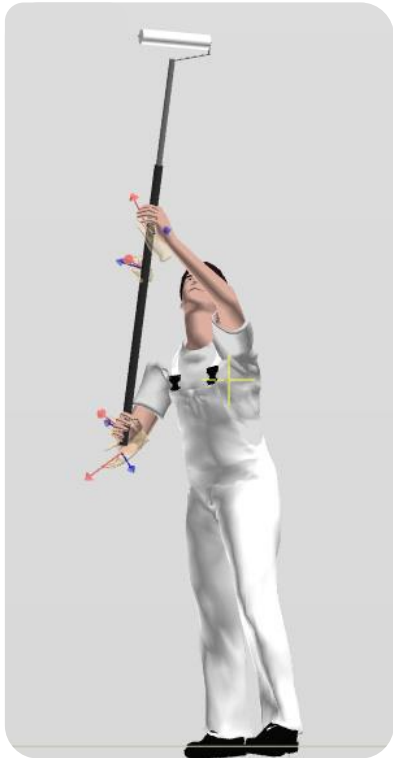




Quelle: BG BAU

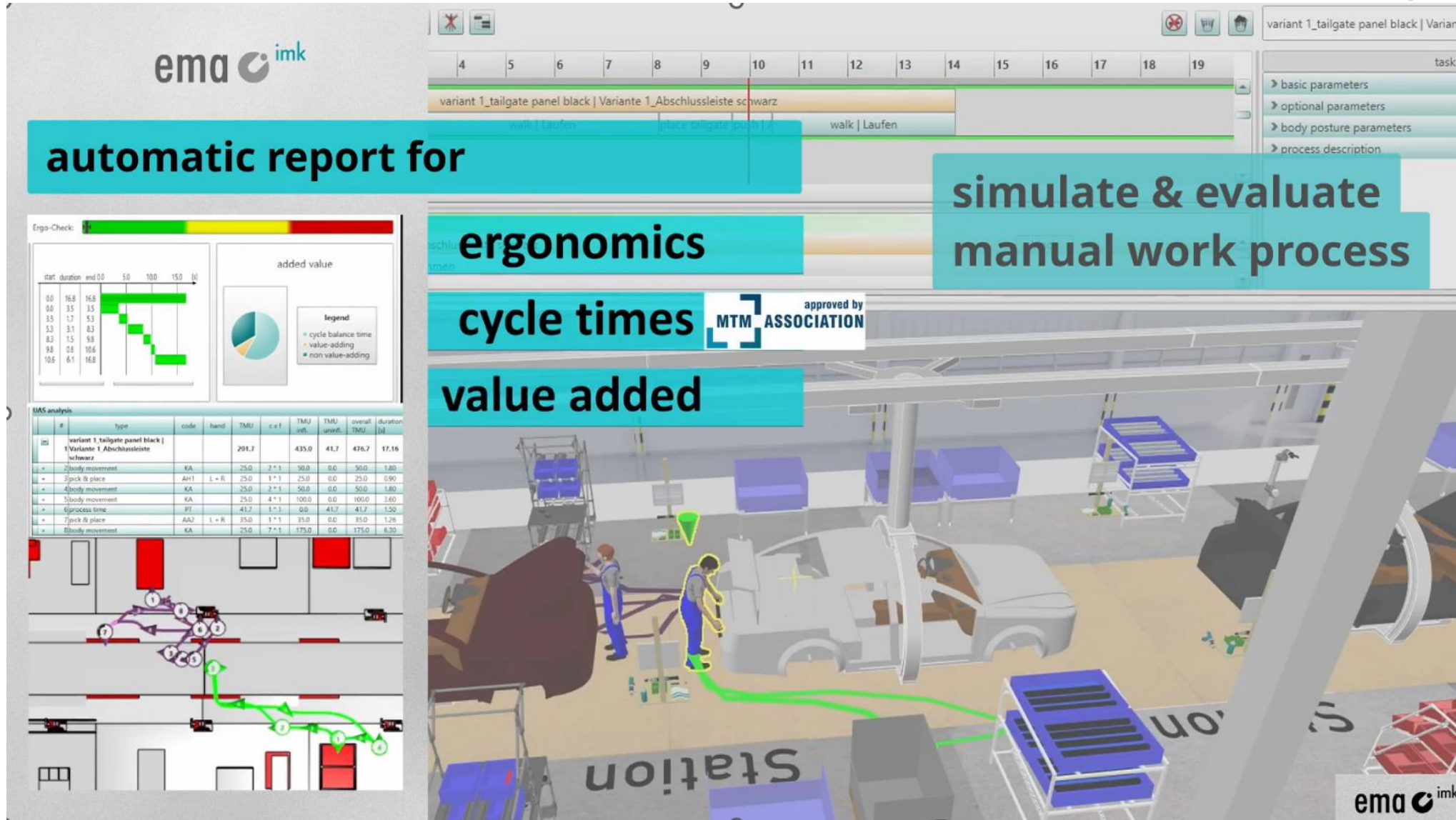
Simulation und Bewertung körperlicher Arbeit unter Berücksichtigung ergonomischer Anforderungen mithilfe des digitalen Planungssystems ema Work Designer (emaWD)

