



RAINER WILKENS  
MANAGER PRODUCTION SYSTEM DESIGN & RAMP-UP

2.6.2022

# Wandlungsfähiges Produktionssystem Gedanken und Ansätze

# Agenda



- ▶ Unternehmensvorstellung
- ▶ Problemstellung / Ausgangssituation / Anforderungen / User Stories und Prioritäten
- ▶ Produktionssystem / Wandlungsbefähiger
- ▶ Matrixproduktion
- ▶ IIP Ecosphere
- ▶ Zusammenfassung

# Agenda



- ▶ Unternehmensvorstellung
- ▶ Problemstellung / Ausgangssituation / Anforderungen / User Stories und Prioritäten
- ▶ Produktionssystem / Wandlungsbefähiger
- ▶ Matrixproduktion
- ▶ IIP Ecosphere
- ▶ Zusammenfassung

# THE FUTURE OF AUDIO SEIT 1945





Wir gestalten die Zukunft der  
Audiowelt und schaffen für  
unsere Kunden einzigartige  
Sound-Erlebnisse.

## The Future of Audio – seit 1945



Seit 2013 wird das Familienunternehmen von Daniel Sennheiser (links) und Dr. Andreas Sennheiser (rechts) in der dritten Generation geleitet.

Unter ihrer Führung schreibt Sennheiser seine Innovationsgeschichte auch zukünftig fort.



## The Future of Audio – seit 1945

Heute ist Sennheiser einer der weltweit führenden Hersteller von Kopfhörern, Mikrofonen und drahtloser Übertragungstechnik.

Mit zur Sennheiser-Gruppe gehört auch der Studio-Spezialist Georg Neumann.

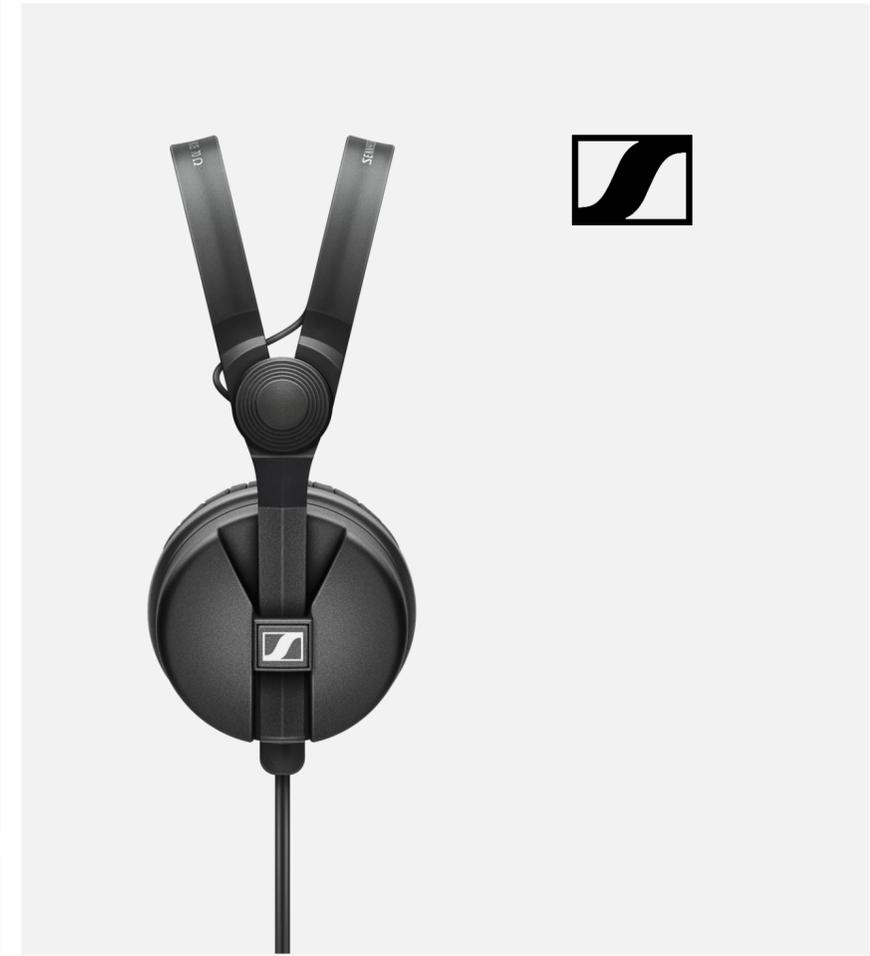
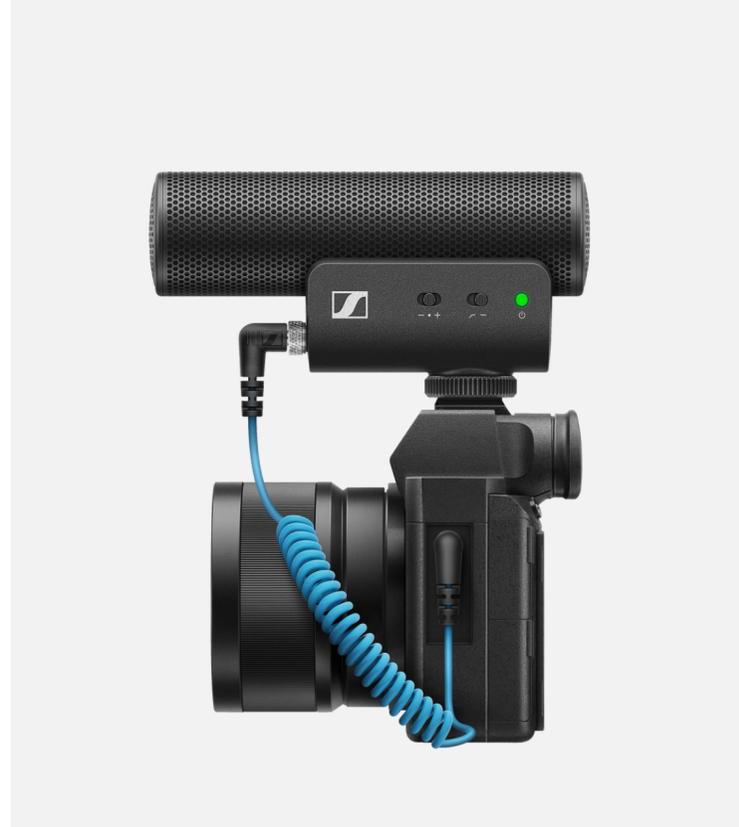


