



Entwicklung digitaler Zwillinge



DI Dr. Christian Marschik, CHASE Competence Center GmbH

**JOHANNES KEPLER
UNIVERSITÄT LINZ**
Altenberger Straße 69
4040 Linz, Österreich
jku.at

Inhalt

- Konzept eines digitalen Zwillings
- Messtechnik in der Kunststoffverarbeitung
- Modellbildung: Hybride Modellierung
- Fazit

LIT Factory

Maschinenpark im Industriemaßstab

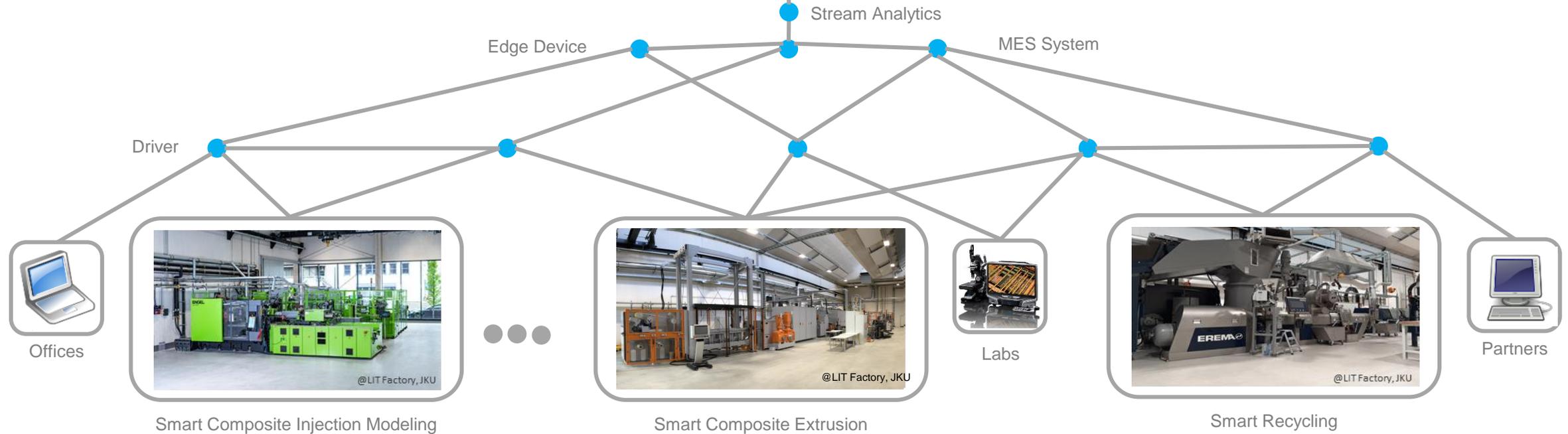
Prüfmethoden zur Qualitätskontrolle

LIT Factory Azure Subscription

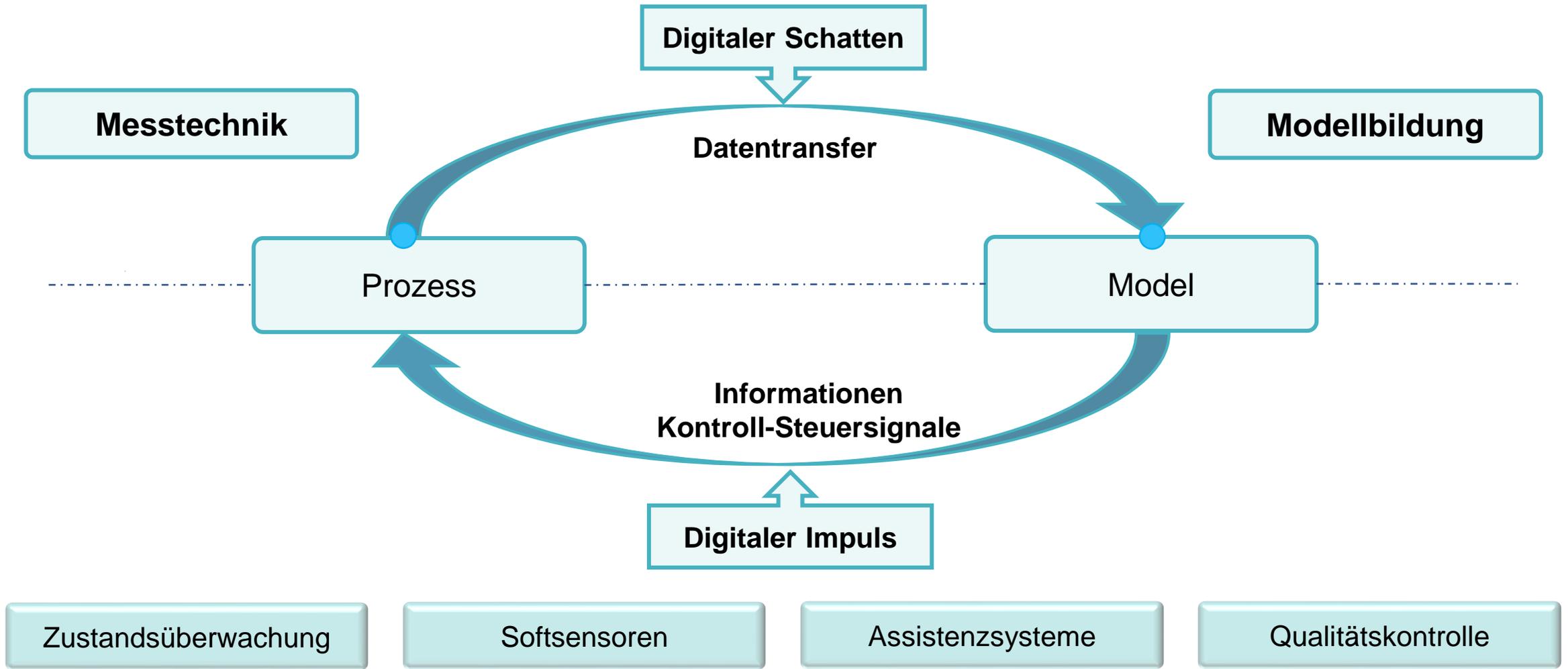
data cloud

Digitale Infrastruktur

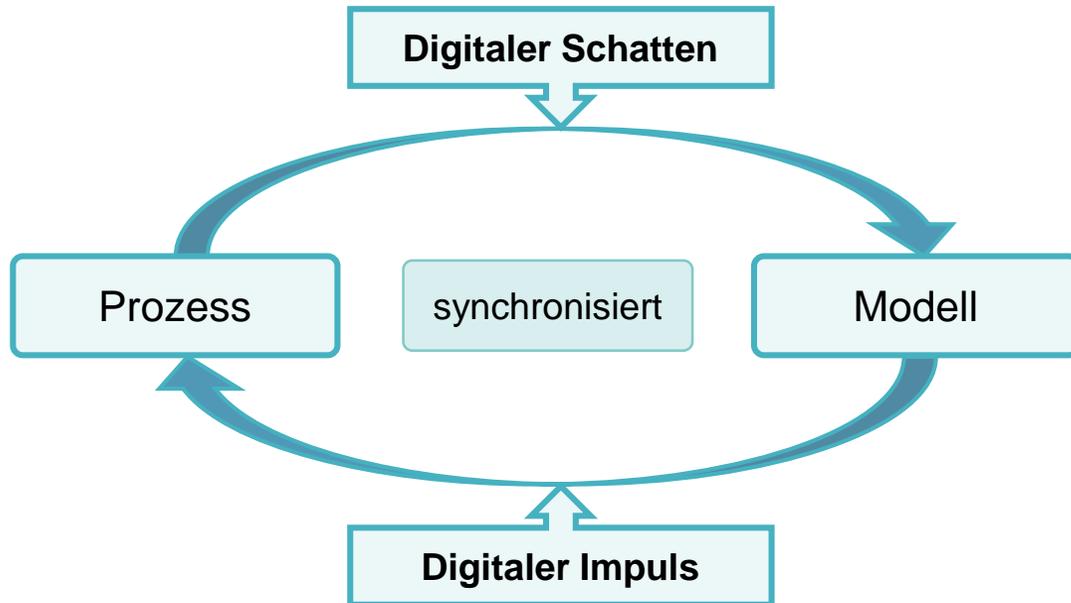
- Messtechnik
