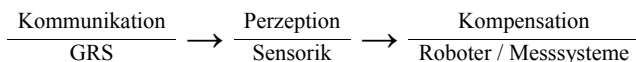


# 1. Forschungsumfeld und -programm

Die Bereitstellung von Messtechnik als integraler Bestandteil einer Produktionsanlage stellt einen Lösungsvorschlag für die wandlungsfähige Produktion dar (Demeester, et al., 2011). Diese Arbeit überträgt diese Erkenntnis auf die Inbetriebnahme roboterbasierter Großbauteilmontage durch die Zusammenarbeit von:

- Roboter mit Prozesswerkzeugen      Ausführung der Montageaufgabe
- Large-Volume Sensorik              Erkennung von Maschinenabweichungen
- Prozess-Sensorik                      Erkennung von Bauteilabweichungen

Globale Referenzsysteme (GRS) als Kommunikationsstandard stellen per Definition (Demeester, et al., 2011) Informationen zur Verringerung der Diskrepanz zwischen virtueller Planung und realer Produktion bereit. Durch die Verfügbarkeit der Informationen wird eine Synchronisation der beiden Welten möglich. Diskrepanzen sind als Kern geringer Prozessfähigkeit zu identifizieren. Die Fokussierung auf Montagezellen mit Industrierobotern bietet aufgrund der Programmierbarkeit eine breite Untersuchungsmöglichkeit für Fragestellungen beim Einsatz von GRS. Virtuelle Wandlung wird unter den Begriffen wandlungsfähige und cyber-physische Systeme beschrieben. Die Umsetzung virtueller auf idealisierten Planungsmodellen basierender Methoden zur wandlungsfähigen Montage durch *Selbstreferenz* stellt die zu schließende Forschungslücke dar. Selbstreferenz umfasst:



Im Kern wird ein Lösungskonzept für die Inbetriebnahme roboterbasierter Montage durch selbstreferenzielles Ausführen einer idealisierten Wandlung erarbeitet. Mit einem Bewertungssystem werden die Einflüsse von Selbstreferenz auf die automatisierte Steigerung der Prozessfähigkeit untersucht. Die roboterbasierte Großbauteilmontage erhöht die Sichtbarkeit der Ausprägungen bei der Implementierung von Selbstreferenz. Die Bewertung der Automatisierungsgradsteigerung dient zur Erkennung von Regelmäßigkeiten. Möglich wird *Selbstreferenz* durch die Fähigkeit des Informationsaustauschs (*Kommunikation*), Beobachtung des eigenen Zustands (*Perzeption*) und Steigerung der Präzision (*Kompensation*) beim Ausführen idealisiert geplanter Prozesse. Durch GRS wird der Fokus von den Schnittstellen der Roboter und Messsysteme auf die Einflüsse und Auswirkungen der Selbstreferenz verlagert. Die Forschungsfrage lautet:

*Kann Selbstreferenz die Prozessfähigkeit gewandelter  
Großbauteilmontage auf Zellenebene automatisiert steigern?*

## 1.1 Selbstreferenz als Lösungsansatz

Übergreifendes Hemmnis für prozessfähige wandlungsfähige Montage von großen Bauteilen ist neben Bauteileffekten (Schmitt, et al., 2014b) die Komplexität beim Ersatz von starren Vorrichtungen durch programmierbare Roboter. Diese weisen aufgrund ihrer Bauart nur eine geringe Eigensteifigkeit auf und haben aufgrund höherer Kosten weniger Manipulationspunkte. Bauteile und Roboter beeinflussen sich innerhalb der Prozesse und erhöhen somit deren Komplexität. Die Planbarkeit wird erschwert und Probleme treten bei der stetig wiederholten Inbetriebnahme von Wandlung auf. Die Planbarkeit durch Simulation realer Effekte in der virtuellen Planung zu erhalten ist nicht zielführend. Die Autonomisierung des Produktionsplanungsprozesses unter Berücksichtigung zeitlicher und kausaler Wirkmechanismen des Anlagenverhaltens in mittel- und langfristigen Weiterentwicklungen ist nicht abzusehen. Die Reaktion einer Anlage auf veränderte Umgebungsbedingungen, Verschleißerscheinungen und Toleranzen in Bauteilen zuverlässig im Planungsmodell zu berücksichtigen, birgt aufgrund der Komplexität die Gefahr des Verlusts der Wandlungsfähigkeit in der Planung (Demeester, et al., 2011). Diese allgemein der Produktion zuzuordnenden Erkenntnisse führen in der Montage zu hohen Informationsdichten.

