



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna | Austria

Vorgehensmodell zur Planung und Evaluierung digitaler Assistenzsysteme (DAS) in der Montage

27. Techno-Ökonomie Kolloquium

TU Wien, Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften
Institut für Managementwissenschaften
Forschungsbereich Betriebstechnik, Systemplanung und Facility Management

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Philipp Hold
Betreuung: Prof. Dr. Wilfried Sihn

Wien, 02.07.2020

Ausgangssituation und Motivation

Forschungsbedarf und Zielsetzung

Konzeption und Erstellung des Vorgehensmodells

Validierung durch Anwendung des Vorgehensmodells

Zusammenfassung und Ausblick

Ausgangssituation und Motivation

Mixed-Model Montage Konzept:

(Zeltzer et al., 2012; Fässberg et al., 2012; Fast-Berglund et al., 2013; Hirsch-Kreinsen et al., 2017, Keller et al., 2019)

Auswirkungen auf den Menschen		Mögliche Risiken und Folgen für die Produktivität der Montage	
Anforderungen an den Menschen in der Montage zur Realisierung der geforderten Flexibilität (LG 1)		Such-, Kommunikations- und Dokumentationszeiten sowie Konfigurationsaufwände	
Kognitive und psychische Belastungen auf den Menschen in der Montage		Menschlicher Fehler und Korrekturzeiten	
(Routine-) Fähigkeiten sind für den Menschen schwerer aufzubauen (Lernen im laufenden Montagebetrieb)		Einlern- und Trainingszeiten	

Digitale Assistenzsysteme Bestandteil zukunftsorientierter Montagesysteme:

(Wiesbeck, 2014; Hinrichsen et al., 2016; Erol et al., 2016; Ansari et al., 2018)

- **Innovative Technologien / Funktionen, welche den Menschen bei Montagetätigkeiten kognitiv unterstützen**
(Kesselmann, 2016)
- **Interaktionen des Menschen mit vielfältigen, technischen Komponenten und verknüpften Montagesystemen**
(Koppenburger et al., 2016; Kesselmann, 2016)
- **Regulation von variierenden Leistungsanforderungen auf den Menschen und seinen Leistungsmöglichkeiten**
(Zäh et al., 2008; Wiesbeck, 2014)
- **Einfluss auf Produktivität von Mensch und Arbeitssystem**
(Bokranz et al. 2012; Erol et al., 2016; Hirsch-Kreinsen et al., 2017; Reinhard et al., 2017; Ansari et al., 2018)
- **Mensch-Technik-Organisations-Konzept als Leitstern für die ausgewogene Gestaltung von Assistenzsystemen**
(Ullrich et al., 2015; Reinhard, 2017)

x trifft zu - nicht zu (x) nicht	Arbeitsaufgabe			Mensch			Technik		
	Berücksichtigung von Arbeitsaufgaben	Berücksichtigung gleichbleibender Arbeitsaufgaben	Berücksichtigung dynamisch wechselnder Arbeitsaufgaben	Berücksichtigung menschlicher Eigenschaften	Berücksichtigung menschlicher Erfahrungen	Berücksichtigung menschlich subjektiver Wahrnehmungen	Berücksichtigung komplettes DAS	Berücksichtigung einzelner Komponenten DAS	Berücksichtigung von Interaktionen DAS mit weiteren Systemen
Claeys et al., 2015	Bedarf zur durchgängigen Berücksichtigung wechselnder Arbeitsaufgaben in der Montage			Bedarf zur durchgängigen Berücksichtigung individueller Mitarbeitermerkmale und -eigenschaften			Bedarf zur durchgängigen Berücksichtigung einzelner Komponenten und Interaktionsmöglichkeiten DAS mit Peripheriesystemen		
Wiesbeck, 2014; Zäh et al., 2008									
Hollnagel, 1987									
Lušić et al., 2016									
Hinrichsen et al., 2016									
Reinhard et al., 2017									
Merkel et al., 2019									

x trifft zu - nicht zu (x) nicht	Organisation					Investitionsentscheidungsunterstützung in der Montageplanung	
	Arbeitssystem		Kosten- / Nutzenbetrachtung	Auftragsdurchführung		Anwendbarkeit in der Praxis	Ist-/ Soll-Vergleich mit Informationen aus frühen Phasen der Produktentwicklung
	statisch	dynamisch veränderbar		statisch	dynamisch veränderbar		
Claeys et al., 2015	Bedarf zur durchgängigen Berücksichtigung von bewertbaren Kosten- / Nutzeneffekten DAS in dynamisch veränderbaren Arbeitssysteme mit dynamisch veränderbaren Arbeitsaufträgen					Bedarf zur Anwendbarkeit und zum quantifizierten Ist-Soll-Vergleich in frühen Phasen der Produktentwicklung	
Wiesbeck, 2014; Zäh et al., 2008							
Hollnagel, 1987							
Lušić et al., 20156							
Hinrichsen et al., 2016							
Reinhard et al., 2017							
Merkel et al., 2019							

Forschungsbedarf:

Keine durchgängige Methode oder kein durchgängiges Vorgehensmodell zur anwendungsgerechten Planung und Evaluierung DAS, unter Berücksichtigung wechselnder Tätigkeiten, welche durch individuelle Mitarbeiter in der Montage durchzuführen sind und auf die **technische Komplexität und Diversität** digitaler Assistenzsysteme adressiert im Hinblick auf eine **quantifizierte Entscheidungsunterstützung zur Einführung eines DAS** in der Montage.

