

Selbstopтимierung in der Automatisierungstechnik

12. Februar 2015

Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich

Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik

Universität Stuttgart

Prozesse

Ansatzpunkte

Steuerung und Regelung

Selbstoptimierung der Maschine

Regelstrategien und Beispiele

Informationsverarbeitung

Optimierung der Produktion

Nutzeneinschätzung



Prozesse

Ansatzpunkte

Steuerung und Regelung

Selbstoptimierung der Maschine

Regelstrategien und Beispiele

Informationsverarbeitung

Optimierung der Produktion

Nutzeneinschätzung

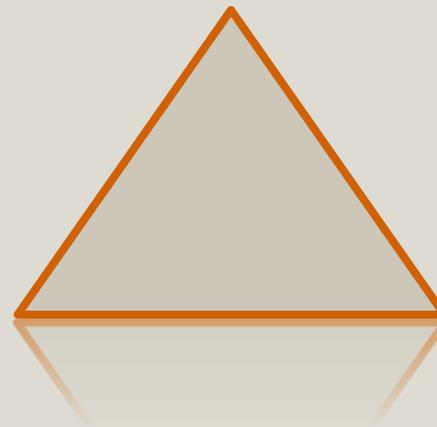
SPANNUNGSFELD AUF GLOBALEN MÄRKTEN: EFFIZIENZ, WIRTSCHAFTLICHKEIT UND QUALITÄT

Spannungsfelder im Spritzgießen

*Wirtschaftlichkeit im Prozess:
von der Produktidee zur Fertigung*

**Effizienz durch
Rationalisierung:** Abbau
von Fachleuten (Know-how
Defizite) vs. intelligente
Prozessführung und
Automatisierung

**Qualität des
Fertigteils, mehr
Beratung, Service
und Produktleistung**



VERBESSERUNG VON WIRTSCHAFTLICHKEIT UND EFFIZIENT

Zykluszeit, Produktqualität und Rüstaufwand optimieren durch selbstoptimierende technische Systeme

Ein *selbstoptimierendes System* kann

- > seine Ziele auf veränderte Umfeldbedingungen, z.B. Material- oder Produktwechsel oder Änderungen an der Charge, einstellen und das Verhalten anpassen
- > gezielt in den Prozess eingreifen und einzelne Parameter und die Systemstruktur variieren, ohne dass systematische Gesamtoptimierung erforderlich ist



GANZHEITLICHE OPTIMIERUNG DER PROZESSKETTE

Entlang der Prozesskette interagieren eine Reihe von Kompetenzfeldern



Positive Einflussnahmen in den Schritten von der Konzeption des Formteils bis hin zum Verarbeitungsprozess:

- > Teiledefinition des Formteils
- > Materialauswahl
- > Werkzeugkonstruktion
- > Maschinen und Verfahrensauswahl

EINE GANZHEITLICHE BETRACHTUNG SICHERT DIE STABILITÄT UND REPRODUZIERBARKEIT

Abweichungen aus den Prozessfeldern können kompensiert werden, um so die Qualität des Endproduktes der verbundenen Prozesse zu verbessern



Prozesse



Ansatzpunkte

Steuerung und Regelung

Selbstoptimierung der Maschine

Regelstrategien und Beispiele

Informationsverarbeitung

Optimierung der Produktion

Nutzeneinschätzung

PROZESSPLANUNG DER PRODUKTVARIANTEN UND DER PRODUKTION

Planungsorientierter Ansatz

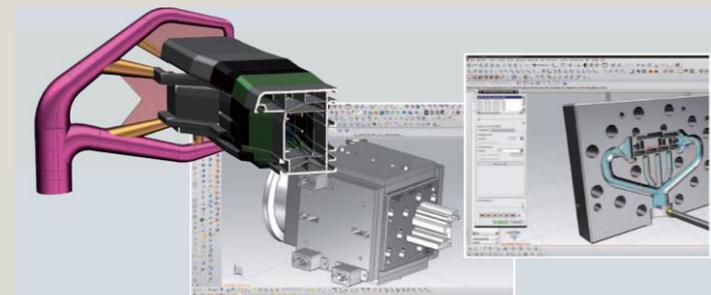
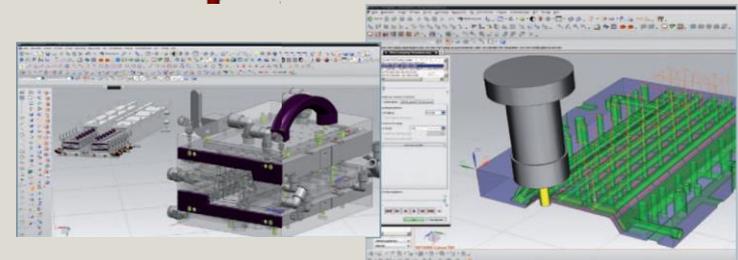
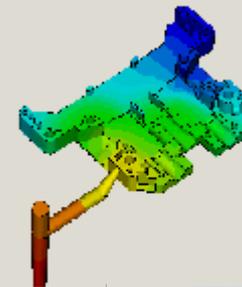
Möglichst exakte Modellierung des Produktes, Werkzeuges und Produktionsprozesses a priori

Vorteil:

- > Berechnung und Planung möglichst vieler Ausprägungen und Parameter

Nachteile:

- > Aufwendige Bestimmung von Kenndaten im Experiment
- > Veränderung bedingen eine Nachführung bzw. Justage (Kosten- und zeitintensiv)
- > Verfahren nicht einfach übertragbar



KOMBINIERTE OPTIMIERUNGSSTRATEGIE – ZIELE SITUATIONSABHÄNGIG ANPASSEN



Eingriff durch den Menschen mit Unterstützung eines **Assistenzsystems**

dienen dem schnellen Erreichen der optimalen Einstellparameter für Maschine, Automatisierung und Konstruktion



Optimierung durch das technische System im Sinne von **Selbstoptimierung**

System ist in der Lage, auf geänderte Einsatzbedingungen oder Störungen eigenständige Veränderungen seines inneren Zustandes oder der Struktur vorzunehmen

