

# Abschätzung der Wirtschaftlichkeit für MRK-Anwendungen

## Kosten und deren Abschätzung für Mensch-Roboter-Anwendungen in der Montage

Peter Rally und  
Oliver Scholtz, Stuttgart

### Ausgangssituation und Motivation für schnelle Abschätzverfahren

#### Wirtschaftlichkeit – noch ein Problem bei der Mensch-Roboter-Kollaboration

In den letzten Jahren ist eine Vielzahl von Robotern, Greifern und Sicherheitsausrüstung auf den Markt gekommen, die einen schutzzaunlosen Betrieb bzw. eine Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) ermöglichen. Jedoch sind längst nicht alle technisch möglichen Einsatzfälle von MRK auch schon wirtschaftlich, diese lässt nach dem ehemaligen Kuka-Chef Till Reuter noch auf sich warten [1, 2]. Die geringen Preise mancher Roboter sehen verlockend aus. Insbesondere um die Sicherheit für die Mitarbeiter zu gewährleisten, ist jedoch noch eine Reihe von Zusatzinvestitionen erforderlich, welche die Gesamtkosten für ein MRK-System in der Regel signifikant mitbestimmen.

Dies gilt insbesondere für den Fall des MRK-Einsatzes in der bisher rein manuellen Montage. Dort arbeiten Mensch und Roboter ohne Schutzzaun nahe beieinander oder sogar gleichzeitig am gleichen Produkt.

Für Mensch-Roboter-Kollaborationen (MRK), bei denen der Mitarbeiter direkt neben dem Roboter arbeitet – wie es bei Anwendungsfällen in der bisher rein manuellen Montage häufig der Fall ist – fallen neben den Investitionen in den Roboter noch weitere wesentliche Kostenpositionen an. Im Forschungsprojekt ROKOKO wurde eine einfache Methode zur Abschätzung der erforderlichen Gesamtinvestitionen sowie der Anzahl an Tätigkeiten, die der Roboter in der Taktzeit übernehmen kann, für Anwendungsfälle in der Montage erarbeitet.\*<sup>1)</sup>

Vor allem bei den ersten Projekten, wenn noch keine Erfahrungswerte vorhanden sind, liegen Firmen und Integratoren mit ihren Kosten- und internen Aufwandsschätzungen oft zu niedrig. Es stellt sich daher die Frage, wie bereits vor Beginn einer aufwendigen Planung eines MRK-Systems die notwendigen Investitionen und die im Vergleich zur Ist-Situation eingesparten Aufwände (die manuellen Montagezeiten, die zukünftig der Roboter ausführt) abgeschätzt werden können. Mit diesen beiden Größen, die als Basis für die Entscheidung für oder gegen eine Umsetzung dienen, kann – wie im nachfolgenden Abschnitt gezeigt wird – die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems bewertet werden.

#### Amortisationsrechnung – Wesentliche Faktoren bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Wirtschaftlichkeit lässt sich zum Beispiel mit der Amortisationsrechnung nachweisen. Bei dieser wird die Amortisationszeit als Verhältnis der Anschaffungskosten zum durchschnittlichen Gewinn (nach Abschreibungen und kalkulatorischen Zinsen) definiert.

Die Anschaffungskosten werden im Folgenden als Investitionen ins MRK-Gesamtsystem bezeichnet. Der durchschnittliche Gewinn wird im Wesentlichen durch die Einsparung der manuellen Montagezeit und damit der verringerten manuellen Montagekosten abzüglich

Abschreibungen und kalkulatorischen Zinsen bestimmt. Die letzten beiden Kosten sind ebenfalls noch zu berücksichtigen, lassen sich aber einfach aus den Investitionen ableiten, weshalb auf diese im Weiteren nicht mehr eingegangen wird:

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Anschaffungskosten}}{\text{Durchschnittlicher Gewinn} - \text{Investitionen} - (\text{Verringerte Montagekosten} - \text{Abschreibungen} - \text{Kalkulierte Zinsen})}$$

Daher sind die zwei wesentlichen Größen „Investitionen“ und „verringerte Montagekosten“ in einer frühen Planungsphase abzuschätzen.

