungen möglich
  - Größere Druckhöhen bei gleichem Grundriss
- Herausforderungen hinsichtlich Steuerung und Präzision
  - Parallelkinematik
  - Störungsanfällige Bewegungsübertragung



# Einleitung

## Entwicklungsgeschichte

- Wahl einer schwingungsarmen Gestellkonstruktion mittels Modalanalyse
- Optimierung spezieller Magnet-Kugel-Gelenke der Delta-Kinematik
- Verbleibende Positionsabweichungen auf Druckbett durch Nichtlinearitäten des Zahnriemengetriebes
- Geplanter Einsatz geregelter, linearer Servoantriebe als Parallelachsen
- Entwicklung eines kompakten optischen Positionssensormoduls
- Aufbau und Charakterisierung eines linearen Servoantriebes



# Gliederung

## Weiterentwicklung eines Linearservoantriebes für FDM-Drucker

### Einleitung

Motivation

Entwicklungsgeschichte

### Trajektorienfolgeregelung

Regelungsentwurf

Simulation

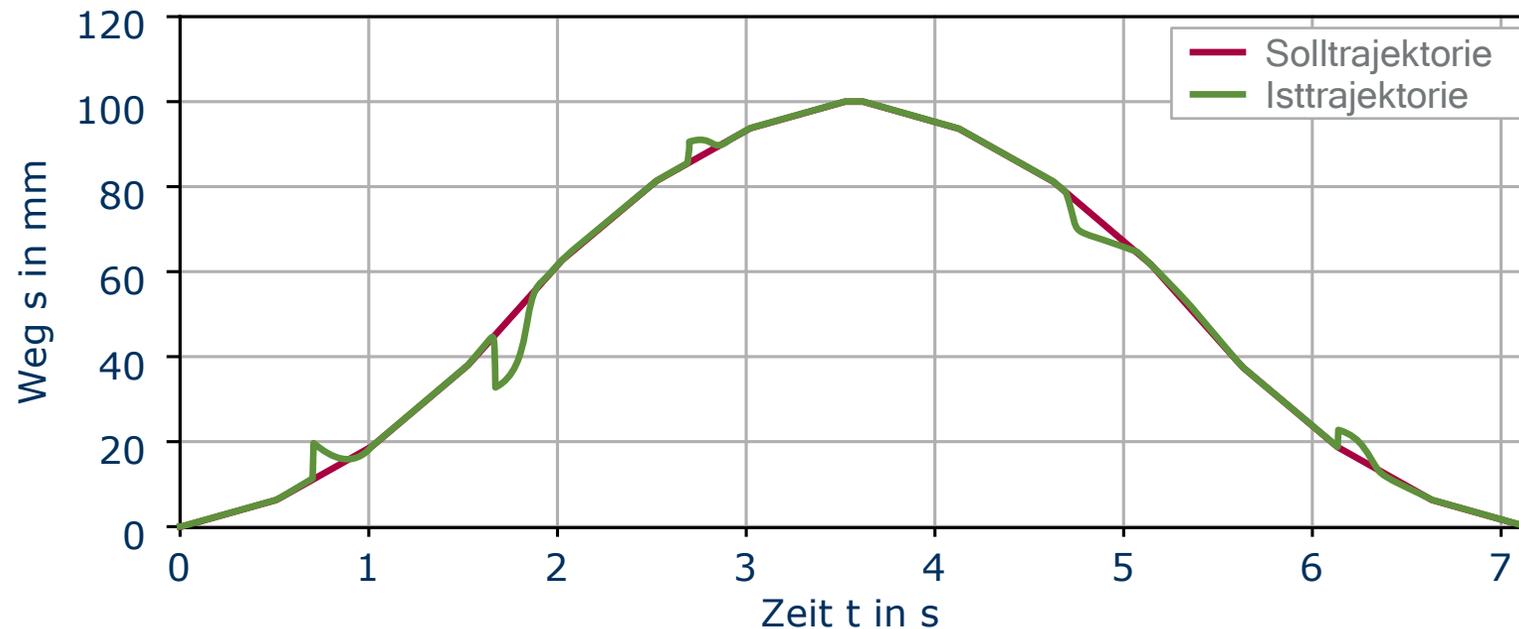
### Implementierung

Trajektoriengenerator

### Zusammenfassung & Ausblick

# Trajektorienfolgeregelung

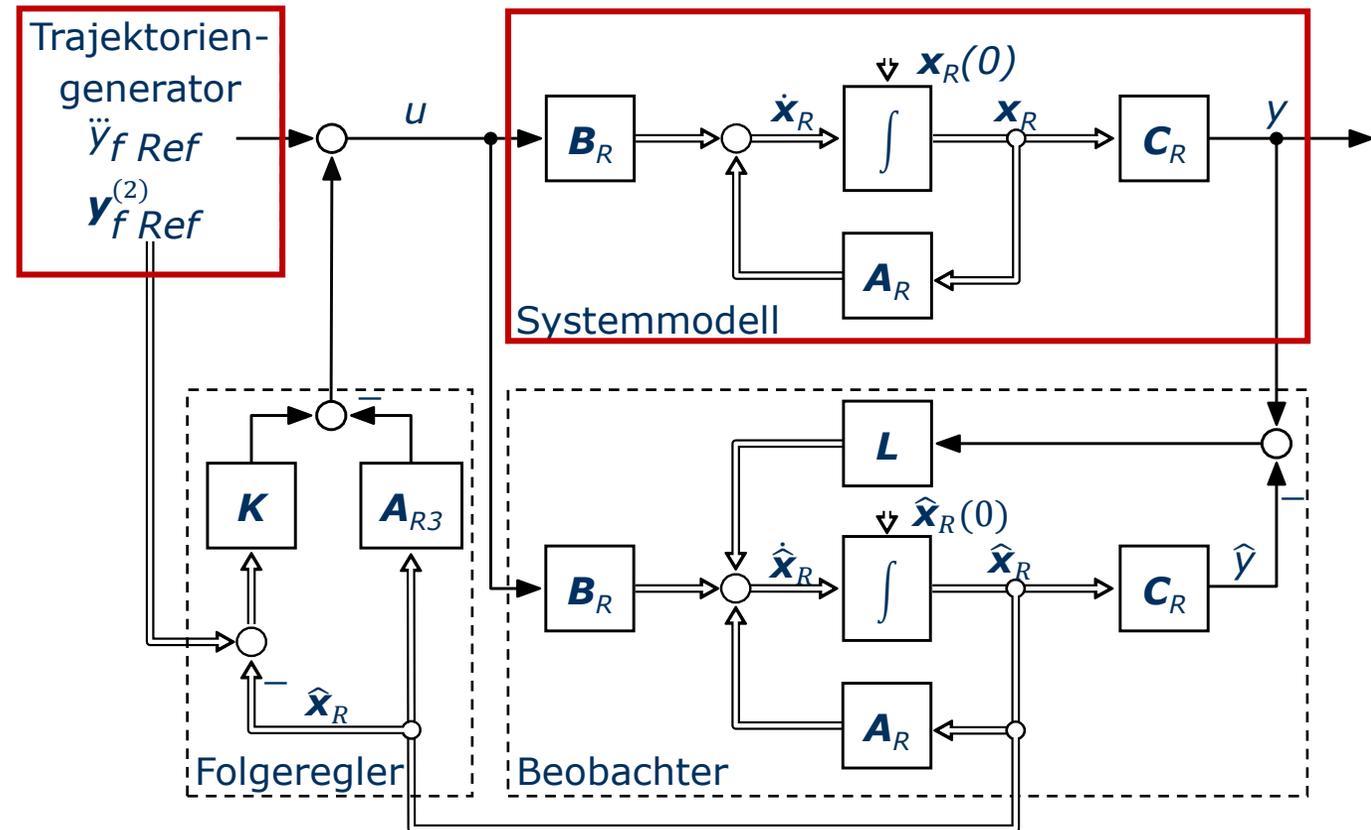
- Eine Trajektorienfolgeregelung setzt sich aus Vorsteuerung und Folgeregelung zusammen
  - Vorsteuerung erzeugt Steuersignale für Solltrajektorie
  - Folgeregelung wirkt Abweichungen von Solltrajektorie entgegen
- Resultierende Schrittmotor-Steuersignale sind Kombination aus Vorsteuerung und Folgeregelung



