

Automatisierter Lackauftrag mittels Cobot

Einsatz des Leitfadens* in der Praxis.

Impressum

Diese Publikation ist dauerhaft nachgewiesen im Repositorium der Fraunhofer-Gesellschaft unter <https://doi.org/10.24406/publica-105>.

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV
Am Technologiezentrum 10
86159 Augsburg

Projektleitung

Fraunhofer IGCV, Christian Härdtlein (Redaktion)

Bildnachweise

Titel & S. 3: ©Pixel_B – stock.adobe.com
S. 9: ©Gorodenkoff – stock.adobe.com
Grafiken und Bilder, falls nicht anders angegeben:
©Fraunhofer IGCV

Gestaltung

Fraunhofer IGCV, 2022

Inhaltliche Beiträge aus dem Netzwerk

Klaus Volland, Inex Werkzeugmaschinen GmbH
Thomas Suchanek, Yaskawa Europa GmbH
Daniel Meixner, GTE Industrieelektronik GmbH
Daniel Künstner, JUGARD+KÜNSTNER GmbH
Christopher Schmoltdt, Liebherr-Elektronik GmbH

Lizenz

Dieses Werk ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA 4.0 international lizenziert. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).



Hinweis

Der Inhalt des Praxisberichts wurde sorgfältig recherchiert und zusammengestellt, ersetzt aber nicht die Rechtsberatung im Einzelfall. Für die Richtigkeit und Vollständigkeit sowie für zwischenzeitliche Änderungen wird keine Gewähr übernommen.

Der Praxisbericht dient nur als Anhaltspunkt und bietet nur einen Überblick zur Beurteilung von Risiken und Chancen der MRK-Integration. Er erhebt weder einen Anspruch auf

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

* »Leitfaden für den ortsflexiblen Einsatz von kollaborativen Robotern«:

Mithilfe des folgenden QR-Codes kann der Leitfaden im Repositorium der Fraunhofer-Gesellschaft kostenfrei heruntergeladen werden:



s.fhg.de/Leitfaden-Cobot

Vollständigkeit noch auf die exakte Auslegung der bestehenden Rechtsvorschriften. Er darf nicht das Studium der relevanten Richtlinien, Gesetze und Verordnungen ersetzen. Weiter sind die Besonderheiten der jeweiligen Produkte sowie deren unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten zu berücksichtigen. Von daher sind bei den im Praxisbericht angesprochenen Beurteilungen und Vorgehensweisen eine Vielzahl weiterer Konstellationen denkbar.



Beschreibung des Anwendungsfalls

Auftrag von Trennlack auf Kunststoffbauteilen

IST-Situation

Eine Spritzgussmaschine produziert Kunststoffbauteile, die vor einem galvanischen Verchromungsprozess mit einem Trennlack versehen werden. Der Trennlack bewirkt eine faradaysche Absicherung im Galvanikbad. Hierzu entnimmt eine Werkkraft zunächst die Kunststoffbauteile am Ende eines Förderbands, führt eine 100 %-Sichtprüfung durch und entfernt manuell Gratrückstände. Anschließend legt die Werkkraft das Kunststoffbauteil auf eine Vorrichtung und trägt mittels einer Kunststoffflasche einen lösemittelhaltigen Lack auf. Aufgrund der eingeschränkten Kapazität des Förderbands und der Zykluszeit arbeiten je Spritzgussmaschine zwei Werkkräfte. Anschließend wird das lackierte Kunststoffbauteil auf einen Hordenwagen zur Trocknung gelegt. In unregelmäßigen Abständen entnimmt die Werkkraft die getrockneten Kunststoffbauteile und legt diese in eine spezielle Transportverpackung ein. Nach der vollständigen Befüllung der Transportverpackung erfolgt der Abtransport und die Bereitstellung einer leeren Transportverpackung durch einen Gabelstapler.