KLASSISCHE VERFAHREN UND NEUERUNGEN IM BEREICH ADAPTION, OPTIMIERUNG UND LERNFÄHIGKEIT

Ansätze für Steuerungsarchitekturen:

- > Steuerung (mit offener Schleife)
- > Regelungstechnische Verfahren

} „klassische“ Steuerung-
und Regelungstechnik

-
- > Dezentrale vernetzte Steuerungssysteme
 - > Selbstorganisierende und lernende Verfahren
 - > Mehrkriterienoptimierung in der Simulation

} Verfahren der
„Computational Intelligence“
(Gebiet der Künstlichen Intelligenz)

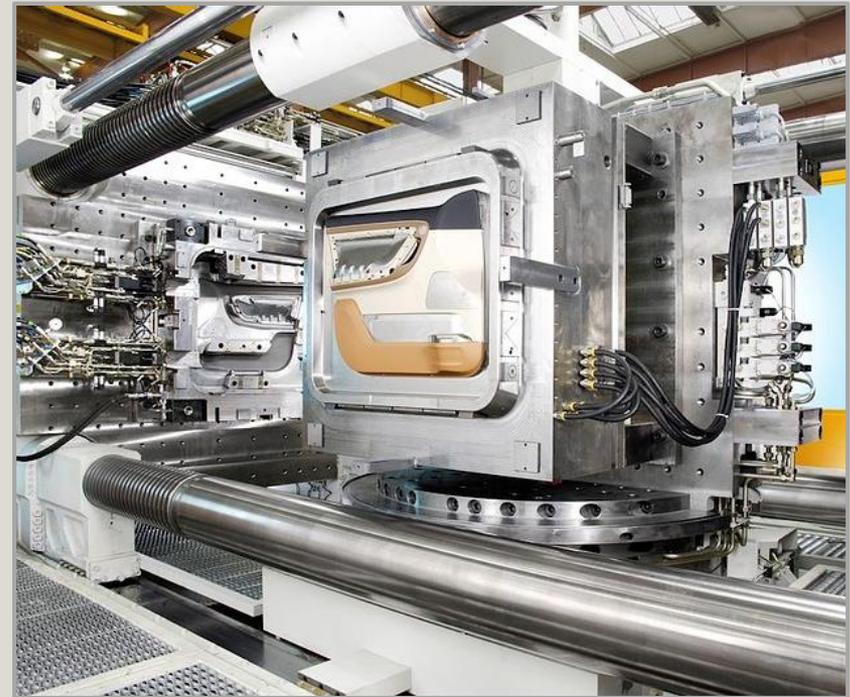
-
- > Prozessübergreifende Optimierung der
Produktionsplanung bzw. Produktionsstruktur

} Übergreifende Verbesserung
und Abstimmung

GESUCHT: DER OPTIMALE VERFAHRENSTECHNISCHE SPRITZGIESSPROZESS

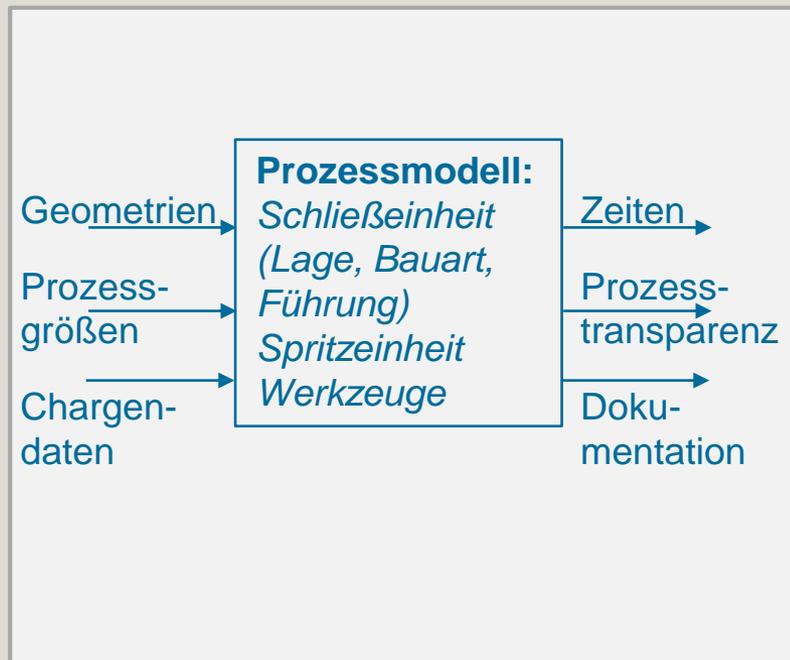
Zielvorstellung:

- > Idealer Betriebspunkt der Prozessführung
- > Vollautomatische Anpassung an sich verändernde Einflüsse
- > Sicherheitszuschläge minimieren
- > Prozessoptimierung in Echtzeit
- > Abstimmung mit vor- und nachgelagerten Prozessen



ANSPRUCH: MECHANISCHE FORMTEILQUALITÄT IN KÜRZESTER ZEIT ERREICHEN

Stellgrößen sind: *Temperaturen, Spritz- und Schneckenzyklindertemperatur, Spritzgeschwindigkeit, Schneckendrehzahl, Staudruck, ...*



Jedoch:

- > Vielzahl von prozessrelevanten Einstellparametern der komplexen Fertigungsabläufe
- > Weitere Einstellungen im Bereich der Maschinenperipherie und Automation
- > Ggf. Veränderung der äußeren Einflüsse (Material etc.)