**SENNHEISER**

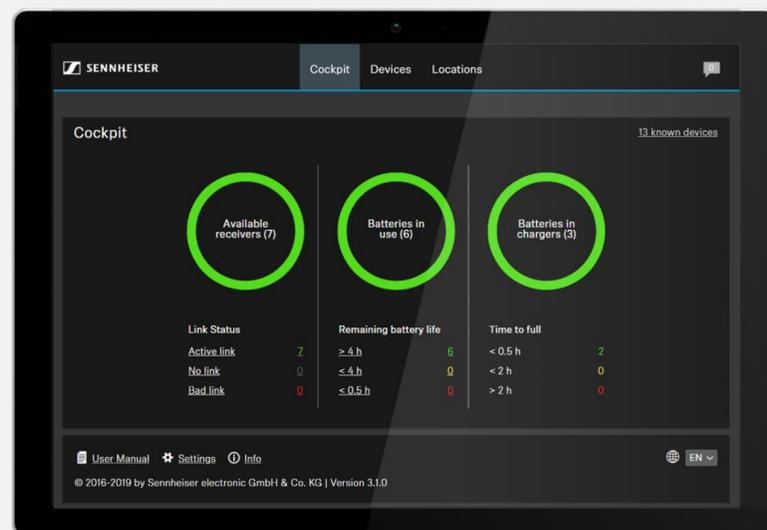
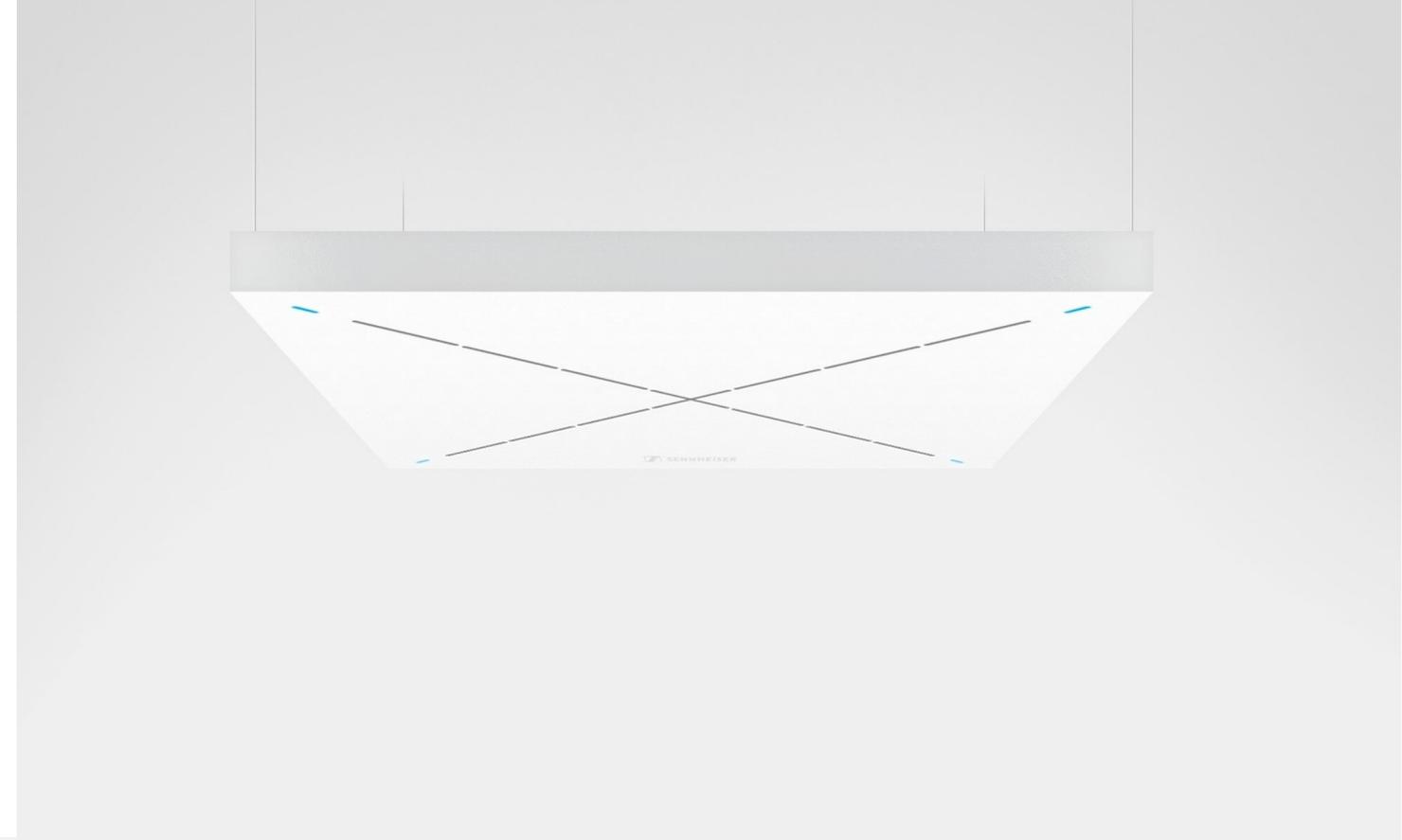
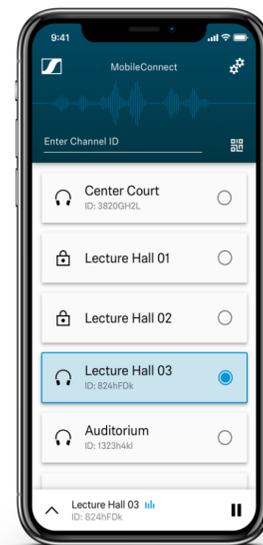
**DAS  
SENNHEISER  
ERLEBNIS**



# Unsere Produkte Professional Audio



# Unsere Produkte Business Communication



# Agenda



- ▶ Unternehmensvorstellung
- ▶ Problemstellung / Ausgangssituation / Anforderungen / User Stories und Prioritäten
- ▶ Produktionssystem / Wandlungsbefähiger
- ▶ Matrixproduktion
- ▶ IIP Ecosphere
- ▶ Zusammenfassung

# VUCA



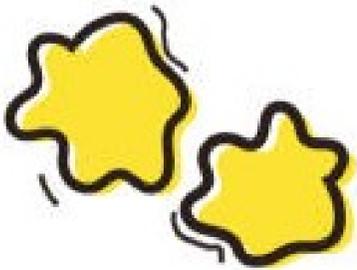
VOLATILITY



UNCERTAINTY



COMPLEXITY



AMBIGUITY

Quelle: 8)

Quo vadis?

Quo vadis?

Quo vadis?

Quo vadis?

Quo vadis?

Quo vadis?



## ➤ Als Produktionsleiter möchte ich

- eine **prozess- und auslastungsorientierte** Produktionsorganisation (Matrixfertigung).
- dass die **Wandlungsfähigkeit Schritt für Schritt** erlangt werden kann und nicht die komplette Produktion umgebaut werden muss, um damit anzufangen.
- dass die Umstellung auf ein wandlungsfähiges Produktionssystem **wirtschaftlich** ist.
- durch ein wandlungsfähiges Produktionssystem **keine zusätzlichen Lagerbestände** (WIP und FG) haben.
- meine Kunden **pünktlich beliefern** und eine **hohe Lieferperformance** sicherstellen (21 Punkte).
- zu möglichst **geringen Kosten** produzieren, um **konkurrenzfähig** zu sein (20 Punkte).
- **schnell** auf geänderte Kundenbedarfe **reagieren** können (18 Punkte).
- dass **Produktionsmittel schnell und kostengünstig** hergestellt werden (17 Punkte).

