

# Cobot – ein Tool für kostengünstige und praxisnahe Automatisierung?

## Leichte Roboter mit großem Potential

Durch den flexibleren Einsatz und die dadurch einfachere Integrierbarkeit in bestehende Arbeitsumgebungen haben Cobots deutliche Alleinstellungsmerkmale gegenüber den klassischen Industrierobotern. Erfahren Sie mehr über die Potentiale, Anwendungsbereiche, Fallstricke und die verschiedenen Dimensionen, welche bei der potentiellen Nutzung von Cobots Berücksichtigung finden müssen.



# Inhaltsverzeichnis

1. Cobot – Das Werkzeug für die flexible Automatisierung.....	1
2. Potentiale und Erfolgsfaktoren.....	2
2.1 Leichte Roboter mit großem Potential.....	2
2.2 Was gilt es zu beachten?.....	4
3. Sicherheitstechnische Rahmenbedingungen.....	5
4. Marktübersicht.....	8
5. Anwendungsbeispiele und Branchen.....	10
6. Einführung von Cobots im Unternehmen.....	12
7. Fazit und Ausblick.....	14
8. Literaturverzeichnis.....	15

## Autoren:

Oliver Petrovic, M.Sc. RWTH, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen  
Minh Trinh, M.Sc. RWTH, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen  
Lukas Gründel, M.Sc. RWTH, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen  
Dr.-Ing. Werner Herfs, MBA, WZL Aachen GmbH

## 1. Cobot – Das Werkzeug für die flexible Automatisierung

Seit vielen Jahrzehnten werden Industrieroboter in den Produktionsstätten weltweit eingesetzt. Vor allem seit der Jahrtausendwende ist das Wachstum des Markts kaum zu bremsen. Dies liegt einerseits daran, dass die Technologie durch geringere Investitionskosten und eine höhere Flexibilität immer leichter wirtschaftlich einsetzbar ist und andererseits kann der Einsatz von Robotik zahlreichen aktuellen Herausforderungen entgegenwirken. Zu nennen sind hier beispielsweise hohe Qualitätsanforderungen oder der Fachkräftemangel sowie der demografische und strukturelle Wandel. Diese Entwicklung ist auch in der Zahl der weltweit installierten Roboter zu erkennen, die trotz der pandemischen Situation im Jahr 2020 um 0,5 % gestiegen ist und im Jahr 2021 ein Wachstum von 31 % auf ein neues Rekordniveau von 517.000 installierten Einheiten verzeichnete [1].

Neben den schon lange etablierten Industrierobotern ist in den letzten Jahren eine neue Klasse von Robotern entwickelt worden. Gemeint sind sogenannte Leichtbauroboter, welche alternativ auch als kollaborative Roboter oder Cobots bezeichnet werden. Wie der Name schon sagt, weisen diese eine leichte Bauweise auf, was sie in Kombination mit einer integrierten Sensorik für den schutzzaunlosen Betrieb neben oder sogar in Zusammenarbeit mit dem Menschen befähigt. Dies eröffnet einen flexibleren Einsatz von Robotern und eine große Bandbreite neuer Anwendungsbereiche in der Produktion, dem Handwerk, der Servicerobotik und weiteren Branchen. Neben der Bauweise und der integrierten Feinfühligkeit ist die einfache Programmierung von Cobots ein weiteres Unterscheidungsmerkmal gegenüber der klassischen Industrierobotik. Dieser starke Cobot-Trend wird in Abbildung 1 dargestellt.

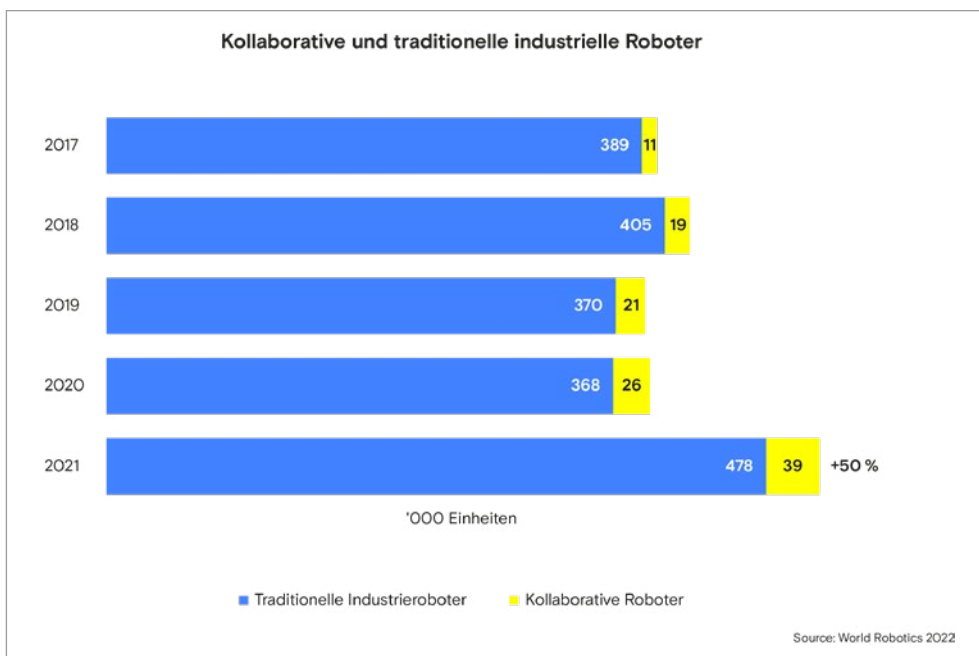


Abbildung 1: Trotz des starken Wachstums des globalen Markts klassischer Industrieroboter von 31 % wächst der Cobot-Markt in 2021 noch stärker um 50 % [1]

In diesem Whitepaper werden die Potentiale, mögliche Anwendungsbereiche, Fallstricke und die verschiedenen Dimensionen dargelegt, welche bei der potentiellen Nutzung von Cobots Berücksichtigung finden müssen. Dabei werden vorrangig die am meisten verbreiteten 6- und 7-Achs-Kinematiken berücksichtigt und seltener vertretene Kinematiken vernachlässigt. Viele der hier dargelegten Erkenntnisse lassen sich allerdings auch auf diese übertragen.