Prozesse

Ansatzpunkte

 **Steuerung und Regelung**

Selbstoptimierung der Maschine

Regelstrategien und Beispiele

Informationsverarbeitung

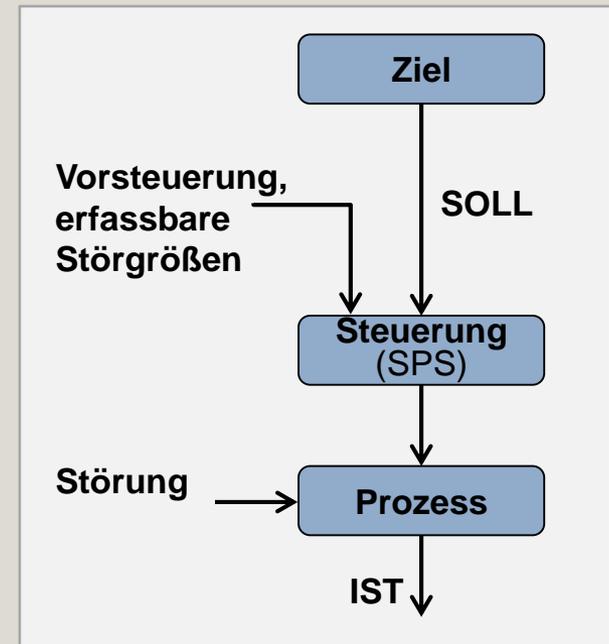
Optimierung der Produktion

Nutzeneinschätzung

SPS SYSTEME WERDEN ZUR STEUERUNG EINGESETZT, UM EINE PROZESSREPRODUZIERBARKEIT BEI NIEDRIGEN KOSTEN ZU ERREICHEN

Maschinenbediener bzw. Verfahrenstechniker stellen Vorsteuergrößen aufgrund von Erfahrung oder Versuchen fest ein:

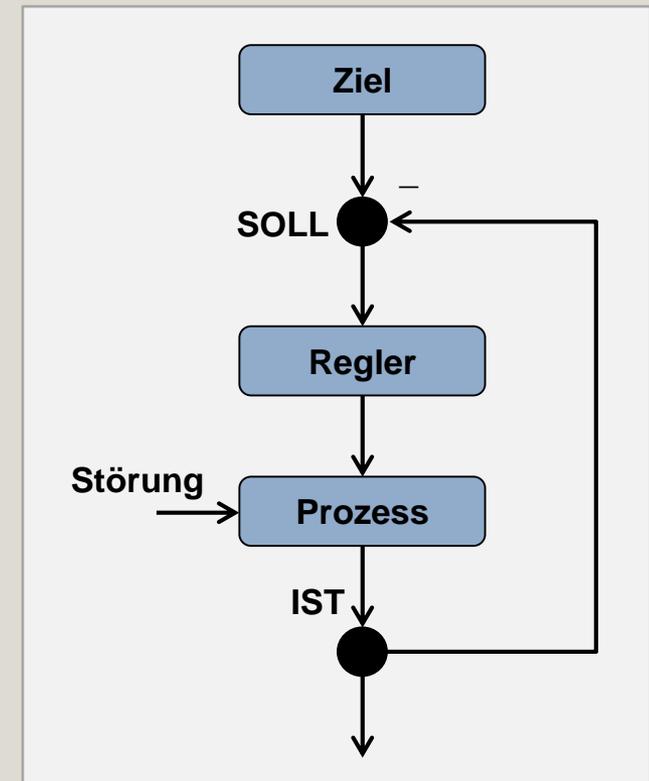
- > Einfache Bedieneroberfläche zur Einstellung von Vorsteuergrößen
- > grafische Bedienerführung wünschenswert
- > Übersichtliche Darstellung des Maschinenzyklus sowie der Maschinendiagnose



REGELUNG DES WERKZEUGINNENDRUCKS UNTER MESSUNG VON TEMPERATUR

Gängiges Verfahren:

- > **Einspritzphase:** Regelung der Schneckenvorlaufgeschwindigkeit sowie des Hydraulikdruckes
 - > **Nachdruckphase:** Regelung der auf die Schnecke wirkenden Kraft, um weiter Material in die Kavität einzubringen, damit die Schwindung durch Abkühlung kompensiert
-
- > **Aber:** Einfluss der Schneckenvorlaufgeschwindigkeit ist aufgrund der in der Werkzeugkavität ablaufenden Formteilbildung nicht eindeutig zu modellieren.



DIE REGLELKONZEPTE UND AUSLEGEVERFAHREN WURDEN IN VIELFACHER WEISE ERPROBT

Regelstrategie und -Parametrierung, zahlreiche Ansätze, z.B.:

- > **Modell-Prädiktive Regelung** zur Regulierung des Werkzeuginnendruckes [Reit14]
- > **PID-Regler** zur Regulierung der Kühlmittelmenge und damit der Abkühlung o.ä.
- > **Adaptive Fuzzy Regelung**, um Spindelgeschwindigkeit zu regeln [Wang07]



Schwierigkeiten bei der Auslegung durch:

- > Schwankungen von Druck, Temperatur und anderen Parametern (Nichtlinearitäten)
- > Einfluss des Materials
- > Schwierige Messbarkeit der Einflussgröße und Verwendung nicht repräsentativer Größen