Fachtagung Arbeitsplanung und Prävention
31.03. – 01.04.2025



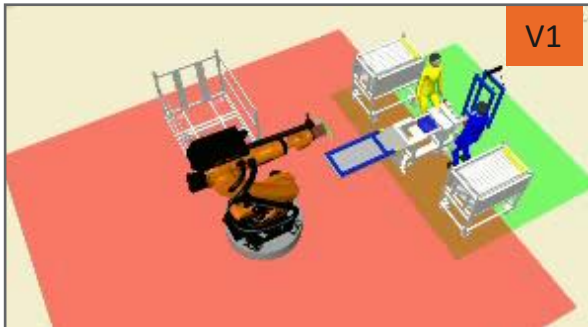
Felix Brandstädt, BG BAU

- ✓ Was ist digitale Ergonomie und was ist der emaWD?
- ✓ Was sind mögliche Anwendungsbereiche des emaWD?
- ✓ Was sind Vor und Nachteile von digitalen Ergonomie-Tools?
- ✓ Ausblick



Quelle: 2024 imk Industrial Intelligence GmbH

Planungsentwürfe und Workshopideen



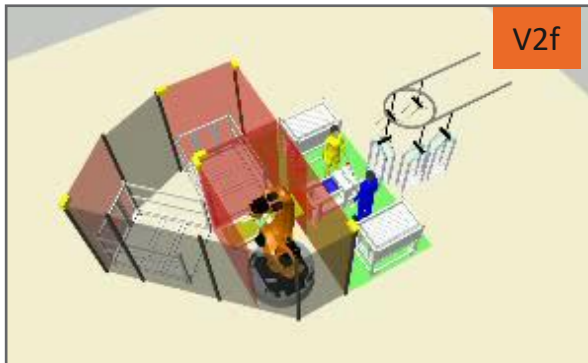
erster Entwurf

- ein Ladungsträger, mittiger Roboter



alternativer Roboter

- Roboter KR 20-3 an Decke montiert



verbessertes Layout

- Lichtvorhänge, Ladungsträger Typ A



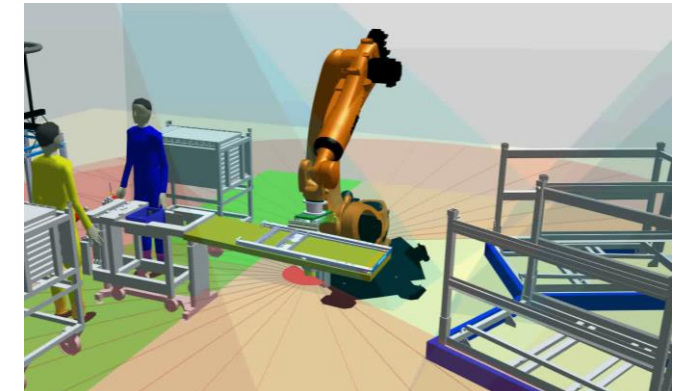
Lead-Zeit
< 6 Monate



↓ Taktzeit: -47%

↓ Ergonomie: -33%

Finale Umsetzung



ema-Simulation (November 2016)



Normalbetrieb (August 2017)

Horsch Maschinen GmbH

Fähigkeitsgerechte Arbeitsplatzgestaltung einer Vormontagelinie für Landmaschinen inkl. Realisierung



