

Übung: Prozessplanung

Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)

Szenario: Montage einer Feuchtraum-Steckdose

Ausgangslage

Ein Hersteller von Feuchtraumsteckdosen möchte eine bisher rein manuelle Montagelinie auf eine Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) umstellen. Ziel ist es, die Ergonomie zu verbessern, die Prozesssicherheit zu erhöhen und den Takt zu stabilisieren, ohne die hohen Investitionskosten einer Vollautomatisierung tragen zu müssen.

Die Arbeitsschritte

Der Montageprozess besteht aus drei Hauptphasen:

1. Vormontage Unterteil (Gehäusebasis):

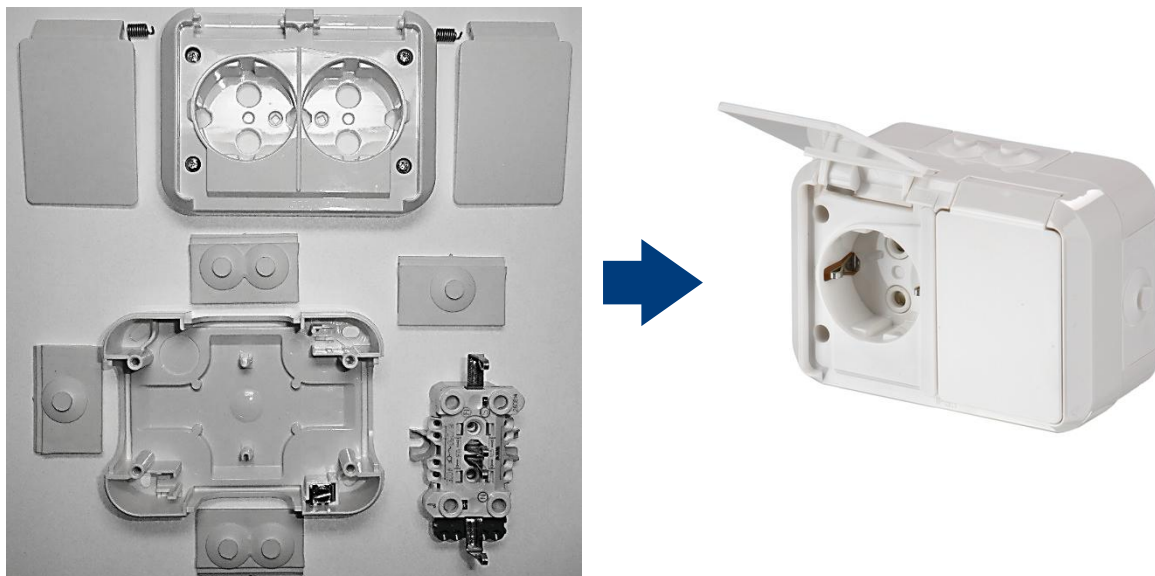
- Einpressen des Erdungskontakts / Schutzleiterverbindung (hoher Kraftaufwand nötig).
- Montage der Gummitüllen (Dichtungen, biegeschlaife Teile): 2x zweifach (oben/unten) & 2x einfache Kabelführung (seitlich).

2. Vormontage Oberteil (Deckel):

- Bestücken von 2 Klappdeckeln mit Rückstellfedern.
- Einhängen der Deckel in das Oberteil.
- Fixieren der Scharnierbolzen der Deckel (bisher manuell mit Hammer eingeschlagen).
- Qualitätsprüfung: Aufklappen und Zufallen der Deckel testen (haptisch/visuell).

3. Endmontage & Verpackung:

- Einstecken des Steckdoseneinsatzes.
- Zusammenführen von Ober- und Unterteil (Clipsen).
- Sortieren in Kartons und Verschließen (alle 12 Steckdosen).



Aufgabe 1: Auswahl der Montagekonzeption

Welche Argumente sprechen für dieses spezifische Produkt für eine hybride Montage (MRK)?

Welche Argumente sprechen gegen

a) eine rein manuelle Montage und

b) eine Vollautomatisierung (Linie ohne menschliche Beteiligung)?

Hinweis: Berücksichtigen Sie u.a. biegeschlaffe Teile, Investitionskosten und Ergonomie.