Spezifikationen:

- **Bauteillänge:** 1200–1500 mm
- **Bauteilbreite:** 200–250 mm
- **Keine Beschädigung der Sichtflächen** (Kratzer, Druckstellen, Lackreste, etc.)
- **Trennlack ist lösemittelhaltig, temperaturempfindlich und geruchsintensiv**
- **Breite der Lackspur:** 8–20 mm
- **Zentrale Absaugung mit Anschlussmöglichkeit** in der Produktionshalle vorhanden

SOLL-Situation

Der derzeit manuell stattfindende Lackierprozess soll durch einen Cobot automatisiert werden. Die Tätigkeiten der Bauteilprüfung, der Gratentfernung und Verpackung sowie der An- und Abtransport sollen weiterhin durch eine Werkkraft erfolgen. Es wird angestrebt, eine der beiden Werkkräfte für andere Tätigkeiten einzusetzen.

Die Eignungsprüfung

Technisches Konzept für den automatisierten Auftrag von Trennlack auf Kunststoffbauteilen

Im Rahmen des Praxisberichts wird angenommen, dass die Machbarkeit der MRK-Applikation gegeben und der Quick-Check positiv ausgefallen ist (siehe Leitfaden S. 12). Abbildung 2 zeigt ein mögliches technisches Konzept für den automatisierten Lackauftrag mittels Cobot.

Arbeitsumgebung

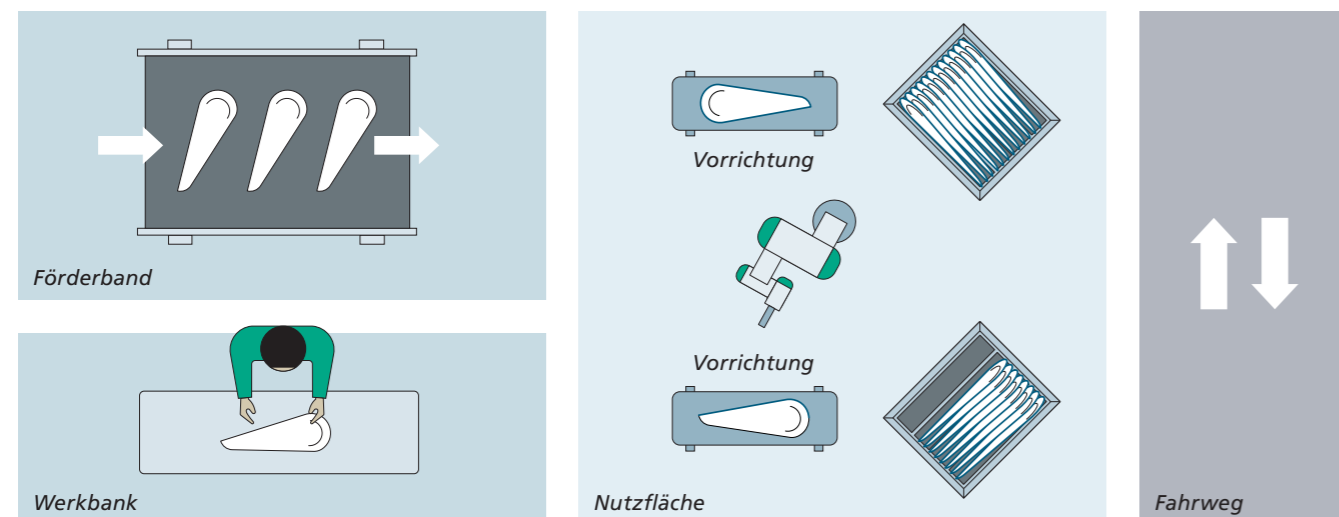
	Förderband Transport der Kunststoff-Spritzgussbauteile aus der Maschine
	Kunststoff-Spritzgussbauteil Länge: 1200 mm–1500 mm Breite: 200 mm–250 mm
	Vorrichtung Arretierung des Kunststoff-Spritzgussbauteils für den Lackauftrag