Quelle: 2024 imk Industrial Intelligence GmbH

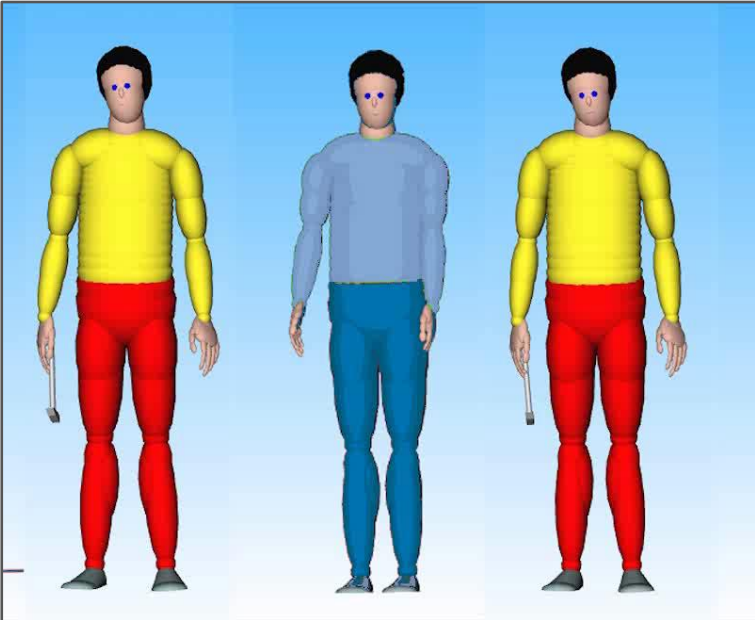
- ✓ Planungsmethode, die verschiedene digitale Menschmodelle integriert hat, welche eigeninitiativ Arbeitsanweisungen ausführen.
- ✓ Es können verschiedene Fähigkeiten des Menschen abgebildet und die Interaktion mit Maschinen, Robotern und weiteren Objekten sowie anderen Menschen innerhalb einer CAD Umgebung geplant, simuliert und ausgewertet werden.
- ✓ 3D-Softwarelösung, in der Tätigkeiten geplant, simuliert und ausgewertet werden können.

- Sicherstellung weitgehender **Plausibilität** des Arbeitsablaufes
- Intuitive und effektive Erstellung und Auswertung der Simulation menschlicher Arbeit
 - **Vermeidung der Einzelposengenerierung** durch Simulation von Bewegungen durch Nutzung der **ema-Verrichtungsbibliothek**
 - Einsatz einer **parametrisierten Tätigkeitsbeschreibung** führt zu reproduzierbaren Bewegungsdaten
 - **Semiautomatische Bewegungsgenerierung** unter **Kollisionsvermeidung**
 - **Alters- und fähigkeitsgerechte Arbeitsgestaltung** mit **anpassbaren Menschmodellen** (Anthropometrie, Beweglichkeit etc.)
 - Reportfunktionen für **Wirtschaftlichkeit / Zeiten, Ergonomie und weitere Ergebnisauswertungen**.
- Simulation von Mensch-Maschinen / Roboter-Interaktionen sowie deren Bewertung