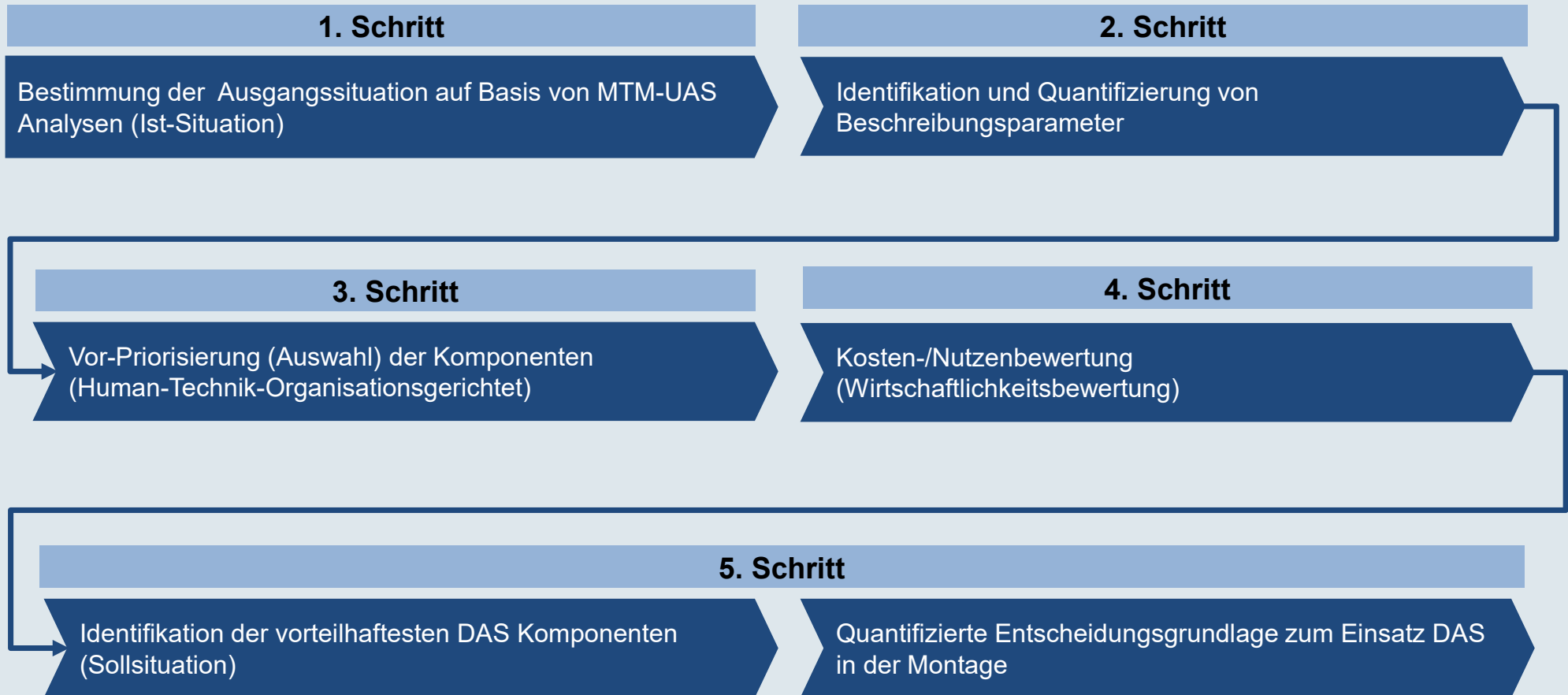
Zielsetzung:

Identifikation von Möglichkeiten und Entwicklung eines anwendungsgerechten **Vorgehensmodells zur durchgängigen Planung und Evaluierung DAS in der Montage**, das in frühe Phasen der Montageplanung integrierbar ist und eine Investitionsentscheidung durch einen quantitativen Soll-/Ist-Vergleich ermöglicht.

- Identifikation **Beschreibungsparameter (Mensch-Technik-Organisation)**
- **Bestimmung von Produktivitäts- und Wirtschaftlichkeitseffekten DAS auf Komponentenbasis**
- Vorgehensmodell zum Treffen **quantitativer Aussagen zur Entscheidungsunterstützung** einer DAS-Einführung

Konzeption und Erstellung des Vorgehensmodells

5 Vorgehensschritte des Modells



Konzeption und Erstellung des Vorgehensmodells

1. Schritt: Bestimmung der Ausgangssituation auf Basis von MTM-UAS Analysen



Bestimmung der Ausgangssituation bewertet in Zeiteinheiten:

Ausgangssituation

$$= \text{Ausführungszeit} + \text{Einlernzeit} + \text{Korrekturzeit menschlicher Fehler}$$

$$= \text{MTMA} + \text{LEARNA} + \text{HEPA}$$

Bestimmung der Ausführungszeit (Ausgangssituation): MTMA

- MTM-UAS Analyse – Identifikation Durchführungszeit (Bokranz et al., 2012)

$$MTMA = \sum_{n=1}^{\infty} MTMUAS_n$$

Bestimmung der Einlern- und Trainingszeit: LERNA

- Methode zur Prognose von Anlernzeiten (Jeske, 2013)

$$LEARNA = \sum_{n=1}^{\infty} LEARN_n$$

Bestimmung der menschlichen Fehlerwahrscheinlichkeit in Zeiteinheiten: HEPA

- Verbindung der Methode ESAT (Expertensystem zur Aufgaben-Taxonomie) mit MTM-UAS (Bubb, 1992; Kern et al., 2016)

$$HEPA = \sum_{n=1}^{\infty} HEP_n$$

Einlern- und Trainingszeit in Montagelinie, Arbeitsplatz und Montagesequenz

Prädikatoren:

- Erfahrung $E_{Mont} = \{1=\text{keine}; 2=\text{wenig}; 3=\text{mittel}; 4=\text{viel}\}$
- Geschlecht $G = \{m=1; w=2\}$
- Alter A in Jahren
- Fleishman F1 (FF1) = 50
- Fleishman F2 (FF2) = 50
- Art des Arbeitsplans (IST) $D = \{1 = \text{Text}; 2 = \text{Text/Bild}; 3 = \text{Bild}; 4 = \text{Film}\}$

