

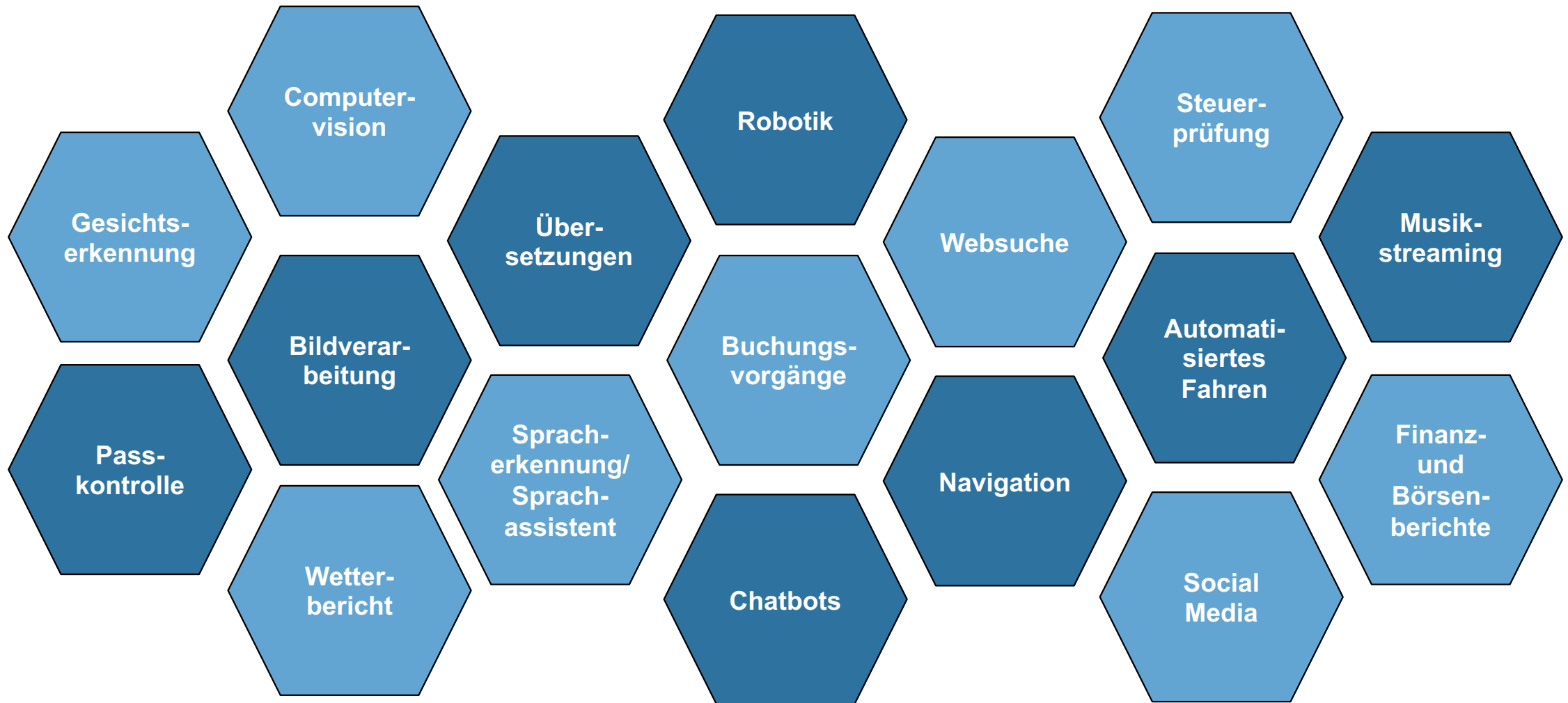


KI4KI – Potentiale der künstlichen Intelligenz für die Kunststoffindustrie

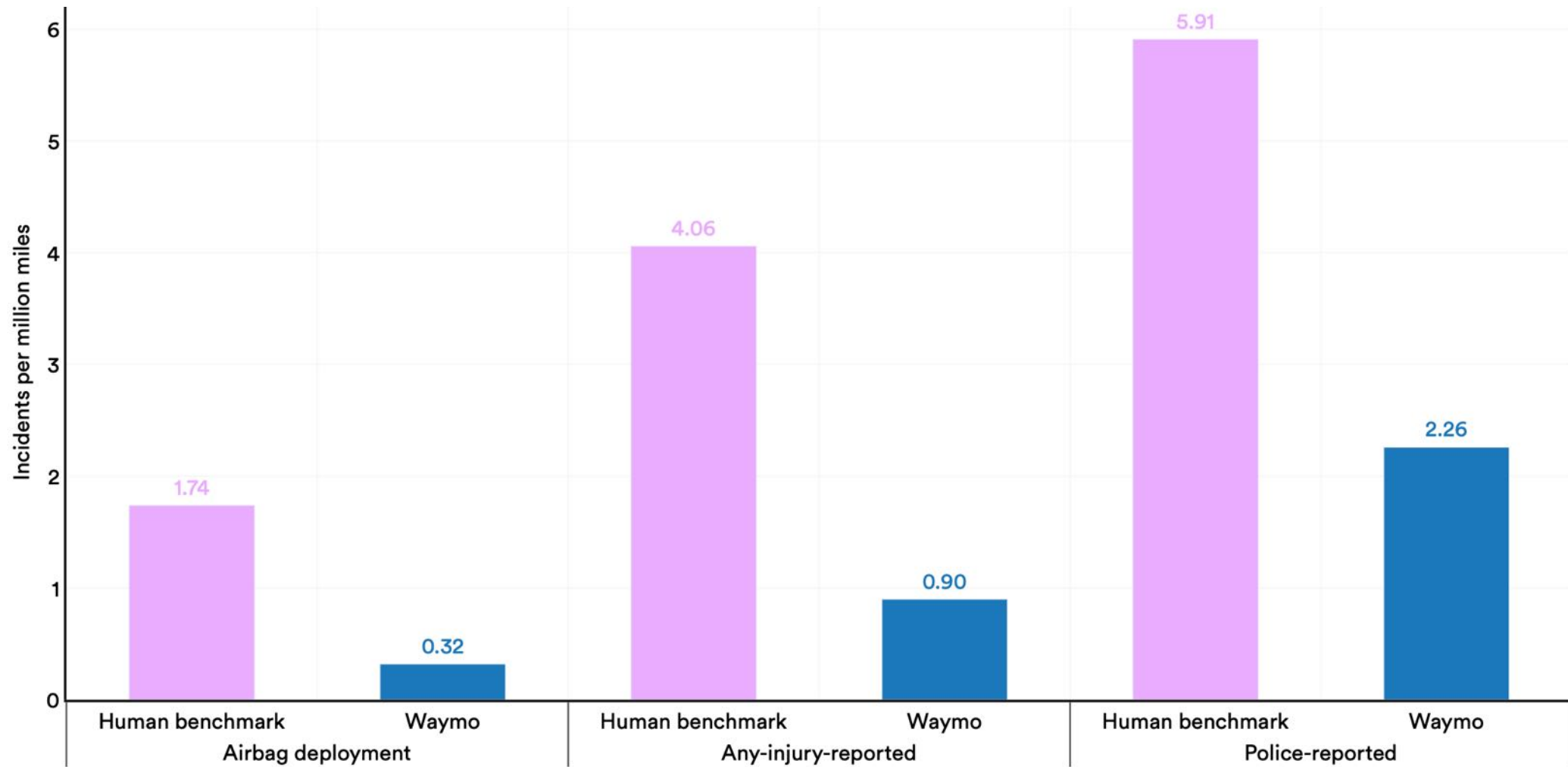
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann

Schneider Form Technologietag, Dettingen/ Teck, 05. Mai 2025

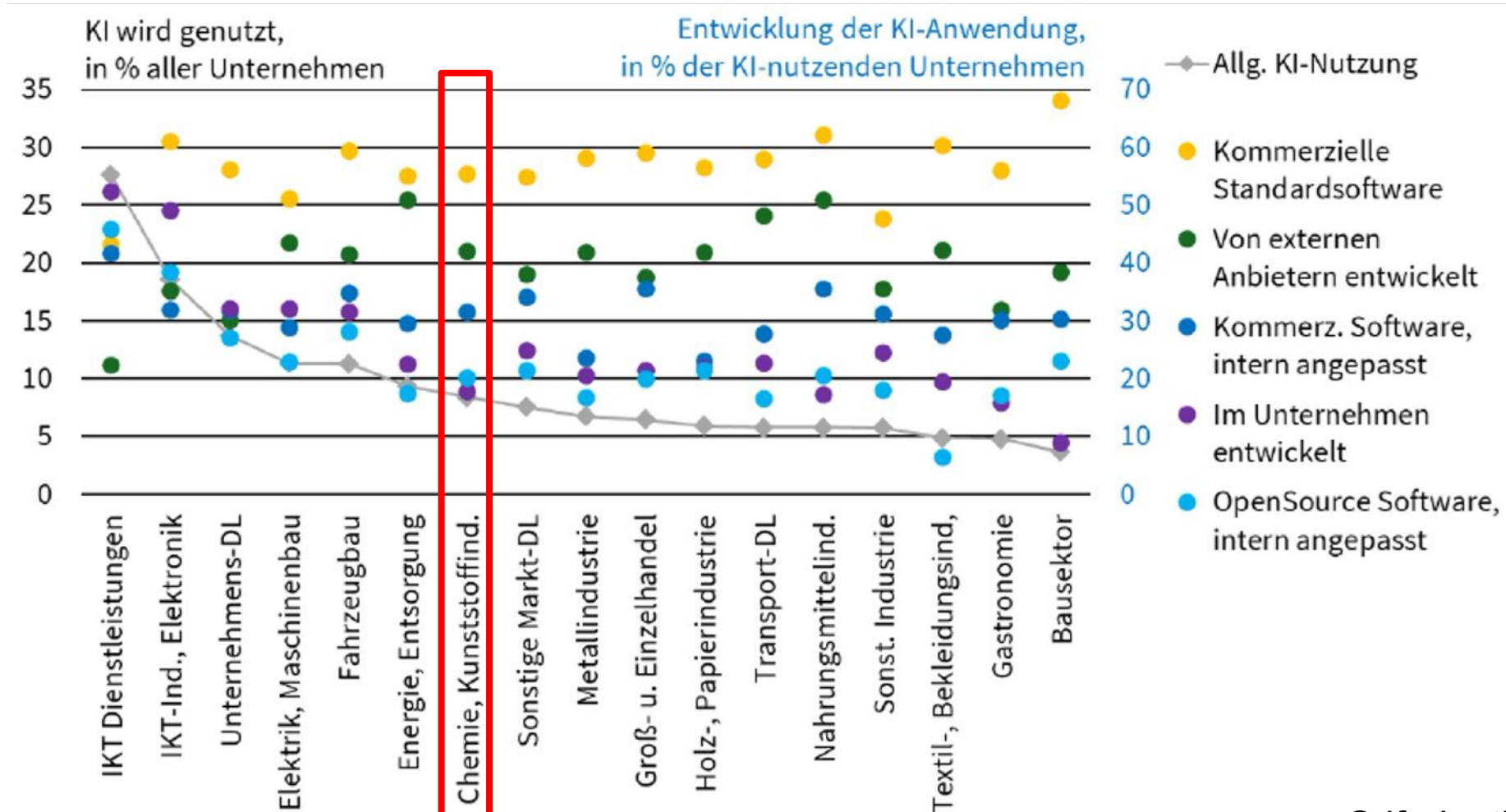
Künstliche Intelligenz ist überall im Einsatz



Waymo vs. Mensch in Phoenix und San Francisco



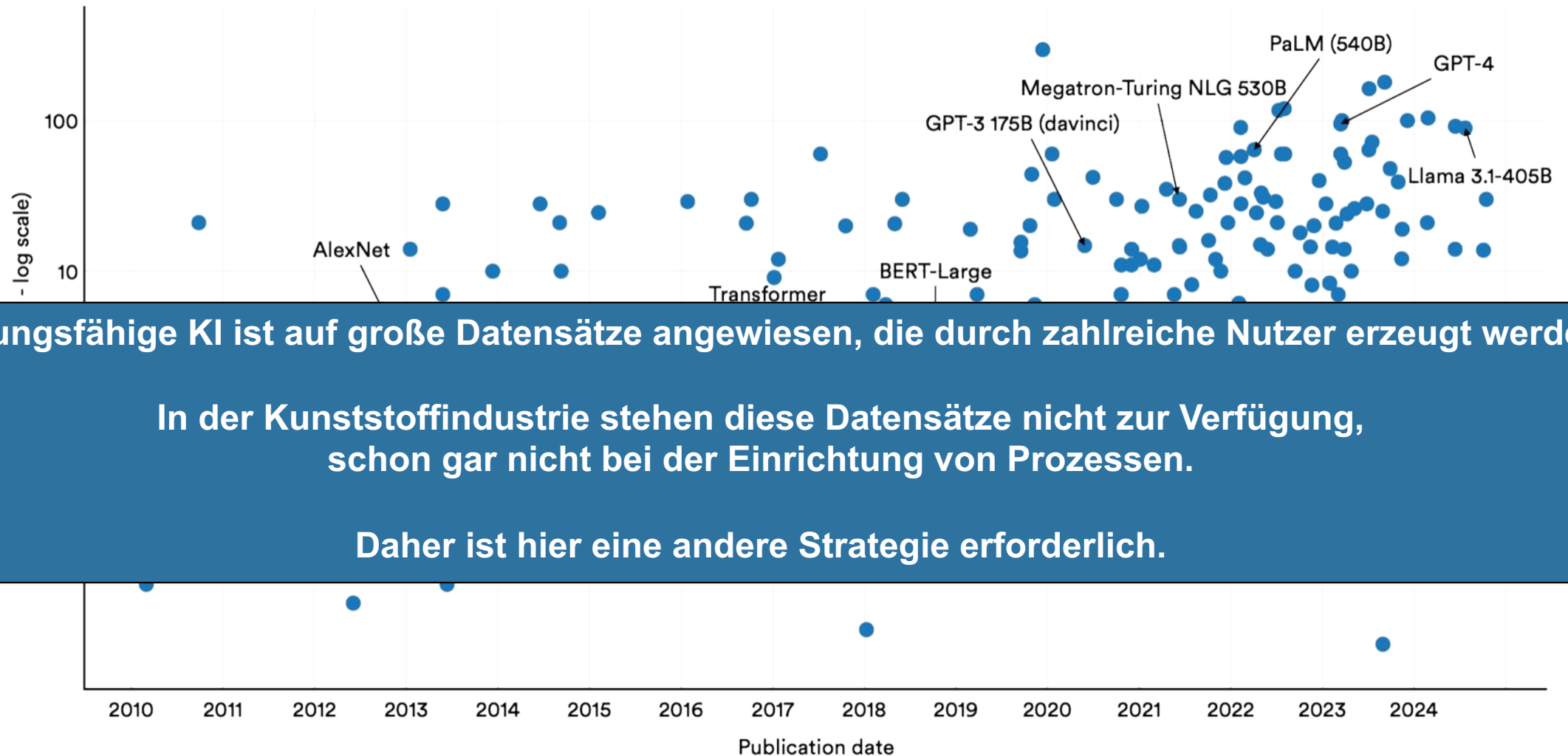
Entwicklung der KI-Anwendungen nach Branchen in der EU



Quelle: Eurostat; Berechnungen des ifo Instituts.