## 2. Potentiale und Erfolgsfaktoren

In diesem Abschnitt werden die Anwendungsbereiche von Cobots sowie deren Potentiale vorgestellt. Demgegenüber stehen aktuelle Hürden wie die Gewährleistung der Sicherheit für die Mitarbeitenden.

### 2.1. Leichte Roboter mit großem Potential

Wie bereits erläutert, weisen Cobots oder Leichtbauroboter zahlreiche Eigenschaften auf, die für eine große Bandbreite an Applikationen von Vorteil sind bzw. sogar neuartige Anwendungen ermöglichen können. Dies wird in Abbildung 2 veranschaulicht, indem Cobot-Anwendungen durch die Betrachtung techno-ökonomischer Faktoren eingeordnet werden. Es wird deutlich, dass sich das Potential für die Anwendung kollaborativer Roboter von manuellen Prozessen über hybride bzw. teilautomatisierte Prozesse bis hin zur vollen Automatisierung erstreckt. Dies resultiert aus der Möglichkeit den Cobot in Koexistenz neben dem Menschen zu nutzen, in kooperativen oder sogar kollaborativen Anwendungen oder unabhängig vom Menschen als kostengünstige Einstiegsmöglichkeit in die Vollautomation. Dementsprechend lassen sich Cobots im Gegensatz zu den klassischen Industrierobotern bereits bei geringeren Stückzahlen, einer höheren Variantenvielfalt, mit einer höheren Flexibilität und geringeren Investitionskosten einsetzen.

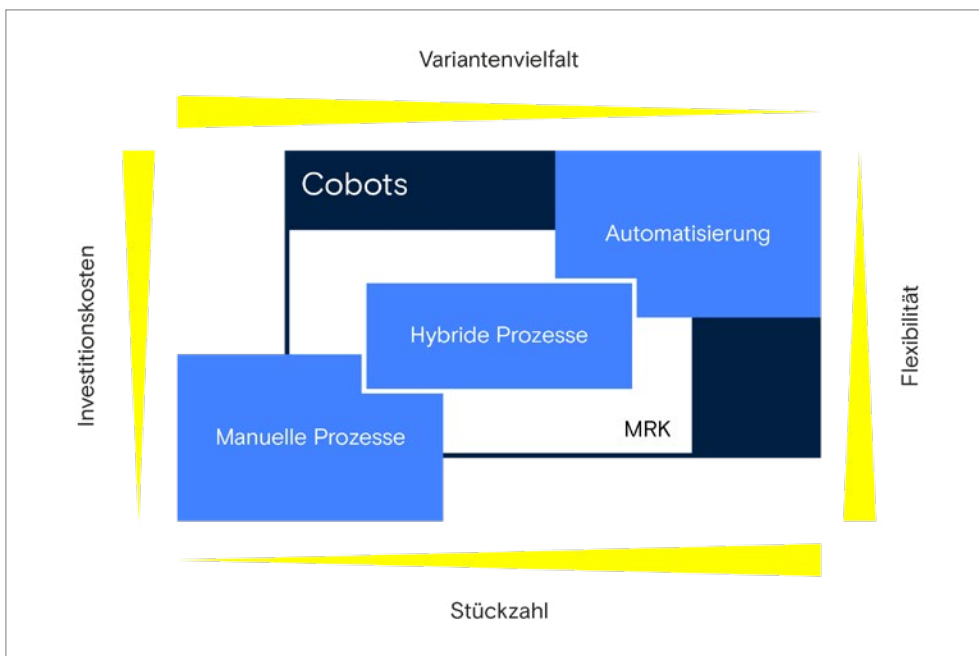


Abbildung 2: Techno-ökonomische Einordnung von Cobots Anwendungen in Anlehnung an [2]

Im Folgenden werden die wichtigsten Eigenschaften von Cobots erläutert, welche diese Möglichkeiten eröffnen. Im Fokus stehen dabei vor allem Diejenigen, die Cobots von klassischen Industrierobotern abheben können.

#### Einfacher Einstieg in die Automatisierung

Ein großer Vorteil von Cobots ist, dass sie einen niederschweligen Einstieg in die Automatisierung von Prozessen erlauben. Gründe hierfür, sind die meist geringen Investitionskosten. Dies ermöglicht die Erprobung von Anwendungen und die Einführung der Technologie im Unternehmen bei relativ geringem finanziellem Risiko. Der Einstieg wird weiter dadurch begünstigt, dass viele Cobot-Anwendungen mit deutlich weniger Sicherheitseinrichtungen betrieben werden können als herkömmliche Industrieroboter, was weiter die Investitionskosten und den benötigten Footprint der Anlage reduziert. Somit können Cobots leichter in bestehende Arbeitsumgebungen integriert werden. In Summe wird dadurch außerdem eine Teilautomatisierung von Prozessen ermöglicht. So können zunächst die Prozessschritte betrachtet werden, welche einfach zu automatisieren oder besonders monoton und unergonomisch für den Menschen sind. Anschließend kann parallel zum Aufbau des Knowhows auch der Automatisierungsgrad sukzessiv gesteigert werden.

### Einfache und intuitive Programmierung

Eine weitere Eigenschaft, die fast alle Cobots gemein haben ist eine intuitive und dadurch einfache Programmierung. Diese ist oft grafisch unterstützt und ähnlich wie bei Smartphone-Apps mit Drag and Drop Funktionalitäten implementiert (vgl. Abbildung 3). Dadurch muss nicht wie bisher zunächst eine komplexe codebasierte und herstellerspezifische Programmiersprache erlernt werden, was die Qualifikationshürde für die Implementierung von Roboterprogrammen in mittelständisch geprägten Unternehmen deutlich senkt. Zusätzlich ermöglicht die Sensitivität des Roboters das Programmieren von Positionen (Teach-In) ganz einfach, indem der Roboter mit der Hand an die gewünschte Position geführt wird – der sogenannten Handführung. So muss im Fall einer Störung oder bei einer anstehenden Umprogrammierung, was bei steigender Variantenvielfalt immer häufiger nötig ist, nicht zwangsweise ein externer Anbieter von Robotersystemen oder hochqualifiziertes Personal hinzugezogen werden. Darüber hinaus sind die Oberflächen meist mit variabler Tiefe aufgebaut. Während genannte Drag and Drop Bausteine für einfache Anwendungen vollkommen ausreichen, kann auch hier meist auf eine immer codebasiertere Programmierstufe erweitert werden, um den Detailgrad der Applikation zu steigern. So kann das Personal schrittweise mit dem steigenden Automatisierungsgrad eine immer größere Qualifikationstiefe aufbauen.