Aufgabe 2: Aufgabenverteilung

Analysieren Sie die Prozessschritte und weisen Sie diese zur Ausführung dem Menschen, dem Roboter oder einer Zusammenarbeit zwischen Menschen und Roboter (Synchronisation, Kooperation, Kollaboration) zu. Begründen Sie Ihre Entscheidung u.a. anhand der Kriterien: *Ergonomie, Beschaffenheit der Teile, Kraftaufwand, Motorik, Sensorik, Sicherheit, Monotonie, Komplexität und Wirtschaftlichkeit.*

Prozessschritt	Zuweisung	Begründung
1. Einpressen Erdung		
2. Montage Dichtungen (Gummi)		
3. Federn bestücken		
4. Deckel einhängen		
5. Fixieren Bolzen		
6. Qualitätsprüfung Deckel		
7. Einsatz einstecken		
8. Zusammenführen		
9. Verpacken		

Aufgabe 3: Sicherheitskonzept „Der Hammer“

In Schritt 5 wurde bisher ein Hammer verwendet. Mitarbeiter beschwerten sich bei langen Schichten über Schmerzen im Handgelenk und Kunden über häufige Defekte an den Klappen. Wie lösen Sie diesen Schritt in der MRK-Zelle sicherheitstechnisch und prozesstechnisch?

Aufgabe 4: Auswahl der MRK-Methode nach ISO/TS 15066

Wählen Sie die nach ISO/TS 15066 geeignetste Methode (Methode 1, 2, 3 oder 4) zur Realisierung der Mensch-Roboter-Kollaboration und begründen Sie Ihre Entscheidung kurz und präzise.

Aufgabe 5: Ablaufplanung & Taktung

Erstellen Sie einen detaillierten Ablaufplan für einen Zyklus in dem 4 Steckdosen gleichzeitig montiert werden. Versuchen Sie eine geringe Montagedauer und gute Auslastung von Menschen und Roboter zur realisieren. Nutzen Sie die untenstehende Tabelle als Teil Ihrer Entscheidungsgrundlage.

Datenbasis: Prozesszeiten-Vergleich (Zyklus 4 Stück):

Tätigkeit	Zuweisung	Dauer	Kommentar / Einschränkung
Rüsten (positionieren) von 4 Unter- bzw. Oberteilen auf Montageaufnahme (Nest)	R	15 s	Definierte Aufnahme und Ablagepositionen
	M	20 s	Manuelles Handling
16x Gummitüllen Greifen und Montieren	R	40 s	Sensorgesteuertes Platzieren und Nachgreifen
	M	17 s	Intuitives händisches Fügen
8x Klappen: Greifen, Feder einlegen, auf Oberteil Platzieren	R	35 s	Vereinzeln aus Schüttgut
	M	16 s	Vereinzeln und Platzieren
8x Klappen: Endmontage an Oberteil	R	8 s	Präzises kraftgeregeltes Anpressen
	M	4 s	Einschlagen mit Hammer
Qualitätskontrolle der 8 Klappen & Wenden der 4 Oberteile	R	25 s	Kamerabasierte Qualitätskontrolle und mehrfaches Umgreifen
	M	10 s	Haptisches Feedback, manuelle Handhabung
Einsetzen der 4 Steckdoseneinsätze	R	7 s	Definierte Positionen
	M	5 s	Manuelles Fügen
4x Erdungskontakt einpressen	R	15 s	Kraftgeregeltes Anpressen
	M	22 s	Einlegen jedes einzelnen Unterteils in Presse
Fügen des Unter- und Oberteils, Qualitätskontrolle und in Karton legen	R	20 s	Definierte Aufnahme und Ablagepositionen kamerabasierte Qualitätskontrolle
	M	10 s	Manuelles Fügen
Karton schließen und aufs Band stellen (alle 12 Steckdosen)	R	20 s	Komplexer Ablauf, ungünstige Greifpunkte
	M	9 s	Manuelles Handhaben

Bitte tragen Sie den optimierten Ablauf in die leere Tabelle ein:

- Teilen Sie die Tätigkeiten auf den Roboter und dem Menschen auf, begründen Sie Ihre Entscheidung.
- Definieren Sie 'Nester' als Fixierpunkte für Bauteile bei der Montage und geben Sie in der Spalte „Ort“ die Position der Montage an.
- Versuchen Sie Wertezeiten zu minimieren
- Versuchen Sie die Gesamt-Montagezeit zu minimieren, Berechnen Sie diese aus.