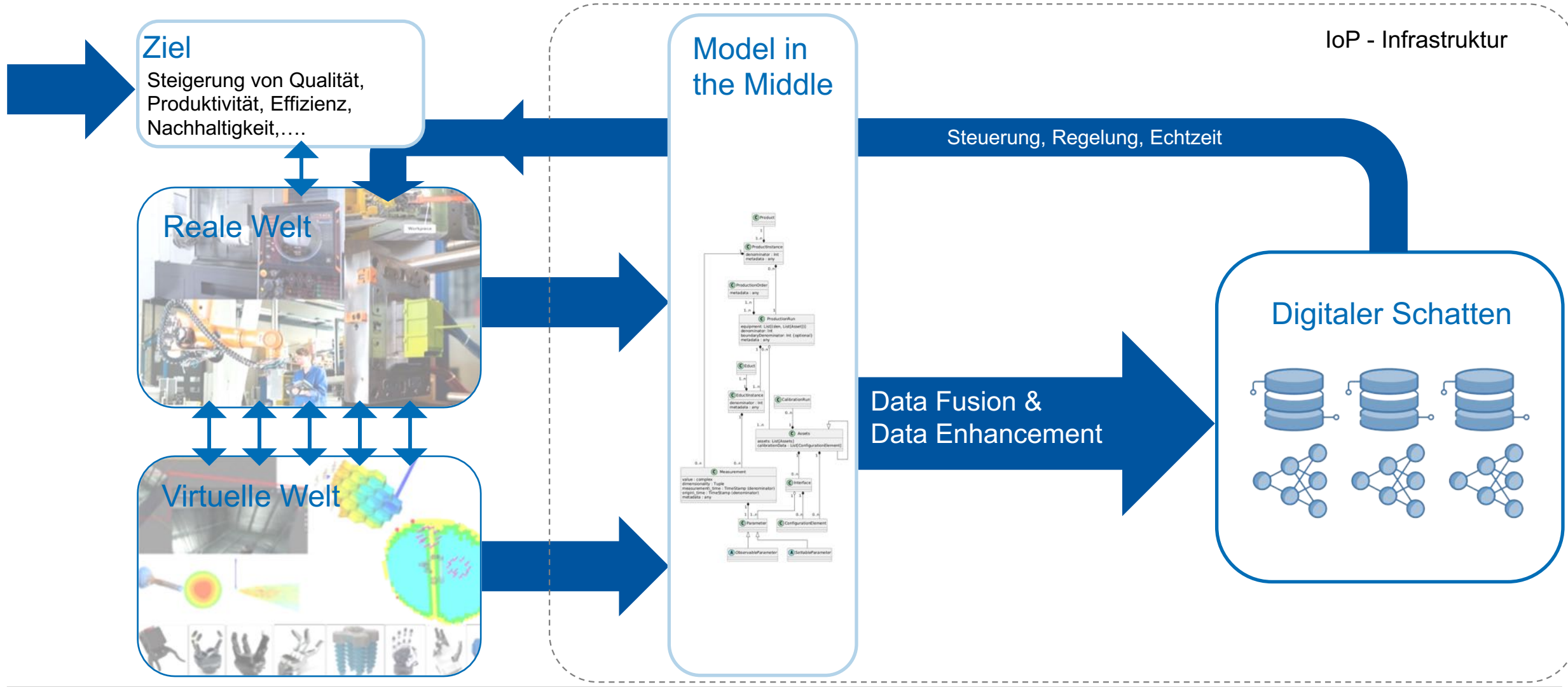
© ifo Institut, 2023

Zeitaufwand für das Training bekannter KI-Modelle

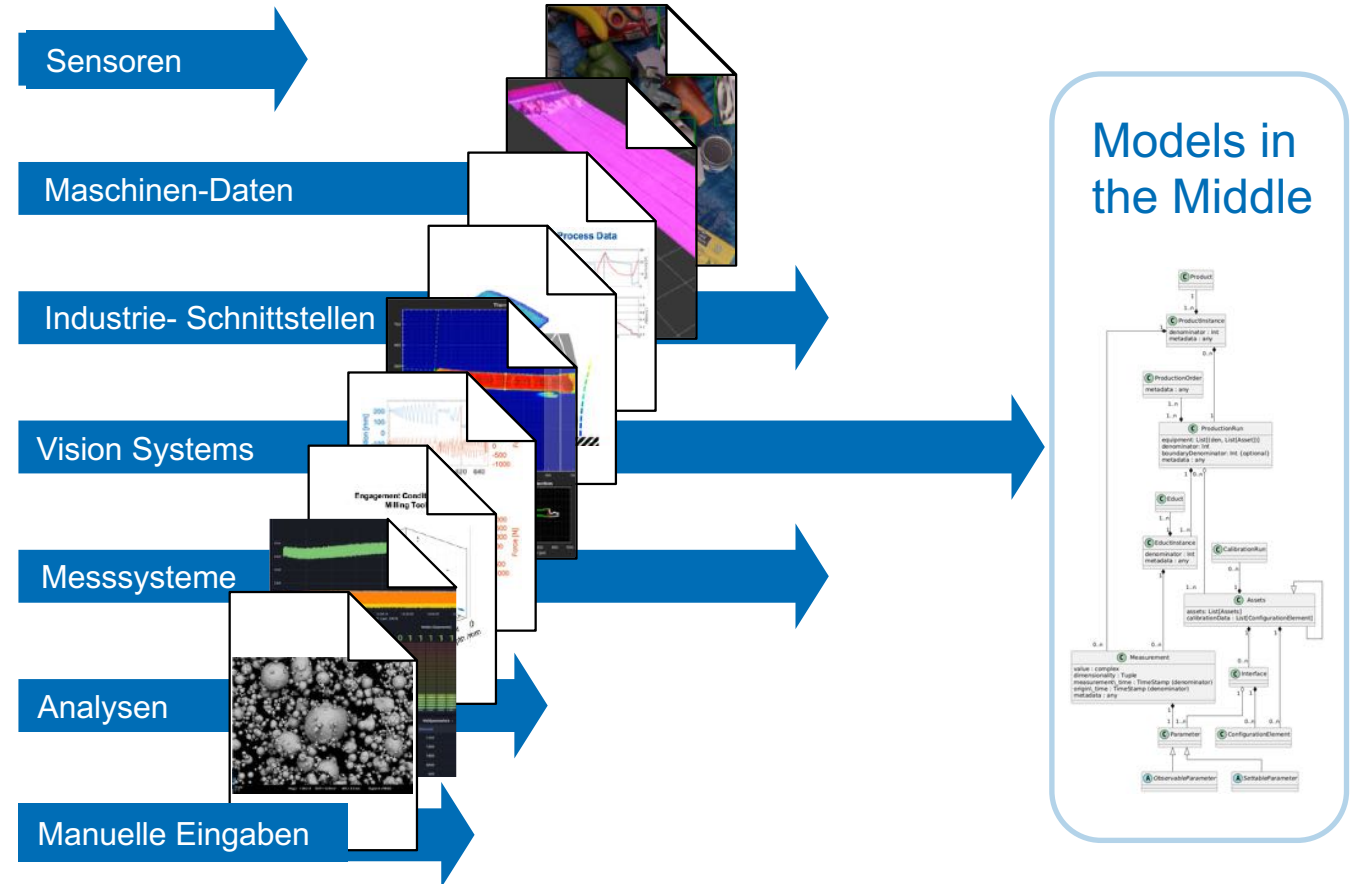


Das Internet of Production

Datenbasierte Optimierung in der Fertigung



Connecting the World of Manufacturing

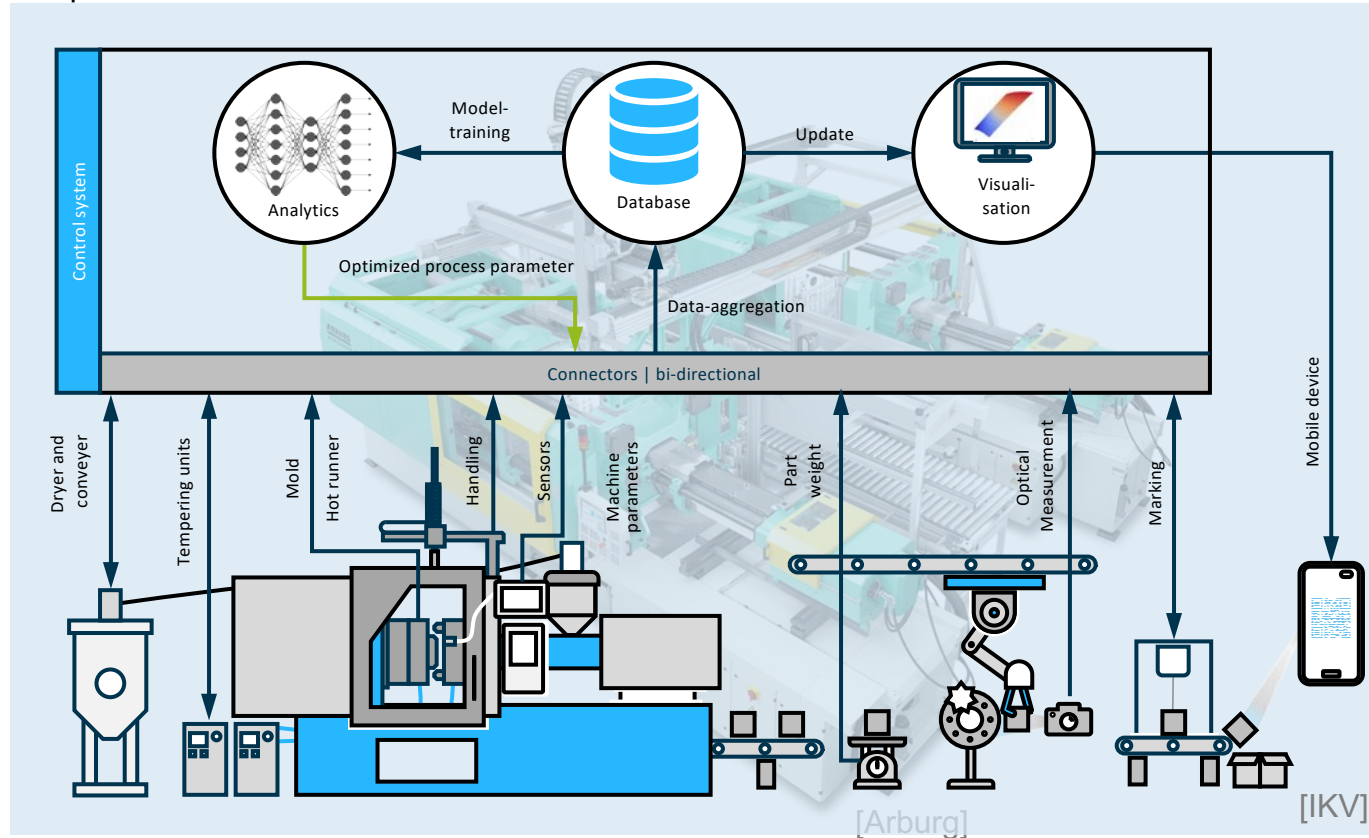


Datengetriebene Optimierung beim Spritzgießen

Der Spritzgießprozess

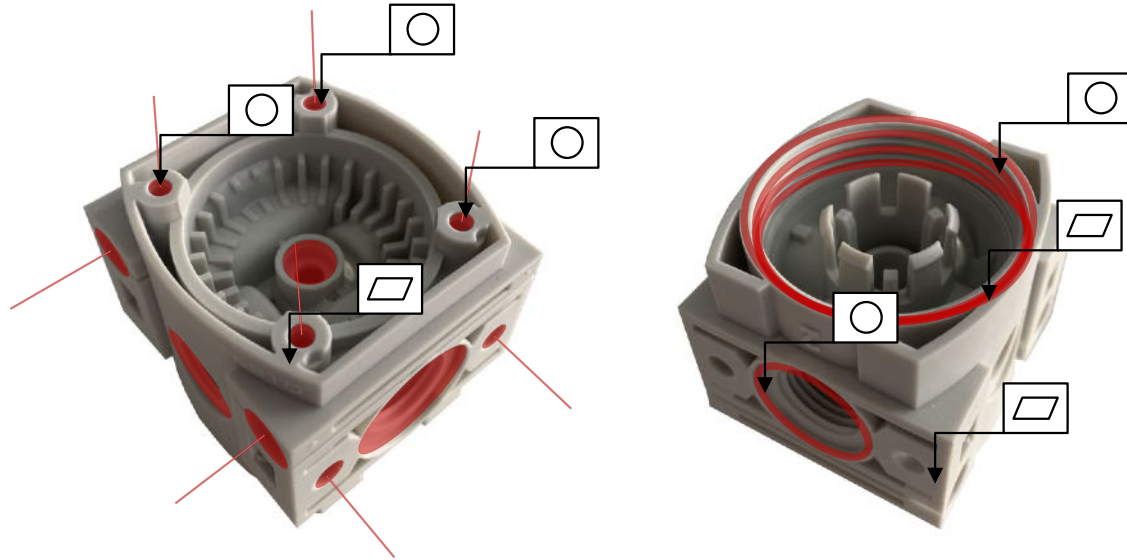
Typische Spritzgießmaschinen:

- Verarbeitungstemperatur: 220 – 300 °C
- Schließkraft: 20 – 3200 t
- Max. Spritzdruck: 2000 – 2800 bar



- Schmelzebasierter Urformprozess
- Keine Nachbearbeitung
- Minimale Materialverluste
- Kurze Zykluszeiten
 - Wenige Sekunden bis Minuten
- Masseproduktion
 - Hochautomatisierter Prozess, ≈10 Maschinen pro Maschinenführer
