# INDUSTRIE 4.0 IM PRESSWERK

Welf-Guntram Drossel, Wolfgang Zorn, Peter Müller, Arvid Hellmich

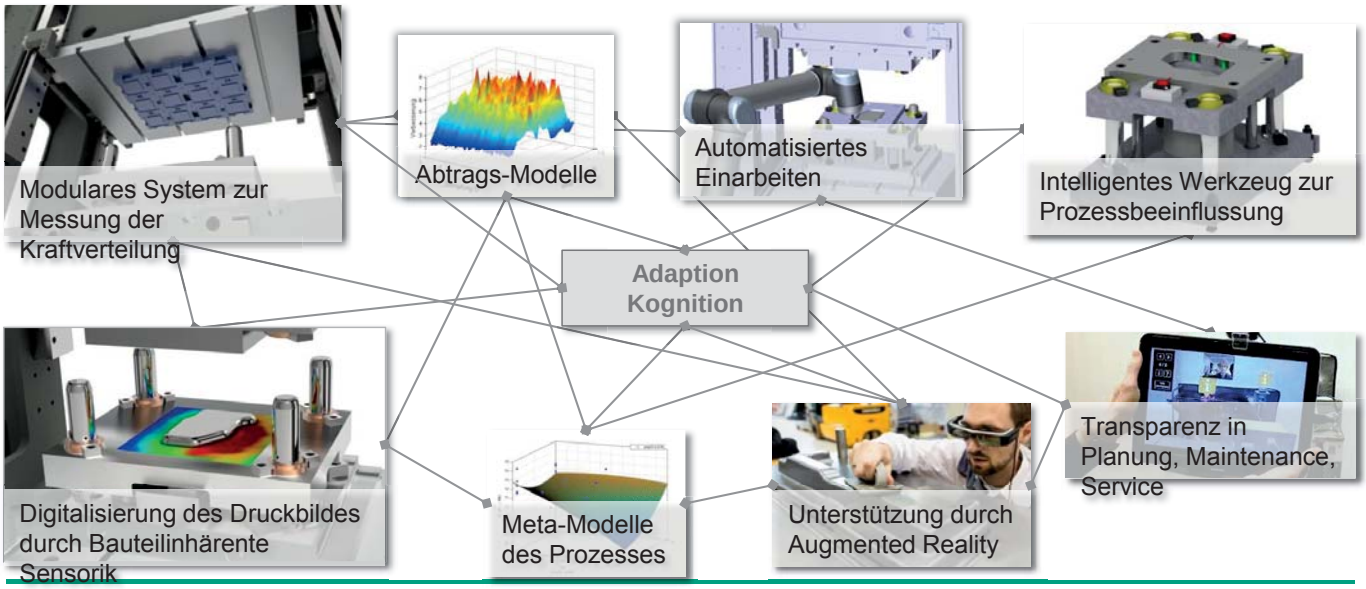
Fraunhofer IWU

19. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar, 04. Dezember 2017, Dresden

© Fraunhofer IWU
1

Vision

## Industrie 4.0 in der Umformtechnik | Potential




© Fraunhofer IWU
2

Fraunhofer IWU

# AGENDA

## AGENDA

01 Sensorik zur Zustandserfassung
Beispiel: Modulares Messsystem zur Druckbilderfassung

02 Digitalisierung
Beispiel: Modellbasierte Baugrößenskalierung & Presswerk 4.0

03 Aktorik zur Prozessoptimierung
Beispiel: Umformwerkzeug mit Flanscheinzugsregelung

04 Adaption / Kognition
Bedarfsgerechte Produktion individualisierter Produkte

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

# AGENDA

## AGENDA

01 Sensorik zur Zustandserfassung
Beispiel: Modulares Messsystem zur Druckbilderfassung

02 Digitalisierung
Beispiel: Modellbasierte Baugrößenskalierung & Presswerk 4.0

03 Aktorik zur Prozessoptimierung
Beispiel: Umformwerkzeug mit Flanscheinzugsregelung

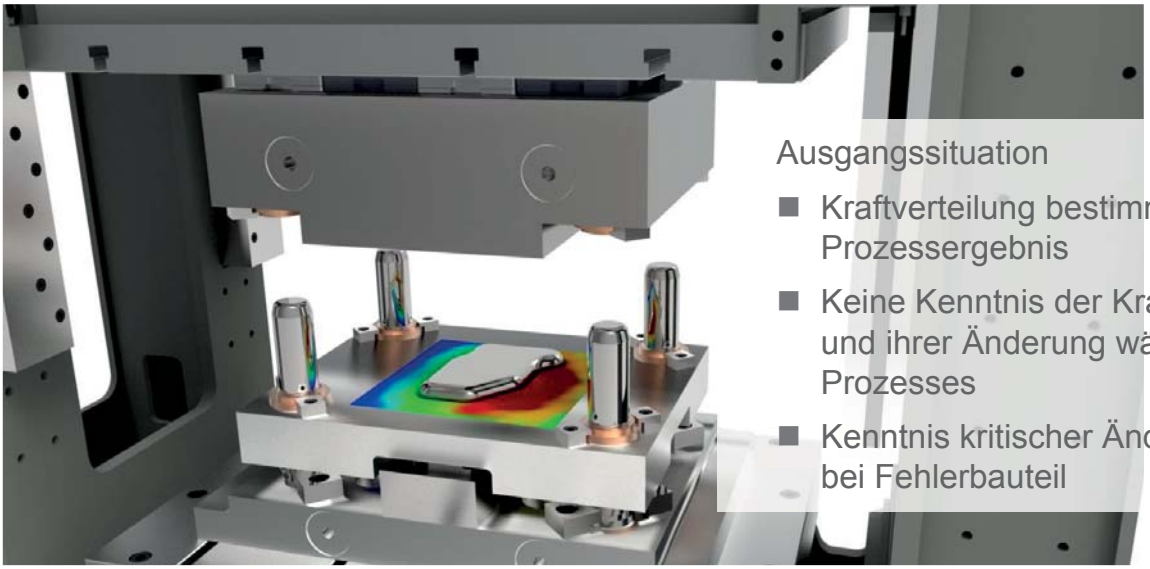
04 Adaption / Kognition
Bedarfsgerechte Produktion individualisierter Produkte

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Sensorik

## Modulares System zur Messung der Kraftverteilung



Ausgangssituation

- Kraftverteilung bestimmt Prozessergebnis
- Keine Kenntnis der Kraftverteilung und ihrer Änderung während des Prozesses
- Kenntnis kritischer Änderungen erst bei Fehlerbauteil