Motion Capturing



Mathematische Regression



ema

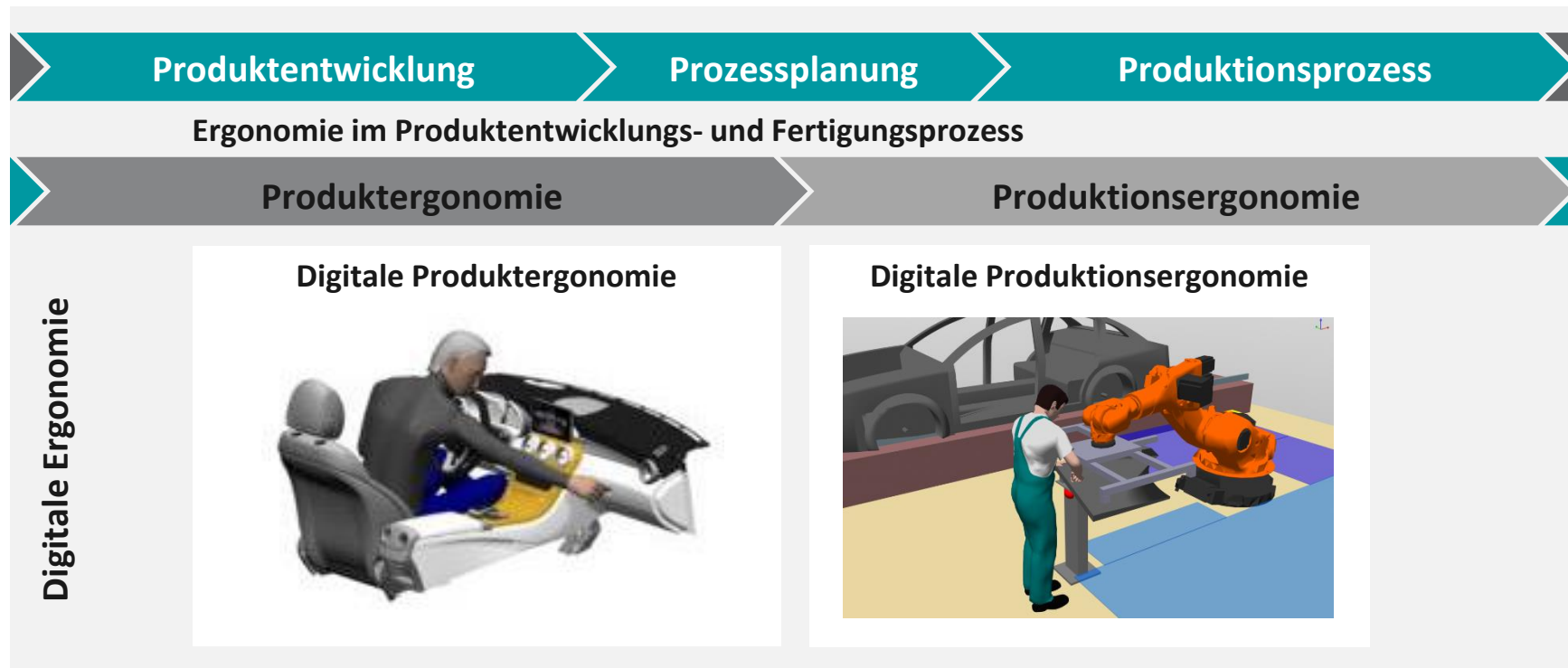


=

t^0	24.8394	98.3653	-25.9180	7.2907	-0.3818	0.5252	-0.1642	-0.3049	0.4188	0.1718
t^1	37.2455	-194.5181	38.5173	-23.0096	0.7821	-1.0538	0.5356	0.6747	-0.7769	-0.1908
u	120.1546	33.0444	-162.4696	-48.6738	1.0225	-0.0316	-0.3110	0.1754	0.7649	-0.4737
v	911.3561	103.0373	-883.4982	-343.0433	7.6867	-0.5253	-3.2369	1.7469	3.8798	-4.6774
h	0.1170	0.0070	-0.0968	-0.0325	0.0010	-0.0001	-0.0004	0.0003	0.0005	-0.0006
t	10.0739	59.4810	13.2349	11.0714	-0.1310	0.4381	-0.2556	-0.6100	0.1104	0.0726
$\varphi^0 * u$	-2849.9398	-632.3227	3547.8542	1179.1640	-25.4516	1.3114	9.0318	-6.2683	-15.7819	13.4058
$\varphi^0 * t$	114.0803	19.4163	-13.0746	-5.5780	-0.1903	0.1459	-0.1858	-0.3304	0.4881	0.2169
$t^0 * u$	-65.2261	62.8527	-3.4251	-1.7272	-0.1553	0.3190	-0.1395	-0.1849	0.1489	-0.1245
$t^0 * v$	20.3823	273.8314	-45.5686	22.5906	-0.8777	1.4030	-0.4362	-0.6370	1.3708	0.5808
$t^0 * h$	0.0854	0.0547	-0.0141	0.0123	-0.0002	0.0003	-0.0002	-0.0003	0.0004	0.0004

Quelle: 2024 imk Industrial Intelligence GmbH

„Virtuelle Ergonomie bezeichnet die **rechnergestützten Methoden und Werkzeuge** zur **ergonomischen Gestaltung von Produkten, Arbeitssystemen und Prozessen**. Unter dem Begriff werden Software-Werkzeuge oder Teile davon zusammengefasst, mit denen arbeitswissenschaftliche Ziele verfolgt und ergonomische Gestaltungen durchgeführt werden können.“ (Bullinger-Hoffmann & Mühlstedt, 2016)

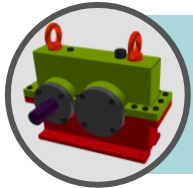


Quelle: 2024 imk Industrial Intelligence GmbH



Quelle: 2024 imk Industrial Intelligence GmbH

Eingabe



Produktdaten

3D (verschiedene Datenformate)
Stückliste



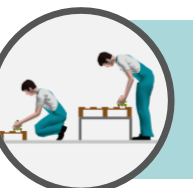
Prozessdaten

Textbasiert & tabellarisch
Schnittstelle zu PDM/PLM



Ressourcendaten (3D/2D)

Layout, Werkzeuge, Maschinen,
Behälter, Roboter



Bewegungsdaten

Mensch (MoCap),
Roboter (-simulationen)