# Trajektorienfolgeregelung

## Regelungsentwurf

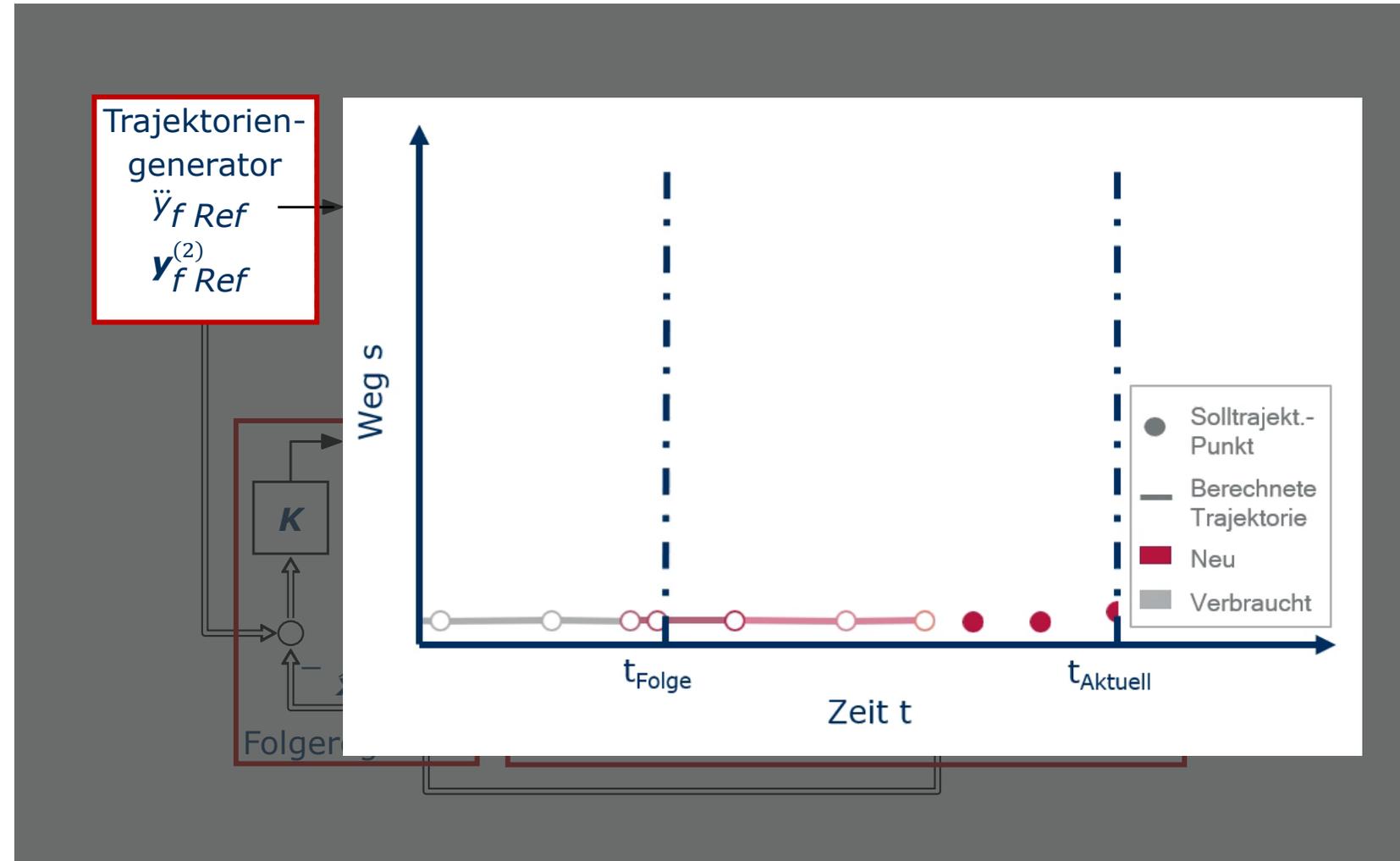
- Systemmodell bildet Linearservo-Verhalten ab
- Trajektoriengenerator erzeugt benötigte Solltrajektorie
  - Schrittaufbereitung
  - Trajektorienplanung
  - Trajektorienauswertung
- Folgeregelung wirkt Abweichungen des Systemausgangs von der Solltrajektorie entgegen
- Beobachter schließt aus messbarem Systemausgang auf den inneren Zustand des Systems