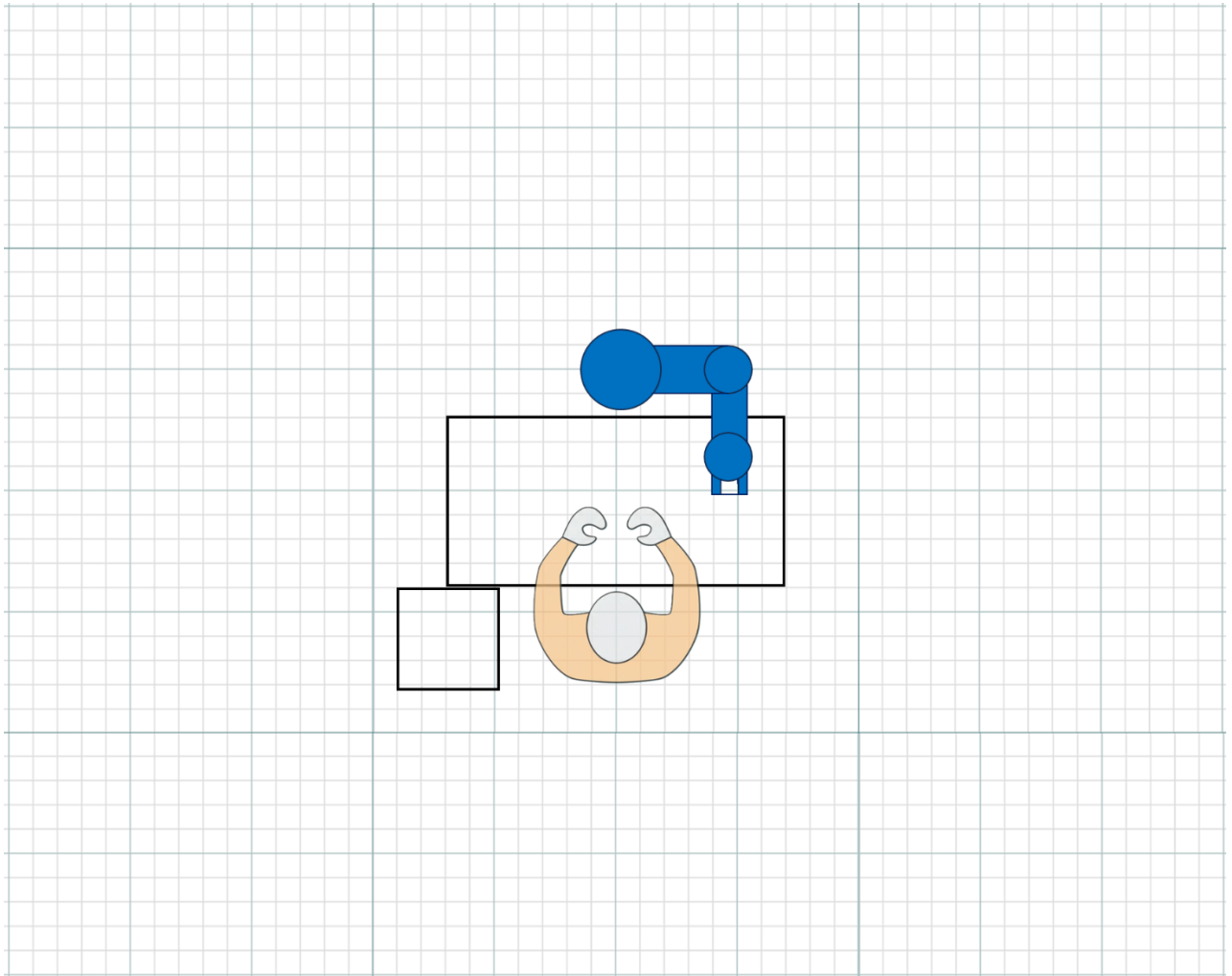
Nr.	Tätigkeit	Begründung	Ort	Dauer Roboter	Dauer Mensch
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
Gesamtdauer für die Montage von 4 Feuchtraum-Steckdose:					

Aufgabe 6: Layout-Entwurf

Skizzieren Sie auf der Rückseite den Arbeitsplatz aus der Vogelperspektive. Zeichnen Sie u. a. ein:

- Materialzuführung (Rohteile) und -abfuhr.
- Planen Sie Fixturen für die zu montierenden Bauteile.
- Sicherheitsbereiche und ggf. notwendige Sensorik.
- Sicherheits- und Bedieneinheiten

Erläutern Sie Ihren Entwurf kurz in Stichpunkten und beschriften Sie die Komponenten in der Zeichnung.