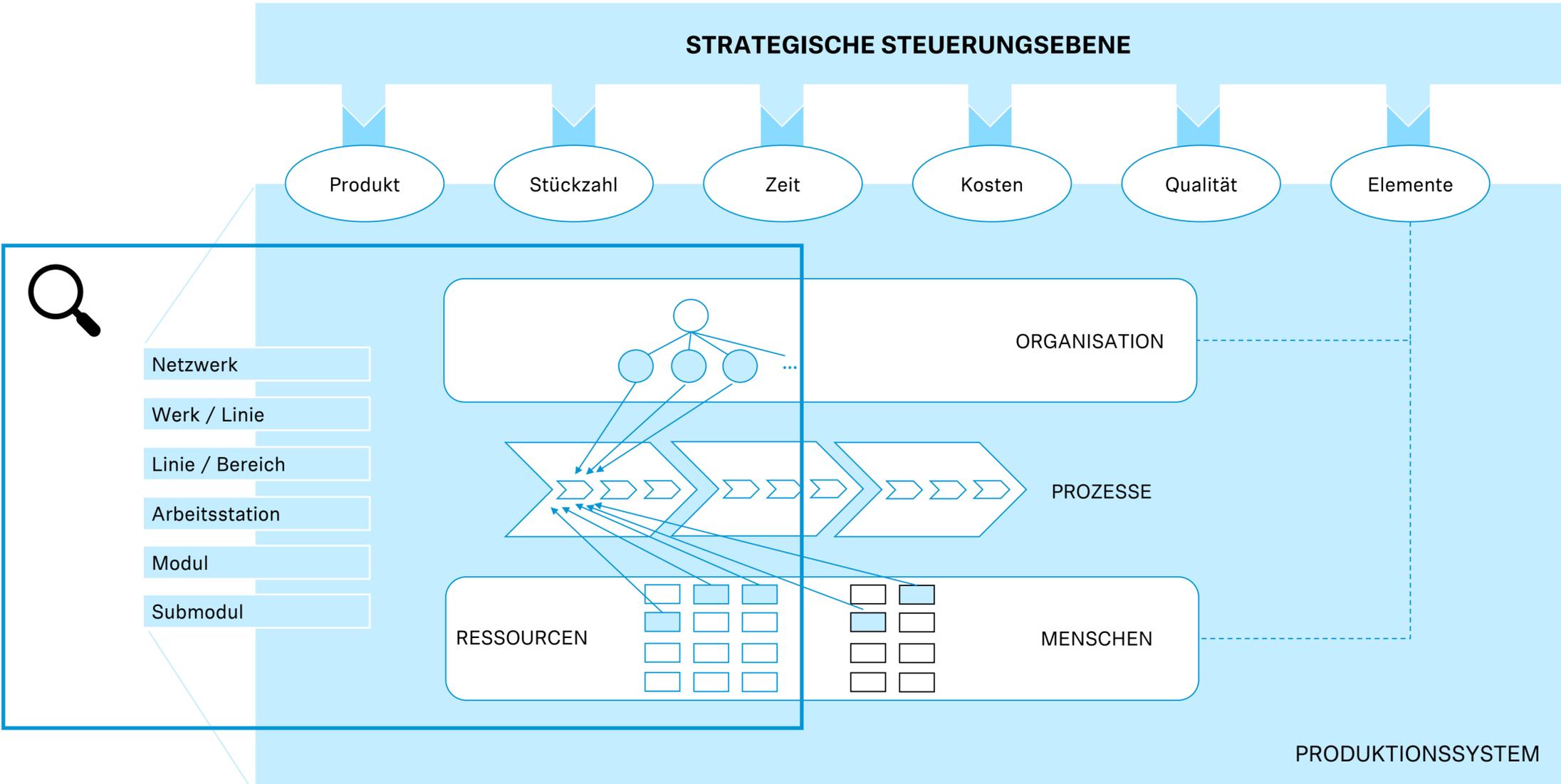


- Als Produktionsleiter möchte ich,
  - meine vorhandenen **Betriebsmittel** für andere Produkte **wiederverwenden** können (16 Punkte).
  - dass **Lean Prinzipien** (u.a. Materialfluss, geringe Bestände, geringe DLZ) weiter eingehalten werden (15 Punkte).
  - dass eine wandlungsfähige Produktion **wenig Auswirkung auf die Produktkonstruktion** hat (15 Punkte).
  - die vorhandenen Betriebsmittel gut auslasten, um den **Stundensatz** möglichst **gering** zu halten (14 Punkte).
  - dass ich meine **Lieferperformance** und meine **Kosten** auch **bei Schwankungen** der Kundenbedarfe bei einem spezifischen Produkt **halten** kann (12 Punkte).
  
- Als Engineering Entwicklungspartner möchten wir in der Lage sein, **schnell auf Bedarfe nach Prototypen zu reagieren.**

# Agenda



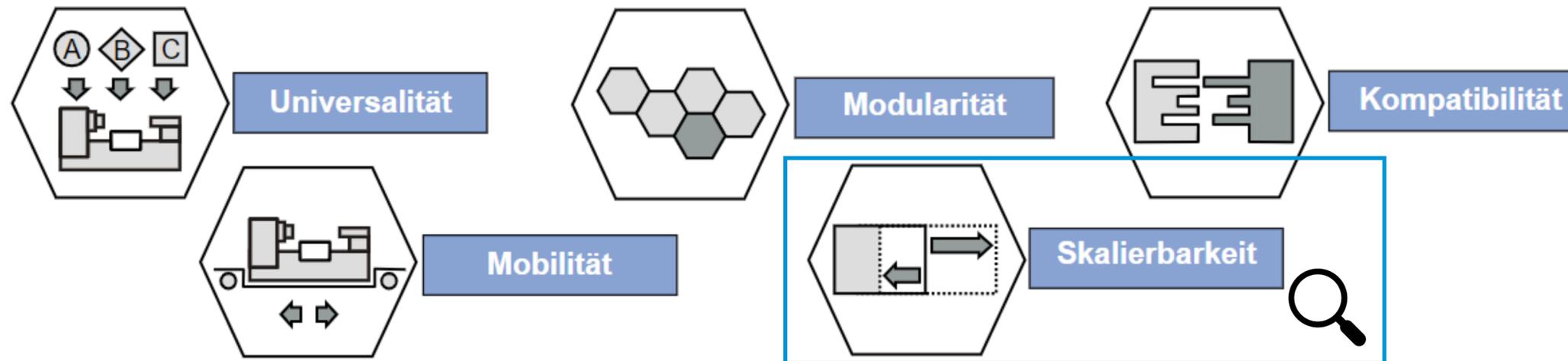
- ▶ Unternehmensvorstellung
- ▶ Problemstellung / Ausgangssituation / Anforderungen / User Stories und Prioritäten
- ▶ Produktionssystem / Wandlungsbefähiger
- ▶ Matrixproduktion
- ▶ IIP Ecosphere
- ▶ Zusammenfassung



- ▶ Kosteneffizienz
  - Betriebsmittelkosten
  - Auslastung
- ▶ Agilität

Quelle: 4) Cisek et. al. (2002)

# Wandlungsbefähiger und relevante Organisationstypen



Quelle: 5) Wiendahl et. al. (2014)

- ▶ Werkstattfertigung
    - prozess- und auslastungsorientiert
  - ▶ Fließfertigung
    - flussorientiert
    - produktorientiert; vorzugsweise Fließfertigung (getaktete Linienfertigung)
    - produktgruppen- und auslastungsorientiert
- ➔ Matrix
    - prozess-,
    - auslastungs-,
    - und flussorientiert (adaptiv)
    - modular

# Agenda



- ▶ Unternehmensvorstellung
- ▶ Problemstellung / Ausgangssituation / Anforderungen / User Stories und Prioritäten
- ▶ Produktionssystem / Wandlungsbefähiger
- ▶ **Matrixproduktion**
- ▶ IIP Ecosphere
- ▶ Zusammenfassung