Abbildung 3: Durch intuitive Programmieroberflächen gelingt eine schnelle Integration mit niederschwelliger Kompetenzhürde. Foto: RWTH International Academy

### Serienmäßige Feinfühligkeit

Ursprünglich wurden Cobots vor allem für den kollaborativen Betrieb entwickelt. Um zuverlässig die Kollision mit einem Hindernis oder dem interagierenden Menschen detektieren zu können, muss der Roboter eine Feinfühligkeit in Form einer Kraft-Momenten-Erfassung aufweisen. Lediglich Modelle mit Näherungssensorik, welche eine Kollision sogar vermeiden können, können gegebenenfalls auf die Sensitivität verzichten. Neben dem sicheren Betrieb eröffnen sich durch die Möglichkeit Kräfte und Momente zu erfassen neue Anwendungsszenarien. So können kraftgeführte Operationen implementiert werden, um etwa entlang einer Bahn eine definierte Kraft aufzubringen. Dies ist beispielsweise unabdingbar für kraftbasierte Montageprozesse oder Bearbeitungsprozesse wie dem Schleifen oder Polieren. Darüber hinaus kann die Sensorik auch für Prüfprozesse verwendet werden, um kritische Kräfte prozessparallel erfassen zu können. So können Störungen oder Anomalien frühzeitig erkannt und somit die Prozessqualität und -robustheit verbessert werden.

### Der Cobot mein Kollege

Im kollaborativen Betrieb (siehe Abbildung 4) arbeiten Mensch und Roboter ohne trennende Schutz Einrichtung Seite an Seite und können so die komplementären Stärken kombinieren. Während der Mensch seine Erfahrung, Flexibilität und in Form der Hände ein unübertroffenes Greifwerkzeug besitzt, bringt der Roboter auch bei monotonen Aufgaben eine gleichbleibende hohe Präzision und Wiederholgenauigkeit mit. Außerdem kann der Cobot mühsame und gefährliche Tätigkeiten übernehmen und somit die Ergonomie und Sicherheit für den Menschen erhöhen. Dadurch können beispielsweise auch Menschen mit körperlicher Beeinträchtigung unterstützt werden und gemeinsam mit dem Cobot schwere Tätigkeiten durchführen. Auch wenn der Cobot nur einen Teil des Prozesses automatisiert durchführt, ermöglicht dies gegebenenfalls, dass durch die Entlastung ein Mensch parallel mehrere Stationen bedienen und höhergeordnete Aufgaben übernehmen kann, was in Zeiten des rasant wachsenden Fachkräftemangels die Betriebsfähigkeit aufrechterhalten kann.



Abbildung 4: Mensch und Cobots können in hybrider Teilautomation zusammenarbeiten. Foto: Martin Braun

### **Flexibel und mobil einsetzbar**

In Summe bieten die bisher beschriebenen Vorteile, wie die einfache Programmierung, die Möglichkeit des schutzzaunlosen Betriebs sowie die situative Teilautomatisierung große Flexibilisierungspotentiale. So kann der Cobot durch die schnelle Inbetriebnahme etwa temporär zur Automatisierung eingesetzt werden, um Lastspitzen oder Personalausfälle zu kompensieren. Hier kommt auch die fehlende örtliche Bindung zugute, da der Cobot nicht zwangsweise eine abgetrennte Zelle benötigt. So kann die Technologie situativ mehrere Stationen unterstützen, je nachdem wo sie benötigt wird. Dies eröffnet die Möglichkeit den Cobot, mit einem fahrerlosen Transportsystem (FTS) zu kombinieren und im Zusammenspiel mit ergänzender Kameratechnik autonome, mobile Robotersysteme (AMR) zu schaffen. Einige Cobots bringen dazu bereits eine integrierte Kameratechnik mit. Diese können sowohl für Logistik und Handhabungsprozesse genutzt werden als auch verschiedene Arbeitsstationen anfahren.

## **2.2. Was gilt es zu beachten?**

Neben den zahlreichen Vorteilen und Potentialen von Cobots, bringen sie je nach Betriebsform auch einige Rahmenbedingungen, Hürden und Einschränkungen mit sich. Diese sollen hier ebenfalls erwähnt werden, da deren Betrachtung und Kenntnisnahme wichtig ist, um die genannten Potentiale voll ausschöpfen zu können und unter Umständen vorhandene Fallstricke von vornherein zu vermeiden.

### **Cobot Sicherheit: Flexibilität versus Produktivität**

Je nachdem welche Potentiale genutzt werden sollen und wie das entsprechende Setting aussieht, kann der Einsatz von Cobots zu einem Tradeoff zwischen Flexibilität und Produktivität führen. Aktuelle Beispiele aus der Industrie und dem Handwerk zeigen, dass Cobots oftmals gar nicht wegen ihrer Fähigkeiten im kollaborativen Einsatz, sondern aufgrund der besseren Integrierbarkeit in bestehende Arbeitsumgebungen im Vergleich zu konventionellen Industrierobotern bevorzugt werden. Durch den Verzicht auf trennende Sicherheitseinrichtungen, die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) sowie den Einsatz von mobiler Robotik werden zwar einerseits große Flexibilisierungseffekte ermöglicht, andererseits kann dies aufgrund der Sicherheitsanforderungen zu deutlich verlangsamten Roboterbewegungen führen. Das ist vor allem bei taktzeitkritischen Operationen ein Problem. Die Sicherheitsrichtlinien, welche die maximalen Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von Bauteilen, Werkzeugen und Prozessparametern bei einer möglichen Kollision mit dem Menschen begrenzen, werden in Kapitel 4 beschrieben.