- Maschinendigitalisierung
- Vernetzung der Prozessketten
- Datenaufzeichnung



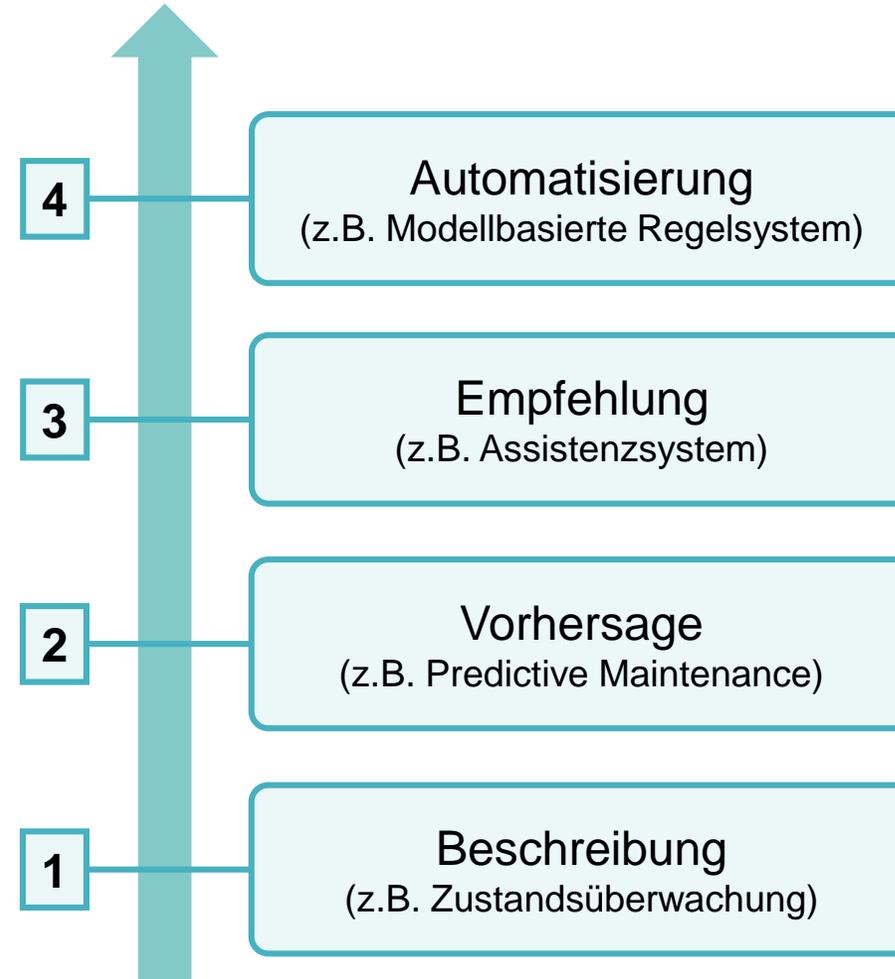
Konzept eines digitalen Zwillings



Funktionen eines digitalen Zwillings



- + Optimale Maschinenauslastung
- + Erhöhung der Produktqualität
- + Senkung der Fertigungskosten
- + Verminderung von Produktionsabfällen



Entwicklungslevels

Inhalt

- Konzept eines digitalen Zwillings
- Messtechnik in der Kunststoffverarbeitung
- Modellbildung: Hybride Modellierung
- Fazit

Prozess- und Qualitätsparameter

Maschineneinstellparameter

- Soll-Werte
- Temperatur, Zeit, Drehzahl, Kraft, ...