Entropie der Bauteile = H_B
 $H_B = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$

Entropie der Elemente MTM-UAS = H_{UAS}
 $H_{UAS} = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$

Einlernzeit = k
 $k = 0,306 + 0,071 \sqrt{H_{UAS}^2 + H_B^2} - 0,055 E_{Mont} - 0,033 D + 0,063 G - 0,008 FF_1 + 0,006 FF_2 + 0,013 A$

Vielfaches = λ
 $\lambda = 2,256 + 0,978 \sqrt{H_{UAS}^2 + H_B^2} - 0,755 E_{Mont} - 0,45 D + 0,87 G$

Wiederholungen bis Referenzzeit c (MTM-UAS) erreicht ist:
 $\sum_{n=1}^N c + (n-1) \frac{k}{\lambda}$

Zeit inklusive Einlernzeit bei Wiederholung n :
 $t_n = \sum c + (\lambda c - c) \cdot k \cdot (1 + \frac{k}{\lambda})^{n-1}$

Menschliche Fehlerwahrscheinlichkeit in Montagelinie, Arbeitsplatz und Montagesequenz (Aufgaben-Taxonomie (ESAT)):

Elementare Aktivitäten

- PSF 1 (S1) | Aufgabentyp**
Wahrnehmung | Detektion | Mentale Verarbeitung | Entscheidung | Handlung
- PSF 2 (S2) | Aufgabencharakteristik**
Komplexität | Schwierigkeit | Korrigierbarkeit | Ereignistyp | Risikotyp
- PSF 3 (S3) | Umgebungsfaktoren**
Klima | Beleuchtung | Kontamination | Geräusch | Vibration | Beschleunigung | Gefahr
- PSF 4 (S4) | Systemfaktoren**
Schnittstellen | Informationsrückkopplung | Systemsicherheit | Systemzuverlässigkeit | Zeitstress | Arbeitsdauer | Organisation
- PSF 5 (S5) | Personalfaktoren**
Erfahrung | Aufmerksamkeit | Arbeitstempo | Motivation | Sonstiges

Bestimmung des (Gesamt-) Belastungsvektors
 Berechnung: $G = S1 + S2 + S3 + S4 + S5$

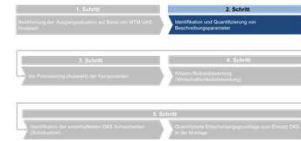
Bestimmung der Zuverlässigkeitsklasse
 Berechnung:
 $K(G) = 1,2 \cdot G \cdot \log G + S1$
 $ZK = \text{Integer}(K) \leq 10$
 $D(ZK) = HEP_{max}(ZK) - HEP_{min}(ZK)$
 $\text{Fract}(K) = K - \text{Integer}(K)$

Bestimmung der Human-Error-Probability
 Berechnung: $HEP = \text{Fract}(K) \cdot D(ZK) + HEP_{min}(ZK)$

Human Reliability Analysis (HRA)-Fehlerbaum
 Berechnung:
 → Fehlerwege & Fehlerwegwahrscheinlichkeit
 → Fehlerendpunktwahrscheinlichkeit
 → Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit F_{ges}

Konzeption und Erstellung des Vorgehensmodells

2. Schritt: Identifikation und Quantifizierung von Beschreibungsparameter



Zentrale Beschreibungsparameter DAS:

(Brook, 1996; Samy und ElMaraghy, 2010; Bokranz et al., 2012; Zeltzer et al., 2012; Jeske, 2013; Lušić et al., 2015)

- **Mobilitätsgrad (DM)**
- **Kognitive Werkerbelastung (CWL)**
- **Flexibilitätsgrad (DF)**
- **Informationsquellen (IS)**
- **Zeitpunkt** der Informationsbereitstellung (TIP)
- **Zugang** zu der Werkerinformation (AWI)
- Reale versus virtuelle **Informationsdarstellung (RvsV)**
- Möglichkeit der **Dialogführung / Dokumentation (AD)**
- Möglichkeit der **Interaktion mit Hilfs-, Betriebsmitteln und Werkzeugen (AI)**
- **Benutzer- und Gebrauchsfreundlichkeit** des Systems (SA)

Degree (Informationsgrad) WAS	Komponenten DAS zusammengefasst im IR-Pool										IR _j (CWL, SA)
	Signal	Text	Bild / Animation	Video	Sprache	Augmented Reality					
Device (Informationsübertragung) WOMIT	Komponenten DAS zusammengefasst im II-Pool										II _j (DF, IS)
	Manuelle Konfiguration		Integration in Kontroll-System (ERP/MES/...)			BPM (Data Driven Configuration)		...			
	Komponenten DAS zusammengefasst im TS-Pool										TS _j (TIP)
	Detektion mittels Sprache	Detektion mittels Button (manuell)	Detektion mittels Button (automatisch)	Detektion mittels Nahrungssensorik	Detektion mittels RFID (manuell)	Detektion mittels RFID (automatisch)	Detektion mittels Hand-Local-Positioning	Detektion mittels Werkzeug-Local-Positioning	Detektion mittels Kamera		
	Komponenten DAS zusammengefasst im D-Pools										D _j (DM, AWI, SA)
	Screen	Touch Screen	Tablet	Glass	Projection	Light	Voice	Laser	Signal		
	Komponenten DAS zusammengefasst im T-Pools										T _j (AD, AI)
Schraubensystem	Messsystem	Markierungssystem	Verspannungssystem	Reinigungssystem	Robotersystem	Klebsystem	Halb-Automat	Verpacken	Leitungen-Montierung	Normteile montieren	
Informationssystem (Data-Processing)	Komponenten DAS zusammengefasst im IP-Pools										Betachtung im 5. Schritt
	Technology Readiness Level 9 - 8			Technology Readiness Level 7 - 5			Technology Readiness Level 4 - 1				