Abbildung 1: Arbeitsumgebung im Anwendungsfall

Ablauf

1. Werkkraft entnimmt Spritzgussbauteil von Förderband
2. Werkkraft führt optische Bauteilprüfung und ggf. Nacharbeit (Gratrückstände entfernen) auf Werkbank durch
3. Werkkraft legt geprüfetes Bauteil in Lackieranlage bzw. Vorrichtung ein
4. Werkkraft spannt Bauteil und gibt den Lackierprozess für den Cobot frei (Bestätigungstaster/ Signal an Cobot)
5. Cobot führt Lackierprozess des Bauteils durch
6. Anlage gibt lackiertes Bauteil zur Entnahme frei (Lösen der Spannung)
7. Werkkraft entnimmt lackiertes Bauteil
8. Werkkraft führt optische Bauteilprüfung durch (Lackspur)
9. Werkkraft legt Bauteil in Transportbox ein

Abbildung 2: Technisches Konzept des Anwendungsfalls



Die Risikobeurteilung

Mögliche Risiken bei einem automatisierten Lackauftrag mittels Cobot

1. Festlegung des Verwendungszwecks (»Bestimmungsgemäße Verwendung«) und Definition der Maschinengrenzen (räumlich, zeitlich, etc.) sowie Ermittlung des »vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlgebrauchs«
 - **Verwendungszweck:** Lackieren von Kunststoffbauteilen mittels Lösemittellack an der Spritzgussmaschine; bestimmungsgemäße Verwendung: automatischer Lackauftrag durch den Cobot
 - **Räumliche Maschinengrenze:** Industrieumgebung mit ausreichender Zugänglichkeit
 - **Zeitliche Maschinengrenze:** üblicher Produktlebenszyklus 7 Jahre
 - **Vernünftigerweise vorhersehbarer Fehlgebrauch:** Eingriff des Mitarbeitenden (z. B. Vorrichtung, Transportboxwechsel)
2. Identifikation der Gefährdungen, die die Maschine in Gefahrensituationen verursacht.
 - Gemäß DIN EN ISO 10218-2 und DIN EN ISO 12100 wurden die in Tabelle 1 dargestellten Gefährdungen identifiziert.

Gefährdung	Mögliche Auswirkungen
Mechanische Gefährdung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Quetschen ■ Scheren ■ Stoßen ■ Einspritzen oder Heraus-spritzen von Flüssigkeiten unter hohem Druck
Elektrische Gefährdung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tödlicher Stromschlag
Thermische Gefährdungen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mögliche Gesundheitsgefahr durch Bauteil und/oder Lösemittel
Gefährdungen durch Materialien und Substanzen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mögliche Gesundheitsgefahr durch Einatmen des Lacks
Ergonomische Gefährdungen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ungesunde Körperhaltung ■ Dauerbelastung ■ Ermüdung

Tabelle 1: Mögliche Gefährdungen und deren Auswirkungen

3. Festlegung der Lebensphasen der Maschine und der Gefährdungen je Lebenszyklus. Beschreibung potenzieller Gefährdungen und Einschätzung des Schadensausmaßes sowie der Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Schadens:

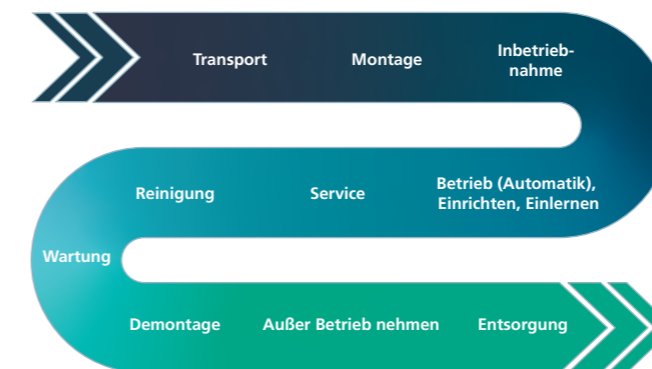


Abbildung 3: Lebensphasen einer Maschine

Zur Einschätzung des Risikos sind folgende Faktoren zu bewerten (Tabelle 2):

- **Aufenthaltsdauer im Gefährdungsbereich** (häufig/selten)
- **Eintrittswahrscheinlichkeit** (sehr wahrscheinlich/wahrscheinlich/unwahrscheinlich/entfernt vorstellbar)
- **Vermeidungsmöglichkeiten** (vermeidbar/nicht vermeidbar)
- **Schadensausmaß** (katastrophal/schwerwiegend/mittelmäßig/geringfügig)

Zusätzlich sind in Tabelle 2 die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen gemäß Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, Anhang II Teil 1 Abschnitt B in Abhängigkeit der Risiken dargestellt.