 - Bis zu 192 Kavitäten/Teile pro Zyklus
- Sonderverfahren
 - Mehrkomponenten
 - Insert/Outsert Technologie
 - Schäumen
 - Funktionsintegration
 - ...

Intuitive Einrichtung von Spritzgießprozessen scheitert zunehmend



~ 50 – 60 spezifizierte Anforderungen



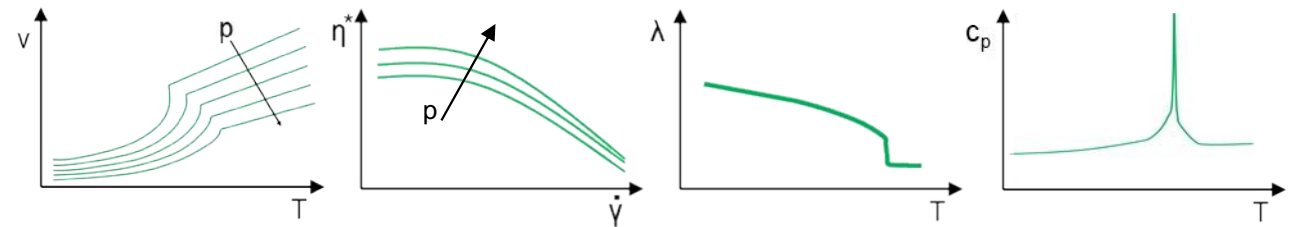
[Bateil: FESTO]

Vorteile

- Große Gestaltungsfreiheit
- Geringe Stückkosten
- Große Serien

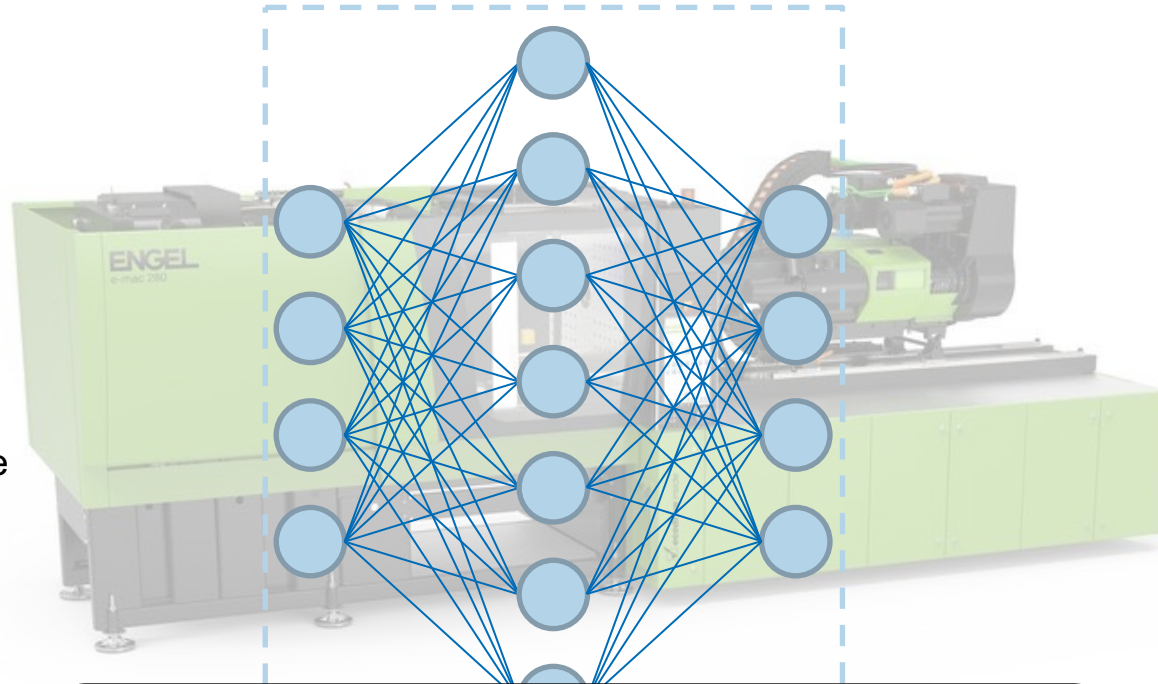
Herausforderungen

- Steigende Ansprüche an Qualität, Zuverlässigkeit, Nachhaltigkeit
- Energieeffizienz
- Nicht-lineares Materialverhalten
- Nicht-lineares Prozessverhalten
- Variierende Materialverhalten
- Zunehmende Verarbeitung von Rezyklaten
- ≈ 100 Einstellparameter



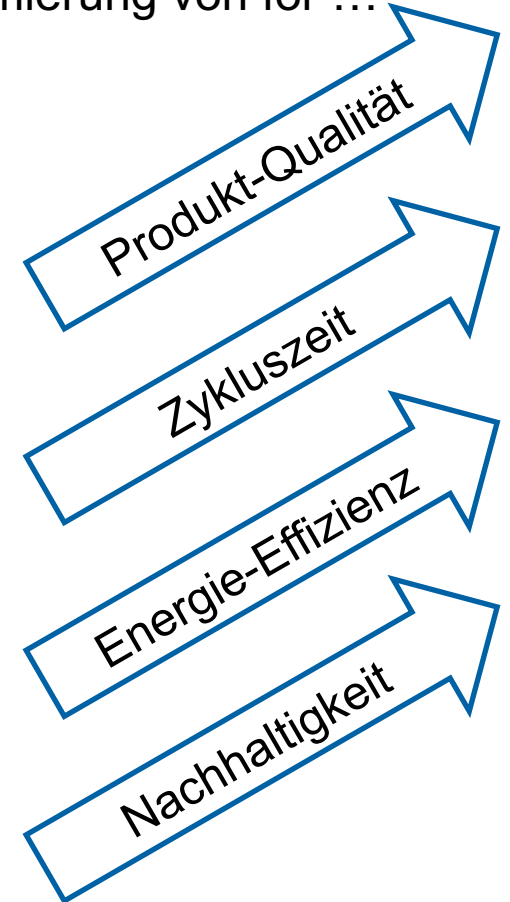
Datengetriebene Prozesseinrichtung – Methodischer Ansatz