Konzeption und Erstellung des Vorgehensmodells

3. Schritt: Vor-Priorisierung (Auswahl) der Komponenten



Vor-Priorisierung auf Grundlage quantifizierter Beschreibungsparameter:

(Brook, 1996; ElMaraghy et al., 2010; Bokranz et al., 2012; Zeltzer et al., 2012; Jeske, 2013; Lušić et al., 2015)

- **Mobilitätsgrad (DM)**
gering 0 – hoch 4
- **Kognitive Werkerbelastung (CWL)**
gering 0 – hoch 9
- **Flexibilitätsgrad (DF)**
gering 1 – hoch >10
- **Informationsquellen (IS)**
gering 1 – hoch >10
- **Zeitpunkt der Informationsbereitstellung (TIP)**
gering 1 – hoch 0
- **Zugang zu der Werkerinformation (AWI)**
gruppenspezifisch: gering 0 – mitarbeiterspezifisch: hoch 4
- **Reale versus virtuelle Informationsdarstellung (RvsV)**
gering 1 – hoch 0
- **Möglichkeit der Dialogführung / Dokumentation (AD)**
binär (ja 1 – nein 0)
- **Möglichkeit der Interaktion mit Hilfs-, Betriebsmitteln und Werkzeugen (AI)**
binär (ja 1 – nein 0)
- **Benutzer- und Gebrauchsfreundlichkeit des Systems (SA)**
hoch 0 – gering 4

Beispiel: Vor-Priorisierung D-Pool Komponenten:

D-Pool PRESELECT _{D-Pool} (D _j (DM, AWI, SA))				
Bez.	Komponente	Mobilitätsgrad	Zugang zur Werkerinformation	Benutzer- / Gebrauchsfreundlich
		likert [0 – 4]	likert [0 – 4]	likert [0 – 4]
D ₁	Monitor	[0 – 1]	[3 – 4]	[0 – 4]*
D ₂	Touch Monitor	[0 – 1]	[3 – 4]	[0 – 4]*
D ₃	Tablet	[0 – 2]	[2 – 3]	[0 – 4]*
D ₄	Glass	[2 – 4]	[0 – 2]	[0 – 4]*
D ₅	Projektion	[0 – 2]	[3 – 4]	[0 – 4]*
D ₆	Lichtsignale / Signal	[0 – 1]	[3 – 4]	[0 – 4]*
D ₇	Sprachausgabe	[2 – 4]	[3 – 4]	[0 – 4]*
D ₈	Lasersignale	[0 – 2]	[3 – 4]	[0 – 4]*

* abhängig vom individuellen Werker

Konzeption und Erstellung des Vorgehensmodells

4. Schritt: Kosten-/ Nutzenbewertung (Wirtschaftlichkeitsbewertung)



Kosten- / Nutzenbewertung der Vor-Priorisierten Komponenten (IR-, II-, TS-, D-, T-Pool):

- Einfluss auf die Ausführungszeit (MTME)

$$MTME_{Komponente}$$

$$= MTMA + AT_n * XMTM_n(Komponente) + AT_n * AGB_n * 25TMU$$

- Einfluss auf die menschliche Fehlerwahrscheinlichkeit (HEPE)

$$HEPE_{Komponente}$$

$$= HEPA - (HEPA * XHEP_n(Komponente))$$

- Einfluss auf die Einlern- und Trainingszeit (LEARNE)

$$LEAENE_{Komponente}$$

$$= LEARNA - (LEARNA * XLEARN_n(Komponente))$$

- Einfluss auf Investitionen (INVEST)

$$INVEST_{Komponente}$$

$$= SfE_{Komponente} + HfE_{Komponente} + (MvH_{Komponente} * HvE_{Komponente}) +$$

$$FAS_{Komponente} + (MvAS_{Komponente} * VAS_{Komponente})$$

Beispiel: Auszug Einflüsse D-Pool Komponenten:

		D-Pool																
		INVEST _D ; MTME _D ; LERNE _D ; HEPE _D ;																
Komponenten im Technologie-Pool D	Bezeichnung der Komponenten	Einfluss auf die Ausführungszeit		Einfluss auf die Einlern- und Trainingszeit		Einfluss auf die menschliche Fehlerwahrscheinlichkeit		Investitionsaufwand in Soft- und Hardwarekomponenten			Implementierungsaufwand							
		Bezugsgröße (Multiplikator)	Zunahme	Abnahme	Bezugsgröße (Multiplikator)	Zunahme	Abnahme	Bezugsgröße (Multiplikator)	Zunahme	Abnahme	Bezugsgröße (Multiplikator) für fixe Investitionen	Software (fixe Anteile)	Hardware (fixe Anteile)	Bezugsgröße (Multiplikator) für variable Investitionen	Durchschnittliche variable Soft- und Hardware	Durchschnittlicher Aufwand in Stunden (fixer Anteil)	Bezugsgröße (Multiplikator) für variablen Aufwand	Durchschnittlicher Aufwand in Stunden (variabler Anteil)
D ₁	Screens	Anzahl Tätigkeits Schritte / Anzahl Tätigkeitssequenz	1,44 Seconds	0,00 Seconds	-	-	-	-	-	-	Anzahl Informationssysteme = 1	0,00 EUR	0,00 EUR	Anzahl Arbeitsplatz	250,00 EUR	0,00 Stunden	Anzahl Arbeitsplatz	0,20 Stunden
D ₂	Web Screens	Tätigkeits Schritte / Tätigkeitssequenz	1,44 Seconds	0,00 Seconds	-	-	-	-	-	-	Informationssysteme	0,00 EUR	0,00 EUR	Anzahl Arbeitsplatz	250,00 EUR	0,00 Stunden	Anzahl Arbeitsplatz	0,20 Stunden

Konzeption und Erstellung des Vorgehensmodells

5. Schritt: Identifikation Sollsituation und Entscheidungsgrundlage



Identifikation Sollsituation:

- Zielfunktion (Fitnessfunktion)

$$\min: \frac{INVEST_{Komponente}}{MTME_{Komponente} + LEARNE_{Komponente} + HEPE_{Komponenten}}$$

- Nebenbedingungen zu Abhängigkeiten von DAS-Komponenten (NB 1 – NB 3)

- NB 1: Wenn TS₇ oder TS₈ oder TS₁₀ gewählt wird, dann ist IP₁ zu wählen
- ...