© Fraunhofer IWU

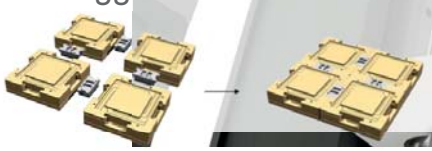
Fraunhofer IWU

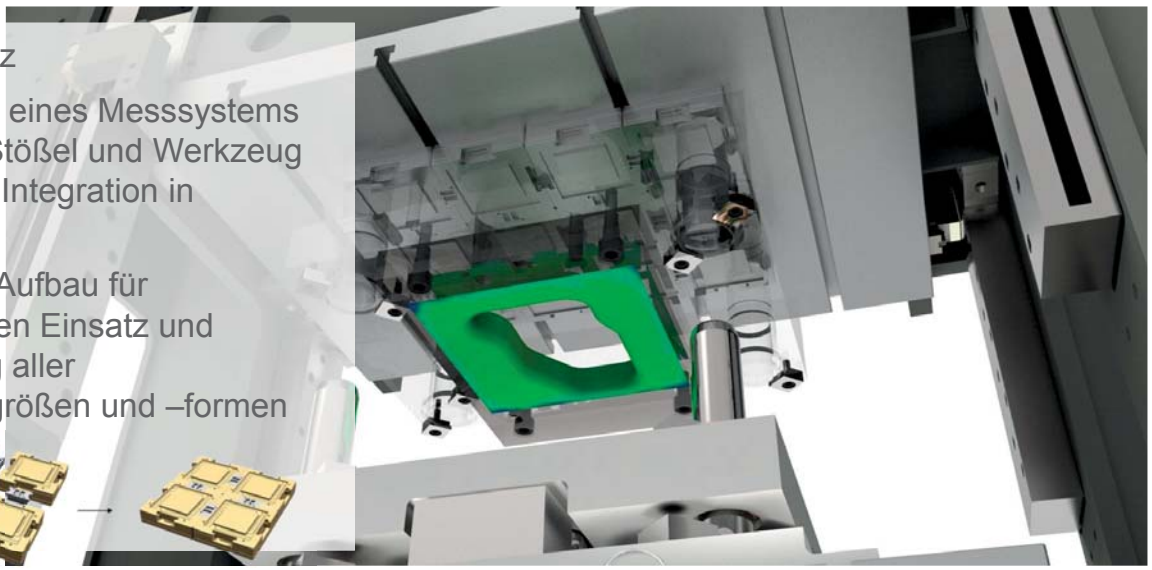
Sensorik

## Modulares System zur Messung der Kraftverteilung

Lösungsansatz

- Anordnung eines Messsystems zwischen Stößel und Werkzeug (alternativ: Integration in Werkzeug)
- Modularer Aufbau für hochflexiblen Einsatz und Abdeckung aller Werkzeuggrößen und –formen





© Fraunhofer IWU

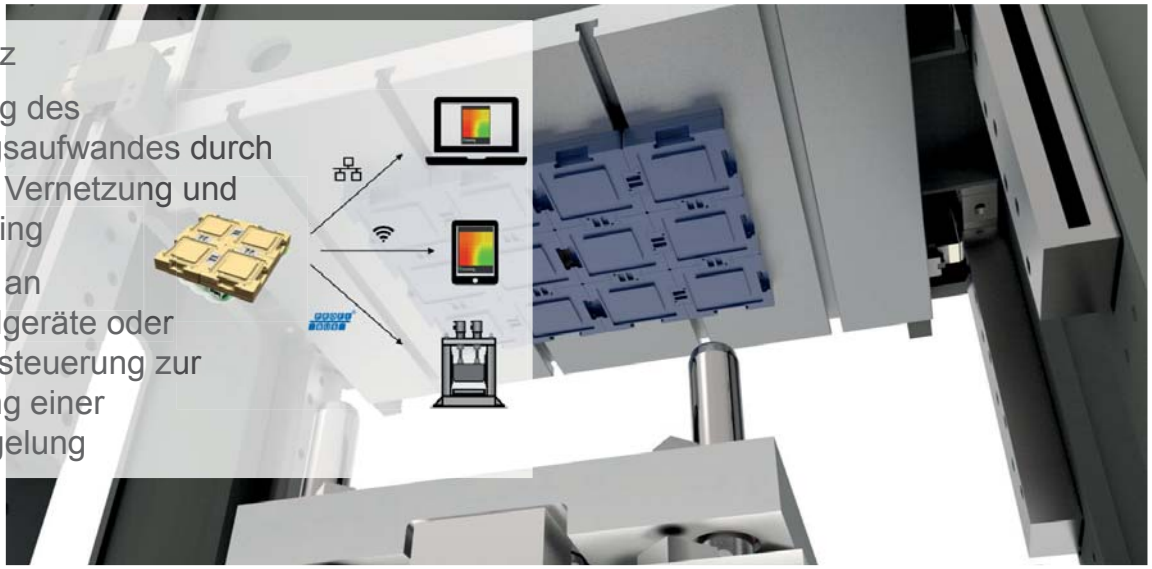
Fraunhofer IWU

Sensorik

## Modulares System zur Messung der Kraftverteilung

Lösungsansatz

- Minimierung des Einrichtungsaufwandes durch intelligente Vernetzung und Auto-Mapping
- Anbindung an mobile Endgeräte oder Maschinensteuerung zur Realisierung einer Prozessregelung