- Maschineneinstellung
 - Einspritzgeschwindigkeit
 - Massetemperaturen
 - Werkzeugtemperaturen
 - Nachdruckprofil
 - Nachdruckzeit
 - Kühlzeit
 - ... (100 Parameter)
- Maschinenkonfiguration
 - Elektrisch / Hydraulisch
 - Schließeinheit
 - Schnecken/Zylinder-Größe
 - Max. Druck
- Bauteileigenschaften
 - Gewicht
 - Max. Wanddicke
 - Max. Fließweg
- Materialeigenschaften
 - Viskosität $\eta=f(\vartheta, p, \dot{\gamma})$
 - pvT-Verhalten



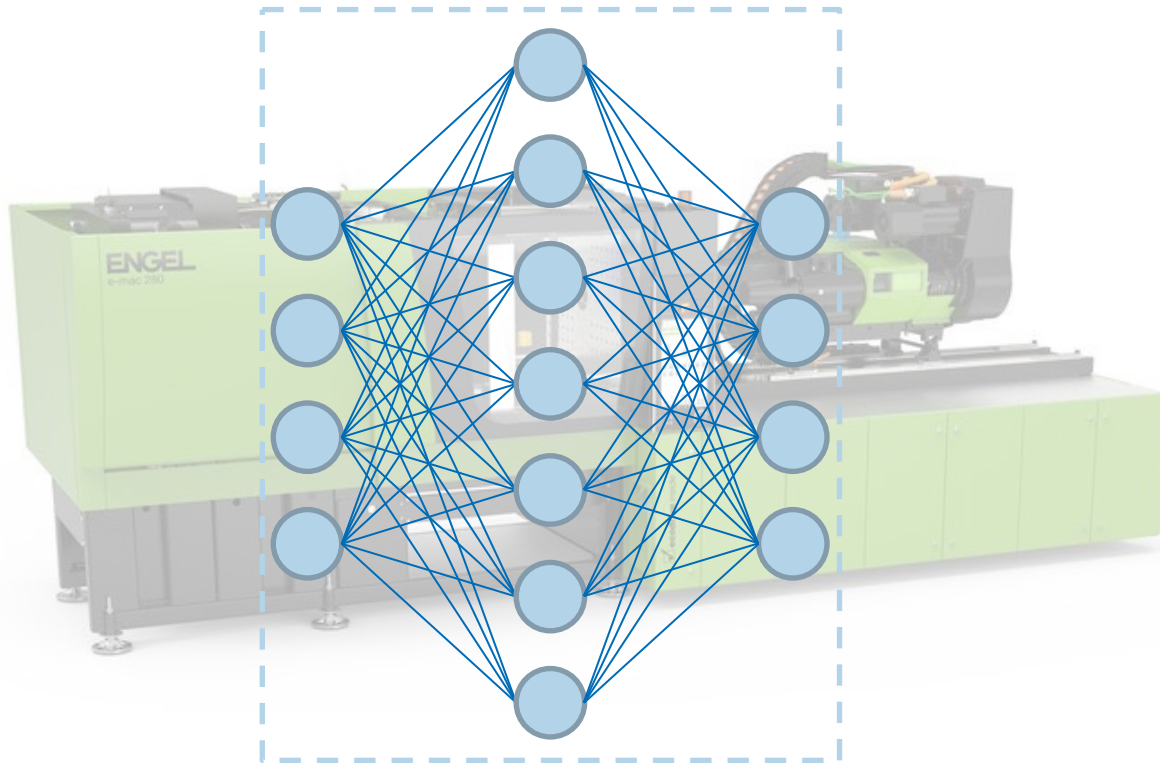
Herausforderung:
! Modelle müssen individuell trainiert werden
! Erzeugung von Daten ist teuer

Optimierung von for ...

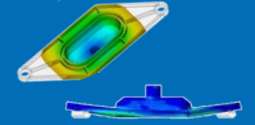


Zuverlässig Modelle mit wenigen Daten

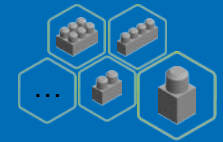
Steigerung der Effizienz durch



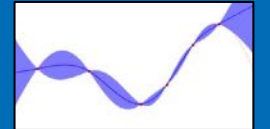
Nutzung synthetischer Daten
für besseres Training



Einbindung von Prozesswissen
für neue Modelle



Effiziente Generierung von
Datenpunkten



Effiziente Einrichtung mit
digitalen Agenten

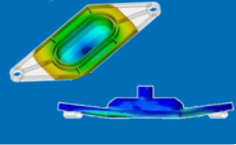


Einbindung des
Wissens der Maschinenführer

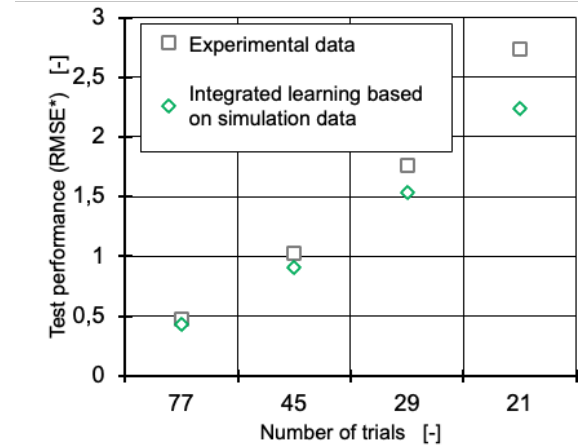
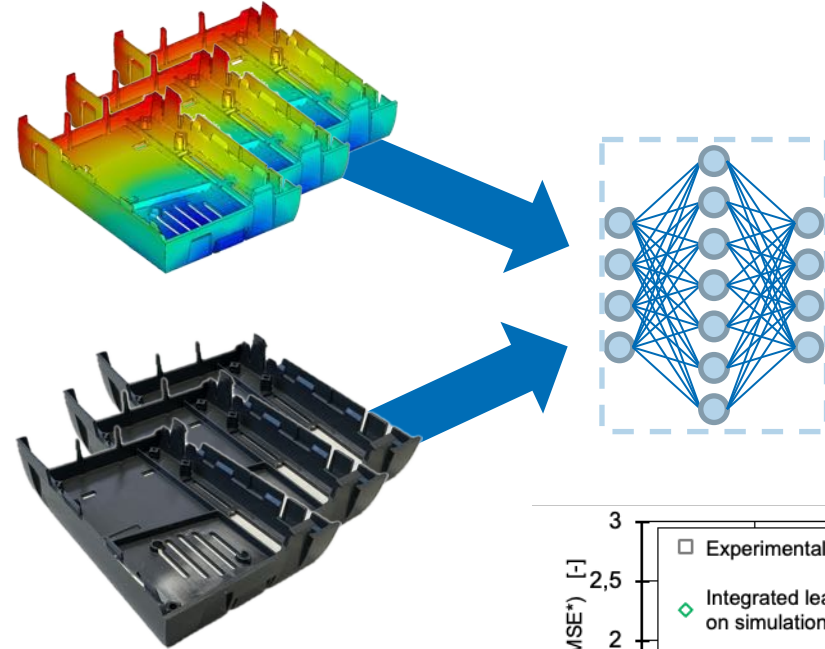


Nutzen Synthetischer Daten zur Prozessoptimierung

Nutzung synthetischer Daten für besseres Training

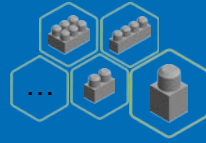


- Die Spritzgieß-Simulation hat einen hohen Informationsgehalt.
- Simulationen sind weit verbreitet und stehen in gutem Einklang mit realen Prozessen.
- Quantitative Fehler können durch die Einbeziehung von Realdaten kompensiert werden.
- Gleichzeitiges Training mit Realdaten und Simulationsdaten reduziert den Bedarf an Versuchen drastisch.