# Trajektorienfolgeregelung

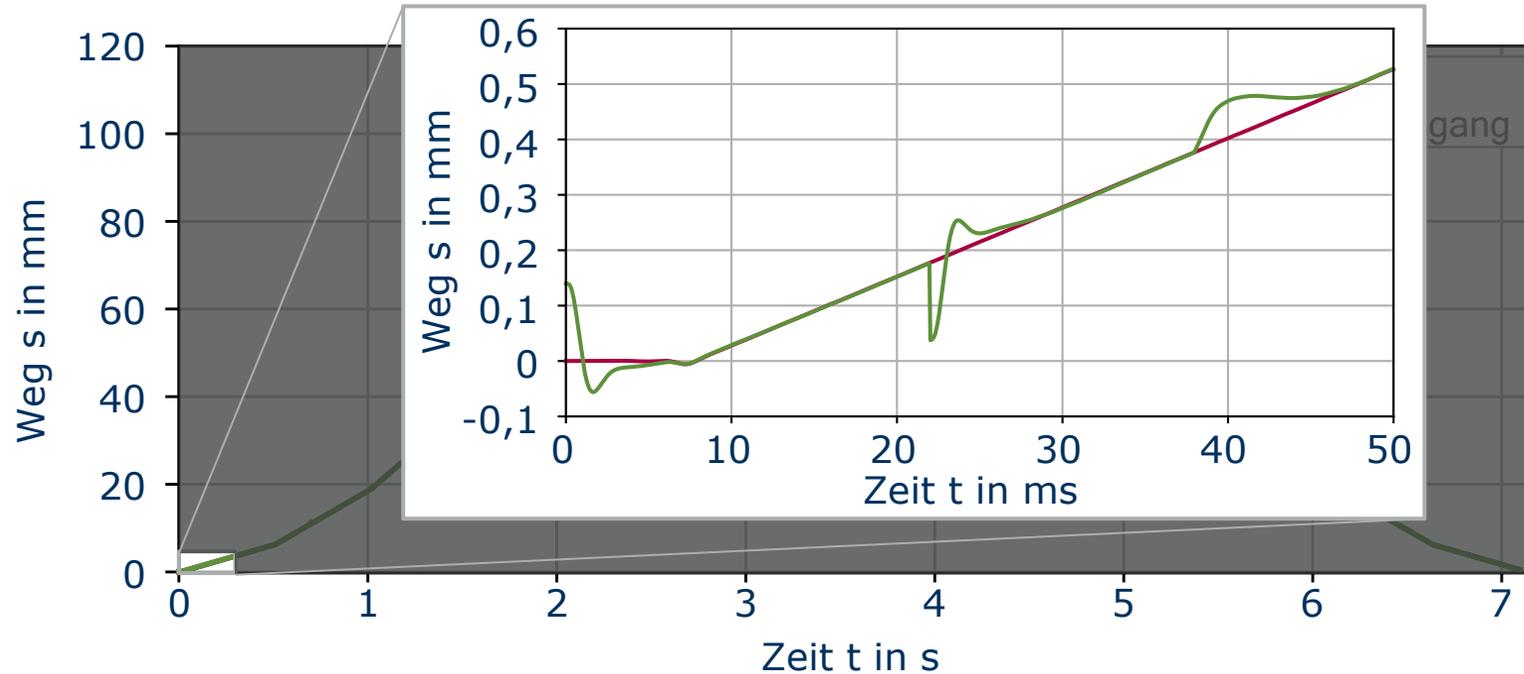
## Regelungsentwurf

- Systemmodell bildet Linearservo-Verhalten ab
- Trajektoriengenerator erzeugt benötigte Solltrajektorie
  - Schrittaufbereitung
  - Trajektorienplanung
  - Trajektorienauswertung
- Folgeregelung wirkt Abweichungen des Systemausgangs von der Solltrajektorie entgegen
- Beobachter schließt aus messbarem Systemausgang auf den inneren Zustand des Systems



# Trajektorienfolgeregelung

## Simulation



- Als Fehlerfälle wurden Impuls-, Sprung- und lineare Störungen eingebracht
- Impuls- und Sprungstörungen des Druckkopfes von 100  $\mu\text{m}$  werden innerhalb von 5 ms ausgegelt
- Mit Integralanteil können lineare Störeinflüsse kompensiert werden