Prozessparameter

- Ist-Werte
- Ausstoß, Druck, Füllgrad, Drehmoment, ...

Qualitätsparameter

- Inline, online, atline, offline
- Geometrie, Optik, Mechanik, Rheologie, ...

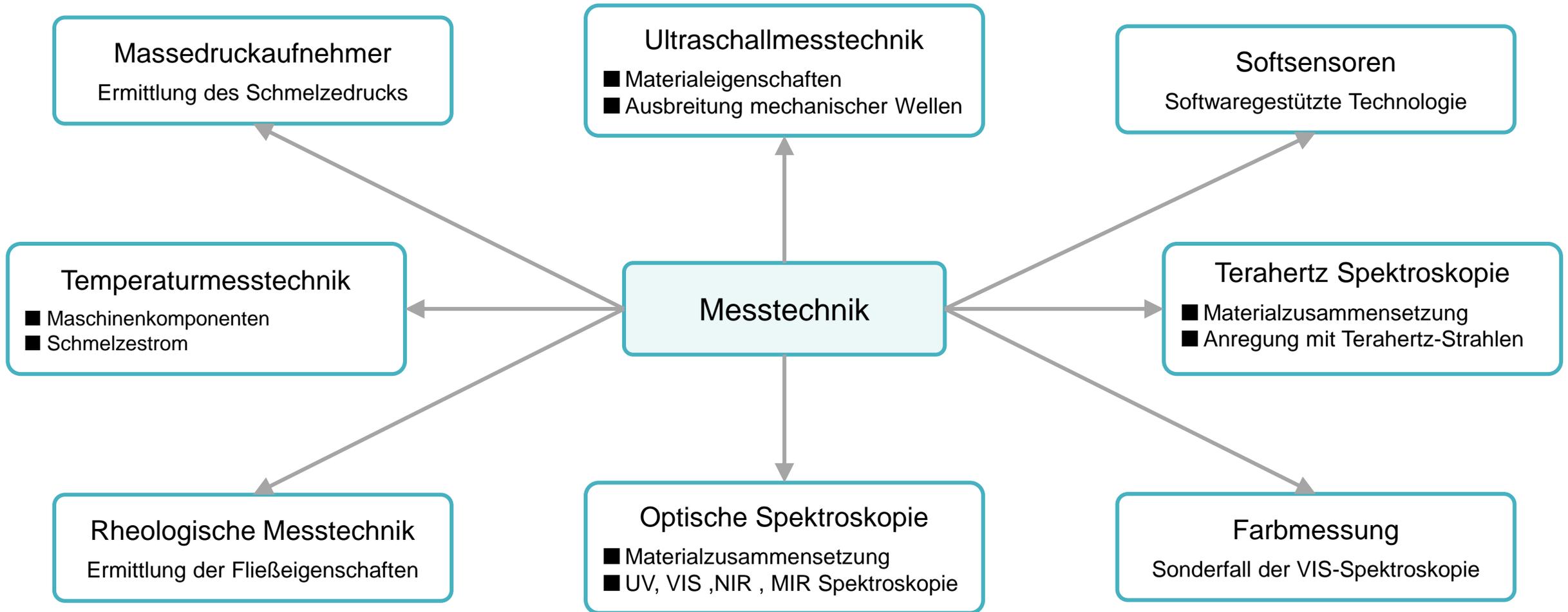
Externe Einflussgrößen

Material, Umgebung, Bediener, ...