Musterlösung

Hinweis: Die vorliegende Musterlösung stellt lediglich eine mögliche Lösung dar. Andere sachlich begründete Lösungsansätze sind zulässig. Eine nachvollziehbare und schlüssige Begründung ist in jedem Fall erforderlich.

Zu Aufgabe 1: Warum Hybrid?

Warum nicht rein MANUELL?

- **Gesundheit:** Das Einpressen (Erdung) und Hämmern (Bolzen) führt langfristig zu Berufskrankheiten. Monotone und unergonomische Tätigkeiten vermeiden.
- **Qualität:** Roboter garantiert konstante Einpresskraft (sicherheitskritisch bei Erdung!).

Warum nicht VOLLAUTOMATISCH?

- **Biegeschlaffe Teile:** Automatisierung von Gummidichtungen und Federn erfordert extrem teure Zuführtechnik (Rütteltöpfe, Kameras).
- **Wirtschaftlichkeit:** Bei einem günstigen Produkt (Steckdose) ist der ROI einer High-End-Anlage zu schlecht.
- **Flexibilität:** Der Mensch prüft Varianten und Qualität flexibler als Kamerasysteme.

Zu Aufgabe 2: Aufgabenverteilung

Prozessschritt	Zuweisung	Begründung
1. Einpressen Erdung	Roboter	Ergonomie: Hohe Kraft erforderlich. Vermeidung von Gelenkproblemen beim Menschen. Präzise Kraftdosierung durch Roboter.
2. Montage Dichtungen	Mensch	Biegeschlaffe Teile: Gummiteile sind schwer zu greifen. Menschliche Haptik ist hier der Technik weit überlegen und günstiger.
3. Federn bestücken	Mensch	Feinmotorik: Kleine Federn verhaken sich in Zuführtechnik. Mensch nutzt Fingerfertigkeit.
4. Deckel einhängen	Mensch	Komplexität: Erfordert Geschick und Hand-Auge-Koordination.
5. Fixieren Bolzen	Roboter	Kraft/Sicherheit: Roboter presst Bolzen kontrolliert ein (kein Schlag!). Entlastung des Menschen.
6. Qualitätsprüfung	Mensch	Kognition/Haptik: Roboter nur mit aufwändiger Sensorik in der Lage genau zu prüfen, Mensch kann dies intuitiv.
7. Einsatz einstecken	Roboter	Monotonie: Präzises Pick & Place, langweilige Tätigkeit.
8. Zusammenführen	Roboter	Prozesssicherheit: Definierte Endmontage (z.B. Schrauben mit Drehmoment).
9. Verpacken	Roboter	Wirtschaftlichkeit: Monotone Tätigkeit ohne Wertschöpfung.

Zu Aufgabe 3: Das Hammer-Problem

Problem: Schlagen mit Hammer durch den Menschen nicht ergonomisch mit geringer Prozessstabilität.

Lösung (Substitution): Zur Verbesserung von Ergonomie und Prozessstabilität wird der manuelle Hammerschlag durch eine robotergestützte Kraftanwendung ersetzt. Um die Investitionskosten gering zu halten, wird bewusst auf den Einsatz einer separaten Presse verzichtet. Stattdessen übernimmt der Roboter die Funktion des Fixierens der Scharnierbolzen.

Der Endeffektor des Roboters ist mit einer planen Druckfläche ausgestattet, mit der die Klappe von oben mit einer definierten und reproduzierbaren Kraft angedrückt wird.

Sicherheits- und Prozesskonzept:

Der Roboter verfährt den Annäherungsweg im MRK-Sicherheitsmodus bis auf ca. 2 mm über der Klappe. Erst in dieser Endposition wird der kontrollierte Andruck mit einer höheren, prozessnotwendigen Kraft ausgeführt.