In den folgenden zwei Kapiteln wird eine mögliche schnelle Abschätzung dieser zwei Größen beschrieben und zwei einfache Hilfsmittel aus Bild 1 werden für eine aufwandsarme Schätzung vorgestellt.

### Schnelle Investitionsabschätzung

Bei herkömmlichen Automatisierungen stellen die Kosten für den Roboter nur ca. ein Drittel bis ein Fünftel der Gesamtinvestitionen dar [2, 4–6]. Alle weiteren Kosten machen zusammen Zweidrittel bis Vierfünftel der Gesamtkosten aus [2, 4]. Diese Überschlagsformel mit einer Verdreifachung bis Verfünffachung der Roboterkosten als Abschätzung für die Gesamtinvestitionen erscheint auf den ersten Blick auch bei den Leichtbaurobotern anwendbar [4, 7].

\*<sup>1)</sup> Hinweis

Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen von den Mitgliedern des ZWF-Advisory Board wissenschaftlich begutachteten Fachaufsatz (Peer-Review).

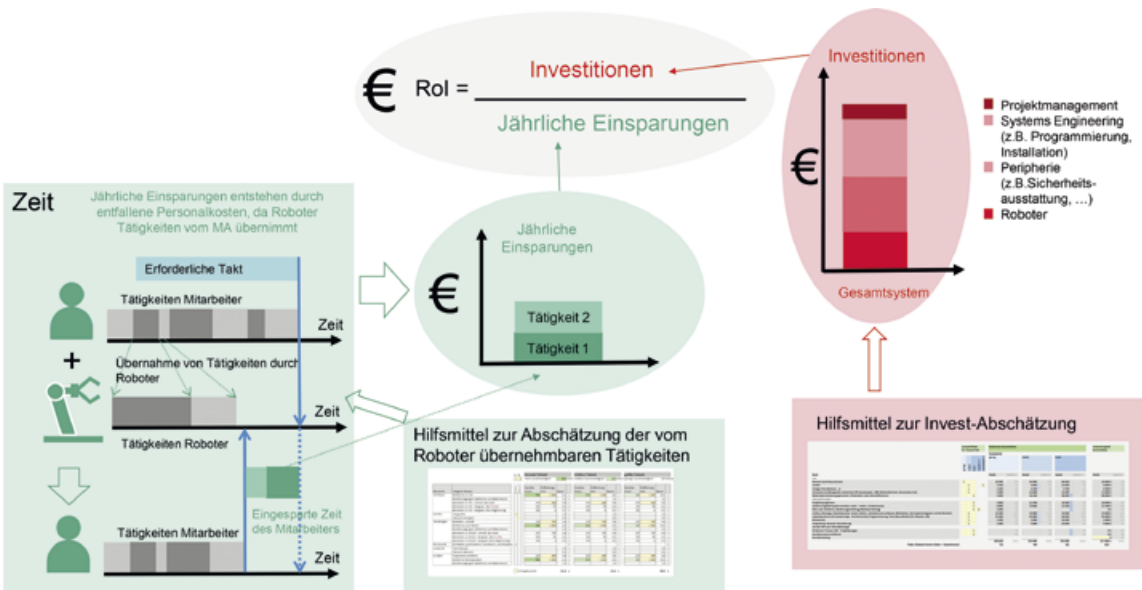


Bild 1. Abschätzung der Wirtschaftlichkeit mit einfachen Hilfsmitteln

Betrachtet man die Übersichtsformel genauer, insbesondere im Hinblick auf die großen Preisunterschiede (auch aufgrund großer Leistungsunterschiede) bei den Robotern – zwischen 10.000 € und 80.000 € – so muss man feststellen, dass sie bei Leichtbaurobotern nicht sinnvoll anwendbar ist. Ein weiterer Grund ist, dass eine Reihe von Kostenpositionen anfallen, deren Höhe nicht vom ausgewählten Roboter bzw. deren Preisunterschieden, sondern von anderen Randbedingungen abhängen. Es bedarf daher einer differenzierteren Betrachtung aller Kostenpositionen [8, 9].