- Nebenbedingungen zur Funktionsgewährleistung eines DAS (NB 5 – NB 8)

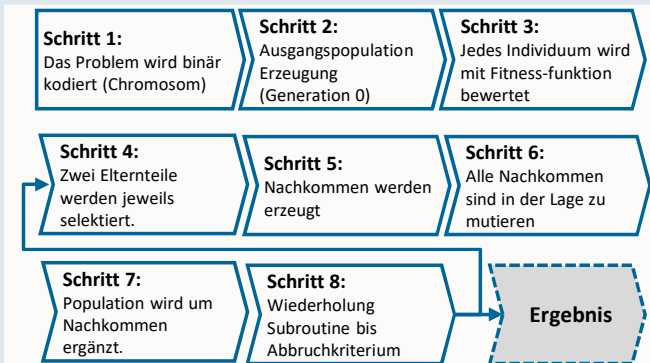
- NB 5: Die Summe ausgewählter Komponenten aus dem D-Poll muss 1 sein
- ...

Quantifizierte Entscheidungsgrundlage:

- Entscheidungskennzahlen

Betrachtete Kennzahlen	Ausgangssituation (Ist-Zustand)	Zielsituation (Soll-Zustand)
Einlern- und Trainingszeit in Sekunden	154.415	150.079
Bearbeitungszeit nach Einlern- und Trainingszeit in Sekunden	8.969.444	8.969.444
Menschliche Fehlerwahrscheinlichkeit bewertet in Zeiteinheiten, in Sekunden	1.194.097	114.242
Einsparungspotenzial in EUR / p.a.	12.046,57	
Investitionsbedarf in EUR	28.414,00	
Amortisationszeit in Jahren	2,4	

Ablauf des genetischen Algorithmus:



(Koch et al., 2014)

Beispiel: Ausgewählte Komponenten (Auszug)

Technologie Pool	DAS-Komponenten	Ausgewählte Komponente [1 = selected]
T-Pool	Schraubarbeiten	0
	Prüf- und Messarbeiten	0
	Markierungsarbeiten	0
	Einspann- und Ausspannarbeiten	0
	Behandlungsarbeiten	0
	Kollaborative Robotik-Arbeiten	0
	Klebearbeiten	0
	Diverse Halbautomaten	0
	Verpackungsarbeiten	0
	Leitungenmontierarbeiten	0
D-Pool	Normteilmontierarbeiten	0
	Screen	0
	Touch Screen	0
	Tablet (Hand Data Terminal)	0
	Glass	1
	Projektion	0
	Light (Guided by Light)	0
	Sprache (Guided by Voice)	0
Laser (Guided by Laser)	0	

Validierung durch Anwendung des Vorgehensmodells

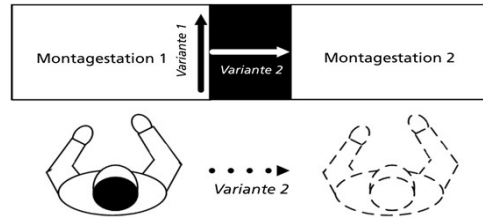
Anwendung des Vorgehensmodells an einem Industrie Use Case

Inputdaten und Grunddateninformationen:

Produktinformationen:



Informationen zur Montageorganisation:



Informationen zu geplanten Produktionsmengen:

Produkt	Referenz-jahr 2017	Forecast – auf Basis des Referenzjahres 2017 eine jährliche Steigerung der Produktionsmenge um durchschnittlich 8%				
		Jahr 2018	Jahr 2019	Jahr 2020	Jahr 2021	Jahr 2022
Variante 1	44.780	48.362	52.230	56.408	60.920	65.793
Variante 2	1.831	1.977	2.135	2.305	2.489	2.668

Erweiterte MTM-UAS Analyse der Montagetätigkeiten (Auszug):

Beginn: Mitarbeiterin steht an ihrem Arbeitsplatz.
Ende: Mitarbeiterin steht an ihrem Arbeitsplatz.
Begrenzung: KLTs sind mit Bauteilen befüllt, Werkzeuge stehen bereit.