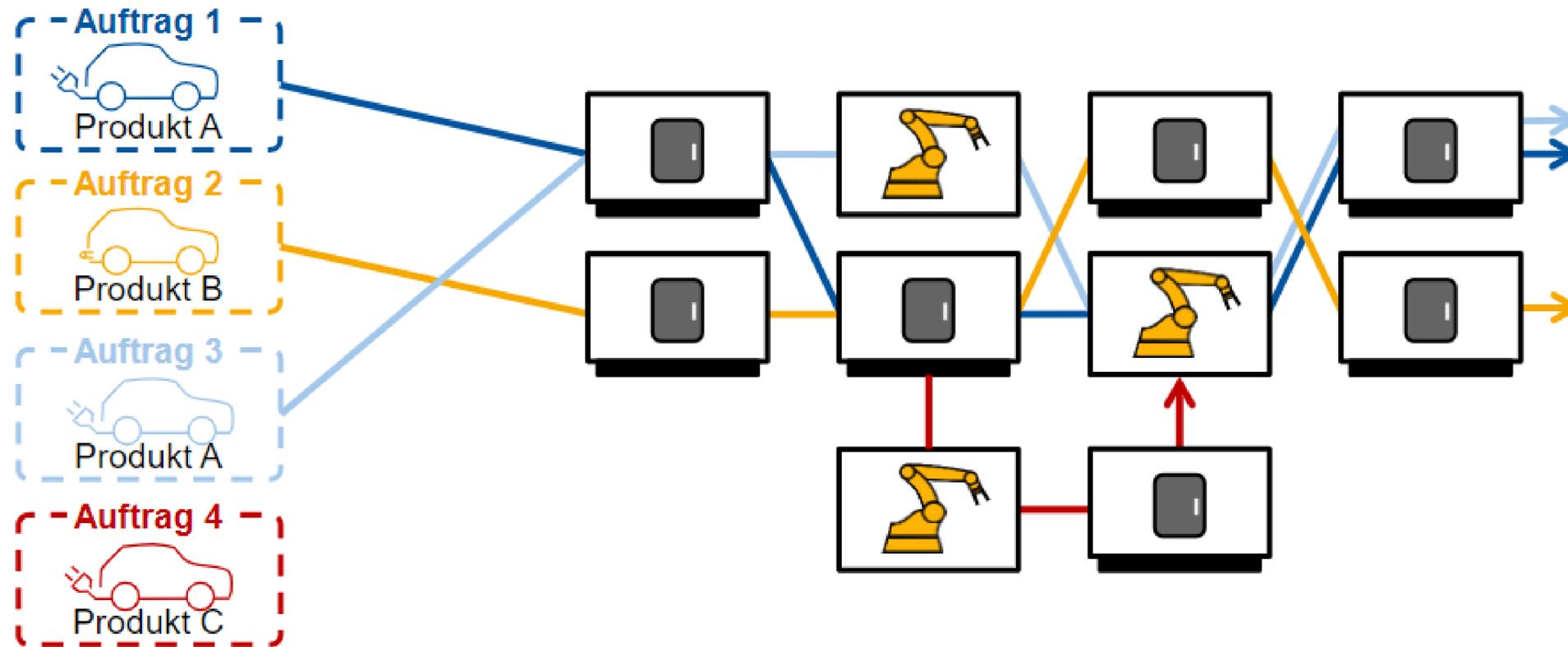
# Matrixproduktion



*freeMoVe*

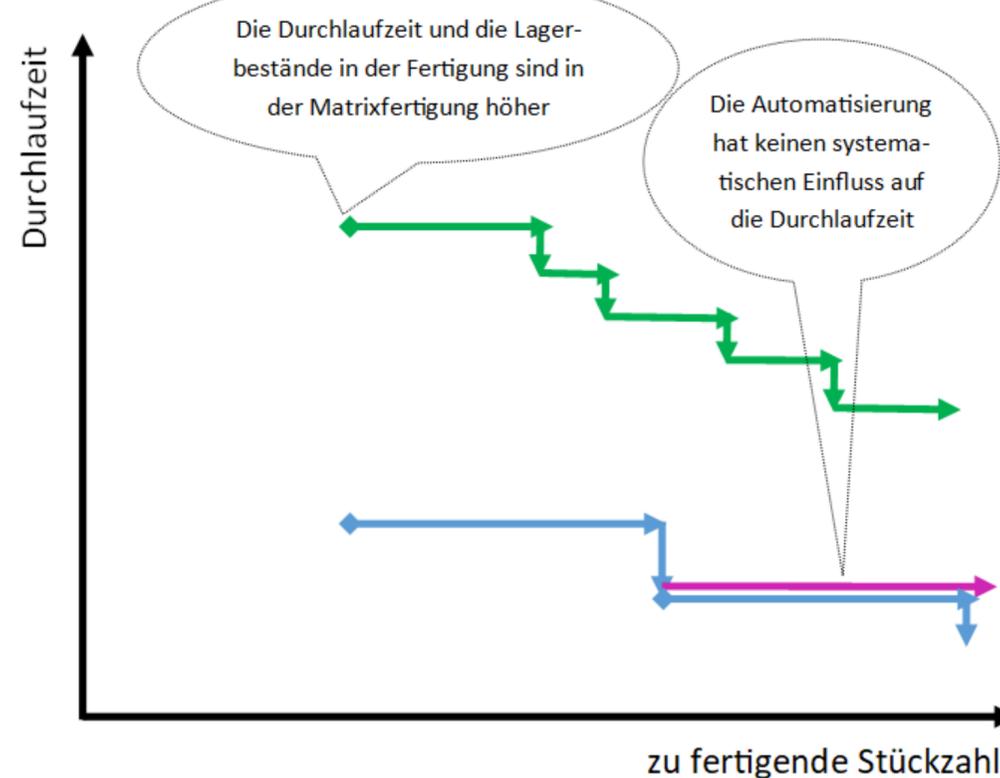
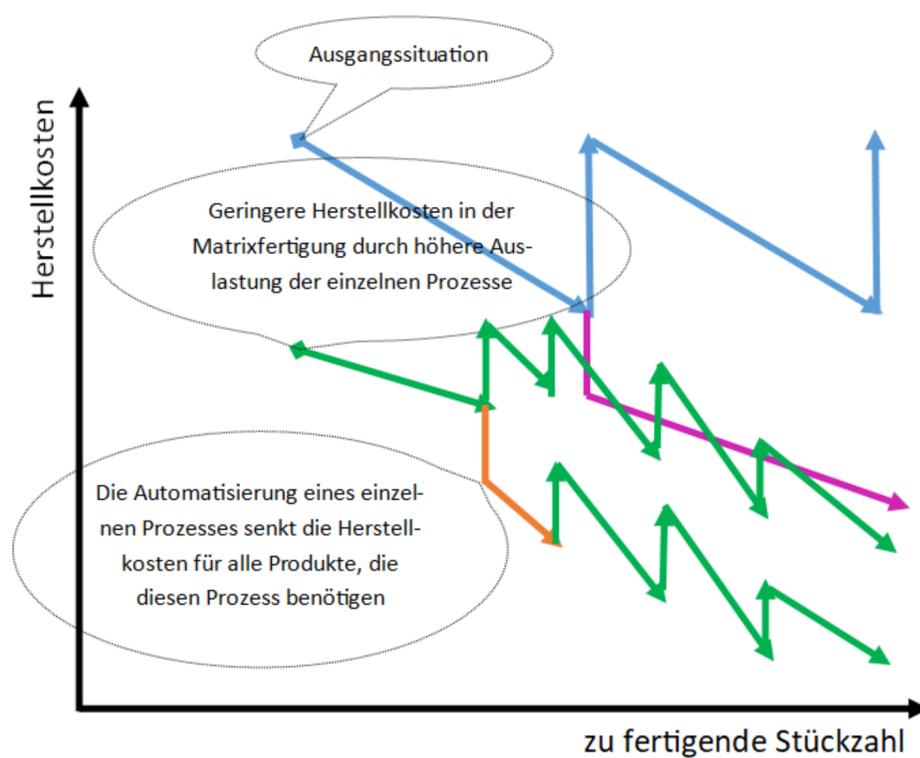
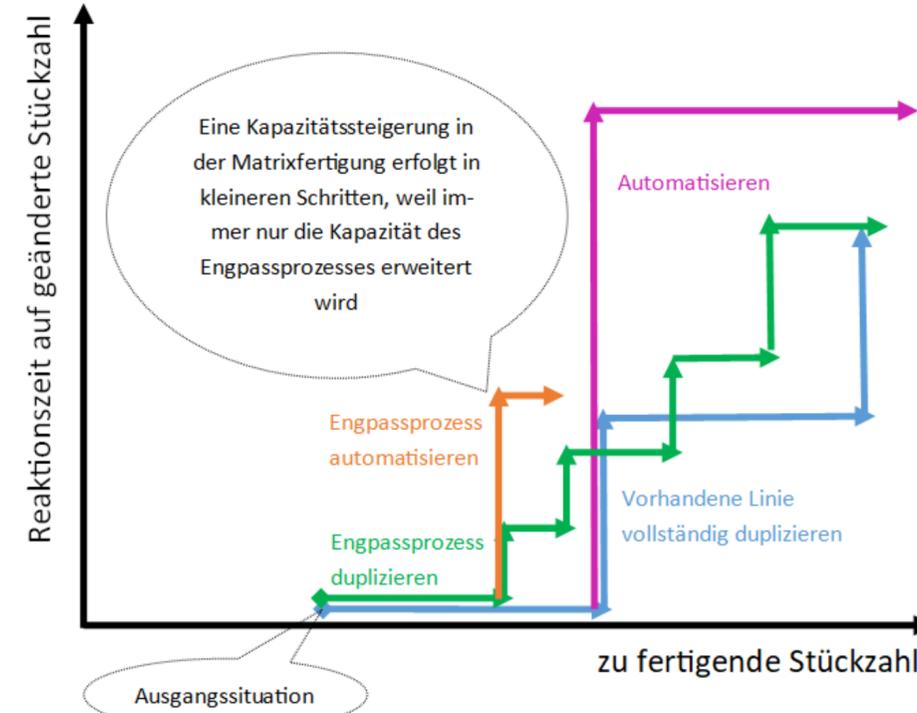
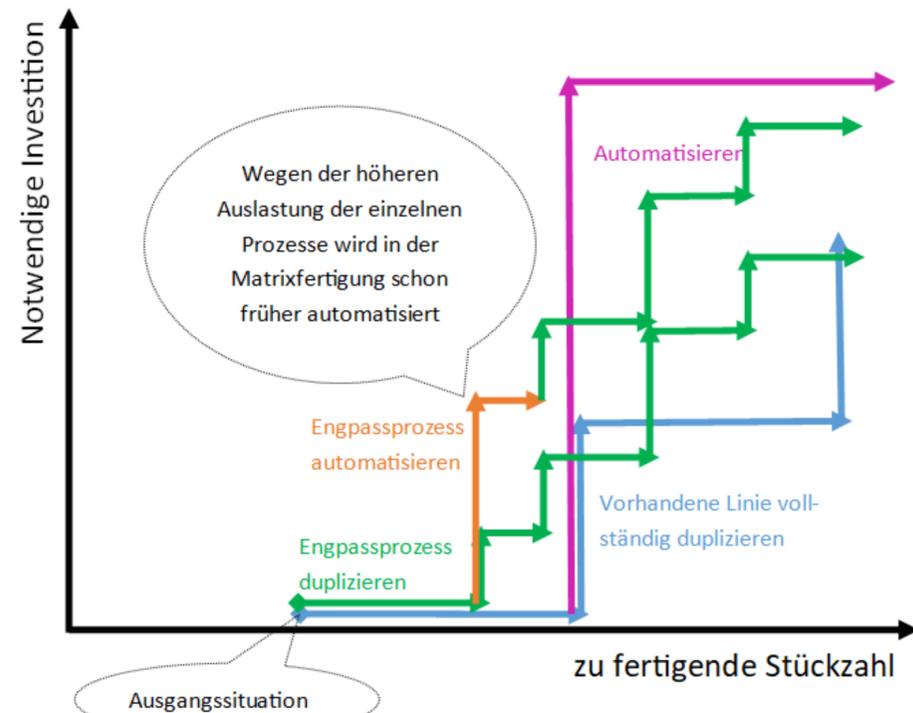
## Auflösung der starren Verkettung

*Frei verkettete Montagesysteme*



Frei verkettete Montagesysteme ermöglichen durch Auflösung der zeitlichen und räumlichen Restriktionen für jeden Auftrag eine individuelle Auftragsroute.