Basierend auf den Planungserfahrungen der drei Umsetzungsprojekte im Forschungsprojekt ROKOKO wurde mit den Projektpartnern sowie weiteren Systemintegratoren die Excel-Tabelle in Bild 2 zur schnellen Investitionsabschätzung erarbeitet. Diese kann in einer sehr frü-

hen Planungsphase eingesetzt und für eine Wirtschaftlichkeitsprüfung als Basis für die Entscheidung pro oder contra einer MRK-Anwendung herangezogen werden, bevor die aufwendigen und damit kostenintensiven Planungen bereits begonnen haben.

In den Zeilen stehen die Kostenpositionen, welche jeweils nach Komplexitätsgrad als hoch, mittel oder gering einstuftbar sind. Für jede Kostenposition und jeweils jeden Komplexitätsgrad ist ein Kostenbetrag hinterlegt und wird in den drei Spalten angezeigt. Ordnet man einer Kostenposition eine Komplexitätsstufe zu (in den gelben Auswahlfelder der Tabelle durch eintragen einer „1“), so wird für den aktuellen Anwendungsfall der zutreffende Kostenbetrag in die Spalte ganz rechts automatisch eingetragen und am unteren Ende der Spalte der Gesamtbetrag für alle erforderlichen Investitionen berechnet.

Die Kostenbeträge können firmen- oder integratorspezifisch angepasst bzw. im Einzelfall auch einfach geändert werden. In manchen Fällen fallen bestimmte Positionen nicht an, dann wird in diese Zeile nichts eingetragen. Im Folgenden werden die Kostenpositionen kurz erläutert.

**Kostenpositionen Hardware**

Da sich die *Roboter* stark in ihrer Leistungsfähigkeit (Traglast, Reichweite, Positioniergenauigkeit, Anzahl Achsen, Sensitivität oder eingebauter Sicherheitsfunktionen) unterscheiden, gibt es folglich auch große Unterschiede in den Preisen.

Für das Handhaben von Teilen sind *Greifer* erforderlich, die umso komplexer und damit teurer werden, je mehr verschiedene Teile mit einem Greifer gegriffen werden sollen, je mehr Sicherheits-

Basis	Auswahlfelder für Anwend.fall			Datenbasis Kostenblöcke			Anwendungsfall Kostenblöcke				
	gering	mittel	hoch	Komplexität gering		Komplexität mittel		Komplexität hoch		Invest	Anteil in %
				Invest	Anteil in %	Invest	Anteil in %	Invest	Anteil in %		
Roboter (Leichtbauroboter)	1	1	1	20.000	20%	45.000	23%	80.000	24%	20.000 €	9%
Greifer	1	1	1	2.500	2%	6.000	3%	15.000	4%	6.000 €	3%
Anlage (Tisch/Rahmen, ...)	1	1	1	3.000	3%	6.500	3%	9.700	3%	6.500 €	3%
Schaltschrank (Netzgeräte, Sicherheits-SPS, Busstecker, HMI, Rollenketten, Busmodule, Eas)	1	1	1	5.000	5%	15.000	8%	25.000	7%	15.000 €	7%
Materialbereitstellung (geordnet) (Rollenbahn oder Wendekörper)	1	1	1	5.800	6%	18.300	9%	48.000	14%	48.000 €	22%
Dienstleistungen											
Projektmanagement	1	1	1	5.800	6%	11.300	6%	20.000	6%	20.000 €	9%
Systems Engineering (Konstruktion mech. + elektr., Schaltschrank)	1	1	1	8.800	9%	13.800	7%	22.300	7%	22.300 €	10%
Doku (z.B. CE-Kennz., Bedienungsanleitung, Risikoanalyse)	1	1	1	5.000	5%	5.000	3%	0	0%	0 €	0%
Aufbau, Montage, Inbetriebnahme (mech./elektr.), Schaltschrank aufbauen, Rollenbahn, (bei Systemintegrator und bei Kunden)	1	1	1	15.000	15%	25.000	13%	35.000	10%	25.000 €	11%
Inbetriebnahme (bei Systemintegr. und bei Kunde), Programmierung, Tests (Dauerläufer) (für Roboter, SPS)	1	1	1	25.000	25%	45.000	23%	60.000	18%	45.000 €	21%
Risikokosten	1	1	1	2.000	2%	5.000	3%	10.000	3%	5.000 €	2%
Verpackung, Versand, Versicherung	1	1	1	2.000	2%	5.000	3%	10.000	3%	5.000 €	2%
Sonder-HW und -Dienstleistungen											
Peripherie-Prozess-ITW - Projektbezogen	1	1	1		0%		0%		0%	0 €	0%
Sonderprozesse einführen	1	1	1		0%		0%		0%	0 €	0%
Korrekturbetrag											
<b>Faktor (Roboterinvest x Faktor = Gesamtinvest)</b>				<b>100.100</b>	<b>100%</b>	<b>195.900</b>	<b>100%</b>	<b>335.500</b>	<b>100%</b>	<b>217.800 €</b>	<b>100%</b>
				<b>5,0</b>		<b>4,4</b>		<b>4,2</b>		<b>10,9</b>	