	Mögliche Auswirkungen	Aufenthaltsdauer	Eintrittswahrscheinlichkeit	Vermeidungsmöglichkeit	Schadensausmaß	Lebensphasen	Gesundheitschutzanforderungen	PL
Mechanische Gefährdung	Quetschen	selten	selten unwahrscheinlich	vermeidbar	geringfügig	Montage	1.3.1	a
						Inbetriebnahme	1.3.2	
						Betrieb,	1.3.3	
						Einrichten,	1.3.4	
						Einlernen	1.3.5	
						Service	1.3.6	
						Wartung	1.3.7	
						Demontage	1.3.8	
						Außer Betrieb nehmen	1.3.8.1 1.3.8.2	
						Entsorgung	1.3.9	
Scheren	selten	unwahrscheinlich	vermeidbar	geringfügig	Transport	1.3.1	a	
					Montage	1.3.2		
					Inbetriebnahme	1.3.3		
					Betrieb,	1.3.4		
					Einrichten,	1.3.5		
					Einlernen	1.3.6		
					Demontage	1.3.7		
					Außer Betrieb nehmen	1.3.8 1.3.8.1 1.3.8.2		
					Entsorgung	1.3.9		
					Einspritzen oder Herauspritzen von Flüssigkeiten unter hohem Druck	selten		unwahrscheinlich
Betrieb	1.3.2							
Service	1.3.3							
Reinigung	1.3.4							
Wartung	1.3.5							
	1.3.6							
	1.3.7							
	1.3.8							
	1.3.8.1 1.3.8.2							
	1.3.9							
Elektrische Gefährdungen	Tödlicher Stromschlag	selten	unwahrscheinlich	vermeidbar	schwerwiegend	Inbetriebnahme	1.2.1	c
						Betrieb	1.2.6	
						Service	1.5.1	
						Reinigung		
						Wartung		
						Demontage		
Außer Betrieb nehmen								
Thermische Gefährdungen	Mögliche Gesundheitsgefährdung Bauteil und/oder Lösemittel	selten	unwahrscheinlich	vermeidbar	schwerwiegend	Inbetriebnahme	1.5.6	c
						Betrieb	1.5.7	
						Service		
						Reinigung		
Wartung								

	Mögliche Auswirkungen	Aufenthaltsdauer	Eintrittswahrscheinlichkeit	Vermeidungsmöglichkeit	Schadensausmaß	Lebensphasen	Gesundheitschutzanforderungen	PL
Gefährdungen durch Materialien und Substanzen	Mögliche Gesundheitsgefährdung durch Einatmen des Lacks	selten	unwahrscheinlich	vermeidbar	mittelmäßig	Inbetriebnahme	1.5.13	c
						Betrieb, Einrichten, Einlernen		
Ergonomische Gefährdungen	Ungesunde Körperhaltung	selten	Entfernt vorstellbar	Nicht vermeidbar	geringfügig	Transport	1.1.6	b
						Montage	1.1.5	
						Inbetriebnahme		
						Betrieb, Einrichten, Einlernen		
						Service		
						Wartung		
						Demontage		
						Außer Betrieb nehmen		
						Entsorgung		
	Dauerbelastung	häufig	Sehr wahrscheinlich	Nicht vermeidbar	geringfügig	Betrieb	1.1.6 1.1.5	c
	Ermüdung	häufig	wahrscheinlich	Nicht vermeidbar	geringfügig	Betrieb	1.1.6 1.1.5	c

Tabelle 2: Risikobeurteilung

Der Performance Level (PL) ist ein Maß für die Zuverlässigkeit einer technischen Sicherheitsfunktion. Im Rahmen der Risikobeurteilung wird im ersten Schritt die Schwere des möglichen Schadens eingeschätzt. Anschließend wird die Aufenthaltsdauer im Gefahrenbereich ausgewählt. Zum Schluss geht es darum, eine Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung zu bestimmen. Aus dem Diagramm nach DIN EN ISO 13849-1 kann der PL abgelesen werden, wobei a einem niedrigen Risiko und e einem hohen Risiko entspricht.