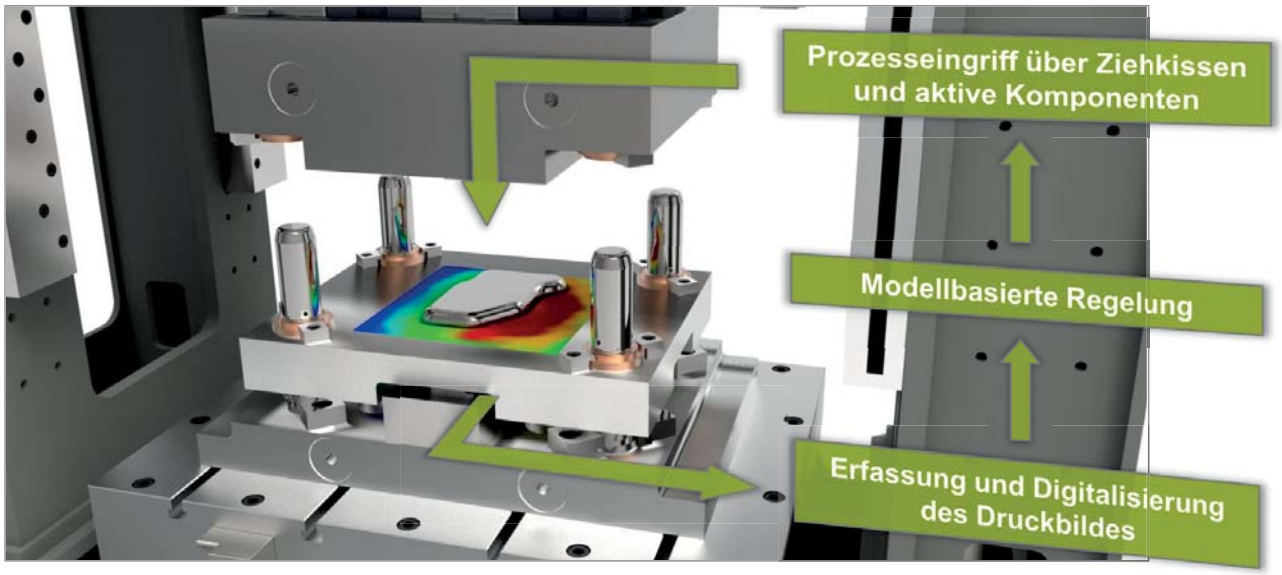


© Fraunhofer IWU


Fraunhofer IWU

Sensorik

## Modulares System zur Messung der Kraftverteilung

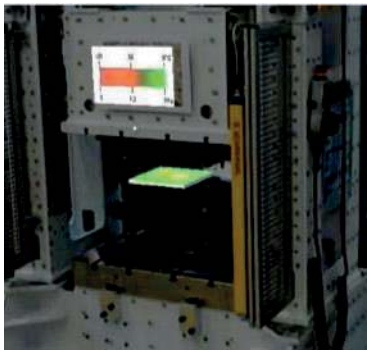


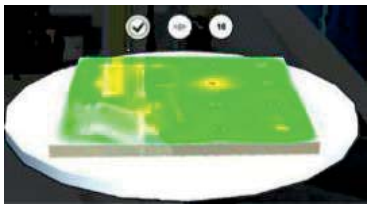

© Fraunhofer IWU


Fraunhofer IWU

Sensorik

## Visualisierung des Druckbildes durch AR-Technik





© Fraunhofer IWU


Fraunhofer IWU

# AGENDA

AGENDA

01 Sensorik zur Zustandserfassung
Beispiel: Modulares Messsystem zur Druckbilderfassung

02 Digitalisierung
Beispiel: Modellbasierte Baugrößenskalierung & Presswerk 4.0

03 Aktorik zur Prozessoptimierung
Beispiel: Umformwerkzeug mit Flanscheinzugsregelung

04 Adaption / Kognition
Bedarfsgerechte Produktion individualisierter Produkte

© Fraunhofer IWU


Fraunhofer IWU

Digitalisierung

## Digitaler Zwilling | Modellbasierte Baugrößenskalierung

### Motivation

- Baureihenanalyse basierend auf digitalen Zwillingen
- Reglerauslegung - schnelle Parametrierung für unterschiedliche Baugrößen
- Skalierung dynamischer Presseneigenschaften
- Beispiel
  - Kenntnis reduzierter Modelle/Matrizen aus Modellordnungsreduktion des Gestells
  - Skalierung und damit schnelle Bewertung unterschiedlicher Antriebskonzepte für unterschiedliche Baugrößen (Oberflur-/Unterflurantrieb)
- Basis für Simulationsmodelle zur Prozessoptimierung

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Digitalisierung

## Digitaler Zwilling | Modellbasierte Baugrößenskalierung

### Herausforderung

- Einheitliche Skalierung technisch nicht für alle Komponenten realisierbar

### Ansatz

- Anwendung von Ähnlichkeitsprinzipien für unterschiedliche physikalische Bereiche (Mechanik, Wärmelehre, Akustik etc.)
- Dynamik
  - dynamische Eigenschaften eines Systems charakterisierbar durch dessen natürliche Eigenschaften Eigenfrequenzen, Eigenschwingformen und Dämpfung
  - basieren auf Wellenausbreitung
  - Ähnlichkeitsprinzipien bekannt

© Fraunhofer IWU

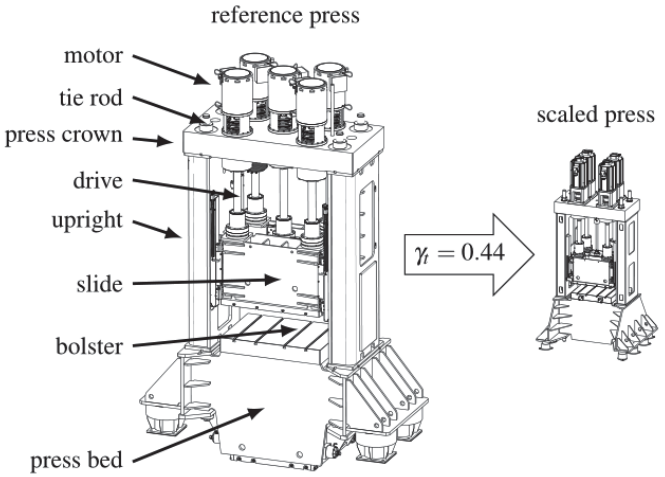
Fraunhofer IWU

Digitalisierung

# Digitaler Zwilling | Modellbasierte Baugrößenskalierung

## Vorgehen

- Durchführung von experimentellen Modalanalysen (EMA) an Referenzpresse und skalierter Presse
- Bestimmung der Modalparameter für beide Pressen aus erfassten Übertragungs-funktionen (FRFs) mittels curve fitting
- Anwendung von modalen Korrelations-kriterien (NRFD, MAC, CoMAC, CMD) zur Ermittlung gleicher Moden
- Ableitung des Skalierungsfaktors aus den Eigenwerten und Vergleich mit theoretischem Wert $\gamma_t$




© Fraunhofer IWU

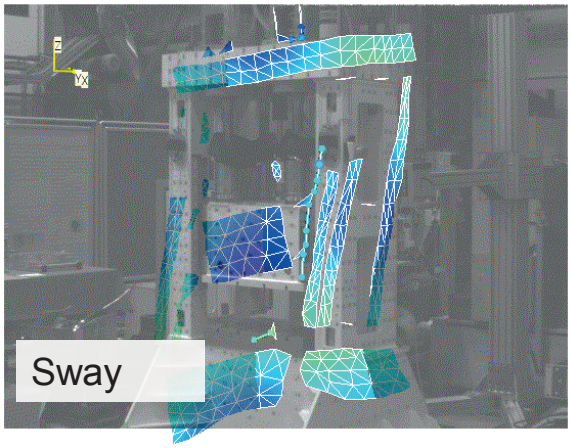
Fraunhofer IWU

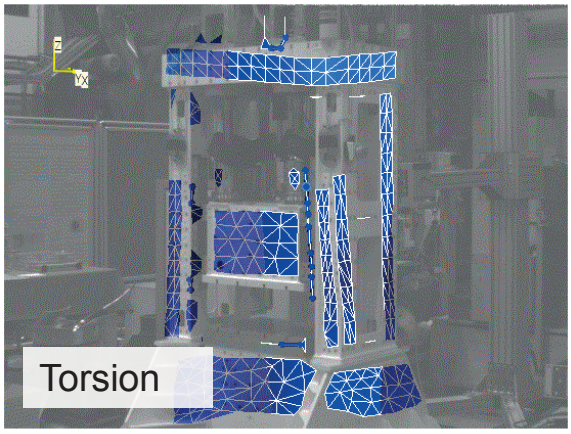
Digitalisierung

# Digitaler Zwilling | Modellbasierte Baugrößenskalierung

## EMA für Referenzpresse und skalierter Presse

- Beispielschwingformen aus LSV-Messung




© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Digitalisierung

# Digitaler Zwilling | Modellbasierte Baugrößenskalierung

## Auswertung in Bezug auf dyn. Skalierbarkeit

- Ermittlung des theoretischen Skalierungsfaktors unter Berücksichtigung der Masseanteile
- Hergeleiteter Zusammenhang auf Basis Bewegungs-DGL $\omega_2 = \frac{1}{\gamma} \cdot \omega_1$
- für $\omega = 2\pi \cdot f$ folgt $f_2 = \frac{1}{\gamma} \cdot f_1 \Longrightarrow f_1 = \gamma \cdot f_2$
- Darstellung der EW/EF des Systems 1 (Referenzpresse) in Abhängigkeit der EW/EF des Systems 2 (skalierte Presse)
  - ➢ Skalierungsfaktor zwischen beiden realen Strukturen lässt sich direkt aus dem Anstieg der linearen Regressionsfunktion ablesen.