# Qualitative Hypothesen zur Matrixfertigung



**Blau:** Jetzige Vorgehensweise mit ausgetakteten Linien nach Lean-Prinzipien

**Magenta:** Jetzige Vorgehensweise mit Automatisierung

**Grün:** Matrixfertigung

**Orange:** Automatisierung in der Matrixfertigung

→ Matrix

— Kosteneffiziente Skalierbarkeit

# Macht Matrix für uns Sinn?



## ▶ Pro:

- Gleiche Prozesse -> höhere Auslastung
- Fertigungsplanung wird transparenter
- Automatisierung leichter implementierbar

## ▶ Contra:

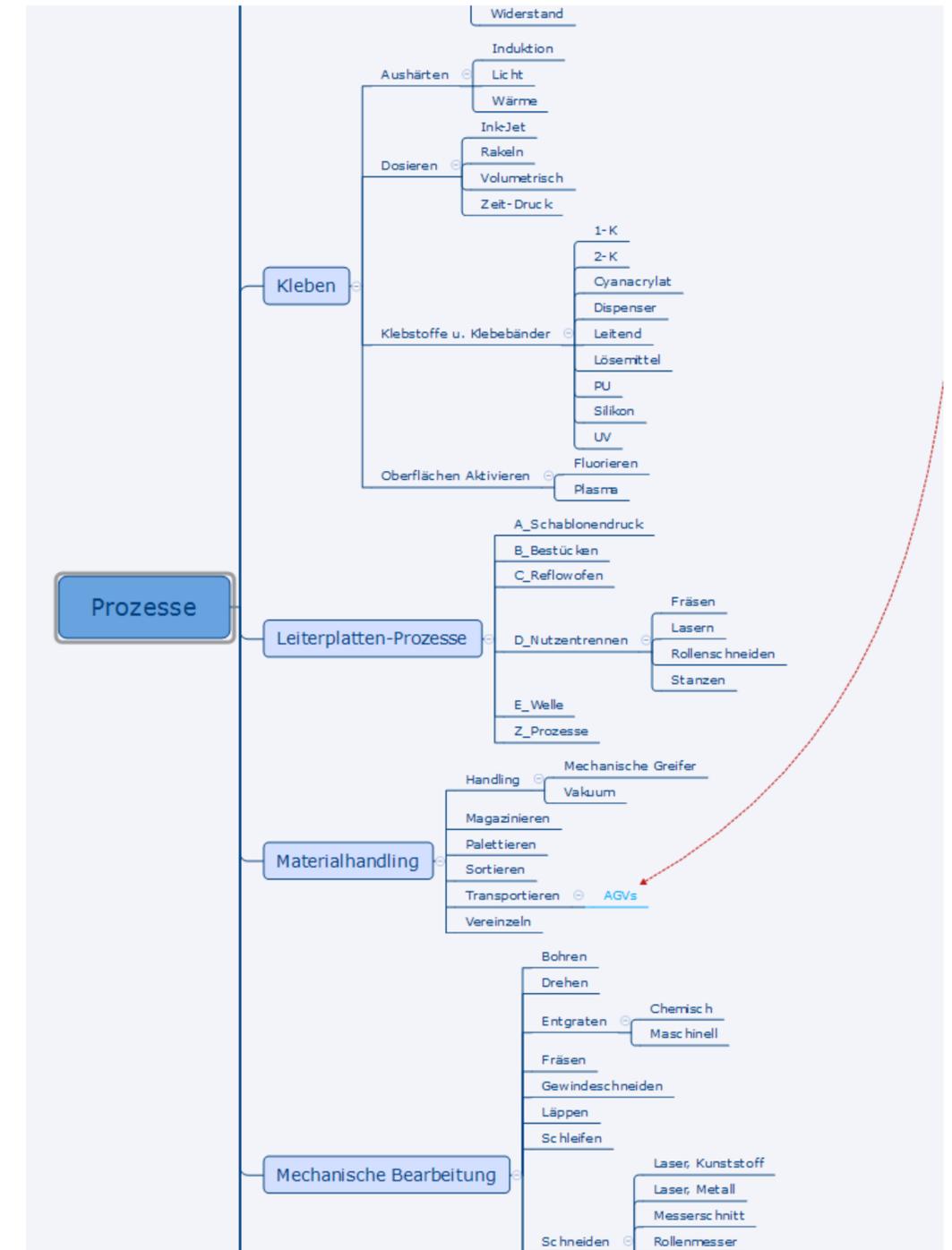
- Umstellung der Fertigungsorganisation
- Höherer Planungsaufwand (Logistik, Material, Personal)
- Keine Parallelisierung von Prüfen und Montieren möglich

## ➔ Simulation

# Daten zur Simulation



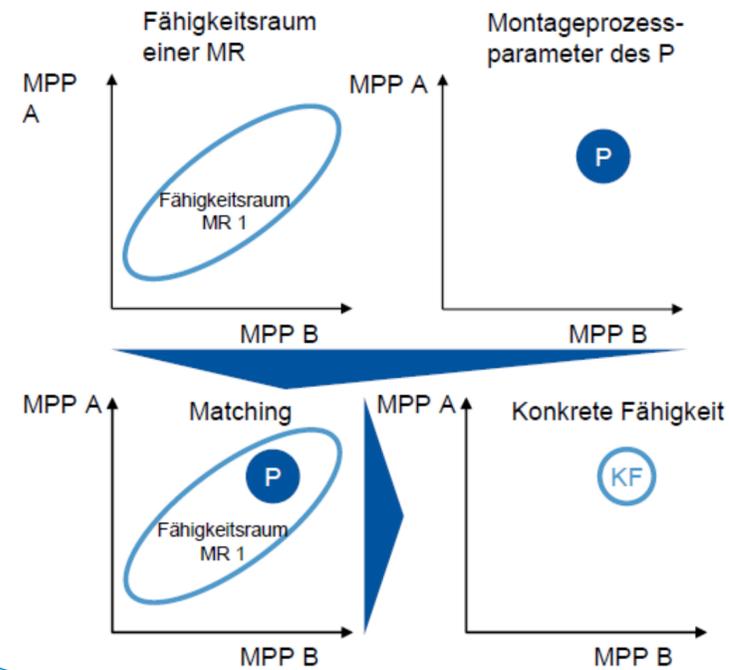
- ▶ Kapazitäten / Auslastung
- ▶ Prozessausprägung (Merkmale)
- ▶ Betriebsmittel Fähigkeiten
- ▶ Optionale Zusammenfassung von Prozessen zu kurzen Prozessketten
- ▶ Logistische Kostenbetrachtung der FTS Unterstützung, um einen dezentralen one-piece-flow zu erreichen



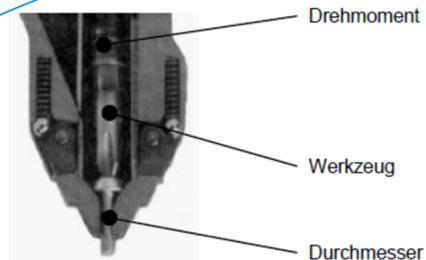
# Prozessmerkmale und -fähigkeiten



## Montageprozess

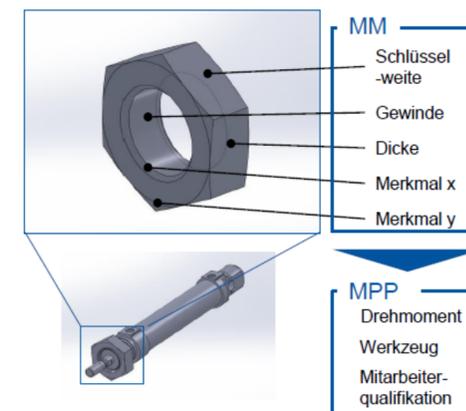
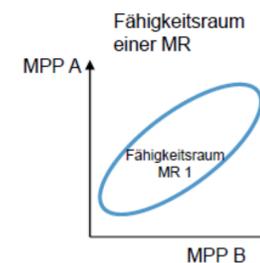


- Montageressource und Produkt werden beide über Montageprozessparameter (MPP) beschrieben.
- Unterschieden werden sie nur durch die Festlegung eines MPP-Bereiches für MR und eines MPP-Punktes für Produkte.
- Der MPP-Bereich bildet den sogenannten Fähigkeitsraum einer MR ab. Produkte deren MPP-Punkte innerhalb eines Fähigkeitsraumes liegen können von der MR montiert werden.



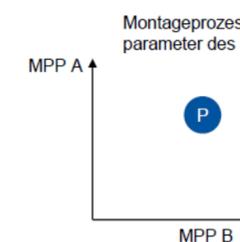
## Montageressource / Asset

- Montageressource ist ein zu umfassender Begriff, der im Rahmen von freeMoVe als Überbegriff für Montagestation/-zelle, Montagemitarbeiter und mobile Handhabungsroboter steht.
- Die MR ist die Komponente eines Montagesystems, welche die Fähigkeit besitzt Montageprozesse auszuführen.
- Diese Fähigkeiten werden über Parameter definiert, die sogenannten Montageprozessparameter (MPP).