### **Traglast und Arbeitsraum**

Während die Leichtbauweise von Cobots viele Vorteile wie die geringen Anschaffungskosten und die Möglichkeit der Kollaboration bietet, führt sie in der Regel auch zu geringeren Traglasten und kleineren Arbeitsräumen. Diese liegen bis auf einige Ausnahmen meist in einem Bereich von maximal 20 kg und 2,0 m (siehe Kapitel 4). Während dies für viele Anwendungen ausreicht, ist Cobots der Umgang mit schweren Bauteilen in großem Arbeitsraum verwehrt. Der Arbeitsraum lässt sich allerdings durch zusätzliche lineare Achsen oder die bereits erwähnten FTS erweitern.

### **Akzeptanz**

Ein wichtiger Faktor für die Einführung von Cobots ist die Mitarbeiterakzeptanz. Diese kann durch das frühe Einbeziehen der Mitarbeitenden in den Einführungsprozess und die einfache Bedienung der Roboter gesteigert werden. Vorteilhaft ist hier die frühe, transparente Kommunikation der Chancen durch den Einsatz von Cobots als unterstützende und arbeitsplatzerhaltende Maßnahme. Die Beispiele in Kapitel 5 zeigen, dass Cobots Unternehmen am Produktionsstandort Deutschland betriebsfähig halten und nicht zu einem Abbau von Arbeitsstellen führen. Die Akzeptanz kann besonders durch schnelle Erfolge an anfänglich einfachen Problemen erreicht werden oder wenn Arbeiten, die unergonomische Körperhaltungen erfordern, durch den Cobot verrichtet werden.

### 3. Sicherheitstechnische Rahmenbedingungen

Die bereits genannten Potentiale stehen im Kontrast zu den Herausforderungen der Sicherheitsrichtlinien. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel gesondert auf das komplexe Thema der Sicherheit eingegangen. Eine Studie von Hadidid et al. hat ergeben, dass mehr als 55% der Verletzungen durch Industrieroboter an der Hand gefolgt von etwa 15% am Kopf geschehen, wobei Letzteres besonders gefährlich für den Menschen ist [3]. Verletzungsarten sind dabei hauptsächlich das Einklemmen von Körperteilen oder Kollisionen. Daher sollten mögliche Prozessgefahren minimiert werden z.B. durch die Reduktion von Anpresskräften und Geschwindigkeiten. Weiterhin können bestimmte Cobots bei Kontakt mit Hindernissen oder bei Überschreitung von maximalen Kräften ihre Bewegung stoppen. Jedoch gewährleistet ein für die Kollaboration ausgelegter Roboter nicht unbedingt die sicherheitskonforme Kollaboration zwischen Mensch und Maschine. Unterschiede zwischen den angebotenen Sicherheitsfunktionalitäten erfordern die Betrachtung des Zusammenspiels zwischen Roboter und Werkzeugen, Prozess und Bauteilen. Vor der Inbetriebnahme einer kollaborativen Anwendung schreibt der Gesetzgeber zudem eine EG-Konformitätserklärung und anschließende CE-Kennzeichnung vor [4]. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte dazu erläutert und mit dem Leitfaden in Abbildung 5 ergänzt.

#### **EG-Konformitätserklärung und CE-Kennzeichnung**

Europaweit gilt für Hersteller/Inverkehrbringer von Maschinen die EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (MRL), welche in Deutschland der 9. Verordnung des Produktsicherheitsgesetzes entspricht [4]. Der Roboterhersteller muss eine Maschine im Sinne der MRL konstruieren und bauen. Der Hersteller oder Inverkehrbringer der MRK-Anwendung führt selbst ein Konformitätsbewertungsverfahren zur Konformitätserklärung zur Erlangung einer Kennzeichnung durch. Weiterhin muss er prüfen, welche weiteren Richtlinien gelten und ob staatliche Prüfstellen kontaktiert werden müssen, wobei z.B. die regionale Industrie- und Handelskammer (IHK) berät. Letzteres ist bei besonders gefährlichen Produkten wie z.B. Sägemaschinen der Fall. Roboter zählen nicht zu den gefährlichen Maschinen, sodass in der Regel ein vereinfachtes Bewertungsverfahren möglich ist [5].

Laut MRL können ausschließlich „vollständige Maschinen“ eine CE-Kennzeichnung tragen. Ein Cobot gilt als unvollständige Maschine, die erst durch das für die Anwendung benötigte Werkzeug, die elektrische Verbindung und Programmierung zur vollständigen Maschine wird [6]. Wer die Roboteranwendung oder -anlage installiert und parametriert – dies kann ein Systemintegrator, Händler oder der Betreiber selbst sein – gilt als „Hersteller“ der Maschine und ist verantwortlich für die umfassende Risikobeurteilung und das Anbringen der CE-Kennzeichnung. Ein Systemintegrator übernimmt in der Regel das gesamte Bewertungsverfahren und versieht die Maschine mit einer durch ihn unterschriebenen CE-Kennzeichnung [4]. Liegt die Verantwortung beim Händler, so müssen die Konformitätserklärung und Kennzeichnung vorgelegt werden. Der Betreiber ist weiterhin für die Gefährdungsbeurteilung sowie den sicheren Betrieb am Arbeitsplatz verantwortlich.

#### **Vereinfachtes Konformitätsbewertungsverfahren**

Für das vereinfachte Konformitätsbewertungsverfahren sind technische Unterlagen notwendig wie z.B. die Risikobeurteilung, die in Anhang VIII der MRL zu finden sind und mindestens zehn Jahre aufbewahrt werden müssen. Der Hersteller stellt eine Konformitätserklärung (Vorlagen sind z.B. auf den Webseiten der IHK zu finden [7]) für die Maschine aus. Falls mehrere Richtlinien gelten, werden diese in einer Erklärung angegeben [5]. Die erforderlichen Angaben sind in der jeweiligen Richtlinie vorgegeben und beinhalten z.B. die Erklärung über die alleinige Verantwortung des Herstellers. Anschließend wird die CE-Kennzeichnung dauerhaft sicht- und lesbar an der Maschine angebracht. Die Vorlage ist auf der offiziellen Seite der europäischen Union zu finden. In Deutschland prüft die staatliche Marktüberwachung stichprobenartig die Rechtskonformität der Erklärung sowie die Korrektheit der CE-Kennzeichnung [7]. Bei Verstößen werden notwendige Maßnahmen wie der Rückruf von nicht sicheren Maschinen oder Bußgelder eingeleitet.