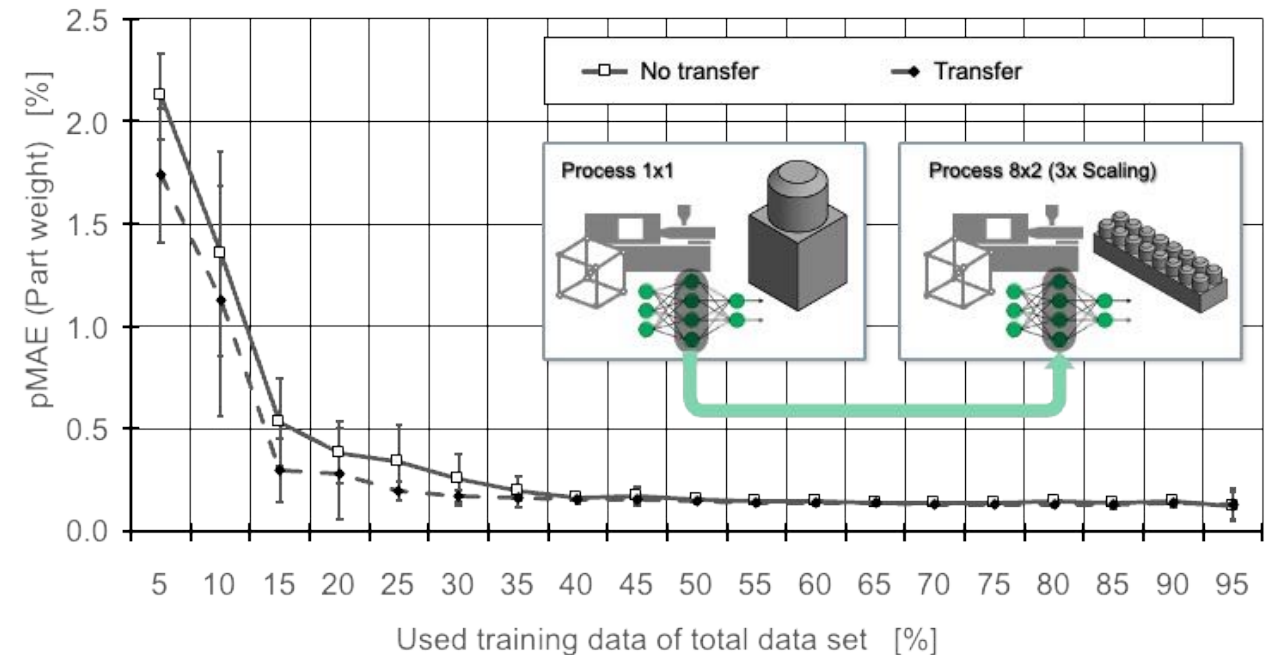


Transfer Learning für bessere Modellierung

Einbindung von Prozesswissen für neue Modelle



- Bekannte Prozesse liefern Wissen für neue Prozesse.
- Für die Evaluation geeigneter Prozesse muss die Ähnlichkeit von Prozessen beschrieben werden.
- Daten von bekannten Prozessen können bei der Modellierung für eine Reduktion der realen Versuche genutzt werden.
- Weitere Daten können für neue Modelle und Modellanpassungen genutzt werden
 - Materialdaten
 - Maschinendaten
 - Bauteil-Geometrie

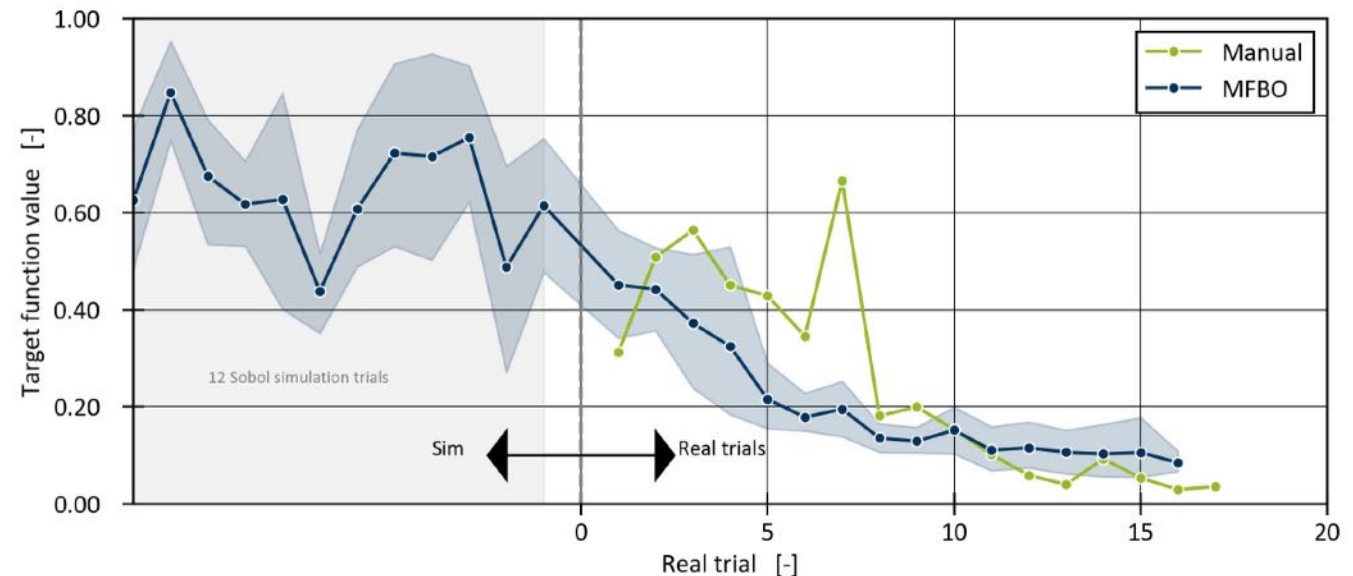


Dynamische Versuchsplanung reduziert den Aufwand drastisch

Effiziente Generierung von Datenpunkten in einem Prozess



- Flexible Methoden wie die Bayes'sche Optimierung steigern die Versuchs-Effizienz im Vergleich zu starren Versuchsplänen.
- Der ideale Versuchspunkt wird vom Bayes'schen Algorithmus auf Basis erwarteter Ergebnisse und der Unsicherheit.
- Hierfür werden die wichtigsten Versuchspunkte gewählt.
- Durch den iterativen Ansatz kann zusätzlich menschliches Wissen bei der Modellierung direkt berücksichtigt werden

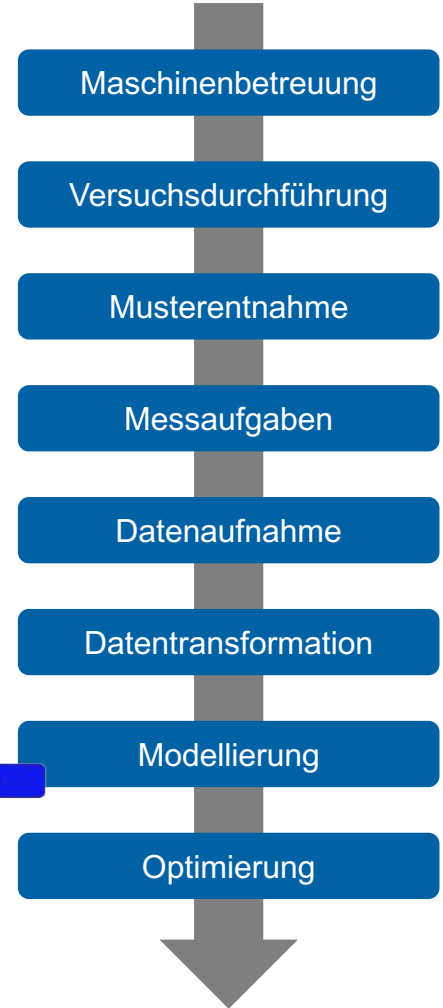
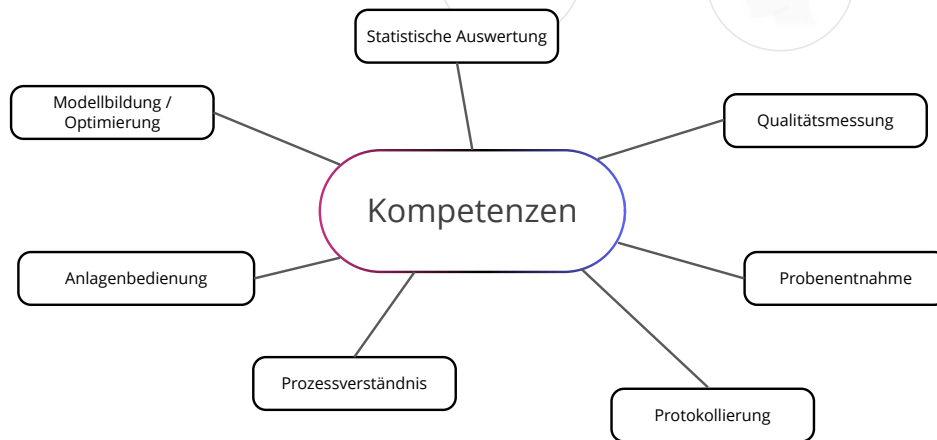