Prozesse

Ansatzpunkte

Steuerung und Regelung

 **Selbstopptimierung der Maschine**

Regelstrategien und Beispiele

Informationsverarbeitung

Optimierung der Produktion

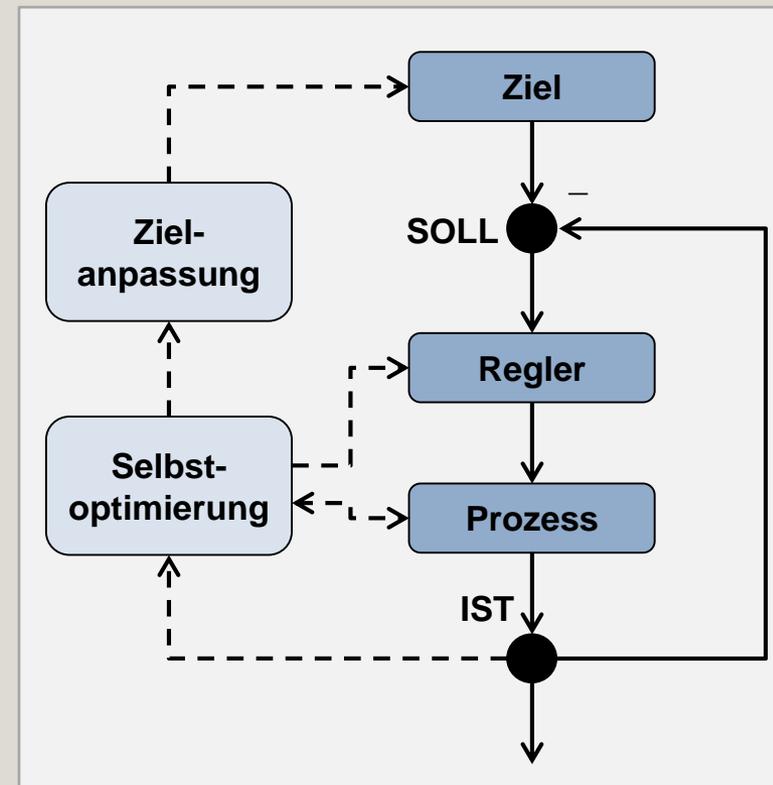
Nutzeneinschätzung

SELBSTOPTIMIERUNG GEHT ÜBER DIE KLASSISCHE REGELUNGSTECHNIK HINAUS

Selbstopтимierung nutzt übergeordnete Zusammenhänge eines Qualitätsmodelles.

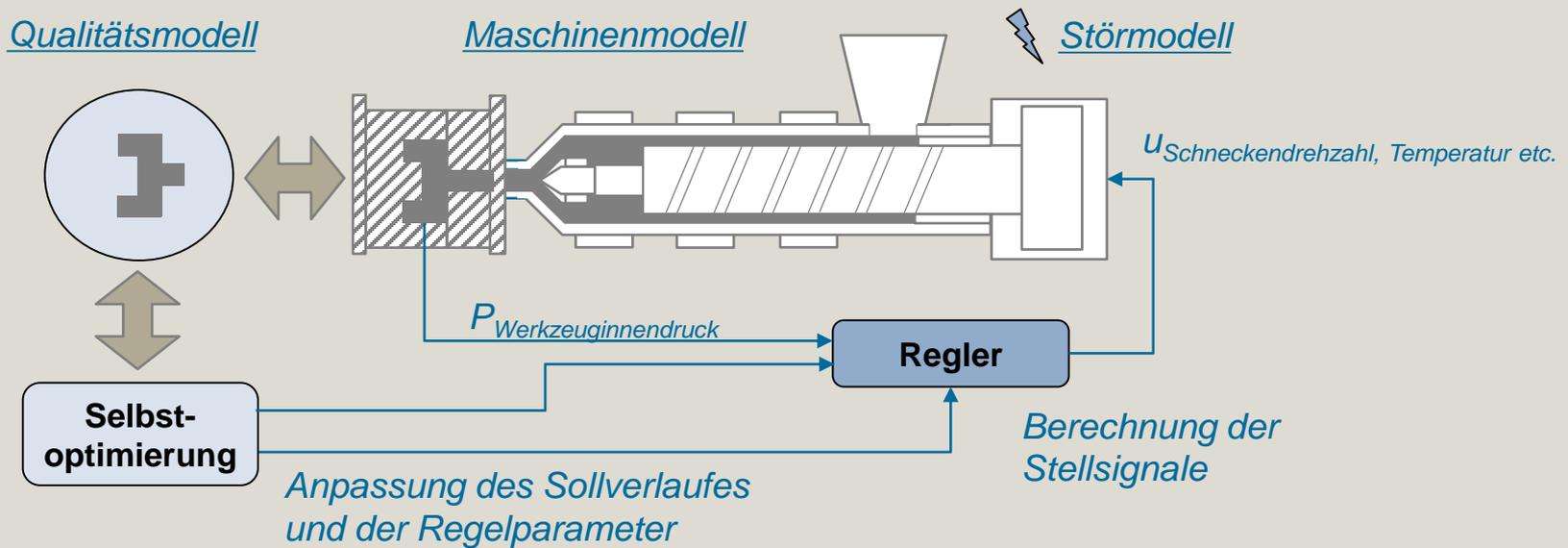
Anpassung des Systemverhaltens durch Parameteränderung oder Strukturanpassung des Reglers bzw. Vorsteuerung z.B.:

- > Zusammenhang zwischen spezifischem Volumen, Druck und Temperatur (pvT)
- > Experimentell ermittelte Kennfelder / Arbeitspunkte
- > Teilequalität, Taktzeit etc.



ZIELVORSTELLUNG AM BEISPIEL EINES SELBSTOPTIMIERENDEN KUNSTSTOFFSPRITZGIESSPROZESSES

Konzept der Selbstoptimierung [Brec11]



Schwierigkeiten:

- > Die Realisierung eines frei gewählten Werkzeuginnendruckverlaufes aufgrund der Stör- und Maschinenmodellierung sowie Online-Kennwerterfassung ungelöst
- > Formulierung und Bestimmung eines Qualitätsmodells mit Ableitung von Handlungsoptionen schwierig zu realisieren

ZUR SELBSTOPTIMIERUNG WIRD DIE INFORMATIONSVERRARBEITUNG EINGESETZT

Analyse der Ist-Situation
(Qualitätsaussage zum
Systemverhalten und den
Störeinflüssen)