#### **Risikobeurteilung in fünf Schritten**

Im Kern der Konformitätsbewertung steht die Risikobeurteilung in fünf Schritten nach der DIN EN ISO 12100 zur Ermittlung der Sicherheitsanforderungen an eine Maschine sowie die Minimierung der von ihr ausgehenden Risiken auf den Menschen. Eine Vorlage ist z.B. auf der Homepage des Verbandes Deutscher Werkzeug- und Formenbauer e.V. (VDWF) zu finden [8]. Eine Beurteilung findet im Unternehmen durch Mitarbeitende statt, welche Kenntnis über die betrachtete Maschine, die Anwendung sowie die geltenden Normen besitzen. Laut der DIN EN ISO 10218-2 muss die Beurteilung die gesamte Kollaborationsaufgabe sowie den Arbeitsraum berücksichtigen [5]. Die Berufsgenossenschaft

(BG) und das Institut für Arbeitsschutz (IFA) geben hierbei Hilfe bei der Gefährdungsbeurteilung [9]. Daher werden die technischen Unterlagen um weitere Punkte wie die Beschreibung der MRK-Anwendung ergänzt.

Signifikante Gefährdungen können dabei der DIN EN ISO 12100 oder speziell für Robotersysteme der DIN EN ISO 10218-2 und der ISO TS 15066 entnommen werden. Vorlagen zur Gefährdungsklassifikation und Risikoeinschätzung sind z.B. auf der Webseite der Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) zu finden [10]. Die Ergebnisse der Abschätzung sind Grundlage für die Bewertung des Risikos. Die DIN ISO TS 15066 unterstützt bei der Bewertung durch explizite biomechanische Grenzwerte für spezifische Körperregionen [11]. Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) hat dazu einen Leitfaden veröffentlicht [12]. Die BGHM unterstützt weiterhin ihre Mitgliedsbetriebe u.a. bei der Messung der Grenzwerte vor Ort. Das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) hat im Auftrag der BGHM einen Cobot-Planer entwickelt mit der eine schnelle Evaluation der Maximalgeschwindigkeit der Roboteranlage unter Berücksichtigung der Grenzwerte aus der ISO TS 15066 möglich ist [13]. Jedoch ist zu erwähnen, dass entgegen der MRL weder die ISO TS 15066 noch die DIN EN ISO 10218 rechtlich bindende Gesetze darstellen [14]. Im Anschluss wird eine Entscheidung über weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung getroffen.

### **Maßnahmen zur Risikominderung**

Aus der DIN EN ISO 12100 lassen sich drei Maßnahmen zur Risikominderung ableiten: inhärent sichere Konstruktionen, technische sowie ergänzende Schutzmaßnahmen und Benutzerinformationen. Als inhärente Konstruktionen gelten z.B. integrierte Sicherheitsfunktionen wie die Geschwindigkeitsüberwachung oder trennende Schutzeinrichtungen wie Zäune. Darunter fallen auch MRK-fähige Endeffektoren, welche im Idealfall nach der ISO TS 15066 hergestellt wurden [11]. Für alle weiteren Fälle sollten scharfe Kanten und Einklemmstellen am Werkzeug beseitigt werden. In der ISO TS 15066 werden weiterhin vier technische Schutzprinzipien für Cobots definiert wie z.B. die Leistungs- und Kraftbegrenzung.

Weiterhin geht ein potentielles Verletzungsrisiko vom Werkzeug aus. Bei einem inhärent sicheren Endeffektor sind mögliche Gefährdungen wie scharfe Kanten oder Klemmstellen beseitigt. Sichere Greifersysteme verfügen über eine redundante Ansteuerung, welche z.B. den Verlust von Werkstücken verhindert [6]. Restrisiken können auch hier durch technische oder ergänzende Maßnahmen minimiert werden. Als ergänzende Schutzmaßnahmen gelten z.B. Schutzausrüstungen und Arbeitsanweisungen. Nach jeder angewandten Maßnahme zur Risikominderung erfolgt eine Bewertung. Durch das iterative Vorgehen werden erst alle technischen Schutzmaßnahmen untersucht, bevor organisatorische getroffen werden [15].

### **Integration in bestehende Produktionssysteme und wesentliche Änderungen**

Basierend auf der Risikobeurteilung wird ein Sicherheitskonzept mit Integration von Sicherheitseinrichtungen am Arbeitsplatz entwickelt. Je eigenständiger die Roboteranwendung von der bestehenden Produktion ist, desto geringer ist die Komplexität des Systems und die Risikobeurteilung [16].

Durch wesentliche Änderung des Robotersystems und der Sicherheitseinstellungen oder Umbauten nach der Inbetriebnahme ist ein erneutes Konformitätsbewertungsverfahren durch den Modifizierer durchzuführen. Die BG Rohstoffe und chemische Industrie (RCI) bietet dafür einen Entscheidungsbaum für die Klassifizierung in wesentliche und nicht wesentliche Änderungen [17]. Dabei wird geprüft, ob durch die Änderung ein neues oder erhöhtes Risiko besteht und ob dieses durch vorhandene oder einfache Schutzeinrichtungen (ohne Eingriff in die vorhandene Steuerung) behoben werden kann. Änderungen von MRK-Anwendungen betreffen z.B. den Endeffektor, das Werkstück oder den Arbeitsablauf. Nicht wesentliche Änderungen führen trotzdem zur Anpassung der Risikobeurteilung und Ergänzung der Dokumentation durch die eventuell neu getroffenen Schutzmaßnahmen. Ein Beispiel für eine nicht wesentliche Änderung ist ein Standortwechsel des Cobots ohne die Behinderung anderer Arbeitsstationen [18]. Die BGHM sowie die DGUV leisten generell Unterstützung und Beratung zu diesen und weiteren Themen. In der Fachinformation FBHM O80 [12] sowie in der DGUV-Information 209-074 [19] ist ein Überblick über kollaborierende Systeme bzw. Sicherheit von Industrierobotersystemen gegeben.