© Fraunhofer IWU

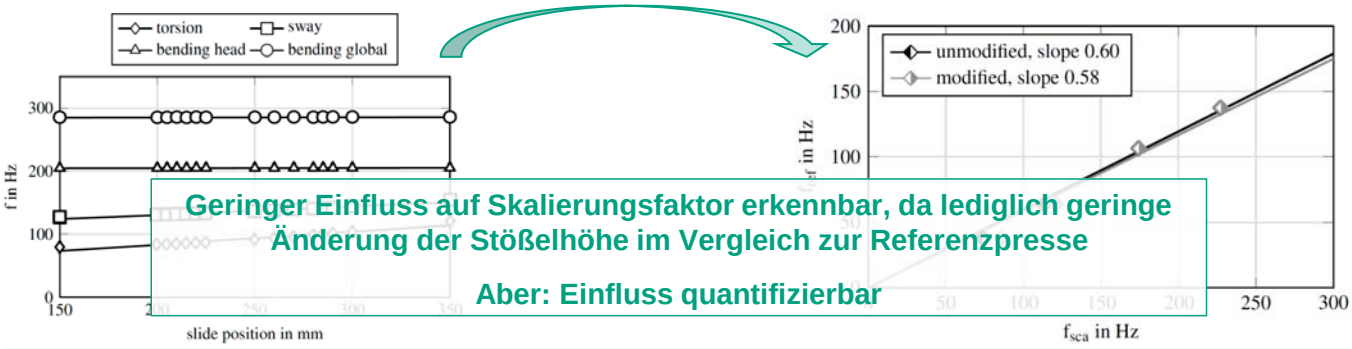
Fraunhofer IWU

Digitalisierung

# Digitaler Zwilling | Modellbasierte Baugrößenskalierung

## Einfluss der Stößelposition

- Ermittlung des Einflusses der Stößelposition (-höhe) auf Basis numerischer Modalanalyse (NMA, FE-basiert)
  - NMA für unterschiedliche Stößelhöhen → Interpolation zur Kompensation der Stößelposition (von 200 auf 260 mm, relativ zur Referenzpresse)




**Geringer Einfluss auf Skalierungsfaktor erkennbar, da lediglich geringe Änderung der Stößelhöhe im Vergleich zur Referenzpresse**

**Aber: Einfluss quantifizierbar**

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

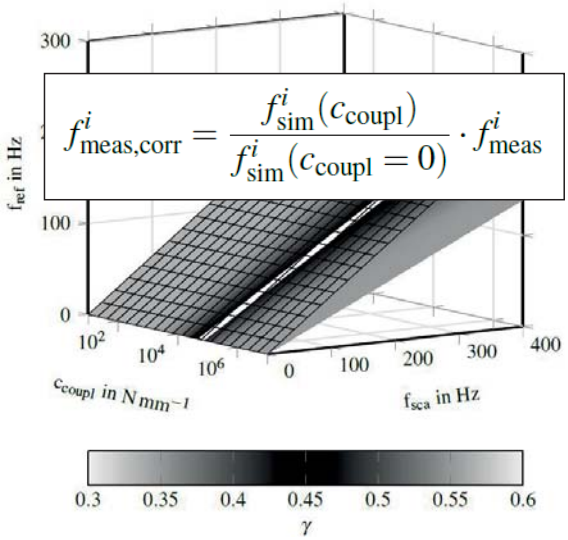
Digitalisierung

# Digitaler Zwilling | Modellbasierte Baugrößenskalierung

## Einfluss der Koppelsteifigkeit

- Sensitivitätsanalyse mittels NMA unter Annahmen (bezogen auf Steifigkeitselemente)
  - symmetrisch, linear, frequenzunabhängig
- Im Vergleich zur Stößelposition
  - Steifigkeiten nicht bekannt
- Berücksichtigung der Koppelsteifigkeit durch relative Änderung der EW/EF der Mode $i$

$$f^i_{\text{meas,corr}} = \frac{f^i_{\text{sim}}(c_{\text{coupl}})}{f^i_{\text{sim}}(c_{\text{coupl}} = 0)} \cdot f^i_{\text{meas}}$$




**Signifikanter Einfluss der Koppelsteifigkeit auf die Skalierung erkennbar**

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Digitalisierung

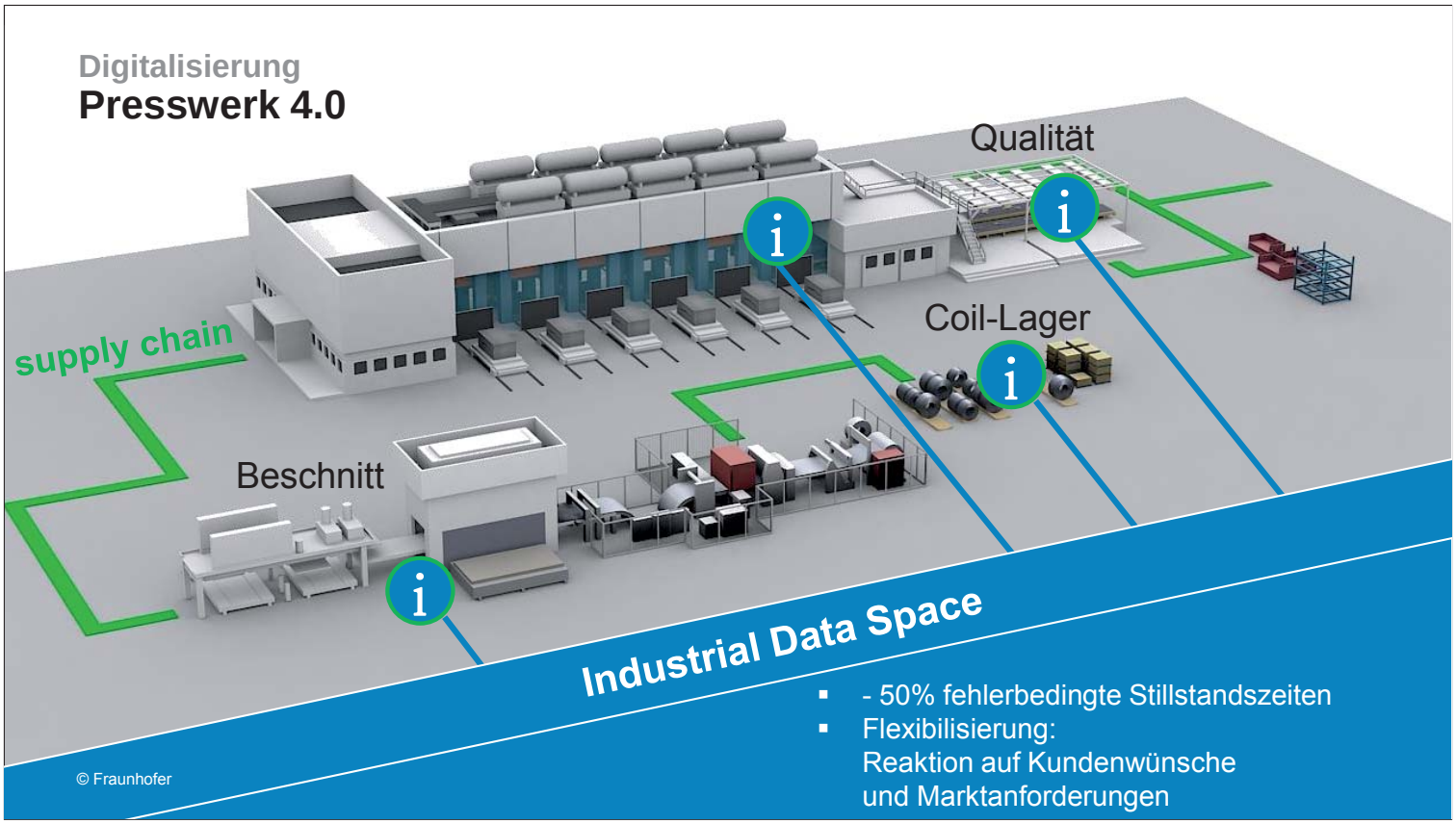
# Digitaler Zwilling | Modellbasierte Baugrößenskalierung