## Produkt

- Das Produkt besitzt einen inhärenten Merkmalsatz.
- In diesem Merkmalsatz können montagerelevanten Merkmal identifiziert werden.
- Aus den montagerelevanten Merkmalen (MM) werden die Anforderungen des Produktes an einen Montageprozess, in Form von Montageprozessparameter (MPP), durch Experten abgeleitet.



# Zusammenfassung des Bisherigen

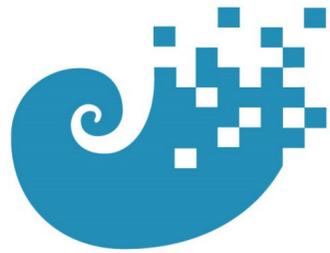


- Daten der Betriebsmittel (Asset) Fähigkeiten liegen nicht vor
- Daten der Prozessmerkmale liegen nicht vor
- Manuelle Simulation nicht möglich
- Manuelle Produktionsplanung nicht möglich
  
- ➡ Entwicklung eines digitalen Produktions-Zwillings
  - ➡ Fähigkeiten der Assets
  - ➡ Prozessmerkmale der Produkte
  - ➡ Effiziente Materialbereitstellung der Betriebsmittel und Komponenten

# Agenda



- ▶ Unternehmensvorstellung
- ▶ Problemstellung / Ausgangssituation / Anforderungen / User Stories und Prioritäten
- ▶ Produktionssystem / Wandlungsbefähiger
- ▶ Matrixproduktion
- ▶ IIP Ecosphere
- ▶ Zusammenfassung



**IIP-Ecosphere**

Next Level Ecosphere for  
Intelligent Industrial Production



# AP 9: Demonstrator »Autonome Roboterzelle zur Endprüfung in der Leiterplattenfertigung«

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# IIP-Ecosphere Vision



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Sennheiser Demonstrator

AUFBAU EINES **SKALIERBAREN, AGILEN UND AUTONOM** AGIERENDEN PRODUKTIONSSYSTEMS IN FORM EINES DEMONSTRATORS

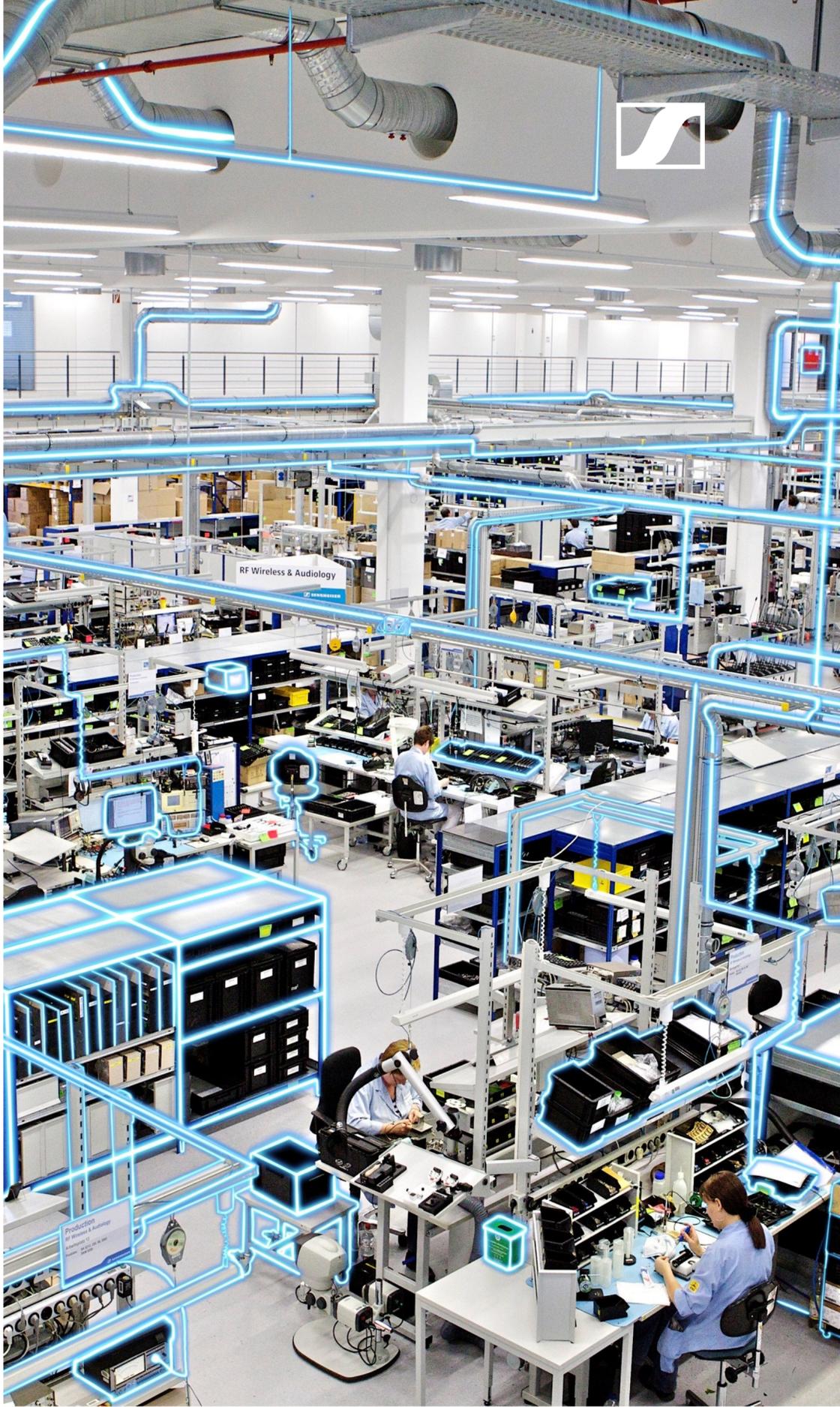
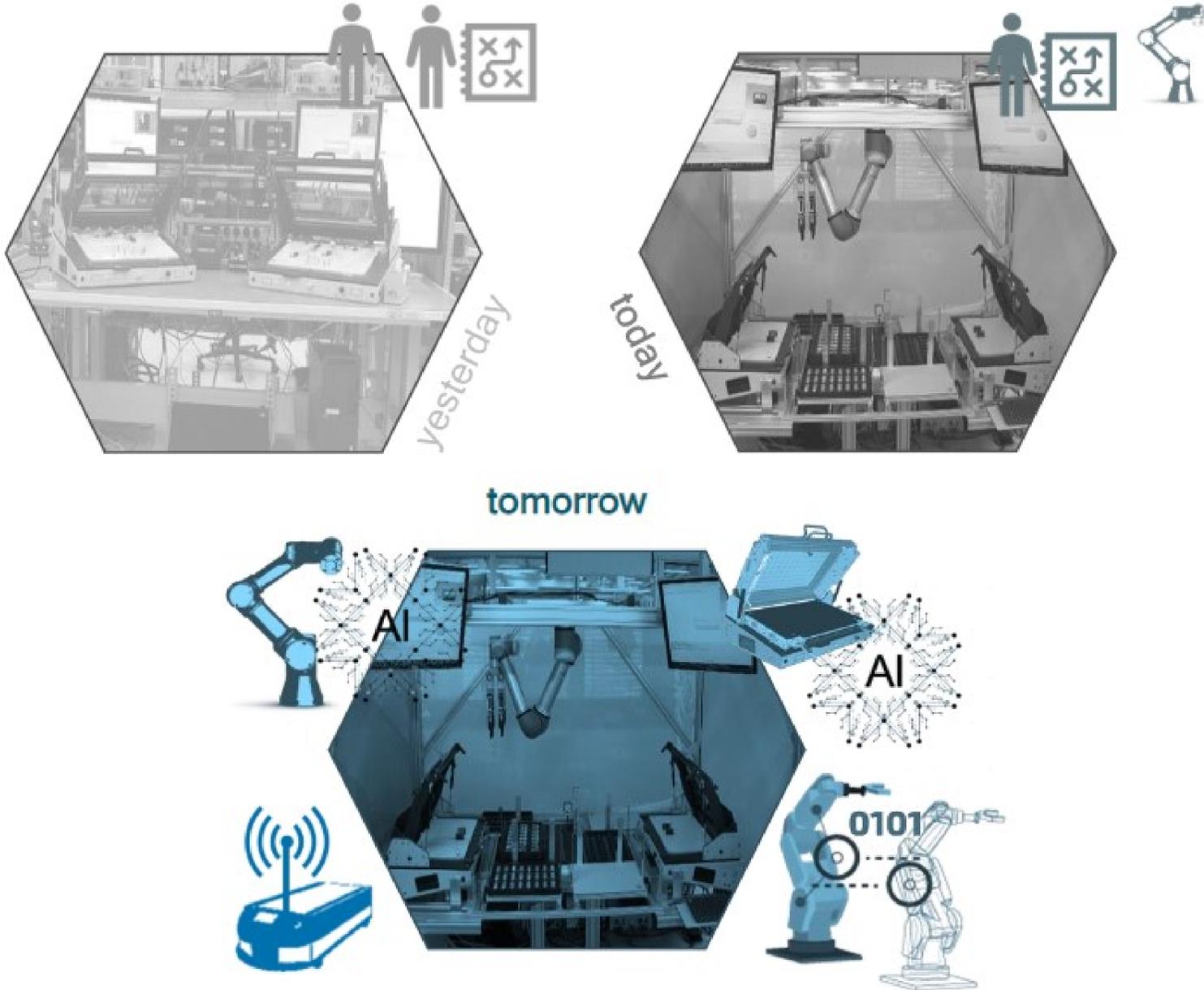