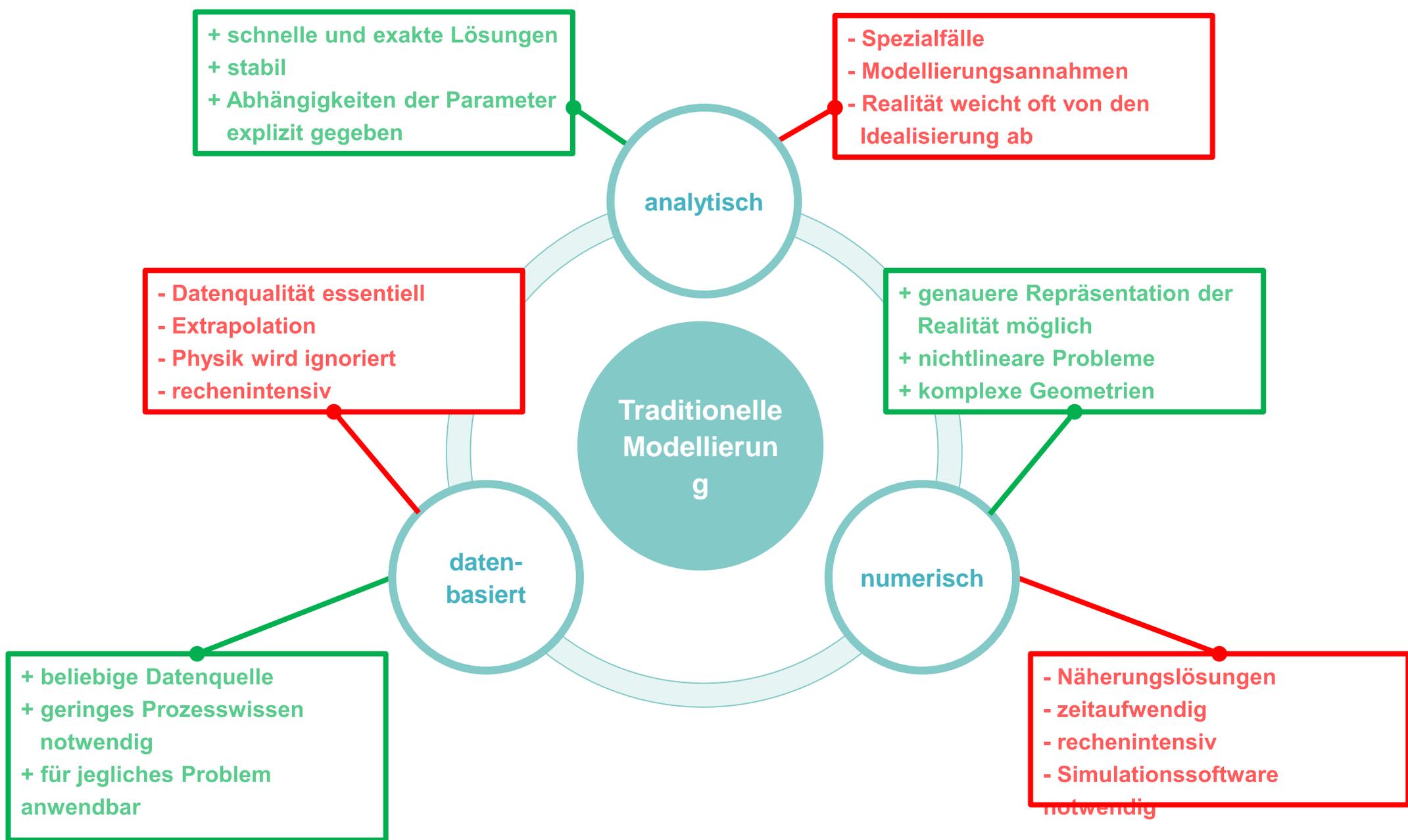
@LIT Factory, JKU

Messsysteme

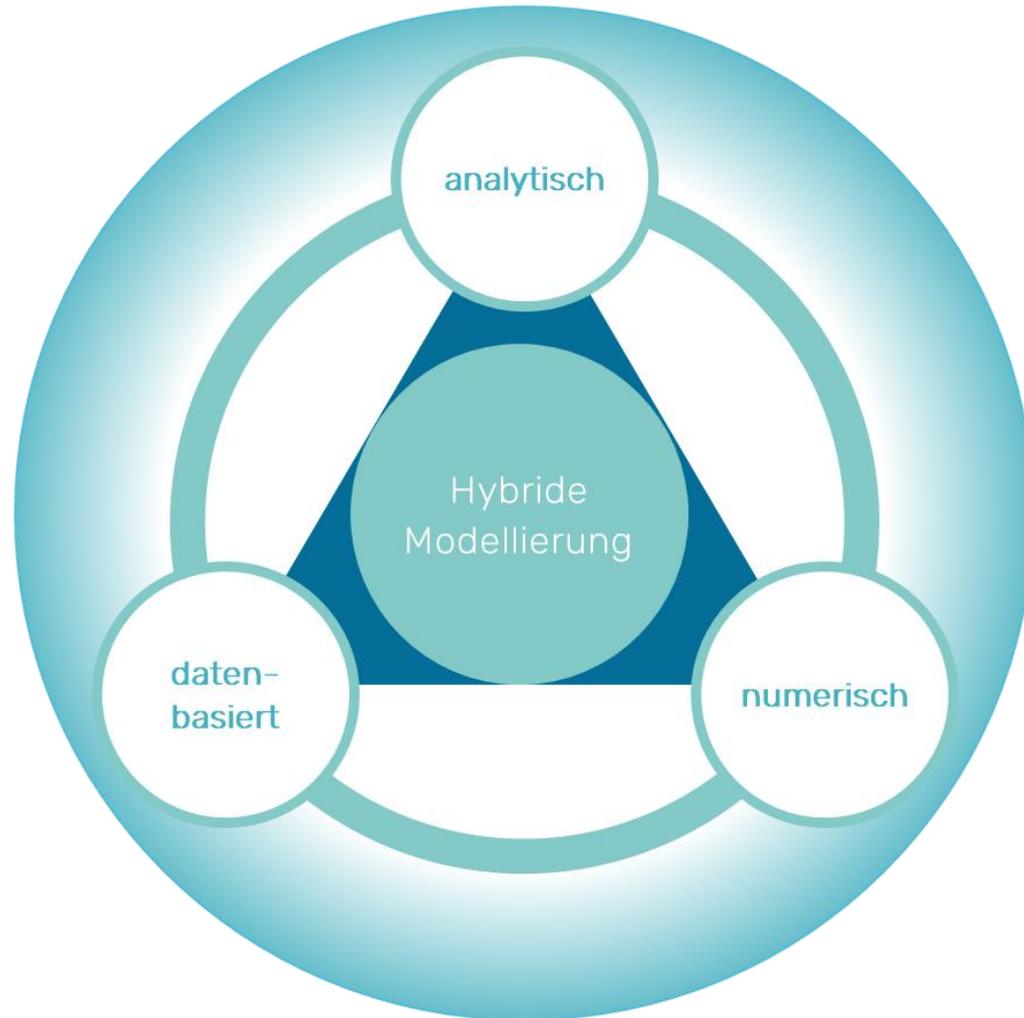


Inhalt

- Konzept eines digitalen Zwillings
- Messtechnik in der Kunststoffverarbeitung
- Modellbildung: Hybride Modellierung
- Fazit