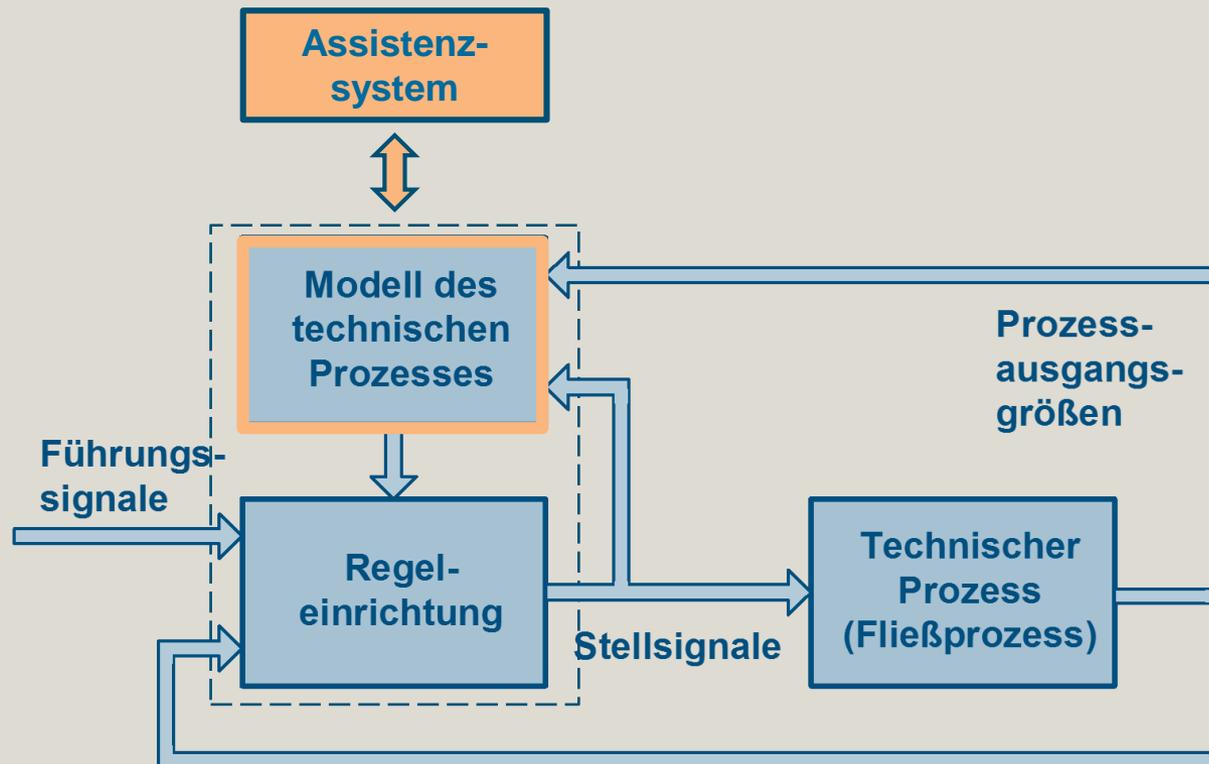
**Modellierung der Systemziele
und Ableitung von
Handlungsoptionen** auf Basis
von Wissen über das
Gesamtsystem

Etablierte Verfahren:

- > Logik, Regeln und Zustandsautomaten
- > Statistische Auswertungen
- > Mathematische Optimierung
- > Künstliche Neuronale Netze
- > Fuzzy Logik
- > Evolutionäre Algorithmen

MIT HILFE VON MODELLEN KANN DER PROZESS ÜBERWACHT WERDEN

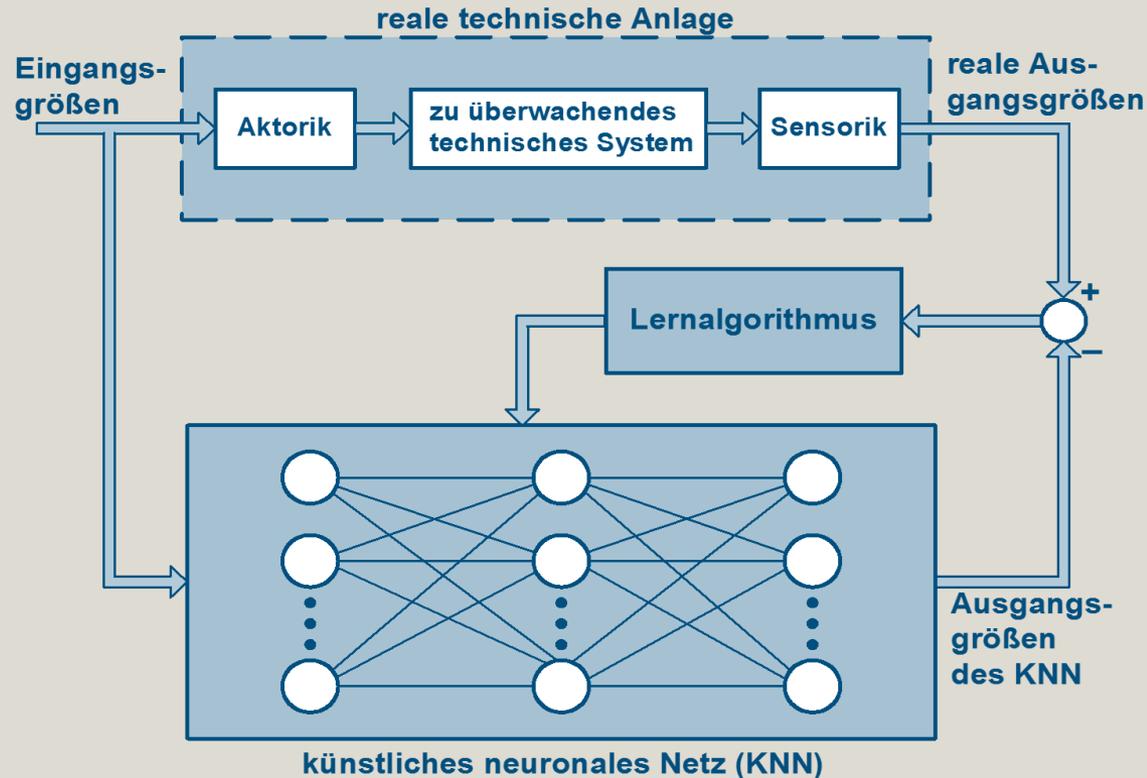
Auf Basis des Modells kann das Regelverhalten verbessert werden oder dem Nutzer Hinweise zur Prozessführung gegeben werden.