IIP-Ecosphere

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

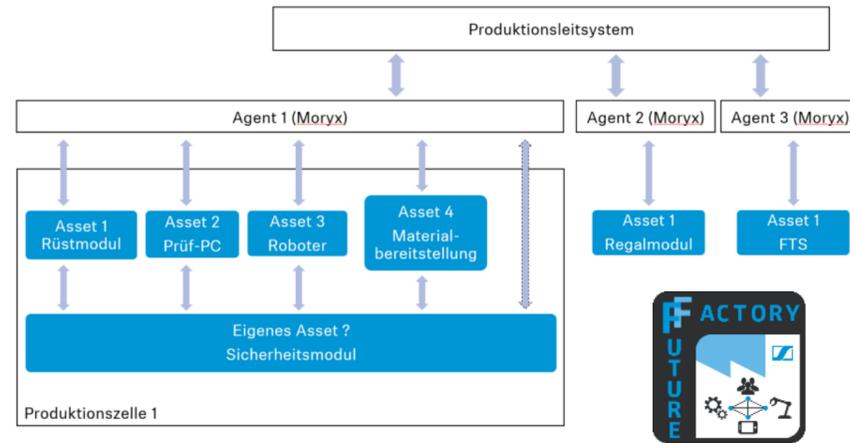




AP 17  
AP 6000



## Systemintegration



- Objekterkennung – Bitmotec
- KI Evaluation – KI Accelerator (Slashwhy, Rapidminer)
- Agentenbasierte Simulation - IFW



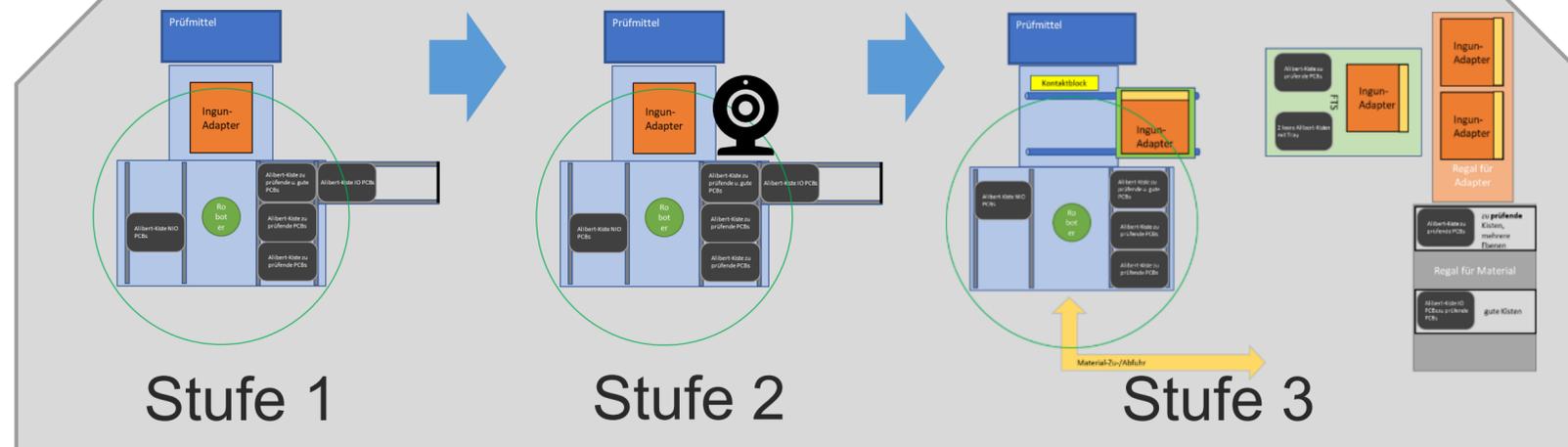
## Produktionssystemmanagement

- Einflussgrößen:
  - Routenplanung
  - Kapazitäten
  - ...
- Ziel: Lieferperformance
- Methodenentwicklung:
  - Multi-Agent Simulation in Plant Simulation in System integrieren