Nr.	Montage-arbeitsplatz	Tätigkeits-Beschreibung	MTM	TMU	Gesamt TMU	Material	Materialbereit-stellungsort	Werkzeug / Hilfsmittel
1	Montagestation 1	Lesen des Montageauftrags (Kennung)	IALW	25	25,00			
2	Montagestation 1	Gehäusemodul aufnehmen, in Vorrichtung platzieren	AC1	40	40,00	Gehäusemodul A1	KLT	Vor.-R.-1
3	Montagestation 1	Kupplungsadapter aufnehmen, platzieren/stecken	AC1	40	40,00	Kupplungsadapter A	KLT	
4	Montagestation 1	Kupplung aufnehmen, an Gehäusemodul platzieren	AC1	40	40,00	Kupplung A	KLT	
5	Montagestation 1	Kupplung nachjustieren	ZD	20	20,00			
6	Montagestation 1	2. Gehäusemodul aufnehmen, in Vorrichtung platzieren	AF1	40	40,00	Gehäusemodul A2		Vor.-R.-1
7	Montagestation 1	Platzieren der "Hand" in Richtung KLT am AP	PA1	10	10,00			
8	Montagestation 1	Feder aufnehmen, am Gehäuse platzieren/stecken	AC1	40	40,00	Feder	KLT	
n

1. Schritt: Bestimmung der Ausgangssituation auf Basis von MTM-UAS Analysen

Industrie Use Case Gesamtmontage	Ausgangs-situation
LEARN in Sekunden	25.873
MTM nach LEARN in Sekunden	2.718.249
HEP in Sekunden	720.244

2. Schritt: Quantifizierung der Beschreibungsparameter

Industrie Use Case Gesamtmontage	Beschreibungsparameter	Skala		Tendenz-kennzahl
		gering	hoch	
	Mobilitätsgrad (DM)	0 – 4		0
	Kognitive Werkerbelastung (CLW)	0 – 0		0
	Flexibilitätsgrad (DF)	0 – ∞		2
	Informationsquelle (SI)	0 – ∞		7
	Informationsbereitstellungszeit (TIP)	1 – 0		1
	Zugang zur Werkerinformation (AWI)	0 – 4		1
	Reale versus virtuelle Informationen (RvsV)	0 – 15		4
	Möglichkeit der Dialogführung / Dokumentation (AD)	binär (0,1)		0
	Möglichkeit der Interaktion mit Hilfs-, Betriebsmitteln und Werkzeugen (AI)	binär (0,1)		1
	Benutzer- und Gebrauchsfreundlichkeit (SA)	0 – 4		0 – 4

Validierung durch Anwendung des Vorgehensmodells

Anwendung des Vorgehensmodells an einem Industrie Use Case

3. Schritt: Vor-Priorisierung der Komponenten

Gesamtmontagelinie		
Pool	DAS-Komponenten	Ausgewählte Komponenten [1 = ausgewählt]
T-Pool	Schraubarbeiten	1
	Prüf- und Messarbeiten	0
	Markierungsarbeiten	0
	Einspann- und Ausspannarbeiten	0
	Behandlungsarbeiten	0
	Kollaborative Robotikarbeitsbeben	0
	Klebearbeiten	0
	Diverse Halbautomaten	0
	Verpackungsarbeiten	0
	Leitungenmontierarbeiten	0
	Normteilemontierarbeiten	0
	D-Pool	Screen
Touch Screen		1
Tablet (Hand Data Terminal)		0
Glass		0
Projektion		0
Light (Guided by Light)		1
Sprache (Guided by Voice)		0
Laser (Guided by Laser)		0
Signal		1
TS-Pool		Aufgaben-Detektion mittels Sprache
	Aufgaben-Detektion mittels Button (manuell)	1
	Aufgaben-Detektion mittels Scanner (manuell)	1
	Aufgaben-Detektion mittels Nährungssensork	1
	Aufgaben-Detektion mittels RFID (manuell)	1
	Aufgaben-Detektion mittels RFIT (automatisch)	1
	Aufgaben-Detektion mittels Hand-Local-Position-Sensor	1
	Aufgaben-Detektion mittels Werkzeug Position Sensor	1
	Aufgaben-Detektion mittels Kamera	1
IR-Pool	Signal	0
	Text	0
	Bild / Animation	1
	Video	0
	Sprache	0
	Augmented Reality	0
II-Pool	Manuelle Konfiguration	0
	Integration in Kontrollsystem (ERP/MES/...)	0
	BPM (Data Driven Configuration)	1

IR7, TS9 und Komponenten des IS-Pools sind von der Auswahl der anderen Komponenten abhängig.

4. Schritt: Kosten-/Nutzenbewertung (Auszug der Komponenten des IR-Pools (IR₁-IR₃))

Relevanz			3,97
IR1	HEPA in Sekunden	Zunahme	0,00
IR1		Abnahme	0,00
IR1		Gesamteinfluss	0,00
IR1	MTMA in Sekunden	Zunahme	5462865,00
IR1		Abnahme	0,00
IR1		Gesamteinfluss	5462865,00
IR1	LEARNA in Sekunden	Einfluss	0,00
IR1		Software in Euro	0,00
IR1		Hardware fixer-Anteil in Euro	0,00
IR1	INVEST in EURO	Hardware variabler-Anteil in Euro	0,00
IR1		Investitionsanteil Gesamt in Euro	0,00
IR1		Implementierung fix in Stunden	0,00
IR1		Implementierung var in Stunden	3,70
IR1		Implementierung Summe in Stunden	3,70
IR1		Relevanz	3,97
IR2	EPA in Sekunden	Zunahme	0,00
IR2		Abnahme	0,00
IR2		Gesamteinfluss	0,00
IR2	MTMA in Sekunden	Zunahme	5462865,00
IR2		Abnahme	0,00
IR2		Gesamteinfluss	5462865,00
IR2	LEARNA in Sekunden	Einfluss	-655,10
IR2		Software in Euro	0,00
IR2		Hardware fixer-Anteil in Euro	0,00
IR2	INVEST in EURO	Hardware variabler-Anteil in Euro	0,00
IR2		Investitionsanteil Gesamt in Euro	0,00
IR2		Implementierung fix in Stunden	0,00
IR2		Implementierung var in Stunden	3,70
IR2		Implementierung Summe in Stunden	3,70
IR2		Relevanz	3,97
IR3	EPA in Sekunden	Zunahme	0,00
IR3		Abnahme	0,00
IR3		Gesamteinfluss	0,00
IR3	MTMA in Sekunden	Zunahme	4370292,00
IR3		Abnahme	0,00
IR3		Gesamteinfluss	4370292,00
IR3	LEARNA in Sekunden	Einfluss	-377,56
IR3		Software in Euro	0,00
IR3		Hardware fixer-Anteil in Euro	0,00
IR3	INVEST in EURO	Hardware variabler-Anteil in Euro	0,00
IR3		Investitionsanteil Gesamt in Euro	0,00
IR3		Implementierung fix in Stunden	0,00
IR3		Implementierung var in Stunden	3,70
IR3		Implementierung Summe in Stunden	3,70
IR3		Relevanz	3,97