Anschließend erfolgt die Interpretation der Risikobeurteilung durch schriftliche Begründung der Einschätzungen. Tabelle 3 zeigt diesen Schritt beispielhaft für drei Gefährdungen auf:

4. Bewertung der Risiken zur Entscheidung, ob Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich sind. Ist das bestehende Restrisiko dennoch als zu hoch eingestuft gilt es, weitere risikomindernde Maßnahmen zu ergreifen (iterativer Prozess) siehe Kapitel »Die Risikominderung«.

	Mögliche Auswirkungen	Begründung	Risikominderung
Mechanische Gefährdung	Quetschen	<p>Einklemmen zwischen Ober- und Unterarm des Roboters: Ein Einklemmen der Hand kann durch die Konstruktion des Roboters ausgeschlossen werden, da der Roboter nicht gegen sich selbst fahren kann</p> <p>Die Hand kann nicht geklemmt werden, da der Abstand konstruktiv bedingt > 30mm beträgt (inhärente Sicherheit)</p> <p>Der Arm könnte theoretisch geklemmt werden. Hier schaltet der Roboter bei max. 150N Kraftereinwirkung sicher ab, wodurch die zulässigen Kraft- und Druckwerte nicht überschritten werden (siehe Zertifikat »funktionale Sicherheit« des Roboters).</p>	<p>Ergebnis der Prüfung: Keine weitere Maßnahme zur Risikominderung erforderlich, Risiko gering (siehe Tabelle 2)</p>
Elektrische Gefährdung	Tödlicher Stromschlag	<p>Mögliche Gefährdungen: Offene Kabel 230/380 V, z. B. Kabel abisoliert oder aus der Klemme heraus</p> <p>Ausschluss durch VDE gerechte Installation und Schutzklasse</p> <p>Hinweis: Umgang mit elektrischem System nur durch ausgebildete Fachkräfte</p>	<p>Ergebnis der Prüfung: Keine weiteren Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich. Gemäß innerbetrieblicher Vorschriften dürfen Arbeiten an der Anlage nur durch ausgebildete und eingewiesene Fachkräfte ausgeführt werden.</p>
Gefährdungen durch Materialien und Substanzen	Mögliche Gesundheitsgefährdung durch Einatmen des Lacks	<p>Mögliche Gefährdung: Längerer oder häufiger Aufenthalt im Verdampfungsbereich des Lacks</p> <p>Betrieb: Ausschluss durch Absaugung (dauerhaft on, oder wenn Düse on)</p> <p>Nachfüllen des Vorratsbehälters, offene Gefäße: organisatorische Schutzmaßnahmen, Schutzmaske (Gebotschild), Beschreibung in der Betriebsanleitung beachten</p>	<p>Ergebnis der Prüfung: Keine weiteren Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich. Innerbetriebliche Vorschrift:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Tragen einer Schutzmaske bei lösemittelhaltigen Materialien ■ Regelmäßige Prüfung der Funktion der Absauganlage

Tabelle 3: Begründung zur Risikobeurteilung



Die Risikominderung

Maßnahmen zur Risikominderung

Allgemeine Vorgehensweise

Die Maßnahmen zur Risikominderung lassen sich aus der DIN EN ISO 12100 ableiten und sind in dieser Reihenfolge anzuwenden:

1. Inhärente sichere Konstruktionen
2. Technische und ergänzende Schutzmaßnahmen
3. Benutzerinformationen

Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zu finden.

Hinweis

Sich aus der Risikobeurteilung ergebende Maßnahmen müssen gemäß dem festgestellten Performance Level durchgeführt werden!

Falls keine innerbetrieblichen Vorschriften vorhanden sind, müssen diese erstellt werden!