Bild 2. Hilfsmittel zur ersten Abschätzung der Investitionen für Gesamtsystem MRK

		s s kürzeste Taktzeit			mittlere Taktzeit			größte Taktzeit							
		hohe Geschwindigkeit 500 mm/s			mittlere Geschwindigkeit 250 mm/s			geringe Geschwindigkeit 100 mm/s							
		1	2		1	2		1	2						
Abschnitt	Tätigkeit Roboter	Greifer	Vakuum	Geschw. mm/s	Entfernung mm	Dauer s	Geschw. mm/s	Entfernung mm	Dauer s	Geschw. mm/s	Entfernung mm	Dauer s			
Teil holen	Hinfahren zu Teil	1		500	1.000	2,0	250	1.000	4,0	100	1.000	10,0			
	Beschleunigungen (Anfahren und Abbremsen)					1,0			1,0			1,0			
	Absenken zu Teil - schnell (bis 4cm)			250	200	0,8	250	200	0,8	250	200	0,8			
	Absenken zu Teil - langsam (bis 4 mm)			100	40	0,5	100	40	0,5	100	40	0,5			
	Absenken zu Teil - langsam ohne Begrenzung			100	4	0,5	100	4	0,5	100	4	0,5			
Greifen	Teil greifen	1				1,0			1,0			1,0			
	Vakuum erzeugen					0,0			0,0			0,0			
Teil bringen	Anheben - schnell	1		250	100	0,4	250	100	0,4	250	100	0,4			
	Hinfahren zum Zielort			500	1.000	2,0	250	1.000	4,0	100	1.000	10,0			
	Beschleunigungen (Anfahren und Abbremsen)					1,0			1,0			1,0			
	Absenken zu Zielort - schnell (bis 4cm)			250	100	0,4	250	100	0,4	250	100	0,4			
	Absenken zu Zielort - langsam (bis 4 mm)			100	40	0,5	100	40	0,5	100	40	0,5			
Prozesszeit	(Einfädeln, positionieren, montieren, anschrauben, ...)	1													
	Teil loslassen					1,0			1,0			1,0			
zu Start	Vorposition anfahren	1		250	200	0,8	250	200	0,8	250	200	0,8			
	Hinfahren Homeposition			500	1.000	2,0	250	1.000	4,0	100	1.000	10,0			
				= Eingabewerte			15,4 s			21,4 s			39,4 s		

Bild 3. Hilfsmittel zur Abschätzung der Roboterzeiten

funktionen der Greifer beinhaltet, je mehr geometrische Varianten die Teile aufweisen, je schwerer die Teile sind, je höher der Grad der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter ist.

Die *Anlage*, in welcher der Roboter arbeitet, bestehend aus Tisch, Rahmen, Verkettung und Sicherheitsausstattung, wird umso teurer je größer und schwerer die Teile ausfallen und je höher der Automatisierungsgrad der Verkettung.