### **Komplexitätsbeherrschung durch Selbstorganisation**

In der Informationstechnik führen höhere Informationsdichten und Querbeeinflussungen zu einem Komplexitäts-Flaschenhals, welcher durch „autonomes Rechnen“ aufzulösen ist. Allerdings reichen kybernetische oder kognitive Ansätze unter Umständen nicht aus, weshalb Ansätze der Selbstorganisation übertragen werden (Heylighen & Gershenson, 2003). In den Wirtschaftswissenschaften überträgt die Idee der „autonomen Kooperation“ (Hülsmann, et al., 2007a) in heterogenen Strukturen die Selbstorganisation insbesondere bei einem dynamischen offenen System. Autonomes, selbstreferenzielles Verhalten wird innerhalb eines selbst definierten Regelsystems ausgeführt. Es entsteht ein adaptives, stabiles System im dynamischen Gleichgewicht mit der Umwelt. Folgende Dimensionen definieren Selbstorganisation (Hülsmann, et al., 2007b):

- Organisatorische Struktur: Komplexität, Dynamik und Offenheit des Systems
- Organisatorisches Verhalten: Indeterminismus, Selbstreferenz und Autonomie
- Organisatorische Fähigkeiten: Emergenz, dynamisches Gleichgewicht und Selbstkontrolle

Durch die Synthese der sozialwissenschaftlich verankerten Strukturierungstheorie und der Synergetik (Selbstorganisation) werden Einflüsse der Mikroebene (Mitarbeiterqualifikation) auf die Makroebene (Konzerne und Unternehmensnetzwerke) abgeleitet (Schallnus, 2005). Folgende Begriffe der Wahrnehmung werden für eine Prognose nutzbar:

- Macht - Fähigkeit zur Fremdgestaltung - über Informationsfluss gestalteter Prozess.
- Unabhängigkeit - Fähigkeit zur Selbstgestaltung - Prozess in Wechselwirkung mit Umwelt
- Erfolg - Maß der Unabhängigkeit - Grad der Beeinflussung von Umweltbedingungen
- Überindividueller Ordnungsparameter - Korrespondenz zu Umweltbedingungen

Spontane Organisation entsteht in isolierten determinierten dynamischen Systemen bei unveränderten Gesetzmäßigkeiten durch die Ausbildung von an die „Umwelt“ angepassten „Organismen“. Diese entwickeln im Wettbewerb ihre „Überlebensfähigkeit“ und „Auffassungsgabe“ unvermeidbar weiter, sind aber nicht unbedingt übertragbar und im Regelfall eigennützig (Ashby, 1962). Um regulierend einzugreifen muss Information in das System eingebracht werden. Begrenzt ist die Regulation auf das Maß der eingebrachten Information. Die Regulation weist verschiedene Ausprägungen auf. Organisation findet aber erst beim Überschreiten von Schwellwerten im Beobachtungszeitraum statt (Perry, 1995). Kybernetische Ansätze durch Einbindung von Dämonen (von Foerster, 2003) beeinflussen die Regulation der Organismen. Zusammenfassend stellt Selbstorganisation eine Eigenschaft eines Systems dar, welche gekapselt von der eigentlichen Aufgabe inhärent vorhanden ist.

Ein mögliches Bewertungskriterium für Selbstorganisation ist die Zeit, in welcher das System autonom arbeitet (Shalizi, 2001). Im Fall der Inbetriebnahme von Montage ist dieses Kriterium mit dem Anteil fähiger Prozesse verbunden und erhöht eine Selbstkontrolle der Anlage durch Einführen prädiktiver Elemente (Shalizi, et al., 2004).

### **Selbstreferenzielle Montage**

Erreichbarkeits- und kollisionsgeprüfte Offline-Programme in Kombination mit einer Beschreibung von Qualitätsmerkmalen stellen bei der Nutzung idealisierter Modelle eine hinreichende Informationsquelle für gewandelte Montageprozesse dar. In den Planungsdaten halten die Montageeinheiten das Wissen über die eigene Aufgabe für die symbolische Zuordnung der Wahrnehmung auf die eigene Gestalt vor (Whitehead, 1919), (Hooper, 1944). Die Änderung und Überprüfung der Anforderungen in einem übergeordneten Planungssystem vereinfacht und rationalisiert die Prozesse, wodurch Kernanforderungen für die Einführung von so genannten smarten Produktionssystemen (Massotte, 1995) erfüllt werden. Die Roboter und Messsysteme agieren als autonome und redundante Einheiten in einem komplexen Umfeld. Sie weisen die selbstreferenziellen Fähigkeiten der *Kommunikation, Perception und Kompensation von Abweichungen* im Sinne der vorgeschlagenen Dämonen selbstorganisierender Systeme (von Foerster, 2003) auf. Die Selbstreferenz erhöht die Übereinstimmung zwischen dem idealisiert geplanten und realen Verhalten einer Montagezelle. Die Informationen aus der Montage lassen sich durch die höhere Übereinstimmung in die Planungsmodelle zurückführen und schaffen interoperable wissensbasierte Systeme in heterogenen Umgebungen (Leitao, 2008). Selbstreferenz reduziert Quereinflüsse mit anderen Systemen und lehnt sich in die übergeordnete virtuell gewandelte