Ausgabe

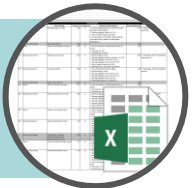
Ergebnisse als Vorlagen

Zeit & Ergonomie
Objektübersicht & Stückliste
Laufwege & Taktzeitdiagramme



Prozessbeschreibung

Textbasiert & tabellarisch z.B.
zur Verwendung in PDM/PLM



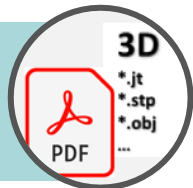
Dokumentation

Bilder, Videos
z.B. für Schulungen



Layout & 3D-Daten

Verschiedene Dateiformate
z.B. zur Nutzung in Layoutsystemen

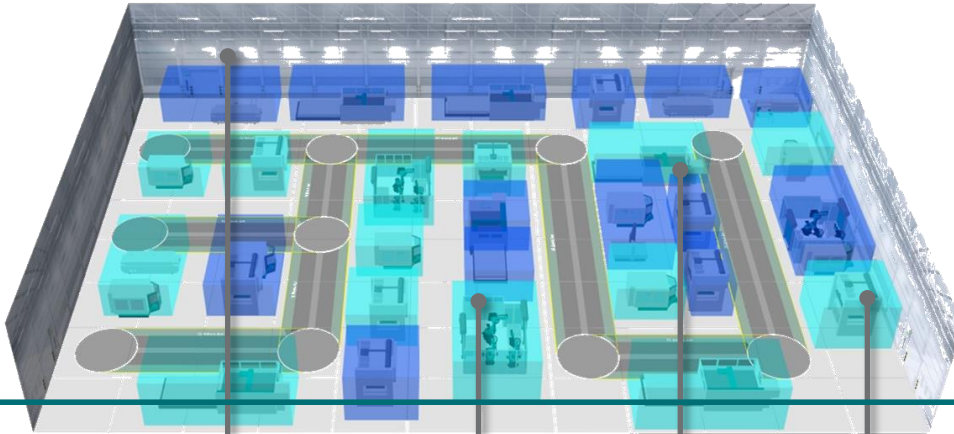


Manuelle Eingabe oder **automatische** Generierung
mit **Wizard**

Schnittstelle zum ema Plant Designer und **Kommunikation**
zwischen verschiedenen Softwaresystemen möglich



Strukturplanung & Dimensionierung



Materialflüsse

Platzbedarf

Ressourcen

Herstellungskosten

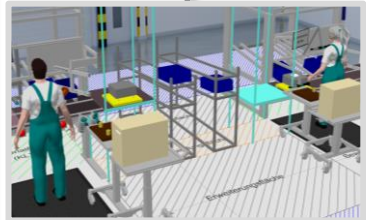
Durchlaufzeiten

Plant Designer

(emaPD)



ema Software Suite



Layout

Simulation

Fertigungszeiten

Ergonomie

Laufwege



Work Designer

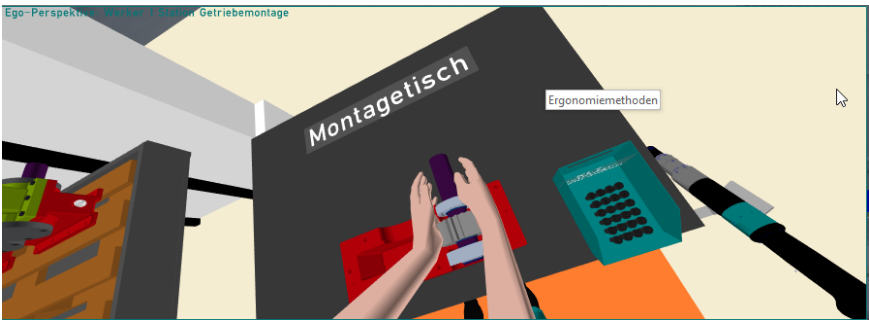
(emaWD)



Prozessplanung & Arbeitsplatzgestaltung

Quelle: 2024 imk Industrial Intelligence GmbH

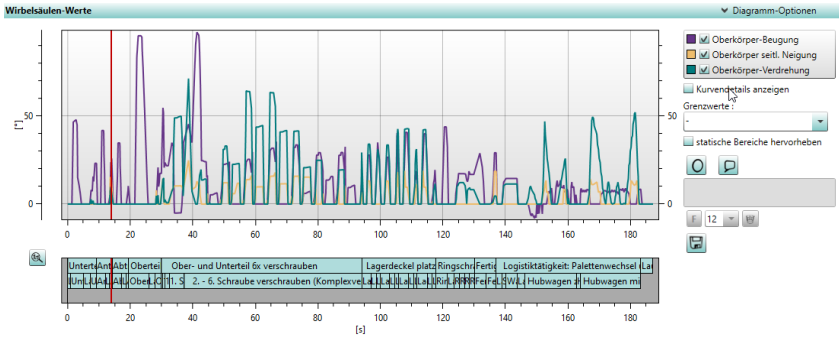
Ergonomiebewertungsmethoden im emaWD (Auszug)