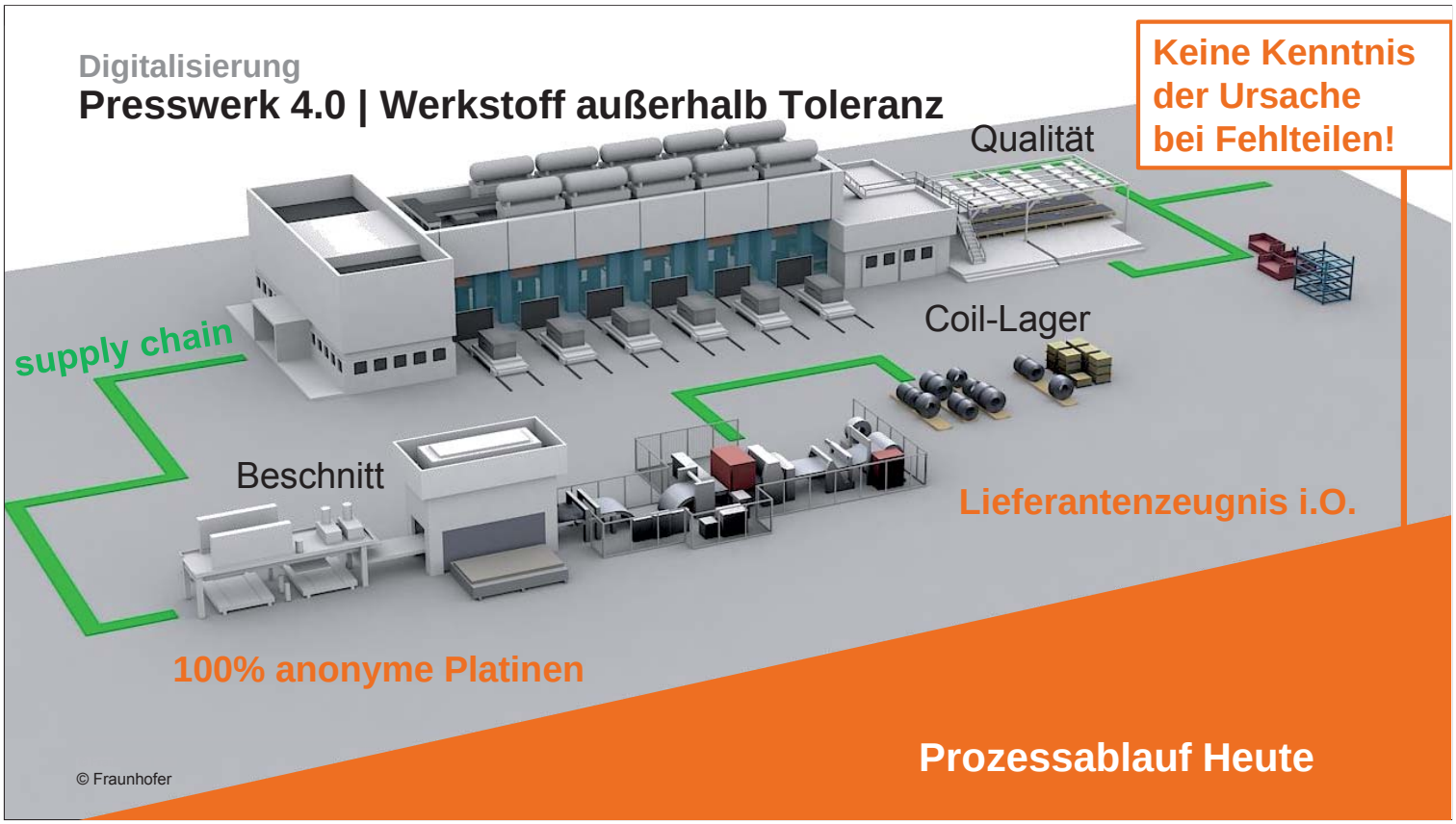
## Zusammenfassung

- Methode zur Ermittlung und Bewertung der dynamischen Skalierung auf Basis von Modalparametern
  - EV zur Bestimmung korrelierender Moden (auf Basis modaler Korrelationskriterien)
  - EF ähnlicher Schwingformen zur Ableitung des Skalierungsfaktors als Anstieg der Regressionsgeraden (aufgrund linearer Abhängigkeit)
- Aktuell noch keine Untersuchungen zur Dämpfung
- Dynamische Skalierbarkeit sehr sensitiv auf
  - Kopplungsbedingungen zwischen Stößel und Gestell/Führungsschienen
  - Änderungen in Massen- und Steifigkeitsverteilungen
  - Beispiel: Stößelposition → signifikante Änderung modaler Eigenschaften möglich