# Gliederung

## Weiterentwicklung eines Linearservoantriebes für FDM-Drucker

### Einleitung

Motivation

Entwicklungsgeschichte

### Trajektorienfolgeregelung

Regelungsentwurf

Simulation

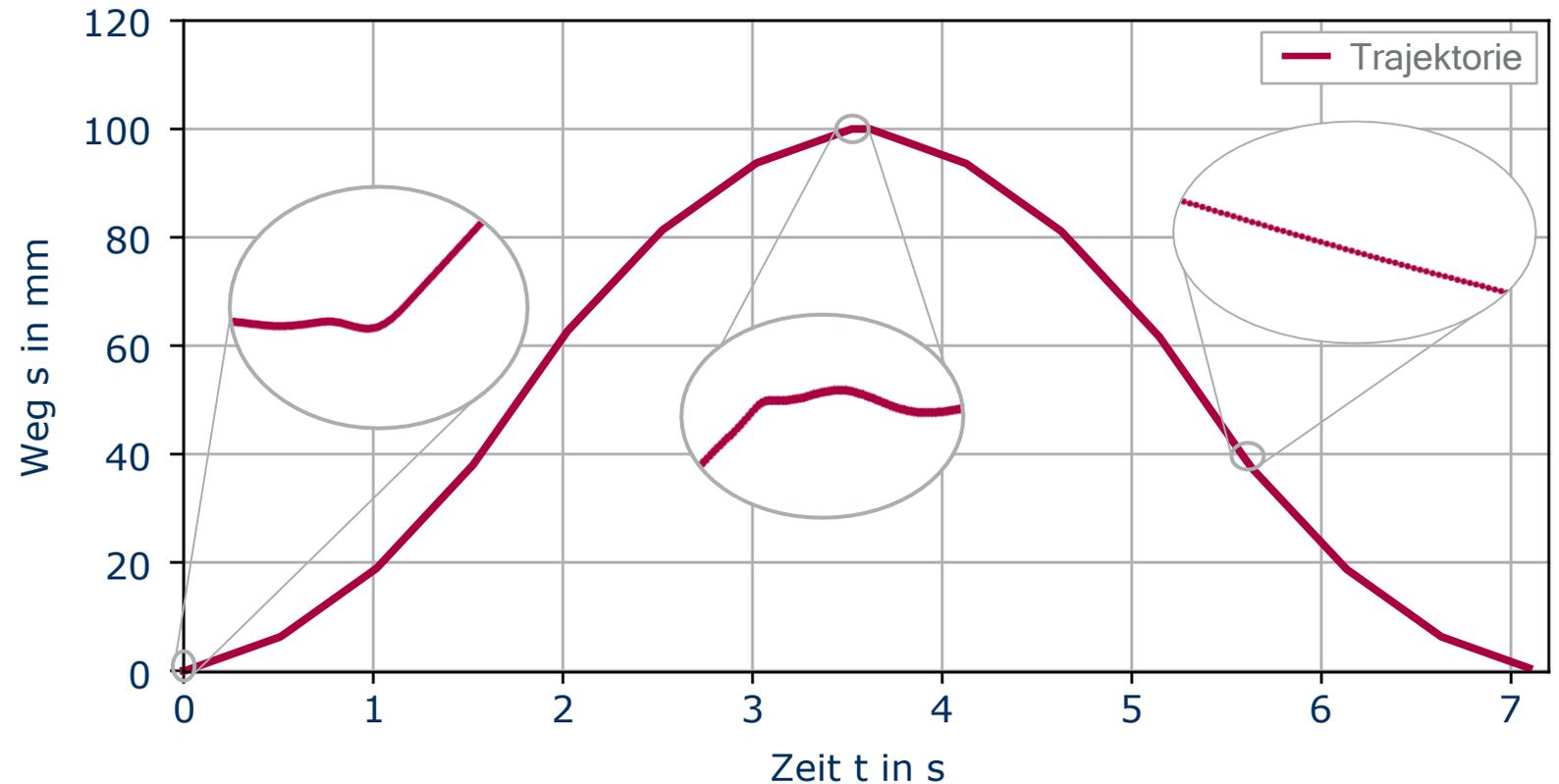
### Implementierung

Trajektoriengenerator

### Zusammenfassung & Ausblick

# Implementierung Trajektoriengenerator

- Regelungsfrequenz von 16,66 kHz
- Interrupts organisieren Schrittaufbereitung, Trajektorienplanung und Trajektorienauswertung
- Anhand aufgestellter G-Code-Solltrajektorien getestet
- Ergebnis sind dreifach stetig differenzierbare Trajektorien
- Mit maximalen Abweichungen von 2,58  $\mu\text{m}$



# Gliederung

## Weiterentwicklung eines Linearservoantriebes für FDM-Drucker

### Einleitung

Motivation

Entwicklungsgeschichte

### Trajektorienfolgeregelung

Regelungsentwurf

Simulation

### Implementierung

Trajektoriengenerator

### Zusammenfassung & Ausblick

# Zusammenfassung & Ausblick

## Zusammenfassung

- Anpassung der Hardware für den Einsatz eines stetigen Regelungsverfahrens
- Entwurf und Simulation einer flachheitsbasierten Trajektorienfolgeregelung
- Softwareentwurf und Implementierung
  - Trajektoriengenerator
  - Funktionen zu Kompensation systematischer Abweichungen
  - Folgeregelung und Beobachter vorbereitet

## Ausblick

- Parameterstudie des Trajektoriengenerators an Druckercontroller
- Inbetriebnahme des Linearservos mit vollständiger Trajektorienfolgeregelung
- Charakterisierung des geregelten Linearservos mittels Laserinterferometer
- Experimentelle Feinabstimmung der Folgeregelungs- und Beobachterparameter

Vielen Dank für Ihre Zeit und Ihr Interesse