Digitale Infrastruktur integriert den Maschinenführer

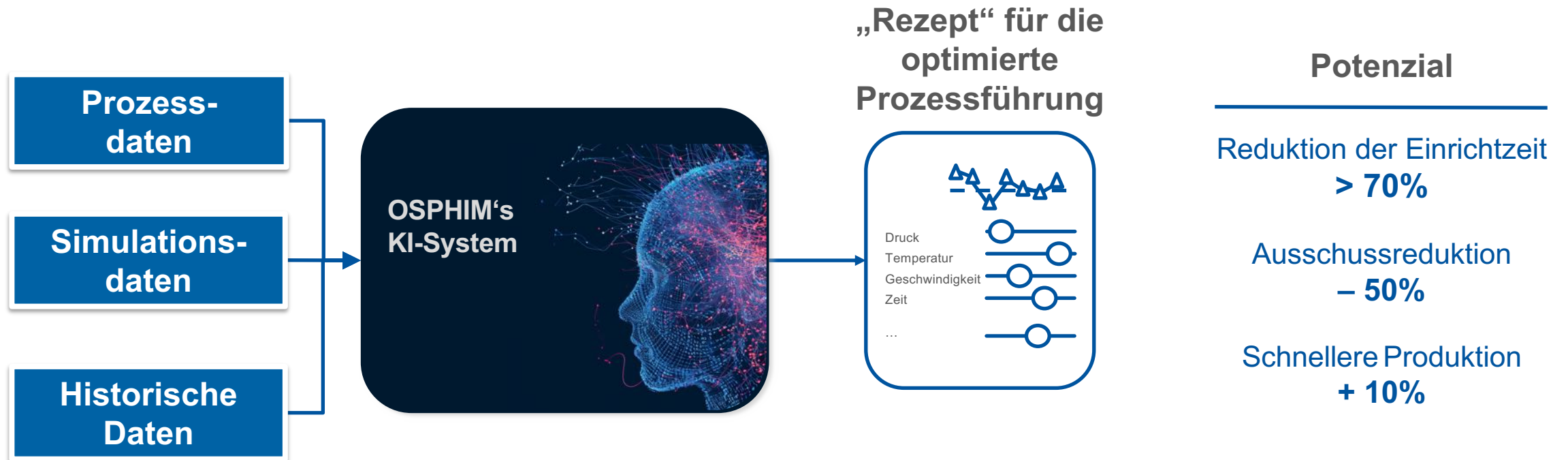
Effiziente Einrichtung mit digitalen Agenten



- Für eine erfolgreiche und effiziente Prozesseinrichtung und -überwachung sind zahlreiche Aufgaben zu erledigen.
- Eine geeignete digitale Infrastruktur kann diese Aufgaben automatisiert ausführen und auf diese Weise Maschinenführer unterstützen.

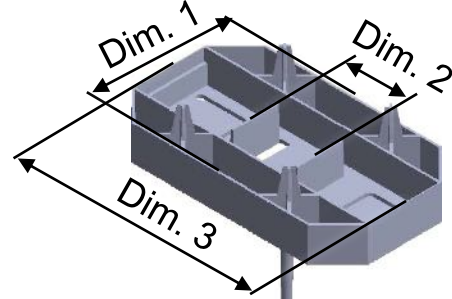


Effiziente Nutzung von Daten



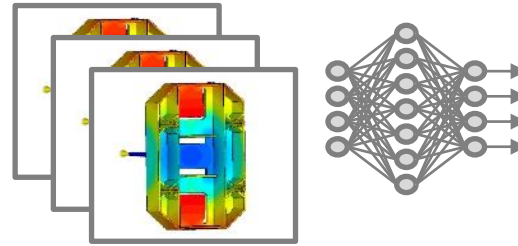
Optimierungsstrategie für die Prozesseinrichtung

Optimierungsziel



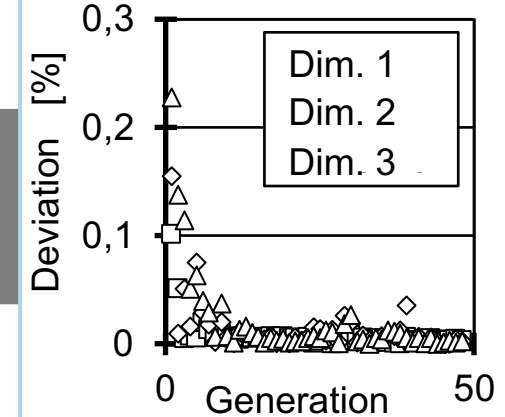
Dim. 1: 78 mm
Dim. 2: 39.5 mm
Dim. 3: 137.5 mm

Modellierung mit Simulationsdaten



RMSE = 0.0053 mm
(root mean squared error)

Erster Optimierungsschritt



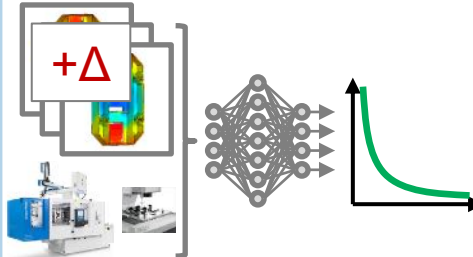
Zweite Abmusterung



[Carl Zeiss, KraussMaffei]

Δ Dim. 1: -0.035 mm
 Δ Dim. 2: 0.042 mm
 Δ Dim. 3: 0.038 mm

Korrektur Simulationsdaten, Zweites Training und zweite Optimierung



Erste Abmusterung

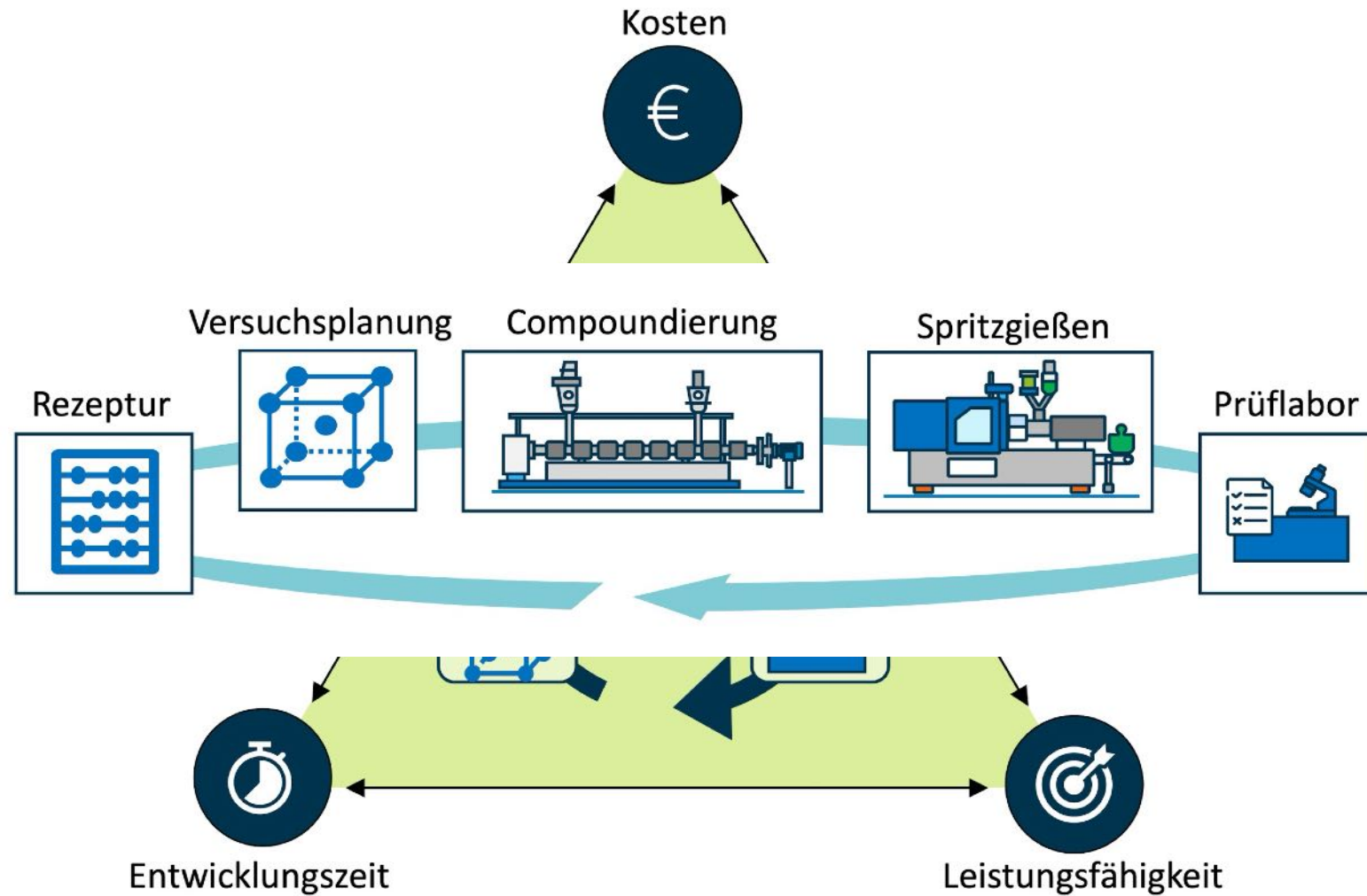


[Carl Zeiss, KraussMaffei]