© Fraunhofer IWU

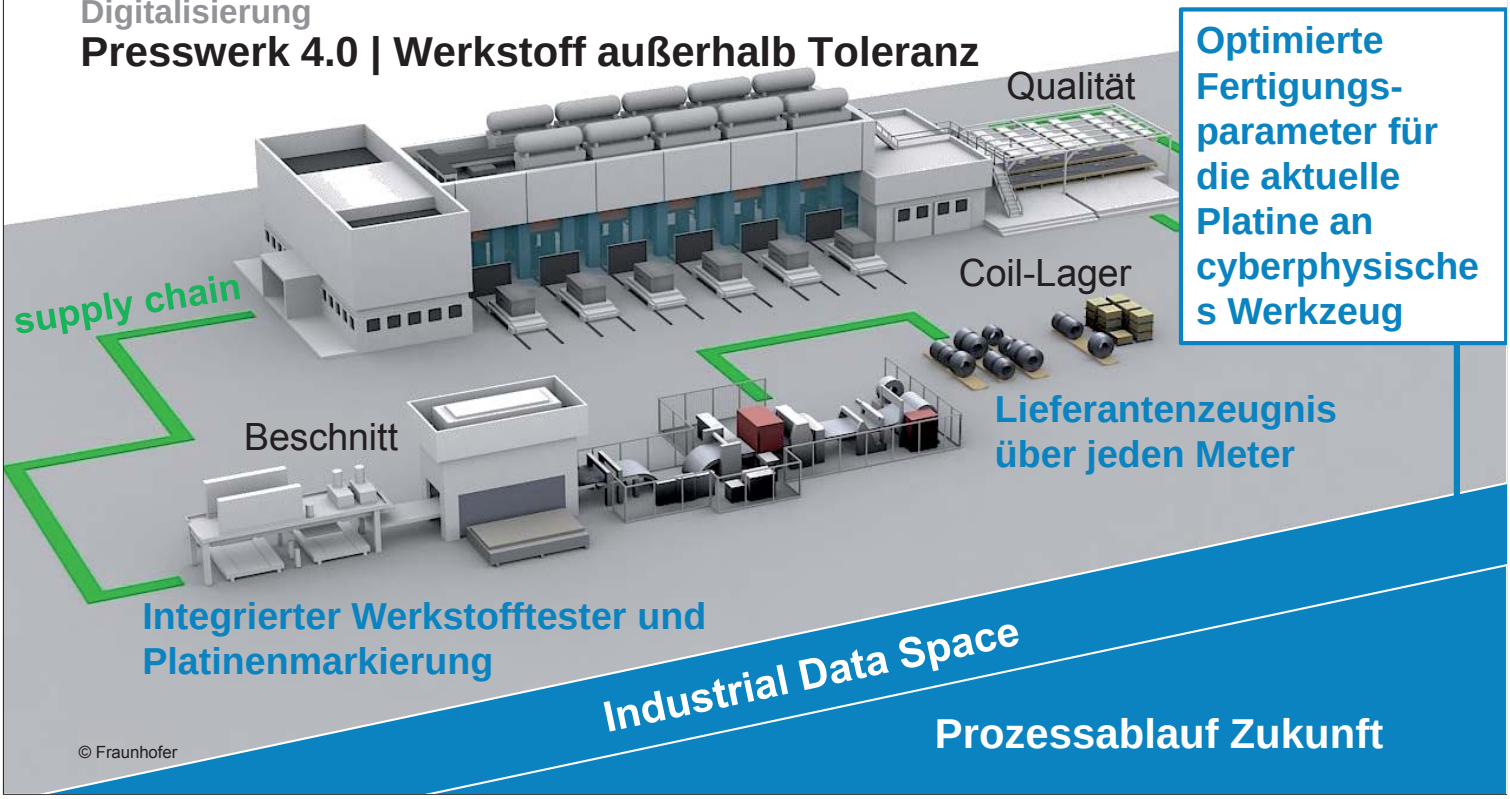
Fraunhofer IWU


Digitalisierung
Presswerk 4.0
Qualität
Coil-Lager
supply chain
Beschnitt
Industrial Data Space
- 50% fehlerbedingte Stillstandszeiten
Flexibilisierung:
Reaktion auf Kundenwünsche
und Marktanforderungen
© Fraunhofer


Digitalisierung
Presswerk 4.0 | Werkstoff außerhalb Toleranz
Keine Kenntnis der Ursache bei Fehlteilen!
Qualität
Coil-Lager
supply chain
Beschnitt
Lieferantenzeugnis i.O.
100% anonyme Platinen
Prozessablauf Heute
© Fraunhofer

Digitalisierung

## Presswerk 4.0 | Werkstoff außerhalb Toleranz




© Fraunhofer

# AGENDA

AGENDA

01 Sensorik zur Zustandserfassung
Beispiel: Modulares Messsystem zur Druckbilderfassung

02 Digitalisierung
Beispiel: Modellbasierte Baugrößenskalierung & Presswerk 4.0

03 Aktorik zur Prozessoptimierung
Beispiel: Umformwerkzeug mit Flanscheinzugsregelung

04 Adaption / Kognition
Bedarfsgerechte Produktion individualisierter Produkte

© Fraunhofer IWU
22

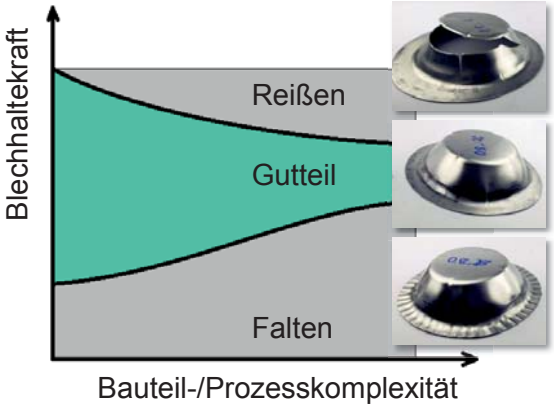
Fraunhofer IWU

Aktorik zur Prozessoptimierung

## Umformwerkzeug mit Flanscheinzugsregelung

### Ausgangssituation

- Kleineres Prozessfenster für stabilen Umformprozess aufgrund zunehmender Bauteilkomplexität und Einsatz schwer umformbarer Werkstoffe
- Sinkende Prozesssicherheit aufgrund schwankender Einflussgrößen




### Zielstellung

- Definierte Beeinflussung des Druckbildes im Tiefziehprozess durch Piezoaktorik
  - Zur Vergrößerung des Prozessfensters
  - Zur Steigerung der Prozesssicherheit