Der *Schaltschrank* beinhaltet die Netzgeräte, Sicherheits-SPS, Busskoppler, HMI, Reihenklemmen, Busmodule, EAS. Deren Preis hängt wesentlich davon ab, ob eine separate Sicherheits-SPS erforderlich ist oder ob der Roboter die Sicherheitssteuerung übernehmen kann sowie ob der Kunde viele spezielle Anforderungen (z.B. Kundenstandards) verlangt.

Die *Materialbereitstellung* stellt bei der Umstellung von rein manuellen Arbeitssystemen, mit bisher in der Regel für den Mitarbeiter ungeordneten Teilen in Behältern, zu einer Materialbereitstellung für einen Roboter, eine nicht zu vernachlässigbare Kostenposition dar. Große Teile können in Behältern mit Einlagen geordnet bereitgestellt werden. Je nach Teilegeometrie ist für das Robotersystem noch eine exakte Teilepositionsbestimmung, z.B. kamerabasiert, erforderlich. Kleine Teile können beispielsweise über Wendelförderer bereitgestellt werden. Die prinzipielle Automatisierbarkeit der Teilebereitstellung und die erforderlichen Kosten sind für jedes Teil zu überprüfen bzw. zu ermitteln. [2]

**Kostenpositionen Dienstleistungen**

Das *Projektmanagement* beinhaltet den Informationsaustausch zwischen Kunde und Systemintegrator, die Zeit- und Aufwandsplanung sowie die Abstimmungen mit dem Kunden.

Beim *Systems Engineering* wird das System inkl. Schaltschrank vom Systemintegrator mechanisch und elektrisch konstruiert. Der Systemintegrator hat den für den Montagemitarbeiter sicheren kollaborativen Betrieb zu untersuchen, zu entwickeln, umzusetzen sowie in Form einer CE-Konformitätsbewertung nach der Maschinenrichtlinie nachzuweisen und zu dokumentieren [2].

Das Gesamtsystem inkl. der CE-Nachweise sind in einer *Dokumentation* zu beschreiben.

Der Roboter und die gesamte Anlage sind zuerst beim Systemintegrator und anschließend beim Kunden aufzubauen und in Betrieb zu nehmen (*Aufbau, Montage, Inbetriebnahme*).

Je größer die Entfernung zum Kunden ist, desto höher steigen auch die *Reisekosten* an.

Die gesamte Anlage wird beim Systemintegrator nach der erfolgreichen Inbetriebnahme und der Vorabnahme durch den Kunden abgebaut, verpackt und an den Kunden versendet (*Verpackung, Versand, Versicherung*).

**Kostenpositionen Sonder-Hardware und -Dienstleistungen**

Sonder-Hardware, wie z.B. Kamerasysteme, für Klebprozesse variieren in den erforderlichen Investitionen und Imple-

mentierungsaufwänden so stark, dass diese nur anwendungsfallsspezifisch angegeben werden können. Daher können in der Tabelle für diese Kostenpositionen keine sinnvollen Investitionen als Vorbelegung angegeben werden.

**Schnelle Abschätzung der manuellen Zeit-Einsparungen**

Als zweite wesentliche Größe der Amortisationsrechnung werden, nach den im letzten Kapitel abgeschätzten Investitionen, in diesem Kapitel die „verringerten Montagekosten“ abgeschätzt. Diese lassen sich aus der bisherigen „manuellen Montagezeit“ (der zukünftig vom Roboter ausgeführten Tätigkeit) multipliziert mit dem „Stundensatz für die manuelle Montage“ berechnen. Auf die für die Berechnung ebenfalls noch erforderliche Abschreibung und die kalkulatorischen Zinsen soll hier nicht weiter eingegangen werden, da diese einfach aus den Investitionen abgeleitet werden können.

Um die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen, soll der Roboter prinzipiell so viele Tätigkeiten wie möglich vom Menschen übernehmen. Die Grenze für die Anzahl an Tätigkeiten stellt jedoch die Taktzeit dar, innerhalb derer der Roboter seine Tätigkeiten ausgeführt haben muss, damit der Mitarbeiter nicht auf den Roboter warten muss.