EINSATZ VON KÜNSTLICHEN NEURONALEN NETZEN (KNN) ZUR SYSTEMMODELLIERUNG

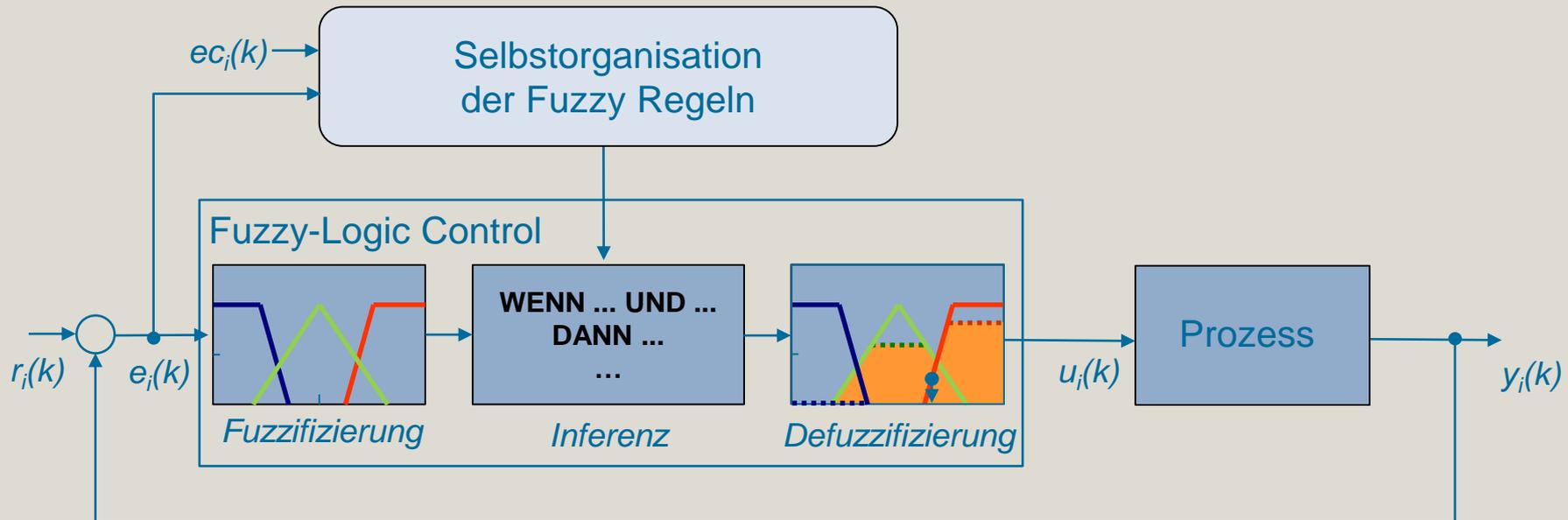
Modellierung / „Lernen“ nicht-linearer Zusammenhänge auf Basis von vorgegebenen Ein- und Ausgangssignalen:

- > Auswahl eines Netzwerktyps und einer günstigen Topologie
- > Durchführung von Trainings-Experimenten zur Anpassung des Netzes
- > Im Falle der Konvergenz Einfrieren des neuronalen Netzes



REGLERSTRUKTUR EIGNET SICH FÜR KOMPLEXE NICHT-LINEARE PROZESSE

Selbstständiger Aufbau des Fuzzy-Regelwerkes über mehrere Lernschritte. Experimentelle Erprobung siehe: [Lin10]



- > Parametrierung des Selbstorganisations-Algorithmus ist komplex, um Stabilität und Konvergenz sicherzustellen. Viele Iterationsschritte – so nicht praxistauglich!

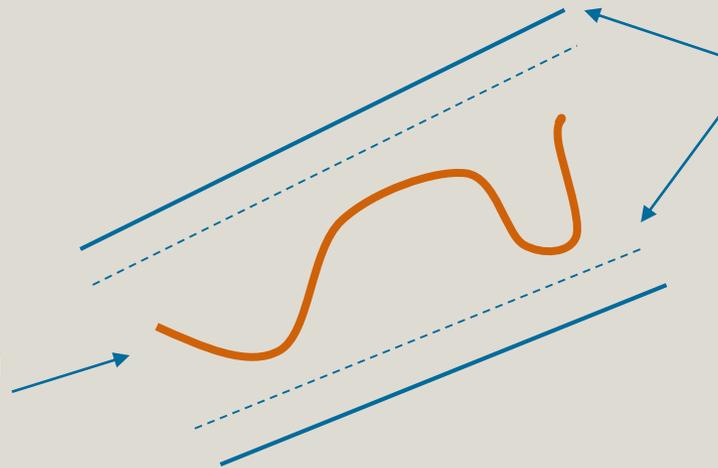
**AUFGRUND DER KOMPLEXEN OPTIMIERUNG IST EINE SIMULATION
ERFORDERLICH, DA EXPERIMENTE ZU AUFWENDIG WÄREN**

- > Simulation erlaubt die Untersuchung anhand von Berechnungsmodellen
- > Mehrkriterien-Optimierungen (z.B. mit Genetischen Algorithmen) wird möglich

Herausforderungen

> Welche Ziele werden angestrebt?

> Wie lassen sich Zielfunktionen beschreiben?



> Wo liegen Grenzbereiche?

> Wo liegt das erreichbare Mehrkriterien-Optimum (Pareto-Grenze)