Validierung durch Anwendung des Vorgehensmodells

Anwendung des Vorgehensmodells an einem Industrie Use Case

5. Schritt: (a) Identifikation der vorteilhaftesten DAS Komponenten (Sollsituation)

Gesamtmontagelinie (Montagestation 1-2)		
Pool	DAS-Komponenten	Ausgewählte Komponenten [1 = ausgewählt]
T-Pool	Schraubarbeiten	1
	Prüf- und Messarbeiten	0
	Markierungsarbeiten	0
	Einspann- und Ausspannarbeiten	0
	Behandlungsarbeiten	0
	Kollaborative Robotikarbeitsbeben	0
	Klebearbeiten	0
	Diverse Halbautomaten	0
	Verpackungsarbeiten	0
	Leitungenmontierarbeiten	0
	Normteilmontierarbeiten	0
	D-Pool	Screen
Touch Screen		0
Tablet (Hand Data Terminal)		0
Glass		0
Projektion		0
Light (Guided by Light)		0
Sprache (Guided by Voice)		0
Laser (Guided by Laser)		0
TS-Pool	Signal	0
	Aufgaben-Detektion mittels Sprache	0
	Aufgaben-Detektion mittels Button (manuell)	0
	Aufgaben-Detektion mittels Scanner (manuell)	0
	Aufgaben-Detektion mittels Nährungssensorik	0
	Aufgaben-Detektion mittels RFID (manuell)	0
	Aufgaben-Detektion mittels RFIT (automatisch)	0
	Aufgaben-Detektion mittels Hand-Local-Position-Sensor	0
	Aufgaben-Detektion mittels Werkzeug Position Sensor	0
	Aufgaben-Detektion mittels Kamera	1
IR-Pool	Signal	0
	Text	1
	Bild / Animation	0
	Video	0
	Sprache	0
II-Pool	Augmented Reality	0
	Manuelle Konfiguration	0
	Integration in Kontrollsystem (ERP/MES/...)	0
IR7	BPM (Data Driven Configuration)	1
	Trigger Signal	1
TS9	PLC / Logdaten	1
	TRL 1 - TRL 4	1
IS-Pool	TRL 5 - TRL 7	0
	TRL 8 - TRL 9	0

5. Schritt: (b) Quantifizierte Entscheidungsgrundlage zum Einsatz DAS in der Montage

Gesamtmontagelinie	Ausgangssituation	Zielsituation
LEARN in Sekunden	25.873	25.004
MTM nach LEARN in Sekunden	2.718.249	2.718.249
HEP in Sekunden	720.244	3.111
Einsparungspotenzial in Euro p.a.	7.977,81	
Investition in Euro	41.516,00	
Amortisationszeit in Jahren	5,2	

Ergebnis:

- **DAS** wurden nach den definierten Beschreibungen **richtig analysiert und komponentenbasiert ausgewählt**
- Das identifizierte digitale Assistenzsystem zeigt die vergleichsweise beste **Kosten- / Nutzenrelation** auf
- Die Ausführung des genetischen Algorithmus erfolgt in einer **adäquaten Berechnungszeit**
- Alle **Bedingungen** konnten erfüllt und eingehalten werden
- **Ergebnisrelationen** zwischen variierenden Automatisierungsgraden und **Werker-Profilen logisch**

(Ansari, F.; Hold, P.; Sihm, W., 2018)

Zusammenfassung:

- Es wurde ein **anwendungsgerechte Vorgehensmodell für eine durchgängige Planung und Evaluierung DAS** zum Einsatz in der Montage entwickelt, welches auf Grundlage von **Informationen aus frühen Phasen der Produktentwicklung** eine **Entscheidungsunterstützung zur Einführung (Verbesserung) DAS** ermöglicht.
 - **Technologien und Funktionen DAS** wurden **systematisiert beschrieben und formuliert (Morphologie)**
 - **Beschreibungsparameter** wurden **identifiziert, quantifiziert** und der entwickelten Morphologie zugeordnet
 - **Einflüsse und Wechselwirkungen innerhalb des Mensch-Technik-Organisationskonzepts** wurden identifiziert und mittels **Informationen aus frühen Phasen der Produktentwicklung** quantifiziert
 - Aussagen zu **Produktivitäts- und Wirtschaftlichkeitseffekten DAS** wurden auf Komponentenbasis ermöglicht

Ausblick:

- **Untersuchung weiterer quantifizierbarer Einflüsse und Zusammenhänge innerhalb des Mensch-Technik-Organisationskonzeptes bezugnehmend auf weitere arbeitswissenschaftliche Faktoren**, wie beispielsweise in Bezug auf ändernde Arbeitszeiten und dynamisch sich ändernder Leistungsschwankungen bei Werkern
- Untersuchung von iterativen **Einflüssen und Wechselwirkungen DAS auf kognitive Belastungssituationen** von Werkern innerhalb des **Mensch-Technik-Organisationskonzeptes**
- Empirische Evaluierung des Modells durch weitere **Forschungs- und Studienaktivitäten**



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna | Austria

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Vorgehensmodell zur Planung und Evaluierung DAS in der Montage

Literaturverzeichnis (Auszug)