Bei der Mensch-Roboter-Kollaboration arbeitet der Mensch ohne Schutzzaun direkt neben dem Roboter. Aus Sicherheitsgründen kann man den Roboter dabei nur so langsam fahren lassen, dass er

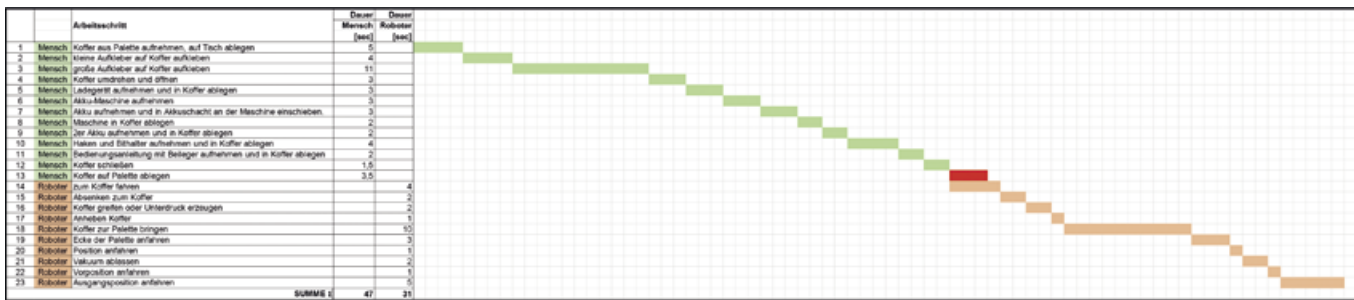


Bild 4. Zeitlicher Gesamtarbeitsablauf von Mensch (grün dargestellt) und Roboter (orange dargestellt)

den Menschen im Kollisionsfall nicht verletzen kann. Die Sicherheit bzw. die Einhaltung von Grenzwerten ist anhand von Kraft- und Druck-Messungen zu belegen. Sind die Grenzwerte überschritten, so ist die Geschwindigkeit des Roboters zu verringern und die Messungen sind erneut durchzuführen.

Der schutzzaunlose Roboter ist ohne weitere Sicherheitsüberwachung wesentlich langsamer als mit Schutzzaun und ebenfalls wesentlich langsamer als der Mensch, denn durch den schutzzaunlosen Betrieb sind die maximalen Geschwindigkeiten begrenzt. Damit sind die Tätigkeiten, welche der Roboter vom Menschen übernehmen kann und welche als Einsparpotenzial gegengerechnet werden können, von der erforderlichen Taktzeit her begrenzt [2]. Für die Wirtschaftlichkeit ist es daher entscheidend, wie viele Tätigkeiten der Roboter vom Menschen übernehmen kann und wie viele Personalkosten durch den Roboter somit eingespart werden. Zu beachten ist dabei weiterhin, dass der Mensch nicht auf den Roboter warten soll.

Für eine einfache und aufwandsarme Abschätzung der Zeiten, die ein Roboter für die Montage eines Teiles benötigt, wurde im Projekt ROKOKO eine Tabelle mit Standard-Tätigkeiten des Roboters (z.B. Fahren zum Teil und zum Produkt, Greifen, Loslassen) und die dafür erforderlichen Standard-Zeiten eines Roboters aufgestellt. Fallabhängig ist zu entscheiden, ob der Roboter mit hoher, mittlerer oder niedriger Geschwindigkeit aus Sicherheitsgründen fahren kann, also ob in der Tabelle die Spalte mit der niedrigsten, mittleren oder hohen Taktzeit für die Planung verwendet werden kann.

Bild 3 zeigt beispielhaft eine erste Abschätzung der Roboterzeiten für eine Tätigkeit bei drei Geschwindigkeitsszenarien des Roboters mit geringer, mittlerer und hoher Geschwindigkeit.

Damit lässt sich die Zeit, welche der Roboter für eine Tätigkeit benötigt, abschätzen und damit auch folglich abschätzen, ob der Roboter in seiner restlichen noch zur Verfügung stehenden Zeit weitere Tätigkeiten übernehmen kann. Mit jeder weiteren Tätigkeit, welche der Roboter übernimmt, ist die Einhaltung der verbleibenden Taktzeit zu prüfen.