Implementierung des Anwendungsfalls

Technische Möglichkeiten zur Umsetzung

Tabelle 4 zeigt eine Auflistung der Spezifikationen zur Detaillierung des technischen Konzepts (siehe Abschnitt »Die Eignungsprüfung«):

Cobot	Reichweite: > 1300mm Traglast: 5–10kg Kraft- und Leistungsbegrenzung IP-Schutzklasse: IP54/67
Endeffektor	z. B.: Sprühpistole Pinsel Schlauch (Reinigung beachten!)
Vorratsbehälter/Dosierung	Auslegung gemäß Lackspezifikationen (z. B. Nachfüllbarkeit, Standzeit, evtl. Druckluftbeaufschlagung) Dosierung: z. B. Fördersystem, Sprühsystem (Reinigung beachten!)
Werkbank	Ergonomische Höhe und ausreichende Platzverhältnisse
Vorrichtung	z. B.: Auflegen (reproduzierbar) Spannen (Beschädigungsschutz beachten!)
Medium	Lack (siehe jeweiliges Datenblatt) Druckluft
Transportbox	Materialspezifische Eigenschaften

Nach der Detaillierungsphase muss die Risikobeurteilung (siehe Abschnitt »Die Risikobeurteilung«) erneut durchlaufen werden. Daraufhin kann die reale Implementierung des Anwendungsfalls stattfinden.

Im Anschluss an das Akzeptanz-Management, d. h. die frühzeitige Einbindung betroffener Personengruppen und aufsetzen eines ganzheitlichen Integrationskonzepts erfolgt die Verifikation und Validierung zur Bestätigung einer sicheren Applikation.

Durchführung von Kraft- und Druckmessungen

Kraft- und Druckmessungen sind für die beschriebene Applikation nur an wenigen Stellen notwendig.

Aus der Risikobeurteilung gehen einige Quetschstellen zwischen Roboter und dem Bauteil beim Anfahren und Lackauftrag hervor.

Das Messgerät kann mit einem Gelenkarm über dem Bauteil fixiert werden und anschließend eine Kollisionsmessung durchgeführt werden.

Dabei ist darauf zu achten, dass die Messfläche senkrecht zur Bewegungsrichtung des Roboters ausgerichtet ist.

Die Messungen müssen für jede der beiden Arbeitsflächen durchgeführt werden.

Fazit und Ausblick

Die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter (MRK) bietet zahlreiche Vorteile, wie z. B. eine ergonomische Entlastung und eine Flexibilitätserhöhung. Jedoch müssen sich Anwendende im Vorfeld mit den möglichen Gefahren der Applikation auseinandersetzen und u. a. eine Risikobeurteilung durchführen.

Der »Leitfaden zum ortsflexiblen Einsatz von kollaborativen Robotern« (siehe Impressum) dient hierbei als Ablaufplan für eine erfolgreiche MRK-Integration. Im Rahmen des beschriebenen Anwendungsfalls »Automatisierter Lackauftrag mittels Cobot« werden die einzelnen Schritte des Leitfadens durchlaufen. Im ersten Schritt wurde ein technisches Automatisierungskonzept erarbeitet. Die darauf basierende Risikobeurteilung zeigt beispielhaft die potenziellen Gefährdungen und möglichen Auswirkungen auf. Nach der Beschreibung von Maßnahmen zur Risikominderung werden Möglichkeiten für die technische Implementierung des Anwendungsfalls aufgeführt und ein Hinweis zur Durchführung von Kraft- und Druckmessungen gegeben.

Der vorliegende Praxisbericht zeigt exemplarisch einen risikotechnisch bewerteten Anwendungsfall, der als Orientierungshilfe für zukünftige Automatisierungsprojekte eingesetzt werden kann.

Tabelle 4: Mögliche Spezifikationen für das technische Konzept

Kontakt

Christian Härdtlein
Gruppenleiter
Engineering Adaptiver Produktionsmodule
Tel. +49 821 90678-318
christian.haerdtlein@igcv.fraunhofer.de

Fraunhofer IGCV
Am Technologiezentrum 10
86159 Augsburg
www.igcv.fraunhofer.de