Sichtanalysen



Ergonomieanalyseverfahren



Gelenkwinkelanalysen



Simulation inkl. Umgebung und Körpereinfärbung

Summe Gesamtkörper Punkte: 60,5	
Summe Haltungspunkte: 3	
Körperhaltungen	2,6
Rumpfdrehung	0,2
Rumpfneigung	0
Reichweite	0
Summe Kräfte-Punkte: 7,5	
Fingerkräfte	3,5
Arm-/Ganzkörperkräfte	3,9
Summe Lasten-Punkte: 50	
Umsetzen	35,3
Halten	0
Tragen	0
Ziehen & Schieben	14,3
Summe Extra-Punkte: 0	
Arbeit an sich bewegenden Teilen	0

Arbeitsplatzanforderungsprofil							
Körperhaltung		Lastenhandhabung		Aktionskräfte / Vibrationen		Arbeitsumfeld	
Grundkörperstellung		nie	gelegentlich ≤10%	häufig >10-50%	überwiegend >50-90%	ständig >90%	
1a	 Stehen / Gehen im Wechsel	☒	☐	☐	☐	☐	
1b	 1,5 m² Stehen (Bewegungsraum <1,5m²)	☒	☐	☐	☐	☐	
2	 dauerhaftes Arbeiten im Sitzen (Dauer ≥25%)	☒	☐	☐	☐	☐	
3	 Wechselnde Körperhaltung Stehen / Gehen / Sitzen	☒	☐	☐	☐	☐	
Obere Extremitäten		nie	gelegentlich ≤10%	häufig >10-50%	überwiegend >50-90%	ständig >90%	
4	 Beweglichkeit Kopf - Halswirbelsäule	☒	☐	☐	☐	☐	
5	 Arbeiten über Kopf	☒	☐	☐	☐	☐	
6	 Arbeiten auf / über Schulterniveau	☒	☐	☐	☐	☐	

Arbeitsplatzanforderungsprofile

Quelle: 2024 imk Industrial Intelligence GmbH

Ergonomiebewertungsmethoden in digitalen Menschmodellen (Planungsmethoden)

	Creo Manikin	Dynamicus	emaWD	Human Builder	Jack	RAMSIS
Arbeitsplatzanforderungsprofil			x			
Diskomfort				x	x	x
EAWS Gesamtkörper (Sektion 0-3)		x	x		x	
EAWS obere Extremitäten (Sekt. 4)			x			
Energieumsatz					x	
H-Punkt-Schablone					x	x
MTM			x		x	
NIOSH	x		x	x	x	x
OCRA			x*			
OWAS					x	
RULA	x	x	x*	x	x	
Snook & Ciriello	x			x		

Quelle: 2024 imk Industrial Intelligence GmbH

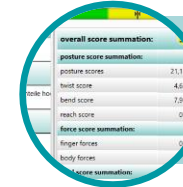
x*– weitere Verfahren auf Anfrage



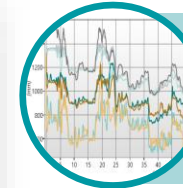
Quelle: BG BAU



Bildquelle: BG BAU



Ergonomiebewertung mit EAWS® hinsichtlich Körperhaltungen



Detaillierte Bewertung von Gelenkwinkeln nach DIN EN 1005-42 & Arbeitshöhen nach DIN EN 147382