Erstellt man einen zeitlichen Gesamtarbeitsablauf von Mensch und Roboter, wie in Bild 4 beispielhaft für einen Anwendungsfall „Konfektionieren von Akku-Maschinen“ im Forschungsprojekt ROKOKO erarbeitet, so lassen sich die Abläufe auf möglichst geringe gegenseitige Wartezeiten überprüfen und optimieren. Die Zeiten des Mitarbeiters zum Konfektionieren, d.h. das manuelle Bestücken eines Koffers mit einer Werkzeugmaschine und Zubehör sind grün dargestellt. Die Zeiten des Roboters für das Ab stapeln des fertig bestückten Koffers auf einer Palette sind orange dargestellt. Die Zeit des Mitarbeiters für das Ab stapeln des Koffers ist in rot dargestellt.

Darin lässt sich gut erkennen, ob der Mitarbeiter (die Zeitdauer der grün dargestellten Tätigkeiten) nicht auf den Roboter (die Zeitdauer der orange dargestellten Tätigkeiten) warten muss. Die orangefarbenen Zeitbalken müssen kürzer sein als die grünen Zeitbalken.

Weiterhin gut erkennbar ist, dass der Mensch zum Ab stapeln des befüllten Koffers auf der Palette nur ca. 3 s benötigt (rot dargestellter Zeitbalken), während der Roboter für diese Aufgabe ca. 31 s benötigt. Das Ab stapeln durch den Roboter ist in den orangefarbenen Zeitbalken dargestellt. Durch die kurze Zykluszeit des Gesamtprozesses entspricht die absolute Zeiteinsparung von 3 s dennoch einer relativ großen Zeiteinsparung von ca. 7 Prozent. Ebenfalls gut erkennbar ist, ob dem Roboter noch nennenswerte Zeit zur Verfügung steht um weitere Tä-

tigkeiten vom Mitarbeiter übernehmen zu können. Die Differenz der orangefarbenen Zeitbalken von den grünen Zeitbalken ist die restliche Wartezeit des Roboters, in welcher er noch weitere Tätigkeiten vom Mitarbeiter übernehmen und durchführen könnte.

## ■ Zusammenfassung

Mit den beiden gezeigten Hilfsmitteln bzw. Tabellen können die für eine erste Abschätzung zur Wirtschaftlichkeit die zwei wesentlichen Größen „Gesamtinvestition“ und „eingesparte manuelle Montagezeit“ bzw. „eingesparte manuelle Montagekosten“ schnell und einfach abgeschätzt werden.

### Hilfsmittel Invest-Abschätzung Gesamtsystem

Der Einsatz von Robotern in einer Mensch-Roboter-Kollaboration in der manuellen Montage erfordert neben dem Roboter und dem Greifer noch einige weitere Investitionen, die sich auf ein drei- bis zehnfaches der Roboterkosten als Gesamtkosten bzw. Gesamtinvestitionen aufsummieren können. Mit der Excel-Tabelle können in der frühen Projektphase die Investitionen für das Gesamtsystem einer MRK-Anwendung abgeschätzt werden.

### Hilfsmittel „Abschätzung Taktzeit des Roboters“

Der Roboter ist im schutzzaunlosen Betrieb deutlich langsamer als der Mitarbeiter. Die Anzahl der Tätigkeiten, die der Roboter vom Mitarbeiter übernehmen kann, hängt neben seinen Fähigkeiten und der Fähigkeiten des Greifers, im Wesentlichen davon ab, wie viele Tätigkeiten der langsamere Roboter vom schnellen Mitarbeiter übernehmen kann, ohne dass der Mitarbeiter auf den Roboter warten muss. Dazu wurde eine Tabelle entwickelt, in der die Taktzeit des Robo-

ters für eine Tätigkeit schnell und einfach abgeschätzt werden kann. Kann der Roboter mehrere Tätigkeiten übernehmen, so wird für jede Tätigkeit die Taktzeit des Roboters ermittelt. Die aufaddierte Gesamtzeit des Roboters muss immer noch kleiner als die neue Taktzeit des Mitarbeiters sein. Damit lässt sich abschätzen, wie viele Tätigkeiten der Roboter vom Mitarbeiter übernehmen kann, ohne dass der Mitarbeiter warten muss. Die Summe der Zeiten, die der Mitarbeiter bisher für diese Tätigkeiten benötigt hat, sind die eingesparten Montagezeiten. Mittels des Kostensatzes für die Montage-Mitarbeiter lassen sich damit die Einsparungen berechnen.