Hybride Modellierung



kombiniert die Vorteile von herkömmlichen Modellierungsansätzen



gibt schnelle, einfache und stabile Lösungen für komplexe Probleme

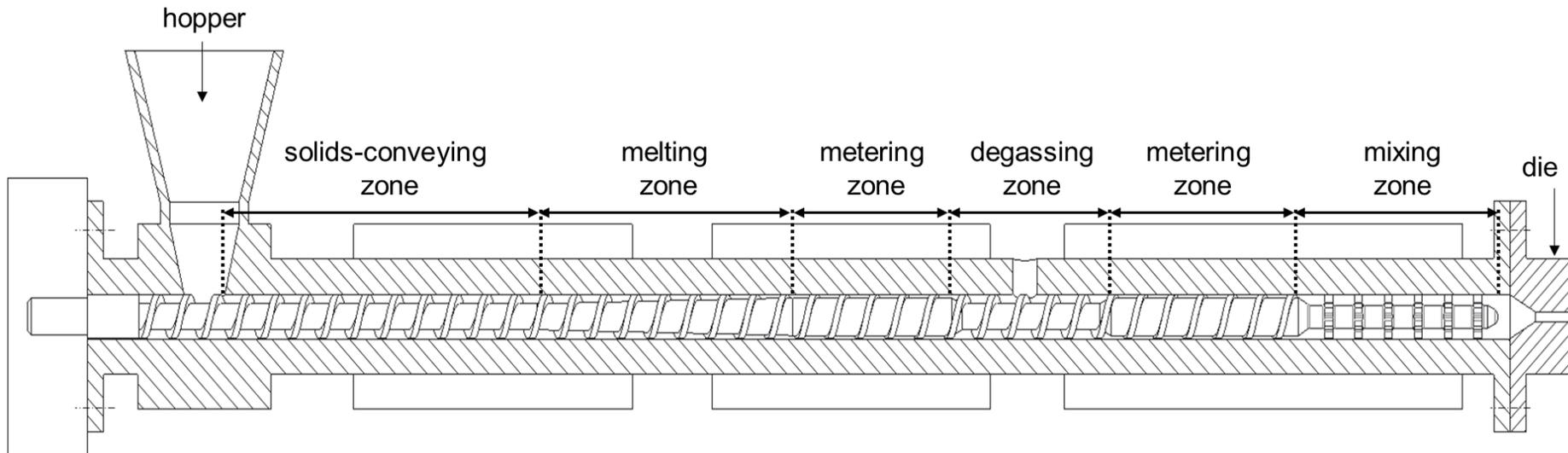


berücksichtigt die zugrundeliegende Physik



verbessert die Qualität und Genauigkeit der Vorhersagen

Einschneckenextruder: Druck-Durchsatzverhalten



- Feststoffförderung
- Aufschmelzen
- Schmelzeförderung
- Mischen
- Entgasen
- Filtrieren
- ..

Geometrie

- 3-Zonen Schnecken
- Barrierschnecken
- Waveschnecken
- ...

Material

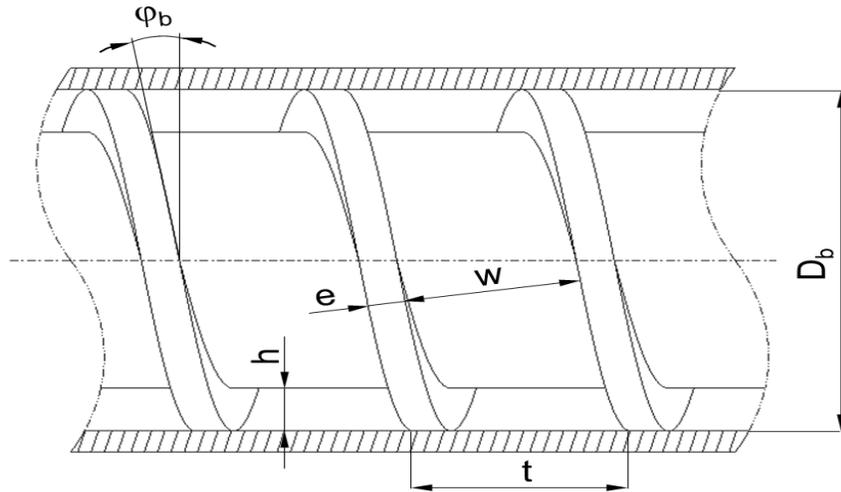
- Zusammensetzung
- Thermodynamik
- Rheologie
- ...