# Cobot Sicherheit & Integration

## I. Rollen

Rolle	Aufgabe
Hersteller	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durch Erzeugung eines Produkts oder Anbringung z. B. des Namens</li> <li>Einhaltung der MRL und Recherche der geltenden Richtlinien</li> <li>Verantwortet Konformitätsbewertung für vollständige Maschinen</li> <li>Haftet für Schäden durch die Maschine</li> </ul>
Inverkehrbringer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erstmalige Bereitstellung eines Produkts auf dem Markt</li> <li>Verantwortlich für Einhaltung der MRL und Konformitätsbewertung</li> </ul>
Händler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vertrieb von Produkten anderer Hersteller</li> </ul>
Betreiber	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regelmäßige Gefährdungsbeurteilung und Einhaltung des Arbeitsschutzes</li> <li>Gilt bei Umwandlung zu einer vollständigen Maschine als Hersteller</li> </ul>
Systemintegrator	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vertrieb, Erweiterung und Integration von Produkten anderer Hersteller</li> <li>Gilt bei Umwandlung zu einer vollständigen Maschine als Hersteller</li> </ul>
Prüfstelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Neutraler externer Zertifizierer</li> <li>Notwendig z. B. bei Zertifizierung von gefährlichen Maschinen</li> </ul>

## II. Normen und Richtlinien

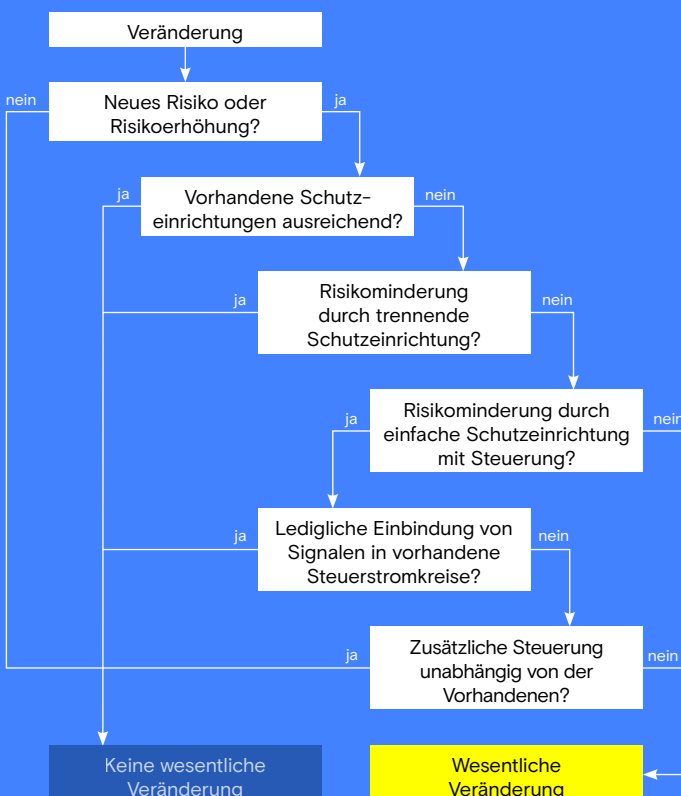
Typ	Beispiele
EU-Richtlinien	EG-Maschinenrichtlinie 2006/42 (entspricht 9. ProdGV)
Sicherheitsgrundnorm (Typ A)	DIN EN ISO 12100 (Sicherheit von Maschinen)
Sicherheitsfachgrundnorm (Typ B)	DIN EN ISO 13849 (Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen)
Maschinensicherheitsnorm (Typ C)	DIN EN ISO 10218-1/2 (Industrieroboter)
Technische Spezifikationen	ISO TS 15066 (Kollaborierende Roboter)
Weitere Richtlinien	Arbeitsschutzgesetz, ...

## III. Vereinfachte Konformitätsbewertungsverfahren

Technische Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risikobeurteilung</li> <li>Beschreibung der Maschine</li> <li>Schaltpläne, Detailzeichnungen</li> <li>Angewandte Normen, technische Spezifikationen</li> <li>Technische Berichte</li> <li>Betriebsanleitung, ...</li> </ul>
Konformitätserklärung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erklärung über alleinige Verantwortung des Herstellers</li> <li>Eindeutige Bezeichnung Maschine</li> <li>Alle berücksichtigten Rechtsvorschriften</li> <li>Vollständige Angabe der verwendeten Normen, ...</li> </ul>
CE-Kennzeichnung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sicht- und lesbar an Maschine</li> </ul>

## V. Integration & Änderungen

- Integration in bestehende Produktionssysteme
- Bei **Systemänderungen (Quelle: BG RCI)**:
  - Erneute Risikobeurteilung
  - Neues Konformitätsbewertungsverfahren bei wesentlicher Änderung



## IV. Risikobeurteilung & -minderung

Risikobeurteilung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Festlegung Verwendungszweck und Maschinengrenzen</li> <li>Gefährdungsidentifikation</li> <li>Risikoabschätzung</li> <li>Risikobewertung und Notwendigkeit der Minderung</li> <li>Gefahrenbeseitigung oder Risikominderung</li> </ul>
Ergänzung für MRK	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beschreibung MRK-Anwendung, Arbeitsplatz, Aufgabe, ...</li> <li>Roboterart</li> <li>Hersteller und Integrator</li> </ul>
Risikominderung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inhärente Funktionen</li> <li>Technische Maßnahmen</li> <li>Ergänzende Maßnahmen</li> </ul>
Schutzprinzipien Cobots	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sicherheitsgerichteter, überwachter Stillstand</li> <li>Handführung</li> <li>Geschwindigkeits- &amp; Abstandsüberwachung</li> <li>Leistungs- und Kraftbegrenzung</li> </ul>

Abbildung 5: Leitfaden für die sicherheitstechnische Betrachtung von Cobots

## 4. Marktübersicht

Wie bereits in Kapitel 1 dieses Papers eingeführt, wächst der Cobot-Markt mitsamt der zugehörigen Peripherie und Plattformen stetig. Mit diesem Wachstum versuchen einige Cobot-Hersteller zunehmend ihr Angebot zu differenzieren und auf die unterschiedlichen Anwendungsfälle zuzuschneiden. In diesem Kapitel wird folglich ein Überblick über bestehende Marktsegmente gegeben. Eine Kategorisierung wird hier aus Gründen der Übersichtlichkeit auf Basis des erreichbaren Arbeitsraumes und der Traglast vorgenommen. Anzumerken ist jedoch, dass diese Bewertungskriterien nicht ausreichen, um die jeweils ideale Wahl für die spezifische Aufgabe zu treffen. Ausschlaggebend ist beispielsweise auch die Ausführung der integrierten Sensorik zur Gewährleistung der Sicherheitsfunktionalitäten, die erreichbaren Genauigkeitskennwerte oder die Auswahl und Integration kompatibler Endeffektoren. Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Kategorien werden in Abbildung 6 zusammengefasst.