### KI-Anwendungsfälle:

- Pseudofehlererkennung
- Reparaturempfehlung
- Regelbasierter Maßnahmenervice

## Autonomes Rüsten



# Hardware



PCB-Erkennung  
Lageerkennung

Kollaborativer  
Roboter

Tray/  
Handlingsposition  
ungeprüfte Produkte

Rollwagen/  
ungeprüfte Produkte

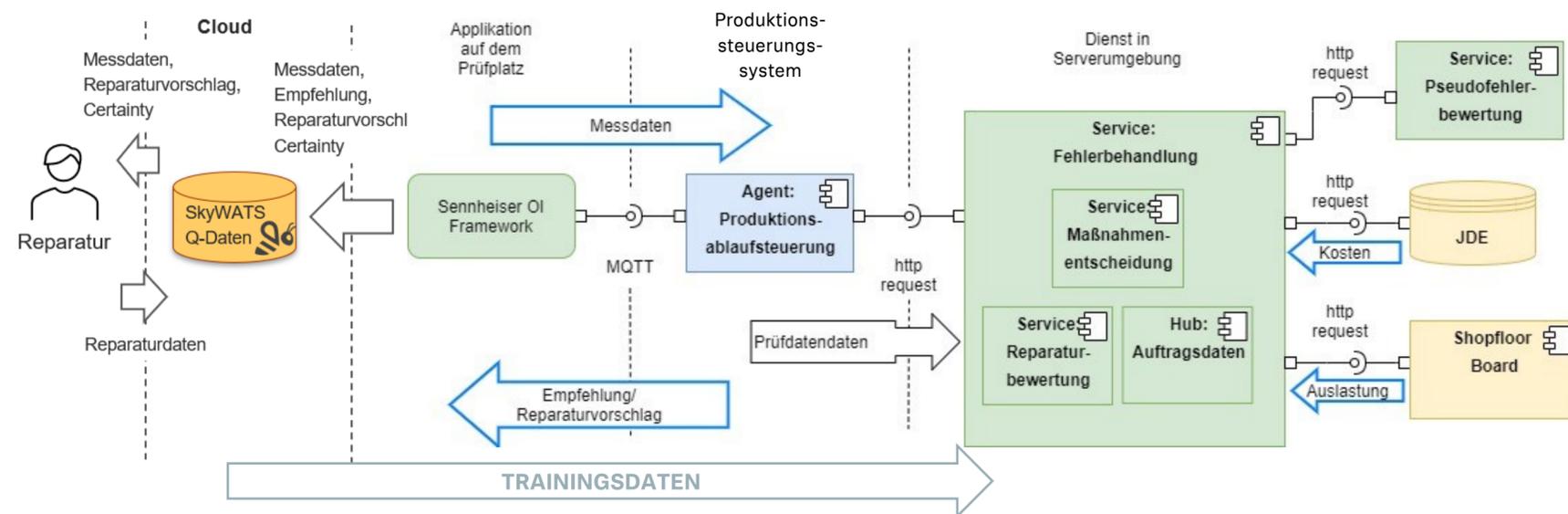
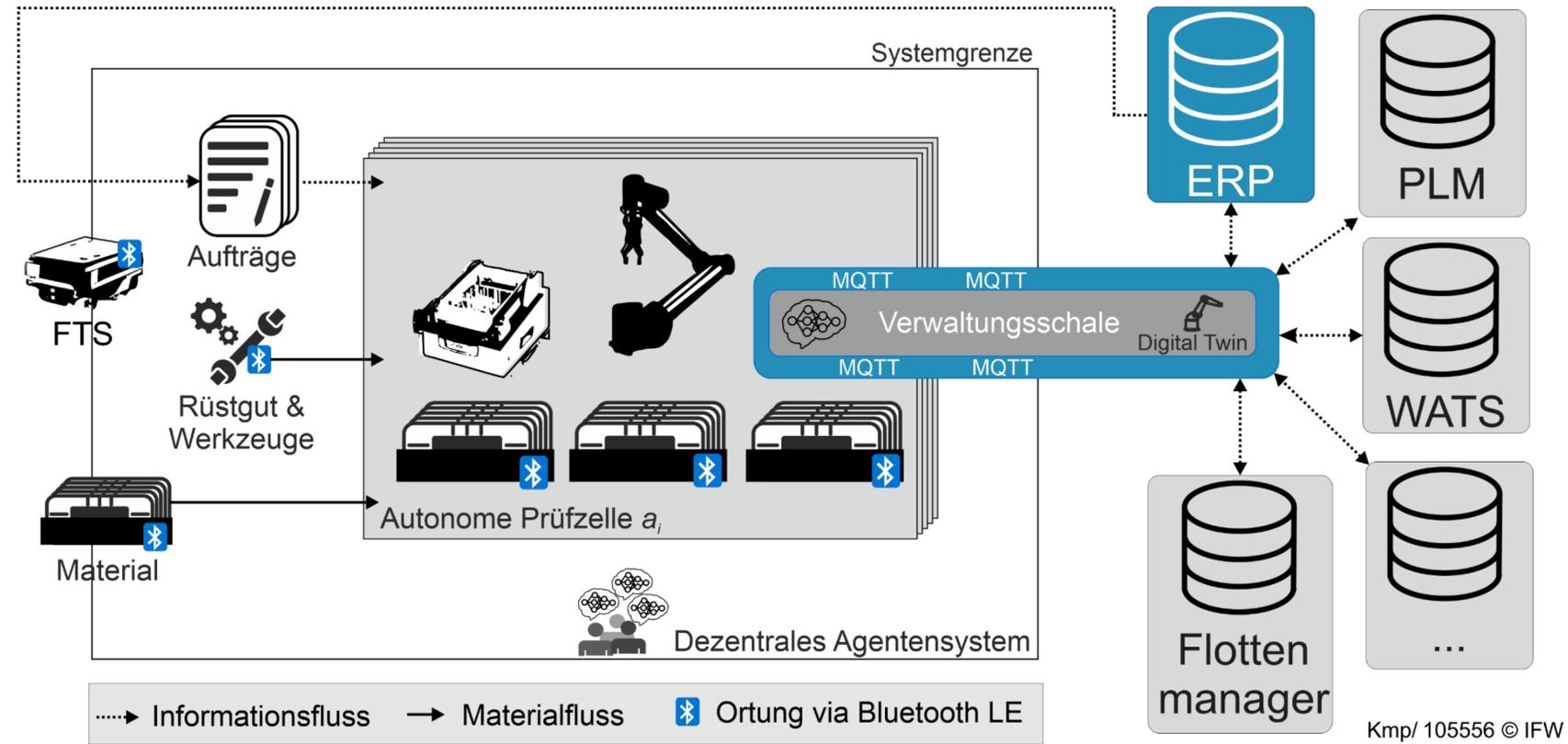
Ausschleusung NIO  
Golden Sample

Prüfsystem

Austauschsatz/  
Ankopplung  
Prüfsystem

Transportband/  
geprüfte Produkte

# Prozessbilder des Assets „Autonome Prüfzelle“







- ✓ Internet (KI Landkarte) – Plattform-Lernende-Systeme – use case Anmeldung -> <https://www.plattform-lernende-systeme.de/ki-landkarte.html>
- ✓ KI in der Produktion - organisiert durch Deutsche Messe AG - 11./12.2.2021- Petra Hildebrandt / Sennheiser
- ✓ Industrial Communication Congress / Hannover – 10.6.2021, <https://event.phoenixcontact.com/icc2021> - Rainer Wilkens / Sennheiser
- ✓ KI & Data Analytics in Manufacturing / Köln – 28./29.4.2021 → 28./29.6.2021 – Petra Hildebrandt / Sennheiser
- ✓ SPS Magazin – Ausgabe 6 – Juli/August - Beitrag von Daniel Kemp/Malte Bonhage/Rainer Wilkens veröffentlicht
- ✓ Künstliche Intelligenz in der industriellen Produktion - organisiert durch Deutsche Messe AG - 23./24.9.2021 - Petra Hildebrandt / Sennheiser
- ✓ AI in Manufacturing – Finnish-German Collaboration Initiatives – Industrial Data Science Platform and Applications in Electronics and Manufacturing Industries – streamed online - 14.12.2021 – David Arnu, Ralf Klinkenberg / RapidMiner
- REFA Talk „Wandlungsfähige Produktion in einer turbulenten Zeit“ – REFA Institut – 2.6.2022 - Rainer Wilkens / Sennheiser
- virtuelle Besichtigung der Demonstratoren / Werkstattgespräch – organisiert durch Deutsche Messe AG – 29.6.2022
- Inside Advanced Manufacturing Technologies – 22./23.11.2022 - Petra Hildebrandt / Sennheiser
- Rethink! Smart Manufacturing D/A/C/H– 30.6./1.7.2022 - Petra Hildebrandt / Sennheiser

➔ <https://www.iip-ecosphere.de/>

# Agenda



- ▶ Unternehmensvorstellung
- ▶ Problemstellung / Ausgangssituation / Anforderungen / User Stories und Prioritäten
- ▶ Produktionssystem / Wandlungsbefähiger
- ▶ Matrixproduktion
- ▶ IIP Ecosphere
- ▶ Zusammenfassung

# Zusammenfassung

- Digitaler Zwilling bietet die Datenbasis
- Abbildung der kompletten Produktion aufwändig (je nach aktueller Stammdatenqualität und -quantität)
- Wandlungsbefähiger bei der Betriebsmittel Hardware berücksichtigen
- Matrix Produktion unterstützt Wandlungsfähigkeit
- Monetäre Abschätzung der Vorteile einer Matrix Produktion ohne Simulation schwerlich möglich
- ➡ Die Optimierung der Wandlungsfähigkeit bedeutet, sich auf eine Reise zu machen ...





- 1) Hu et. al. (2011):** Hu, S.J.; Ko, J.; Weyand, L.; ElMaraghy, H.A.; Lien, T.K.; Koren, Y.; Bley, H.; Chryssolouris, G.; Nasr, N.; Shpitalni, M.: Assembly system design and operations for product variety. In: CIRP Annals–Manufacturing Technology; 2011, Nr. 60, S.715-733
- 2) Hüttemann et. al. (2017):** Hüttemann, G., Göppert, A., Lettmann, P., Schmitt, R.: Dynamically Interconnected Assembly Systems – Concept Definition, Requirements and Applicability Analysis. WGP-Jahreskongress 7(1) (2017) pp. 261-268
- 3) Koren (2010):** Koren, Y.: The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems. Wiley, 2010
- 4) Cisek et. al. (2002):** Cisek, R., Habicht, C. & Neise, P. (2002) Gestaltung wandlungsfähiger Produktionssysteme. ZWF, 97, 441-445
- 5) Wiendahl et. al. (2014):** Wiendahl, H.P., REICHARDT, J. und NYHUIS, P. (2014): Handbuch Fabrikplanung – Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München, Wien: Carl Hanser
- 6) WZL/Fraunhofer IPT (2019):** WZL/Fraunhofer IPT (2019) freeMoVe, Wandlungsfähige Montage in frei verketteten Montagesystemen
- 7) Bonhage, M.; Wilkens, R. (2021):** Bonhage, M.; Wilkens, R.; Denkena, B.; Kemp, D. (2021, Juli). Es wird konkret. SPS Magazin Nr.6, Juli, 2021, S.61-63
- 8) <https://magazine.lectera.com/de/articles/die-vuca-welt-und-die-lifehacks-von-lectera-und-der-internationalen-management-akademie-um-erfolgreich-zu-ueberleben>, letzter Zugriff 1.6.2022**
- 9) [https://phototravelnomads.com/reisen/tianmen-mountain-in-zhangjiajie-hunan/attachment/china\\_zhangjiajie\\_tianmen\\_streets\\_phototravelnomads/](https://phototravelnomads.com/reisen/tianmen-mountain-in-zhangjiajie-hunan/attachment/china_zhangjiajie_tianmen_streets_phototravelnomads/), letzter Zugriff 1.6.2022**
- 10) <https://www.maennersache.de/matrix-das-bedeutet-der-legendaere-gruene-code-3983.html>, letzter Zugriff 1.6.2022**