Mit den beiden Hilfsmitteln können die wesentlichen Input-Größen für eine umfassendere Wirtschaftlichkeitsrechnung abgeschätzt und die Berechnung in einer ersten Planungsphase durchgeführt werden. Dies ermöglicht eine bessere Datengrundlage für die Überprüfung der Wirtschaftlichkeit und damit der Entscheidung zur Umsetzung einer MRK-Anwendung.

#### ■ Literatur

1. Pretzlaff, H.: Die Roboter verlassen den Käfig. Stuttgarter Zeitung, Nr. 135, 14.06.2017
2. Bauer, W. et al.: Leichtbauroboter in der manuellen Montage – einfach, einfach anfangen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2016
3. Rally, P.; Scholtz, O.: Schnelle Abschätzung der Investitionen und der manuellen Zeiteinsparungen für MRK-Anwendungen als Basis für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung. Projekttatlas – Kompetenz Montage, 2019, S. 1
4. Hägele, M.: The Robotics Market: Latest Statistics and Insights. In: Tagungsband zur ROS-Industrial Conference 2017, Stuttgart 2017, S. 7
5. Reinhardt, G.; Magana Flores, A.; Zwicker, C.: Industrieroboter – Planung – Integration – Trends. Vogel Communications Group, Würzburg 2018
6. Gurney, M.: Concept Systems. Online unter <https://conceptsyste.msinc.com/how-to-determine-robot-roi> [Abruf am 25.09.2019]
7. Stübs, G.: Verbesserung der Ergonomie an einem Praxiseinsatz. 1. Stuttgarter MRK-Anwendertag, Stuttgart 15.02.2017
8. Bélanger-Barrette, M.: Robotiq Blog. Robotiq, 9. März 2015. Online unter <https://blog.robotiq.com/how-long-before-I-can-payback-my-robot-investment> [Abruf am 25.09.2019]
9. Gotfredsen, S.: Universal Robots – Blog. Universal Robots, 02. November 2017. Online unter <https://blog.universal-robots.com/calculating-roi-and-payback-period-for-your-robotic-investment> [Abruf am 25.09.2019]

#### ■ Die Autoren dieses Beitrags

Dipl.-Ing. P. Rally, geb. 1956, studierte Maschinenbau und technische Kybernetik an der Universität Stuttgart. Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Stuttgart und danach am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart. Arbeitsschwerpunkte im Bereich produzierender Unterneh-

men sind Arbeitssystemstrukturierung, Wertstrom-Engineering, Planung und Gestaltung von Montagesystemen sowie die Berücksichtigung des Menschen bei der Planung von Leichtbauroboter-Applikationen in der Montage.

Dipl.-Ing. O. Scholtz, geb. 1966, studierte Maschinenbau an der Universität Karlsruhe. Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart. Arbeitsschwerpunkte im Bereich produzierender Unternehmen sind Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung, Planung und Gestaltung von Montagesystemen sowie die Berücksichtigung des Menschen bei der Planung von Leichtbauroboter-Applikationen in der Montage.

#### ■ Summary

**Estimation of Cost-effectiveness for HRC Applications.** For human-robot collaborations (HRC), in which the employee works directly next to the robot – as is often the case with applications in the previously purely manual assembly – there are other significant cost items in addition to the investments in the robot. In the ROKOKO research project, a simple method for estimating the total investments required as well as an estimate of the number of activities that the robot can undertake during the cycle time for applications in assembly has been developed.

#### Bibliography

DOI 10.3139/104.112215

ZWF 115 (2020) 3; page 166–170

© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG

ISSN 0947–0085