Prozesse

Ansatzpunkte

Steuerung und Regelung

Selbstoptimierung der Maschine

Regelstrategien und Beispiele

Informationsverarbeitung

 **Optimierung der Produktion**

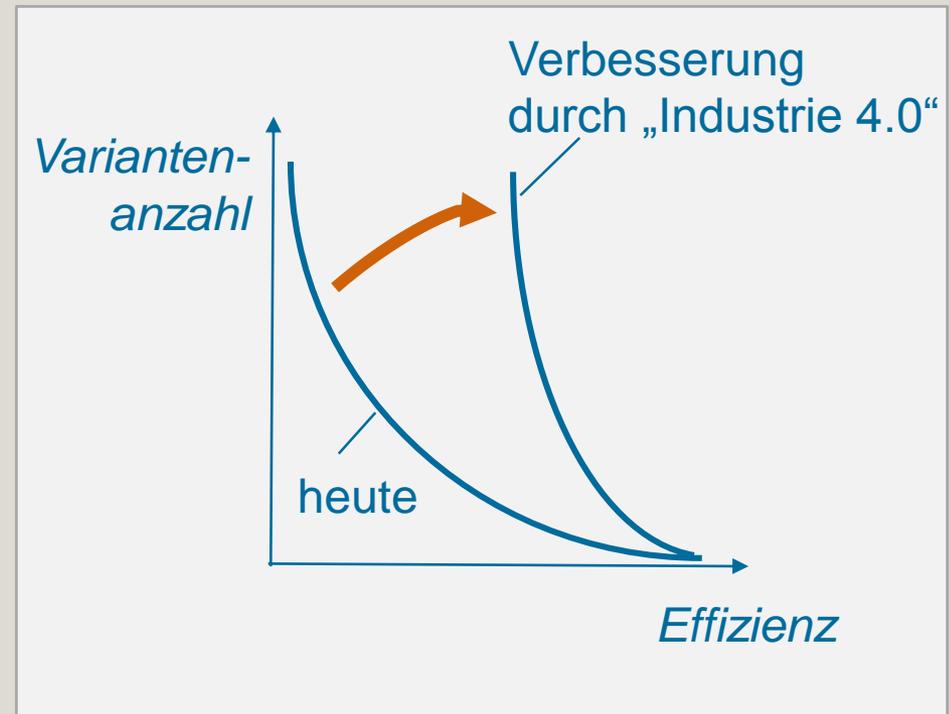
Nutzeneinschätzung

„INDUSTRIE 4.0“ ANSÄTZE ZIELEN AUF EINE HOHE PRODUKTIONSEFFIZIENZ TROTZ VIELER VARIANTEN

Kernfrage von Industrie 4.0:

Wie lassen sich Produkte mit vielen Varianten, d.h. hoch individualisiert aber dennoch effizient produzieren?

- > Veränderung des Taylorismus-Paradigmas: Dezentrale Aktivitäten statt zentraler Planung
- > Dynamische Synchronisation von globalen und lokalen Zielsystemen erlaubt neuartige Organisationsformen



FLEXIBILITÄT IN BEZUG AUF VARIANTEN DURCH MEHRERE KLEINE ANLAGEN STATT EINER GROSSEN PIPELINE

Wertstromdesign

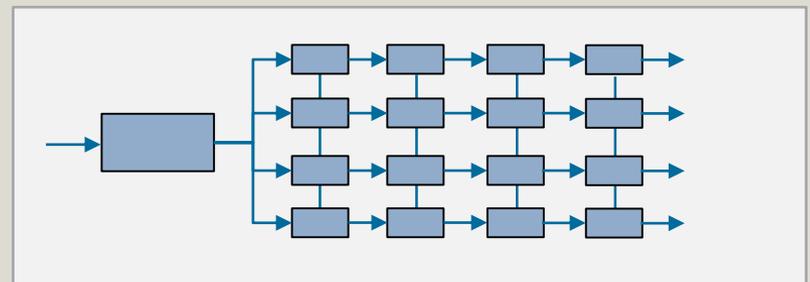
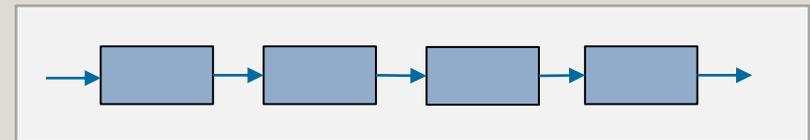
detaillierte Planung vs. dynamische Findung des Wertstromes

Vorteil:

- > Entscheidungen können flexibel, situationsabhängig und autonom getroffen werden

Nachteil:

- > Potenziale der ganzheitlichen Optimierung bleiben unerschlossen



FLEXIBILITÄT IN BEZUG AUF VARIANTEN DURCH MEHRERE KLEINE ANLAGEN STATT EINER GROSSEN PIPELINE

Wertstromdesign

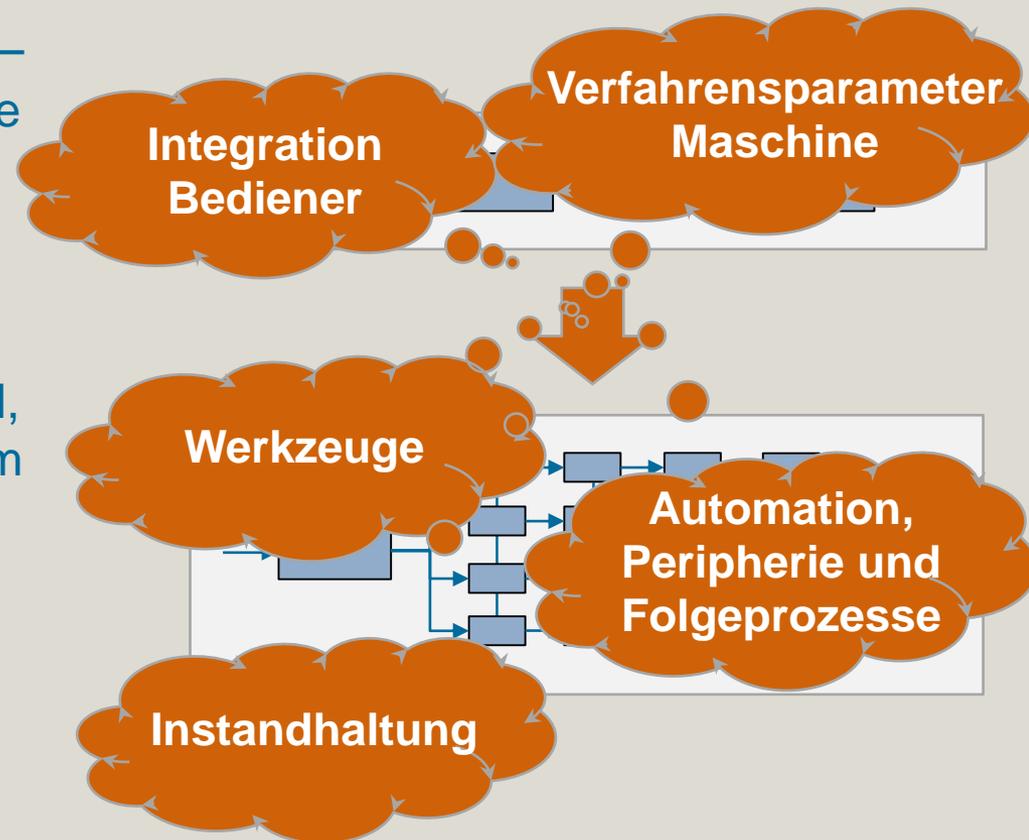
detaillierte Planung vs. dynamische Findung des Wertstromes