Die sicherheitstechnische Absicherung erfolgt dabei nicht primär über Kraftbegrenzung, sondern durch konstruktive und prozessuale Maßnahmen:

- Der Hub während der Kraftanwendung ist auf wenige Millimeter begrenzt.
- Der Andruck erfolgt ausschließlich vertikal von oben.
- Der Arbeitsraum im Bereich der Kraftanwendung ist so gestaltet, dass ein Eingreifen oder Einführen von Fingern zwischen Endeffektor und Bauteil geometrisch ausgeschlossen ist.

Dadurch ist eine Quetsch- oder Klemmgefahr selbst bei erhöhten Kräften ausgeschlossen.

Zu Aufgabe 4: Auswahl der MRK-Methode nach ISO/TS 15066

Methode 1: Sicherheitsgerichteter überwachter Halt (SRMS)

Bei Methode 1 wird der Roboter bei Betreten des Kollaborationsraums durch den Menschen sicherheitsgerichtet angehalten. Für den vorliegenden Montageprozess ist diese Methode ungeeignet, da Mensch und Roboter zeitlich eng verzahnt und parallel arbeiten sollen (z. B. Montage biegeschlaffer Teile durch den Menschen während roboterseitiger Positionier- oder Kraftaufgaben). Der sicherheitsgerichtete Halt würde zu häufigen Unterbrechungen, Stillstandszeiten und einer deutlichen Reduktion der Prozesseffizienz führen. Zudem wird das ergonomische Problem des manuellen Kraftaufwands nicht adressiert.

Methode 2: Handführung (HG)

Die Handführung erlaubt dem Menschen, den Roboter direkt zu führen und Bewegungen manuell auszulösen. Diese Methode ist für den betrachteten Prozess nicht geeignet, da der Roboter hier keine assistive Führungsfunktion übernimmt, sondern eine reproduzierbare, automatisierte Kraftaufgabe (Fixieren bzw. Pressen der Scharnierbolzen) ausführt. Eine Handführung würde die Prozessstabilität reduzieren, den Bediener erneut belasten und keinen Mehrwert gegenüber einer rein manuellen Lösung bieten.

Methode 3: Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung (SSM)

Methode 3 ermöglicht eine Annäherung von Mensch und Roboter bei gleichzeitiger Überwachung von Abstand und Geschwindigkeit mittels externer Sicherheitssensorik (z. B. Laserscanner). Für die Anwendung wäre diese Methode zwar grundsätzlich realisierbar, jedoch mit erhöhtem

Integrationsaufwand und zusätzlichen Kosten für Sensorik, Validierung und Layout verbunden. Zudem ist bei engen Arbeitsräumen und häufigem Positionswechsel des Menschen eine stabile und produktive Prozessführung erschwert. Die Vorteile der parallelen Zusammenarbeit würden nur eingeschränkt realisiert.

Methode 4: Leistungs- und Kraftbegrenzung (PFL)

Die Leistungs- und Kraftbegrenzung (PFL) ist für den vorliegenden Anwendungsfall die wirtschaftlichste und prozesstechnisch sinnvollste MRK-Methode.

- Wirtschaftlichkeit: PFL ermöglicht eine kompakte und kostengünstige Systemintegration, da weder physische Schutzeinrichtungen (Methode 1) noch aufwändige externe Sicherheitssensorik (Methode 3) erforderlich sind.
- Prozesseffizienz: Mensch und Roboter können sich dauerhaft und gleichzeitig im Kollaborationsraum aufhalten. Dies erlaubt eine echte Parallelisierung der Arbeitsschritte und vermeidet Stillstandszeiten, etwa während der Montage biegeschlaffer Teile durch den Menschen.
- Sicherheit und Ergonomie (insbesondere Schritt 5): PFL ist besonders geeignet für die roboterseitige Kraftanwendung beim Fixieren der Scharnierbolzen. Die wirkenden Kräfte werden sicher begrenzt und überwacht, sodass eine ergonomische Entlastung des Mitarbeiters bei gleichzeitig hoher Prozessstabilität und normkonformer Sicherheit erreicht wird.

Zu Aufgabe 5: Ablaufplan (für 4 Feuchtraum-Steckdose)

Nest A → Ablage der Unterteile.

Nest B → Ablage der Oberteile.