© Fraunhofer IWU

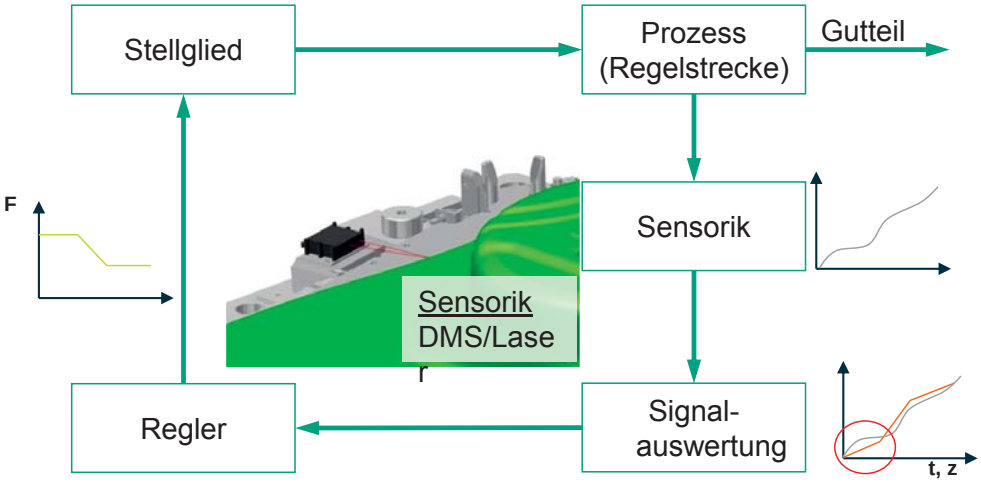
Fraunhofer IWU

Aktorik zur Prozessoptimierung

## Umformwerkzeug mit Flanscheinzugsregelung

Stellglied
Piezoaktoriken $F_{block}$=80kN
$S_{frei}$=30µm

Regler
Auslegung anhand simulativer und experimenteller Untersuchungen




© Fraunhofer IWU

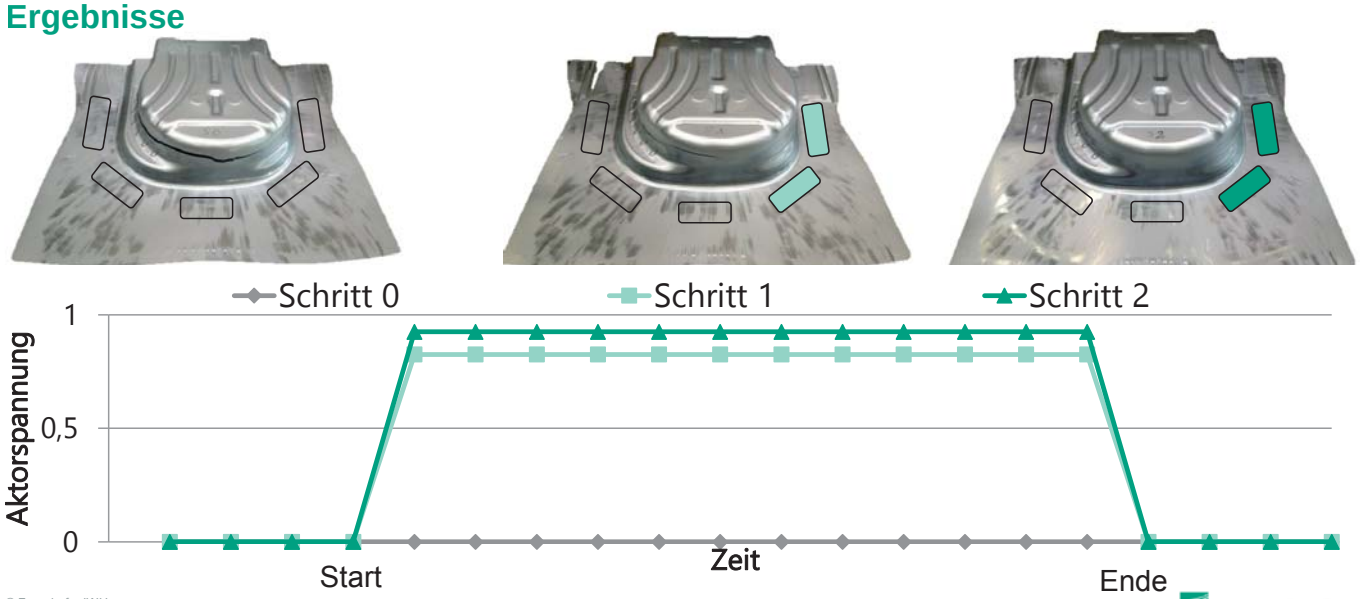

Quelle: Bäume, Zorn, Rupp, Drossel: Step by Step Control of a Deep Drawing Process with Piezoelectric Actuators in Serial Operation, INCFT 2015, Glasgow

Fraunhofer IWU

Aktorik zur Prozessoptimierung

## Umformwerkzeug mit Flanscheinzugsregelung

### Ergebnisse




Quelle: Bäume, Zorn, Rupp, Drossel: Step by Step Control of a Deep Drawing Process with Piezoelectric Actuators in Serial Operation, INCFT 2015, Glasgow

© Fraunhofer IWU


Fraunhofer IWU

# AGENDA

AGENDA

01 Sensorik zur Zustandserfassung
Beispiel: Modulares Messsystem zur Druckbilderfassung

02 Digitalisierung
Beispiel: Modellbasierte Baugrößenskalierung & Presswerk 4.0

03 Aktorik zur Prozessoptimierung
Beispiel: Umformwerkzeug mit Flanscheinzugsregelung

04 Adaption / Kognition
Bedarfsgerechte Produktion individualisierter Produkte

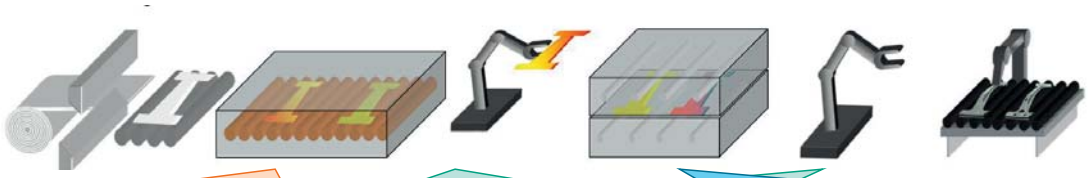
© Fraunhofer IWU


Fraunhofer IWU

Adaption / Kognition

## Machine Learning for Production (ML4P)

**Prozessschritte**



**Einflussgrößen**

| Erwärmung | Handling | Umformung |
|---|---|---|
| ■ Durchlaufzeit | ■ Handlingzeit | ■ Zuhaltekraft und –zeit |
| ■ Ofentemperatur | ■ Umgebungstemperatur | ■ Kühlleistung und Verteilung |
| ■ Erwärmungsprinzip | ■ Klemmung der Wst. | ■ WZ-Geometrie und -temperatur |

**Ziel**

**notwendig: Vernetzung und maschinelle Optimierung**

■ gezielte Vorgabe: u. a. Festigkeit, Werkstückgeometrie und vorhandene Ausdünnungen

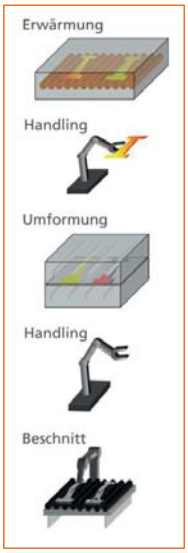
© Fraunhofer IWU


INSTITUT FÜR WERKZEUGMASCHINEN UND STEUERUNGSTECHNIK · TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN · Fraunhofer IWU

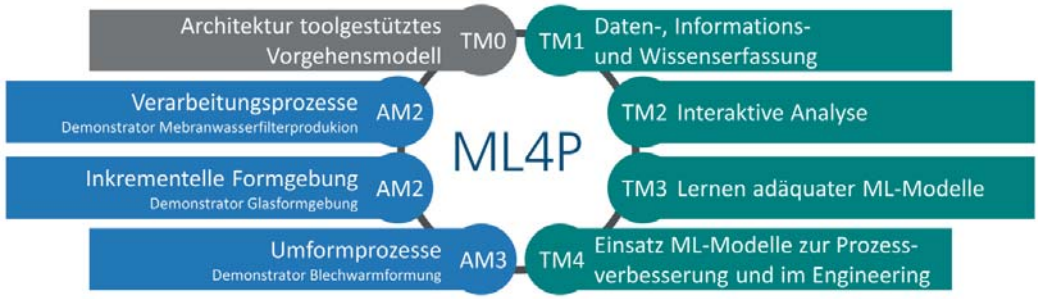
Adaption / Kognition

## Machine Learning for Production (ML4P)

### Optimierungspotenziale von Produktionsprozessen systematisch erschließen




**Projektstruktur**




**Maschinelles Lernen zur Prozesssteuerung**

| **Befähiger:** | **Aufgaben:** | **Ansätze:** |
|---|---|---|
| ■ Sensorintegration | ■ Datenformalisierung | ■ Multivalente Datennutzung |
| ■ IT & Vernetzung | ■ Multisensorfusion | ■ Semantische Datenbeschreibung |
| ■ Maschinelles Lernen | ■ Datenintegration | ■ Problembezogenes Lernverhalten |
| | | ■ Massiv-parallele Analyse |