Prozessbedingungen

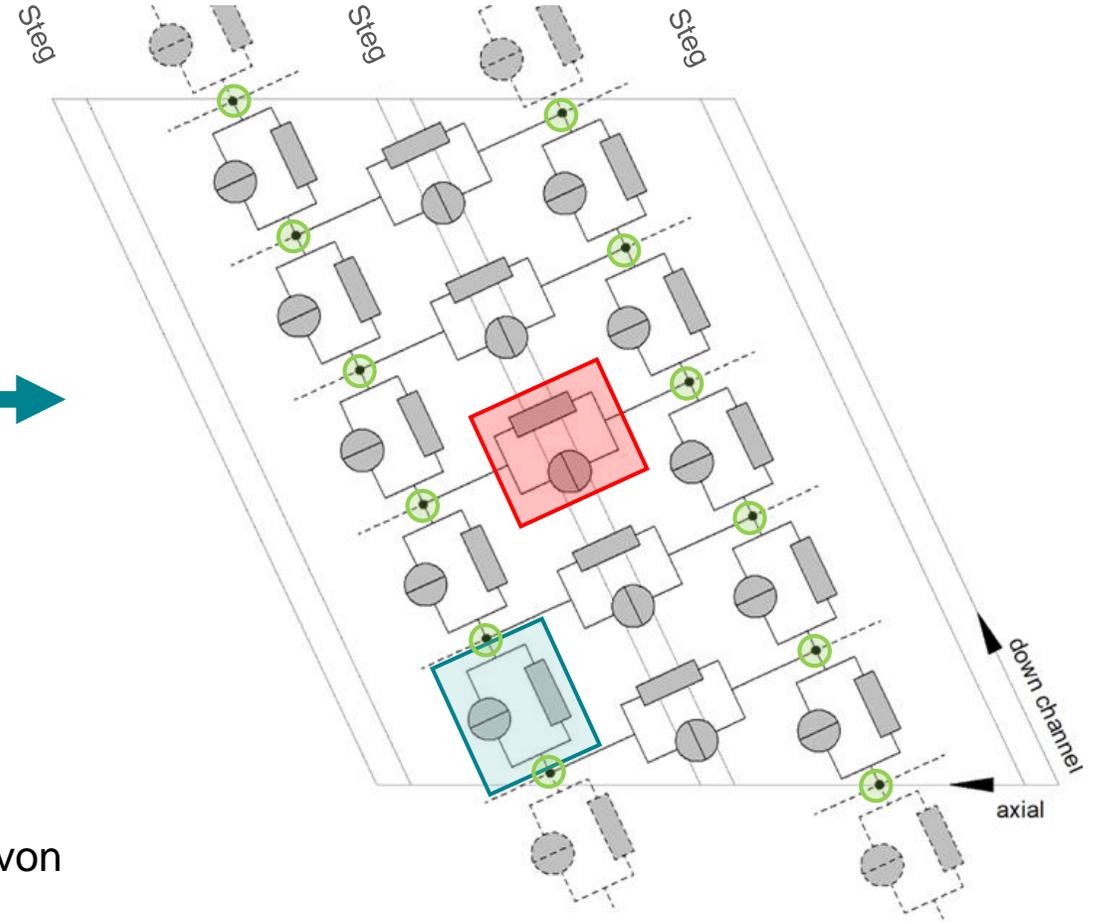
- Drehzahl
- Gegendruck
- Schmelztemperatur
- ...

Netzwerktheorie

3-Zonen Schnecke



Abgewickelte Ansicht

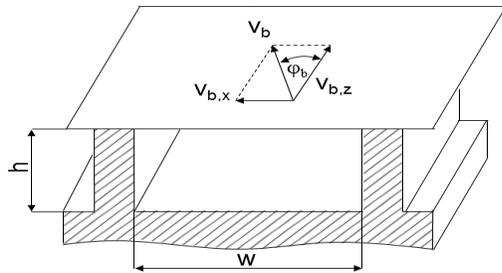


- + Unterteilung in geometrisch einfachere Elemente
- + Ausnutzung von Analogien aus der Elektronik
- + Einsatz von analytischen Gleichungen zur Beschreibung von Druck, Ausstoß und Temperatur

Hybride Modellierung: Vorgehensweise

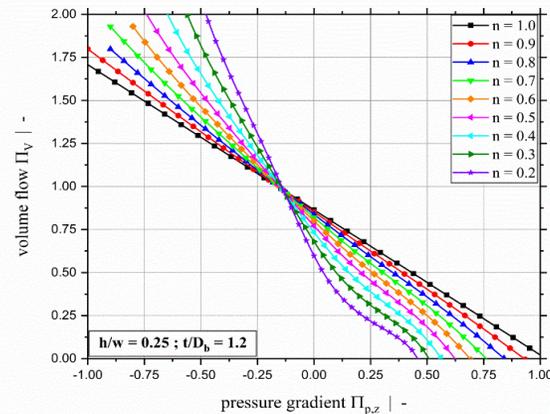
Analytische Modellierung

- Mathematisch-physikalische Problembeschreibung
- Herleitung der bestimmenden Systemgleichungen (Scherverdünnung)
- Ermittlungen der unabhängigen Einflussgrößen



Numerische Modellierung

- Lösung von über 130.000 physikalisch unabhängigen Setups
- Zielgrößen: Durchsatz und Dissipation



Datenbasierende Modellierung

- Datenanalyse mit Hilfe der numerischen Ergebnisse
- Einsatz von symbolischer Regression und genetischer Programmierung
- Ermittlung von analytischen Regressionsmodellen