### Lightweight Cobots

Die erste Kategorie ist die der Lightweight Cobots. Neben der geringeren Reichweite und Traglast sind Cobots dieser Kategorie meist durch niedrigere Investitionskosten und bei richtiger Integration entsprechend durch ein wirtschaftliches Preis-Leistungs-Verhältnis gekennzeichnet. Nahezu jeder Cobot-Hersteller bietet ein oder mehrere Lightweight-Modelle an. Als Vertreter der Lightweight-Cobots wurde hier exemplarisch der Research 3 der Firma Franka Emika ausgewählt. Der siebenachsige Cobot zeichnet sich durch eine benutzerfreundliche Integration und seine Drag-and-Drop-basierte Programmieroberfläche aus. Darüber hinaus ist in jeder Achse Drehmomentsensorik verbaut, die einerseits die Safety-Funktionalitäten des Cobots gewährleistet und andererseits auch feinfühligere, kraftbasierte Anwendungen ermöglicht. In Abbildung 6 wird diese Feinfühligkeit für das adaptive, kraftbasierte Fügen genutzt.

### Middleweight Cobots

Die nächste Kategorie der Middleweight Cobots zeichnet sich durch Reichweiten von bis zu 1,5 m und Traglasten von bis zu 12 kg aus. Neben den etablierten Cobot-Herstellern, wie Universal Robots, KUKA oder ABB finden sich auch in dieser Kategorie verstärkt neue Anbieter. Als Alternative zum Cobot kann der digital vernetzte Industrieroboter HORST von fruitcore robotics genannt werden. Dieser deutsche Hersteller bietet ebenfalls eine einfach bedienbare und leicht zu integrierende Roboterlösung an. In Abbildung 6 wird der Cobot UR5 von Universal Robots in einem industrienahen Demonstrationsszenario dargestellt. In diesem wird eine Scheibe für ein Automobil mit Hilfe eines Vakuumgreifers von einer Bearbeitungsstation zur nächsten befördert.

### Heavyweight Cobots

Nach Light- und Middleweight folgt nun die Heavyweight-Kategorie. Innerhalb dieser Kategorie dünnt sich das Anbieterfeld etwas aus, sodass hier verstärkt die etablierten Unternehmen neben einzelnen Newcomern zu finden sind. Diese Klasse eignet sich aufgrund der robusteren Bauweise und entsprechend höheren Traglast meist auch für anspruchsvollere Anwendungsfälle bezüglich der Kräfteinleitung. Hierzu zählen auch Applikationen mit hohen Anforderungen an die Bahntreue wie das Schleifen oder Schweißen. Als Vertreter dieser Klasse wird hier der LBR iiwa von KUKA vorgestellt. Dieser relativ kompakte Cobot eignet sich mit einer Traglast von 14 kg sowohl für das Handling schwerer Bauteile und die Maschinenbeschickung als auch für Schweißaufgaben. Mit der Funktionalität einer Impedanzregelung kann dieser Cobot auch für kraftgeregeltere Prozesse eingesetzt werden.



Abbildung 6: Cobot-Kategorien

Wie bereits eingangs erwähnt, ist die Kategorisierung nach Arbeitsraum und Traglast für die Auswahl eines geeigneten Cobots für eine spezifische Anwendung nicht ausreichend. In den folgenden Abschnitten wird deshalb auf unterschiedliche Bewertungskriterien eingegangen und entsprechende Beispiele benannt.

### Sensorik mit Sicherheitsfunktion

Entscheidend ist beispielsweise die verbaute interne Sensorik zur Gewährleistung der Sicherheitsfunktionalitäten, die ebenfalls für die in Kapitel 2 erwähnte Feinfühligkeit sorgt. Diese können unterschiedlich ausgelegt werden und unterscheiden sich deshalb auch signifikant in ihrer Ausführung. Eine weit verbreitete Safety-Funktion ist der Stopp nach Überlast, indem die Bewegung des Cobots angehalten wird, wenn ein Moment in einer Achse den erwartbaren Wert überschreitet. Dies erfordert einerseits Sensoren zur direkten oder indirekten Messung des Drehmoments in jeder Achse und andererseits realitätsnahe Dynamikmodelle, um die erwarteten Drehmomente vorhersagen zu können. Prominente Vertreter dieser Strategie sind beispielsweise die Cobots von KUKA oder Universal Robots. Die Ausführung der Drehmomentsensoren variiert von Hersteller zu Hersteller. Momente können über Piezosensorik, Dehnmessungen oder den momentbildenden Strom der Motoren erfasst werden. Die Art und Ausführung der Sensorik wirkt sich nicht nur auf die Safety-Funktionalität aus, sondern kann auch für kraftrelevante Applikationen wie dem kraftbasierten Fügen relevant sein.

Weitere Safety-Strategien sind der Stopp vor Berührung durch eine kapazitive Hülle wie der Cobot Apas der Firma Bosch und der Stopp vor Berührung durch Vision Technologie wie beim MAiRa der Firma Neura Robotics. Darüber hinaus kann die Sicherheit auch intrinsisch, beispielsweise durch die Konstruktion nachgiebiger Gelenke, gewährleistet werden. Ein Beispiel hierfür liefert der Sawyer des Unternehmens Rethink Robotics.