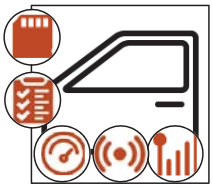
© Fraunhofer IWU


INSTITUT FÜR WERKZEUGMASCHINEN UND STEUERUNGSTECHNIK · TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN · Fraunhofer IWU

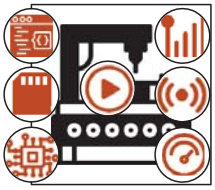
Adaption / Kognition

## Bedarfsgerechte Produktion individualisierter Produkte

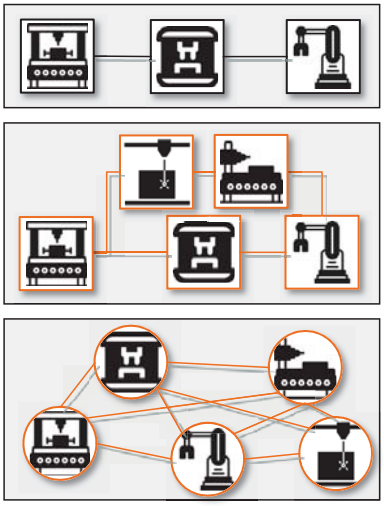
- Autonome Objekte
  - Identifizierbar, lokalisierbar
  - Kennen ihre Historie, Zustand und Plan



- Selbstoptimierende Anlagen
  - Wissen über Fähigkeiten, Zustand, Adaptionsmöglichkeiten
  - Eigenständiges Einstellen des optimalen Betriebspunktes



- Vernetzte Prozesse

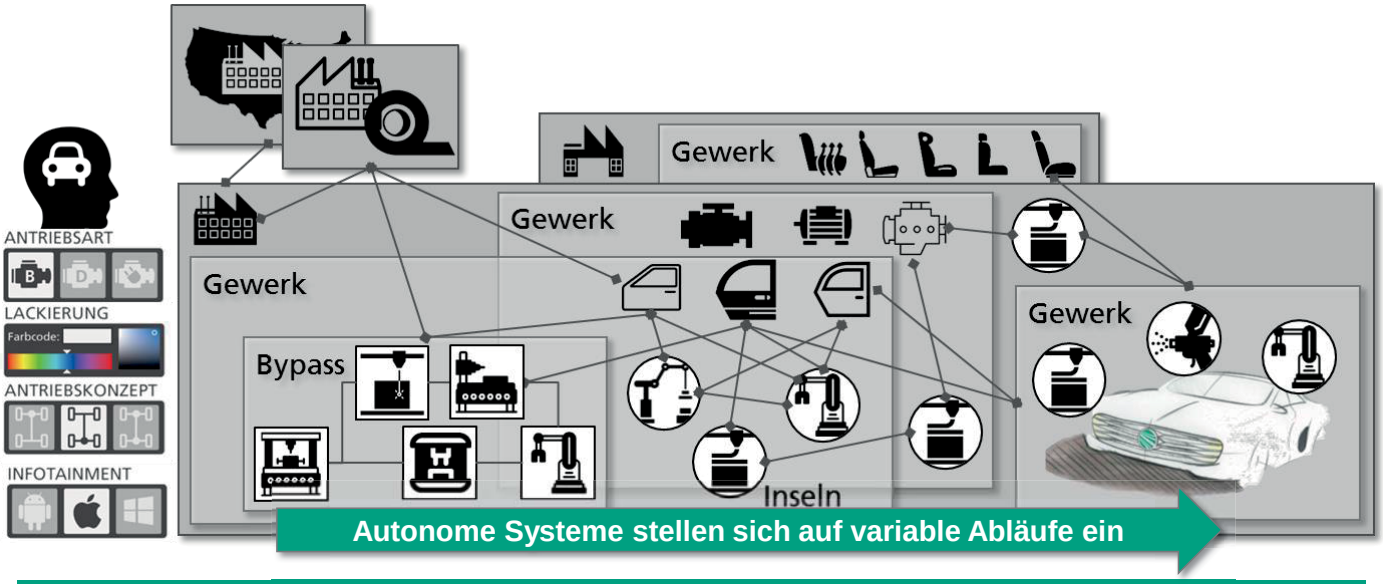


© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Adaption / Kognition

## Bedarfsgerechte Produktion individualisierter Produkte

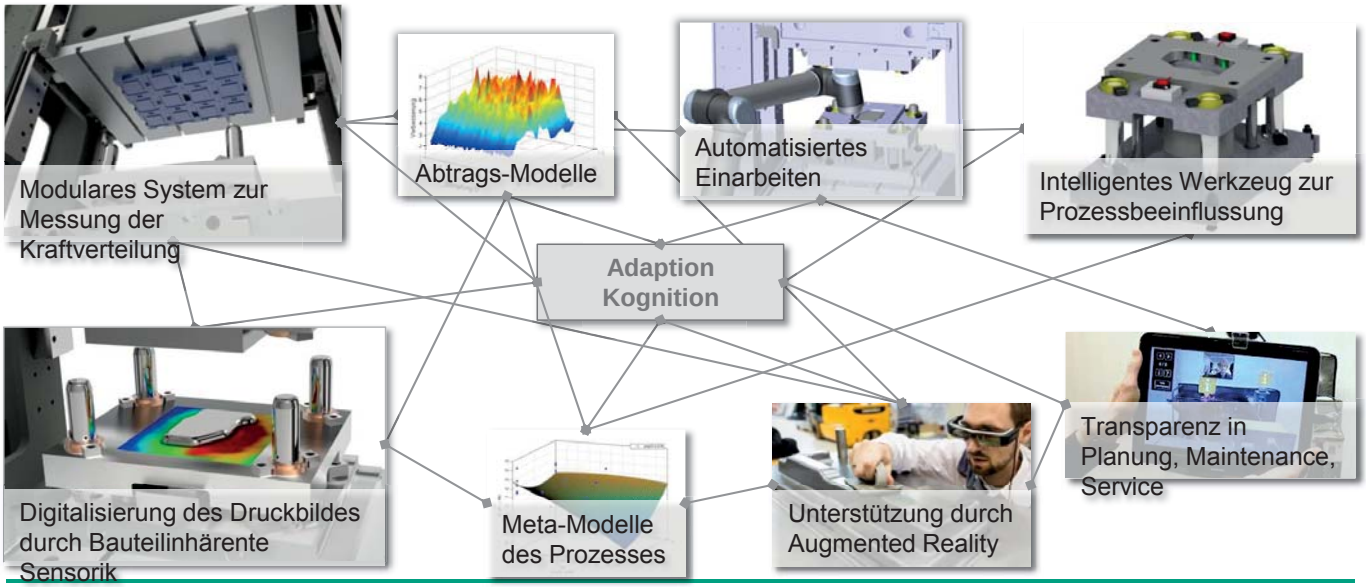



© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Adaption / Kognition

## Autonome Systeme stellen sich auf variable Abläufe ein




© Fraunhofer IWU
31

Fraunhofer IWU

# INDUSTRIE 4.0 IM PRESSWERK

Welf-Guntram Drossel, Wolfgang Zorn, Peter Müller, Arvid Hellmich

Fraunhofer IWU

19. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar, 04. Dezember 2017, Dresden

© Fraunhofer IWU
32