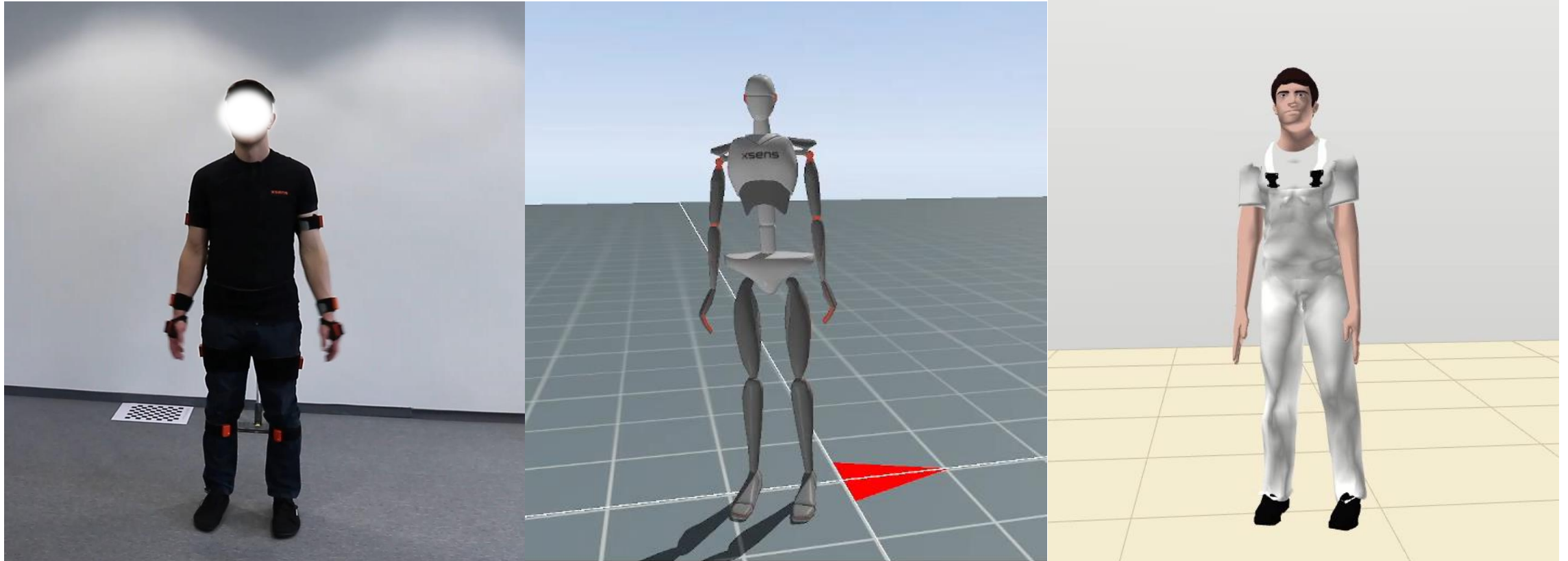


Wertschöpfung & Zeitbewertung von Prozesszeiten & MTM-UAS® für ema-Verrichtungen



Automatische Generierung von Arbeitsplatzanforderungsprofilen zum Job Match

Quelle: 2024 imk Industrial Intelligence GmbH

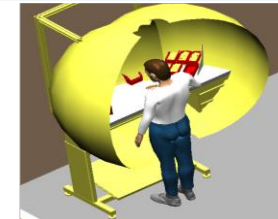
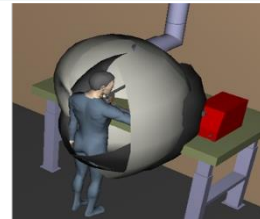
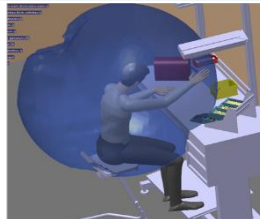


Quelle: BG BAU

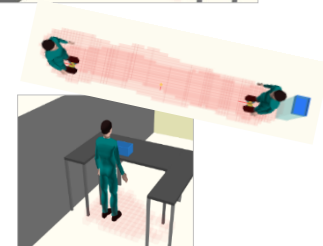
Erreichbarkeits-/Maßanalysen (Analyse-Funktionen)

Modelle	Human Builder	Jack	RAMSIS	ema Work Designer
Erreichbarkeitsanalysen	Erreichbarkeitshülle für Hände / Finger	Erreichbarkeitshülle für Hände / Körperteil	Erreichbarkeitshülle für Hände, Körperteile	Erreichbarkeitshülle für Hände, Körper-teile, weitere Objekte (z.B. Roboter)
Maßanalyse	vorhanden	-	-	vorhanden
Greifraumanalyse				DIN EN ISO 14738 einstellbar
Bewegungsbereiche	-	-	-	in 2D und 3D vorhanden

Beispiele:
Erreichbarkeitshülle



Beispiele:
Bewegungsbereich /
Greifräume



Navigation & Viewer



Layouting



Try-Out



Integriertes VR-Modul in ema zur hybriden Nutzung in Desktop & VR-Modus



Betrachtung dynamischer Arbeitsprozesse & eigenes Try-Out mit Objekthandhabung in VR

Vorteile

- Prospekte Planung, Bewertung und Gestaltung bereits im Planungsprozess
- Verkürzen der Entwicklungs- bzw. Planungszeiten durch Parallelisierung
- Vergleich von Gestaltungsalternativen durch 3D-Visualisierung unterstützt Kommunikation und Akzeptanz der geplanten Maßnahmen
- Frühzeitige Absicherung von Gestaltungslösungen und Erhöhung der Transparenz
- Kosteneinsparungen durch Senkung korrektiver Produkt- und Prozessänderungen sowie Entfall physischer Prototypen

Nachteile

- Komplexität der Softwaresysteme, die system- und aufgabenabhängig ist
- Begrenzte Standardisierung bei digitalen Ergonomietools (z. B. Formate für Datenaustausch, Bewertungsverfahren)
- Anschaffungskosten und Betriebskosten notwendig, die jedoch zu signifikanten Reduktion der Gesamt- und Prozesskosten und Zeitaufwände führen kann
- Zeitaufwand für Simulationsvorbereitung und -erstellung