Vorteil:

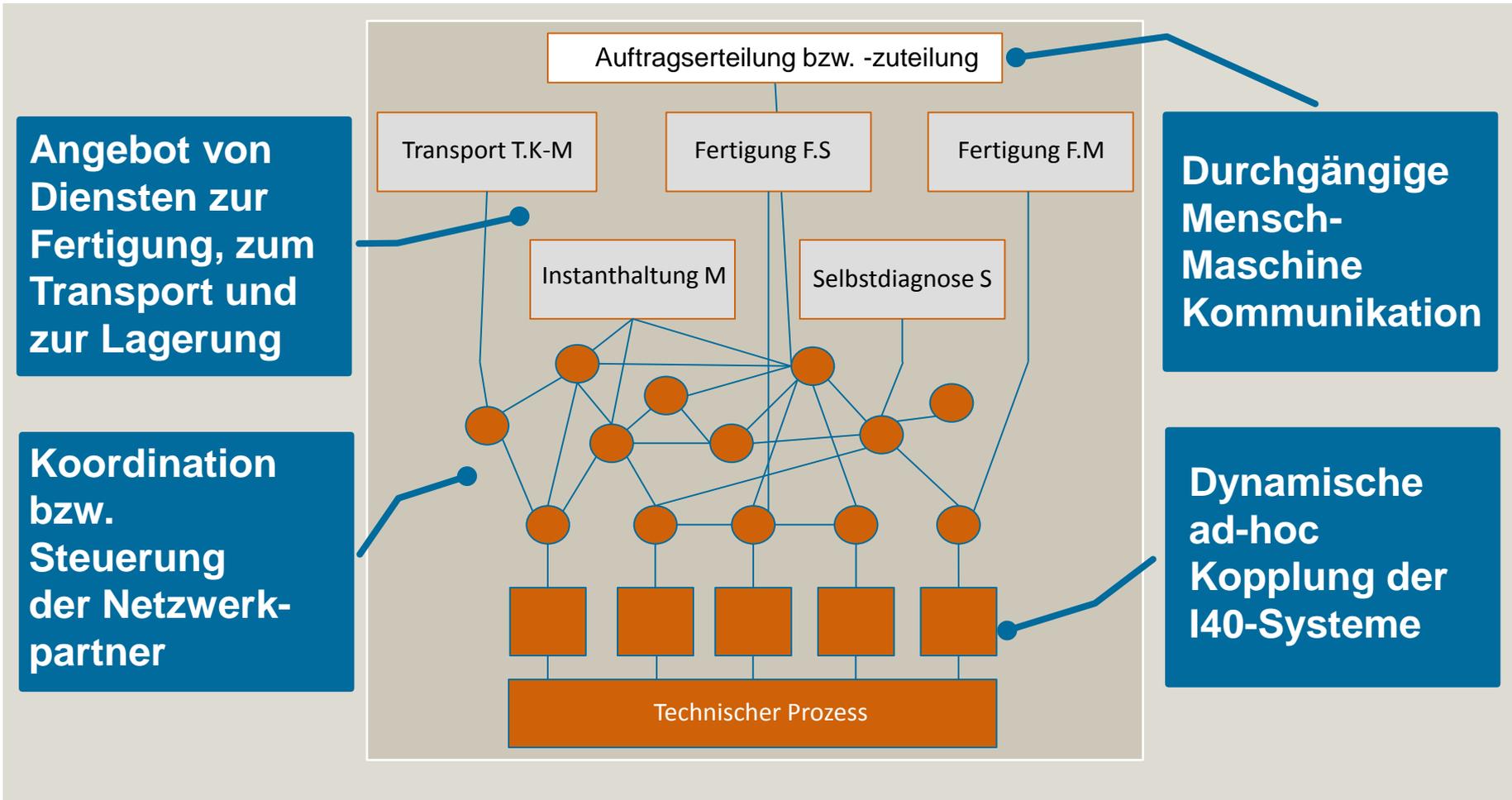
- > Entscheidungen können flexibel, situationsabhängig und autonom getroffen werden

Nachteil:

- > Potenziale der ganzheitlichen Optimierung bleiben unerschlossen



DAS AUTOMATISCHE ZUSAMMENSPIEL IM KOMPLEXEN WERTSCHÖPFUNGSNETZ KANN MIT HILFE VON DEZENTRALEN AGENTEN REALISIERT WERDEN



Prozesse

Ansatzpunkte

Steuerung und Regelung

Selbstoptimierung der Maschine

Regelstrategien und Beispiele

Informationsverarbeitung

Optimierung der Produktion

 **Nutzeneinschätzung**

STEIGERUNG DER EFFIZIENZ UND WIRTSCHAFTLICHKEIT UM 20% BIS 40% ?

Selbstorganisierende Systeme unterstützen:

- > Vorübergehende **Ramp-up und Ramp-down Vorgänge im vernetzten Unternehmen meistern** und die Ebenen der Produktion mit Blick auf Industrie 4.0 optimieren, d.h. Varianten und Effizienz
- > **Assistenzsysteme zur Maschineneinstellung und -überwachung**, um den Anteil von Fachleuten zu verringern
- > Viel Forschung auf dem Gebiet der **Parameter und Strukturoptimierung von Spritzgießmaschinen**. Weiterhin Potenzial aufgrund **schwieriger Modellbildung**, Simulation und Online-Parametermessung



Vielen Dank für Ihr Interesse!

Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich

Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 47

70550 Stuttgart

Email: michael.weyrich@ias.uni-stuttgart.de

Web: www.ias.uni-stuttgart.de