- Ansari, F., Hold, P., Sihm, W., 2018.** Human-Centered Cyber Physical Production System: How Does Industry 4.0 Impact on Decision-Making Tasks? Presented at the IEEE Technology and Engineering Management Society Conference, USA, IL, Chicago.
- Armbruster, N., Vogler, H., 2019.** Leitlinien für eine sichere und wirtschaftliche Produktion.
- Bokranz, R., Landau, K., 2012.** Handbuch Industrial Engineering: Produktivitätsmanagement mit MTM. Bd. 2: Anwendung, 2., überarb. und erw. Aufl. ed. Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
- Brooke, J., 1996.** SUS: a "quick and dirty" usability scale, in: Usability Evaluation in Industry. Taylor and Francis.
- Bubb, H. (Ed.), 1992.** Menschliche Zuverlässigkeit: Definitionen, Zusammenhänge, Bewertung, 1. Aufl. ed. Ecomed, Landsberg.
- Claeys, A., Hoedt, S., Soete, N., Van Landeghem, H., Cottyn, J., 2015.** Framework for Evaluating Cognitive Support in Mixed Model Assembly Systems. IFAC-Pap. 48, 924–929.
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., Sihm, W., 2016.** Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. Procedia CIRP 54, 13–18.
- Fässberg, T., Fast-Berglund, A., Stahre, J., 2012.** A classification of carrier and content of information, in: 4th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems. Presented at the CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems, Ann Arbor.
- Fast-Berglund, Å., Fässberg, T., Hellman, F., Davidsson, A., Stahre, J., 2013.** Relations between complexity, quality and cognitive automation in mixed-model assembly. J. Manuf. Syst. 32, 449–455.
- Hevner, A., Chatterjee, S., 2010.** Design Science Research in Information Systems, in: Design Research in Information Systems. Springer US, Boston, MA, pp. 9–22.
- Hinrichsen, S., Riedinger, D., Unrau, A., 2016.** Assistance Systems in Manual Assembly, in: Production Engineering and Management. Presented at the 6th International Conference, Lemgo, pp. 3–14.
- Hirsch-Kreinsen, H., ten Hompel, M., 2017.** Digitalisierung industrieller Arbeit: Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsansätze, in: Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T., ten Hompel, M. (Eds.), Handbuch Industrie 4.0 Bd.3. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 357–376.
- Hollnagel, E., 1987.** Information and reasoning in intelligent decision support systems. Int. J. Man-Mach. Stud. 27, 665–678.
- Jeske, T., 2013.** Entwicklung einer Methode zur Prognose der Anlernzeit sensumotorischer Tätigkeiten. Shaker, Aachen.
- Keller, T., Bayer, C., Bausch, P., Metternich, J., 2019.** Benefit evaluation of digital assistance systems for assembly workstations. Procedia CIRP 81, 441–446.
- Kern, C., Refflinghaus, R., 2016.** Modification of the HRA-method ESAT for improving human reliability in manual assembly, in: Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice, Proceedings of the 26th European Safety and Reliability Conference, CRC Press, Glasgow, Scotland
- Kesselmann, S., Willeke, S., 2016.** Technologie Kompendium - Interaktive Assistenzsysteme.
- Koppenburger, A., Garthaus, M., Simon, R., Remmers, H., Weidner, R., 2016.** Selbstbestimmte Technologie und selbstbestimmte Anwendung, in: Technische Unterstützungssysteme, Die Die Menschen Wirklich Wollen, pp. 69–78.
- Lušić, M., Fischer, C., Braz, K.S., Alam, M., Hornfeck, R., Franke, J., 2016.** Static Versus Dynamic Provision of Worker Information in Manual Assembly: A Comparative Study Using Eye Tracking to Investigate the Impact on Productivity and Added Value Based on Industrial Case Examples. Procedia CIRP 57, 504–509.
- Merkel, L., Weth, J., Sochor, R., Berger, C., Braunreuther, S., Reinhart, G., 2019.** A Modular Framework for Cognitive Assistance Systems in Manual Assembly, in: Proceedings: Knowledge Valorisation in the Age of Digitalization, International Conference on Competitive Manufacturing. pp. 346–351.
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M.A., Chatterjee, S., 2007.** A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. J. Manag. Inf. Syst. 24, 45–77.
- Reinhart, G. (Ed.), 2017.** Handbuch Industrie 4.0: Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. Hanser, München.
- Samy, S.N., EIMaraghy, H., 2010.** A model for measuring products assembly complexity. Int. J. Comput. Integr. Manuf. 23, 1015–1027.
- Sarissa GmbH, 2015.** Onlinedokument. Produkte und Leistungen Produkte Leist. URL: <http://www.sarissa.de/produkte-leistungen.html> (eingesehen am 10.05.2015).
- Takeda, H., Veerkamp, P., Tomiyama, T., Yoshikawa, H., 1990.** Modeling Design Processes. Am. Assoc. Artif. Intell. Volume 11, 37–48.
- Ullrich, A., Vladova, G., Thim, C., Gronau, N., 2015.** Akzeptanz und Wandlungsfähigkeit im Zeichen der Industrie 4.0. HMD Prax. Wirtsch. 52, 769–789.
- Wiesbeck, M., 2014.** Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung, Forschungsberichte / IWB. Utz, München.
- Zaeh, M.F., Wiesbeck, M., 2008.** A Model for Adaptively Generating Assembly Instructions Using State-based Graphs, in: Mitsuishi, M., Ueda, K., Kimura, F. (Eds.), Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier. Springer London, London, pp. 195–198.
- Zeltzer, L., Limère, V., Aghezzaf, E.-H., Landeghem, H., 2012.** Measuring the objective complexity of assembly workstation, in: The Seventh International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, Proceedings. Presented at the The Seventh International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology (ICCGI- 2012), IARIA, Venice, Italy, pp. 341–346.