Nr.	Tätigkeit	Begründung	Ort	Dauer Roboter	Dauer Mensch
1	Nach Zustimmtaster: Holt 4 Unterteile und legt sie nacheinander in Nest A.	Roboter schneller	Nest A	15 s	
2	Montiert Gummitüllen (16 Stk).	biegeschlaife Teile, Mensch schneller	Nest A		17 s
3	Holt 4 Oberteile und legt sie in Nest B.	Roboter schneller, parallele Tätigkeit an Nest B	Nest B	15 s	
4	Bestückt die 8 Klappen je Oberteil mit Klappen und Federn.	Fingerfertigkeit des Menschen und schneller	Nest B		16 s
	Wartezeit	Minimale Wartezeit, Ausgleich der untätigen Zykluszeit der Menschen		3 s	
5	Nach Zustimmtaster: Verpresse die 8 Klappen	Ergonomie, Materialschonend durch Kraftregelung	Nest B	7 s	
6	Qualitätskontrolle aller 8 Klappen & 4 Oberteile Wenden	Gespür und Fingerfertigkeit, Wendeprozess mit Roboter nur mit aufwendigem Umgreifen möglich	Nest B		10 s
7	4 Erdungskontakte pressen.	Kraftaufwändig, So ist keine Umplatzierung des Unterteils notwendig	Nest A	15 s	
8	Setzt 4 Steckdoseneinsätze ein.	Parallele Prozesse sind Kraftaufwändig oder benötigen eine Kraftregelung	Nest A		5 s
9	Fügt Unter- und Oberteil zusammen und Qualitätskontrolle.	Gespür, Fingerfertigkeit, nicht Kraftaufwändig oder ermüdend, da nicht verschraubt	Nest B und A		10 s
10	Wartezeit	Minimale Wartezeit, Ausgleich der untätigen Zykluszeit der Menschen		3 s	
11	Verschließt Karton und stellt ihn aufs Band.	Komplexe Aufgabe, mit relativ großen Teilen, Abschließende Qualitätskontrolle	Karton		9 s (alle 3 Zyklen)
12	Wartezeit	Keine sinnvolle parallele Tätigkeit		9 s (alle 3 Zyklen)	
Gesamtdauer für die Montage von 4 Feuchtraum-Steckdose:				61	61

Berechnung der Durchlaufzeit für Mensch: $17\text{ s} + 16\text{ s} + 10\text{ s} + 5\text{ s} + 10\text{ s} + (9/3)\text{ s} = 61\text{ s}$

Zu Aufgabe 6: Layout-Hinweise

- Arbeitsraum Roboter (blau): Definiert den maximalen Bewegungsraum des Roboters und dient der sicherheitstechnischen Abgrenzung roboterexklusiver Bewegungen.
- Arbeitsraum Werker (grün): Bereich für ergonomische manuelle Tätigkeiten des Mitarbeiters.
- Gemeinsamer Arbeitsraum / Kollaborationsraum (gelb): Überlappungsbereich von Mensch und Roboter, der paralleles Arbeiten unter Leistungs- und Kraftbegrenzung (PFL) ermöglicht.
- Nest A – Unterteile (4-fach): Fixiert vier Unterteile lagegenau und ermöglicht stabile Roboterkraftanwendungen sowie parallele Bearbeitung.
- Nest B – Oberteile (4-fach): Fixiert die Oberteile für Montage, Fixierung der Scharnierbolzen und Funktionsprüfung der Klappdeckel.
- Zuführung Unterteile: Stellt Unterteile strukturiert und roboterzugänglich bereit und reduziert manuelle Laufwege.
- Zuführung Oberteile: Versorgt den Prozess kontinuierlich mit Oberteilen und reduziert manuelle Laufwege.
- Manuelle Zuführung (Federn, Klappen, Kabeldurchführungen): Ermöglicht die ergonomische Montage biegeschlaffer und variantenreicher Kleinteile durch den Werker.
- Abfuhr fertige Kartons: Separater Bereich für Verpackung und Abtransport, um den Montageprozess nicht zu beeinträchtigen.
- Zustimmungstaster: Erlaubt Roboterbewegungen im Kollaborationsraum nur bei aktiver Zustimmung des Werkers.
- Not-Halt-Schalter: Ermöglicht das sofortige Stillsetzen der Anlage im Gefahrenfall.
- Fluchtweg / Freiraum: Gewährleistet einen jederzeit freien und sicheren Rückzugsweg für den Werker.