Tätigkeitssimulation und Beurteilung

- Vergleichende Analyse ergonomischer Lösungen mit herkömmlichen Werkzeugen
- Vergleichende Analyse ergonomisch optimierter Arbeitsprozesse
- Vergleichende Beurteilung ergonomischer Lösungen und optimierter Arbeitsprozesse

Visualisierung

- Darstellung von Arbeitssituationen bei Verwendung von Werkzeugen in spezifischen Arbeitsprozessen
- Visualisierung verhaltensbezogener Maßnahmen
- Gegenüberstellung von Ausführungsvarianten

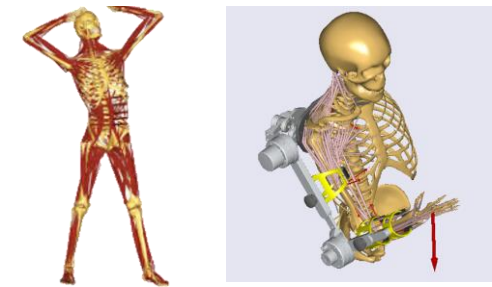




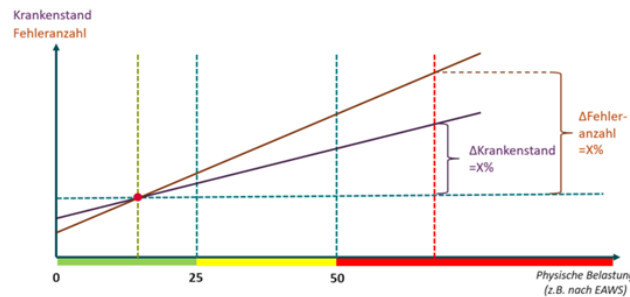
Verbesserte Qualität der Bewegungserzeugung
(Filigrantätigkeiten) und graphischen Darstellung (Optik)



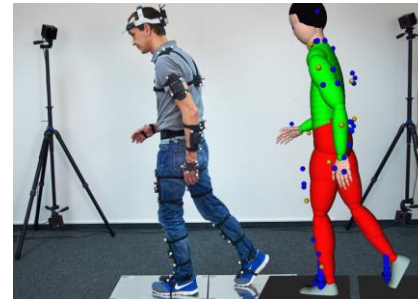
Ausbau der Möglichkeiten zur Berücksichtigung
anthropometrischer und biomechanischer Varianz



Integration erweiterter Analysefunktionen
(z. B. muskuläre, kognitive Aspekte)



Integrierte ergonomische Kosten-/Nutzenberechnungen



Tiefere Nutzung von „Motion Capturing“

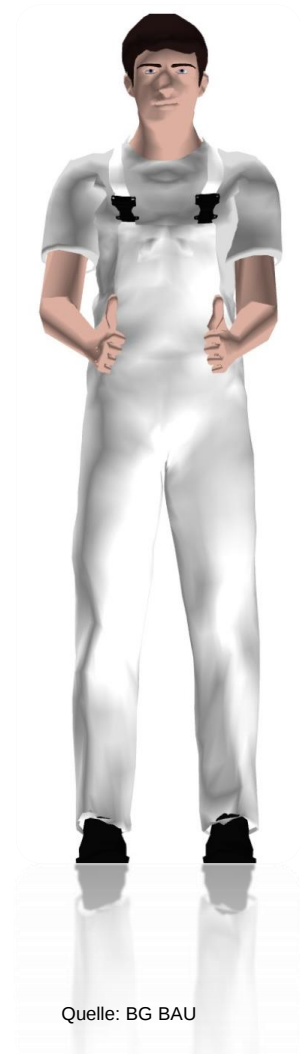


Einbindung in andere Systeme z. B. VR

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

BG BAU - Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft
Hauptabteilung Prävention
Abteilung Gesundheit
Referat Ergonomie
Hildegardstraße 29/30
10715 Berlin

Tel: 030 85781-320
Mobil: 0160 92998278
Mail: Felix.Brandstaedt@bgbau.de
Internet: www.bgbau.de



Quelle: BG BAU

Bullinger-Hoffmann AC, Mühlstedt J (2016). Homo Sapiens Digitalis - Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle. Berlin: Springer.

Spitzhirn M, Ullmann S, Fritzsche L (2022) Considering individual abilities and age-related changes in digital production planning—human-centered design of industrial work tasks with ema software. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. <https://doi.org/10.1007/s41449-022-00343-5>