Δ Dim. 1: 0.1604 mm
 Δ Dim. 2: -0.026 mm
 Δ Dim. 3: 0.1721 mm

Datengetriebene Entwicklung von Rezepturen

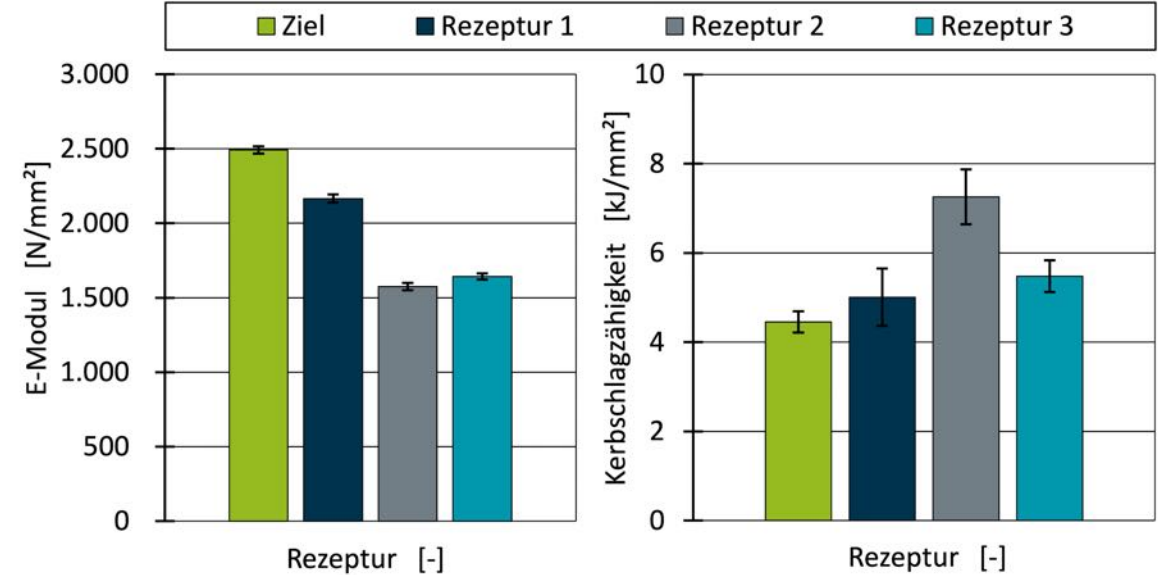
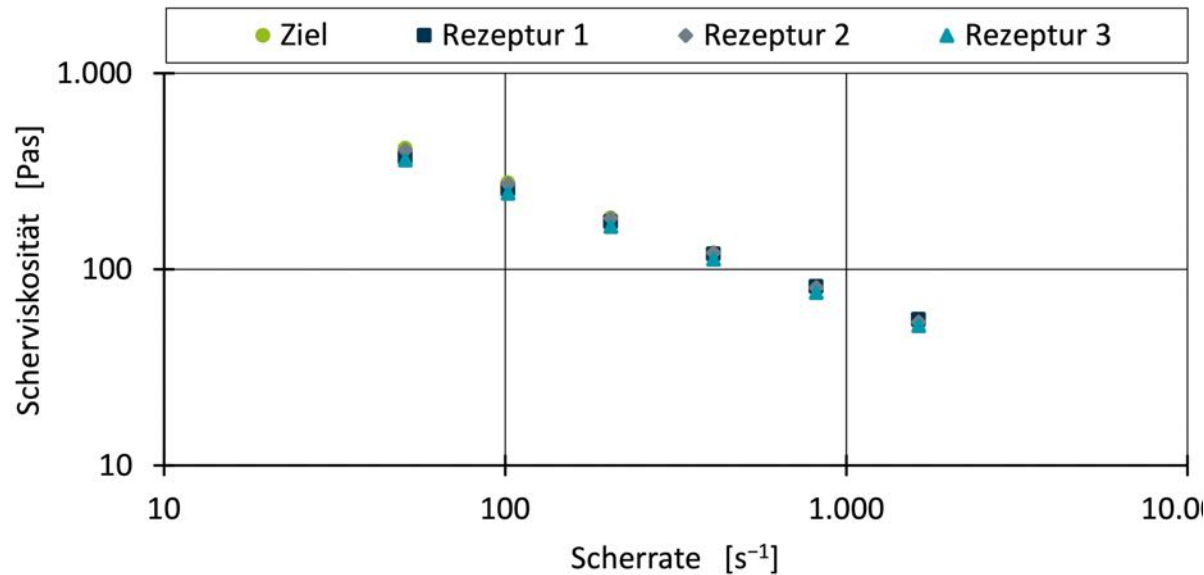
Wie heute Rezepturen entwickelt werden



Anwendbarkeit von Modellen in der Rezepturentwicklung

Bewertungskriterium	Mischungsregeln	Machine Learning
Anwendbarkeit bei komplexen Rezepturen mit mehreren Bestandteilen (>3)	--	++
Genauigkeit der Modelle	+	++
Erforderliche Datenmenge zur Anwendbarkeit	++	-
Robustheit gegen Ausreißer in den Trainingsdaten	+	-
Übertragbarkeit der Modelle auf neue Komponenten und Anlagen	0	0
Nachvollziehbarkeit der Modelle für den Rezepturentwickler	++	--

Einsatz kombinierter Modelle in der Werkstoffentwicklung



- Die Kombination bekannte Mischungsregeln mit Machine Learning erlaubt eine zuverlässige Prognose der Eigenschaften neuer Rezepturen.
- Der Aufwand in der Materialentwicklung wird gesenkt, der Prozess beschleunigt und das Ergebnis objektiv und nachvollziehbar.
- Datenbasierte Werkstoffentwicklung unterstützt den Entwickler, ersetzt ihn aber nicht.

Fazit

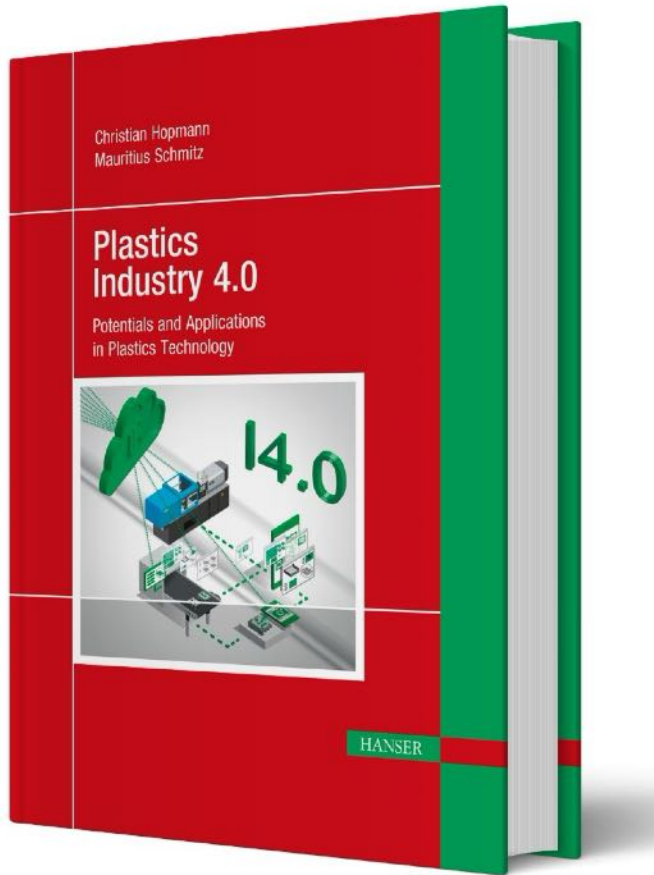


- Komplexe Modelle befähigen Menschen, komplexe Prozesse zu verbessern und zu optimieren.
- Bei der Modellierung sind zwei Effizienzfaktoren entscheidend:
 - Dynamische Modellierung mit möglichst kleinem Datenvolumen
 - Integration und Unterstützung der Maschinenführer mit digitalen Agenten
- Die gezeigten Methoden können auf alle Produktionsprozesse angewendet werden.
- Menschen sind und bleiben relevante Faktoren in der Produktion. Mit Hilfe von Modellen und Agenten können sie optimal unterstützt und ihre Fähigkeiten und Fertigkeiten ideal genutzt werden.

Innovationsnetzwerk KI4KI: Praxisnahe Lösungen durch KI und Digitalisierung

Zusammen zur erfolgreichen KI-Integration





Plastics Industry 4.0

Potentials and Applications in Plastics Technology

by Christian Hopmann and Mauritius Schmitz, Hanser 2020

Contents:

- Potentials, Benefits, and Challenges for Successful Implementation
- Data Acquisition and Process Monitoring as Enabler for Industry 4.0
- Cyber-Physical Systems
- Models and Artificial Intelligence
- Global Connectivity
- Digital Engineering
- Complex Value Chain
- Assistant Systems