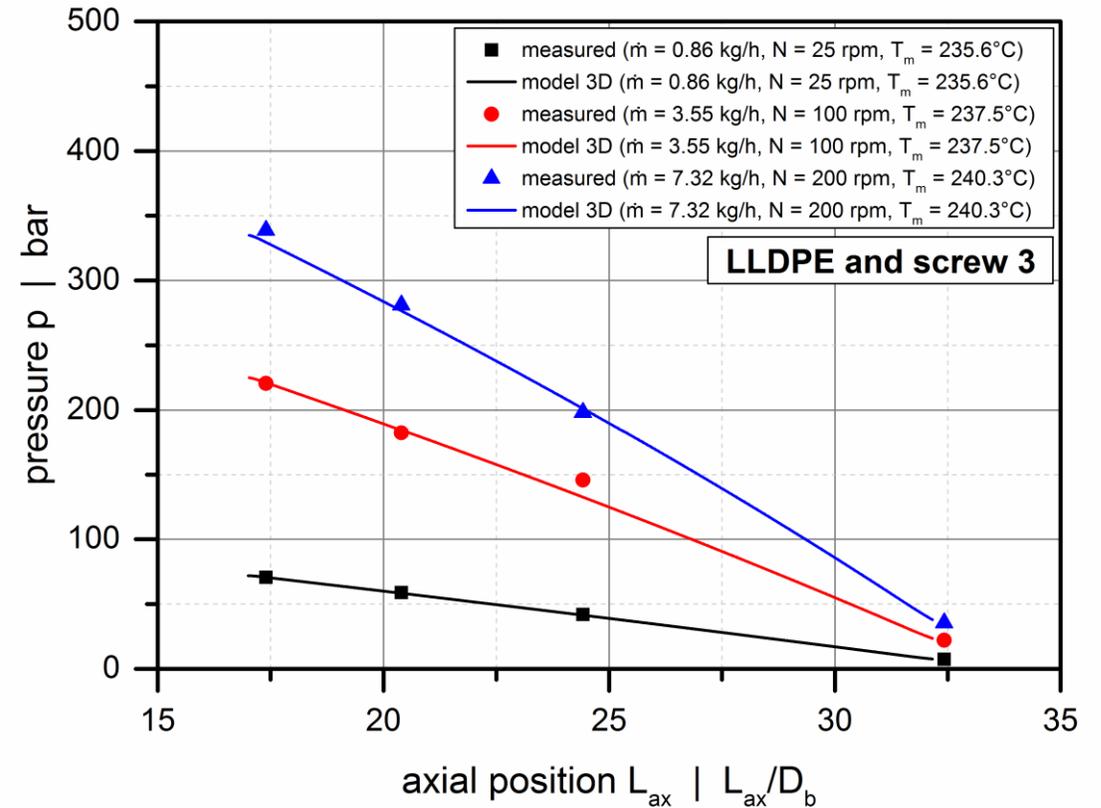
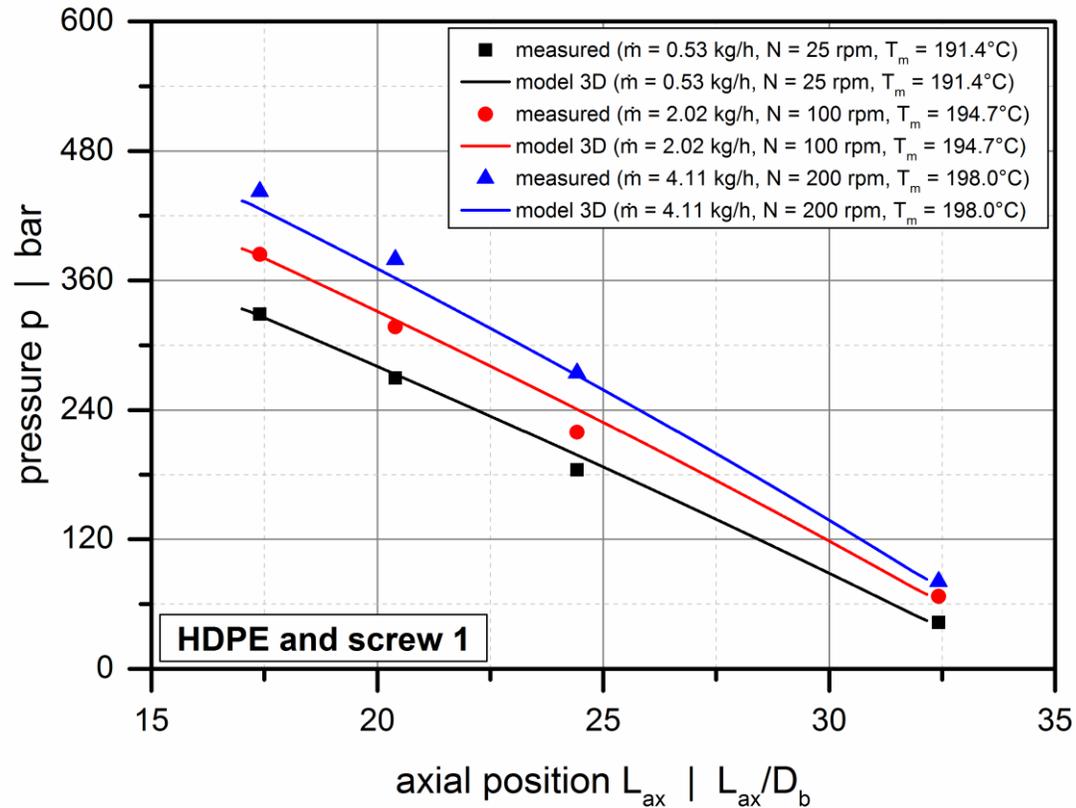
$$\Pi_V \left(\frac{h}{w}, \frac{t}{D_b}, n, \Pi_{p,z} \right) = \frac{A_1 A_2}{A_{13}} \left(A_3 + A_4 + \frac{A_5 A_6}{A_7} + \frac{A_8 + A_9}{A_{10} + A_{11} / A_{12}} \right) + A_{14}$$

$$\Pi_Q \left(\frac{h}{w}, \frac{t}{D_b}, n, \Pi_{p,z} \right) = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + \frac{1}{B_5 + B_6 + B_7}$$

$$\Pi_Q \left(\frac{h}{w}, \frac{t}{D_b}, n, \Pi_V \right) = C_1 + \frac{C_2 + C_3 + C_4 (C_5 + C_6)}{C_7}$$

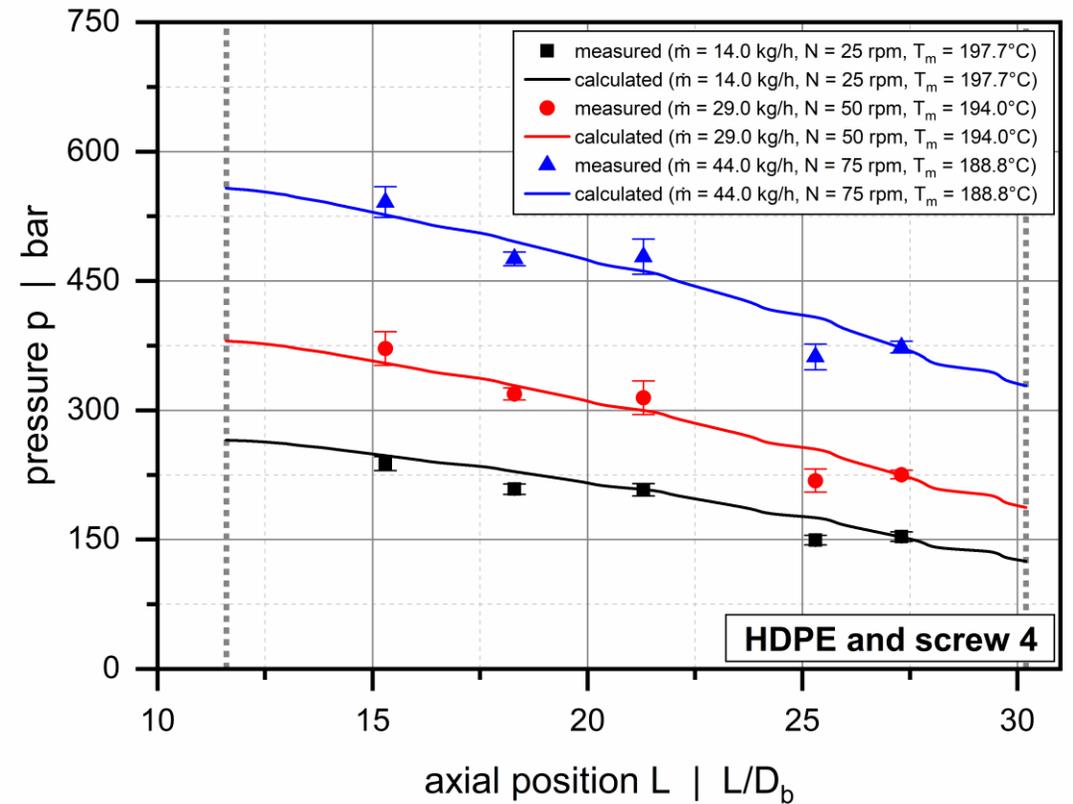
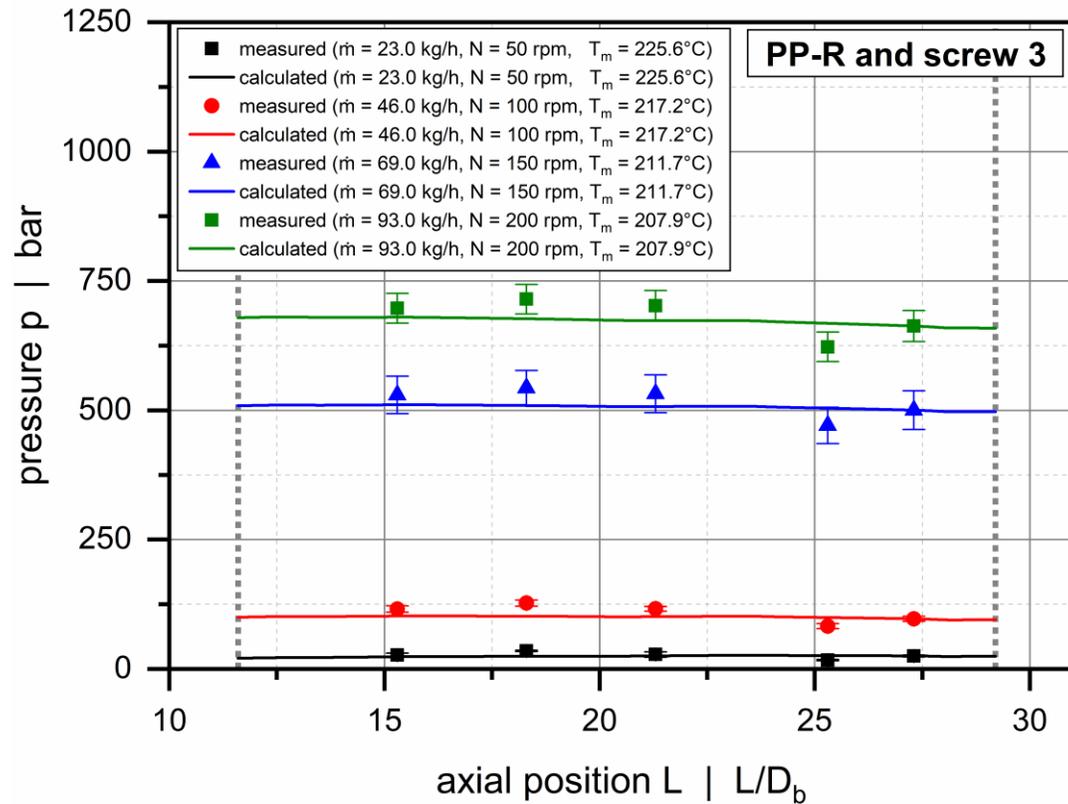
Ergebnisse 1

3-Zonen Schnecke: Druckprofile aus Experiment und Simulation



Ergebnisse 2

Double-Wave Schnecke: Druckprofile aus Experiment und Simulation



Inhalt

- Konzept eines digitalen Zwillings
- Messtechnik in der Kunststoffverarbeitung
- Modellbildung: Hybride Modellierung
- Fazit

Fazit

- Ein digitaler Zwilling besteht aus drei wesentlichen Komponenten: (i) realer Prozess, (ii) Modell und (iii) Verbindung zwischen realer und virtueller Welt
- Die Bildung eines digitalen Zwillings erfordert Fachwissen u.a. in den Disziplinen Messtechnik und Prozessmodellierung
- Digitale Zwillinge steigern die Effizienz von Prozessen auf mehreren Ebenen
- Die hybride Modellbildung eröffnet neue Möglichkeiten, um schnelle und robuste Prozessmodelle zu entwickeln



Vielen Dank!



**JOHANNES KEPLER
UNIVERSITÄT LINZ**
Altenberger Straße 69
4040 Linz, Österreich
jku.at