### Endeffektoren und Zusatzsensorik

Weiterhin ist die Auswahl und Integration kompatibler Endeffektoren und Zusatzsensorik ein ausschlaggebender Faktor für die Wahl eines Cobots. Hier werden die Endeffektoren in die Kategorien Greifer, Werkzeuge und zusätzliche Peripherie unterteilt (vgl. Abbildung 7). Unabhängig der Kategorie beeinflussen die Abmaße und das Gewicht des Endeffektors direkt die Reichweite und verfügbare Traglast des Cobots. Spezifisch für Greifer sind, neben der Konnektivität zum Cobot-System und der Ansteuerung, besonders die Komplexität und der Hub des Greifers relevant, welche sich stark am zu handhabenden Produktspektrum orientieren sollten. Für die Auswahl eines Werkzeugs ist die zu erreichende Prozesskraft und Ansteuerung relevant. Schleifwerkzeuge können beispielsweise passiv oder aktiv geregelt werden und definierte Kräfte aufnehmen, während bei verwendeten Schraubern darauf geachtet werden sollte, inwieweit sie sich für den kollaborativen Betrieb eignen, falls dies gewünscht ist. Dies gilt auch für Greifer, die wie in Abbildung 7 ebenfalls kollaborativ ausgelegt werden können. Bei der zusätzlichen Peripherie können weitere Safety-Komponenten wie Kollisions- und Überlastsensoren, Kraftmomentensensoren oder Kamerasysteme beschafft werden. Die Auswahl ist auch hier stark Use-Case-abhängig.

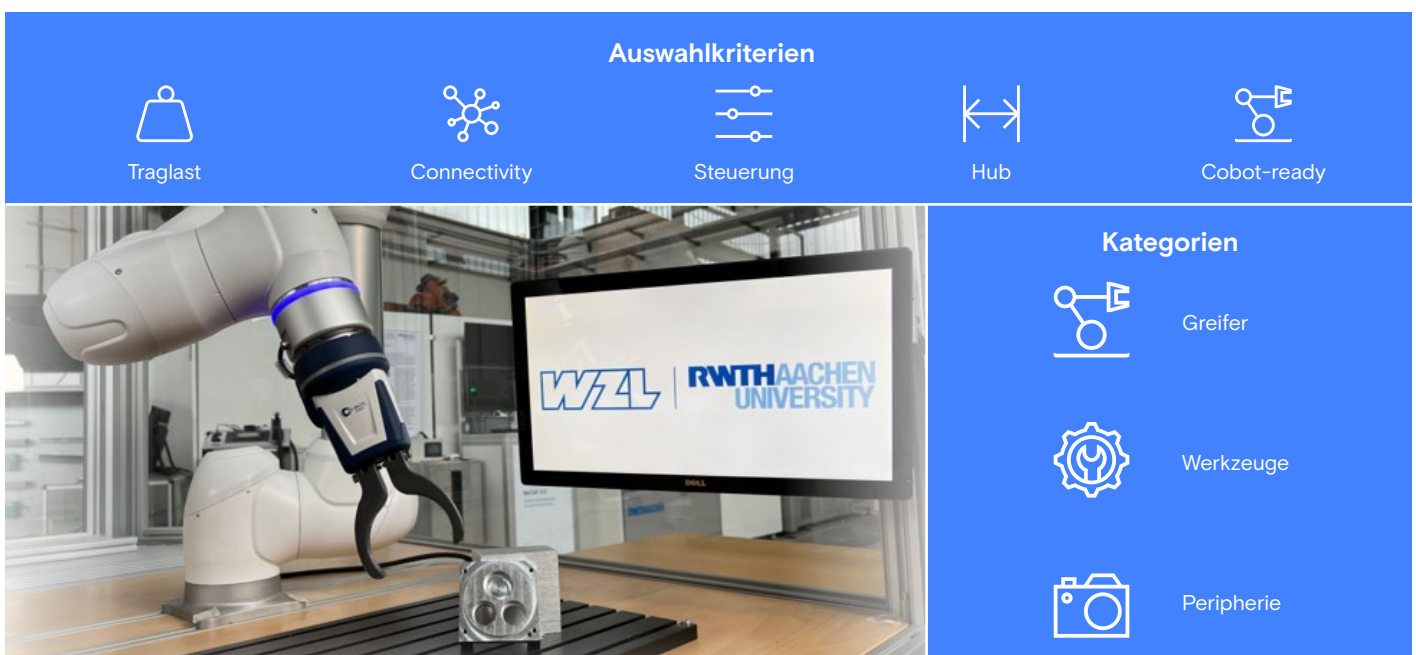


Abbildung 7: Übersicht an Endeffektoren und Sensorik

## Genauigkeitskennwerte

Darüber hinaus sind auch Genauigkeitskennwerte für die Auswahl eines geeigneten Cobots unabdingbar. Für reine Positionieraufgaben, wie den meisten Handlings, Palettier- und Beschickungsanwendungen, sind die Werte der Absolut- und Wiederholgenauigkeit relevant. Für bahnrelevante Applikationen, wie dem Schleifen oder Schweißen sind die Bahn- und Bahnwiederholgenauigkeit ausschlaggebend. Die meisten Cobot-Hersteller geben jedoch in den Produktspezifikationen meist nur die Wiederholgenauigkeit an. Für die übrigen Kennwerte können Versuche und Expertenwissen herangezogen werden.

## Plattformen und Programmiermethoden

Wie bereits erwähnt, ist die vereinfachte Programmierung von Cobots ein Potential im Vergleich zu klassischen Industrierobotern. Neben den herstellerabhängigen Benutzeroberflächen, die eine intuitive und einfachere Bedienung bieten, gibt es weitere Plattformen mit erweiterbaren Funktionen. Als Beispiel bieten Plattformen wie die der Firma drag&bot eine Möglichkeit der einfachen, grafischen Inbetriebnahme sowie Programmierung für Nicht-Experten. Weitere Plattformen solcher Art sind Wandelbots oder NordBo. Das Robot Operating System (ROS) hingegen wird weitläufig im Forschungsumfeld verwendet und ist in der Industrie nur für programmiererfahrene Mitarbeitende geeignet, bietet jedoch viele Freiheiten und Gestaltungsmöglichkeiten zur Programmierung. Des Weiteren existieren auch hersteller-spezifische Plattformen, die Drittanbietern die Möglichkeit geben, Zubehör zu dem jeweiligen Roboter anzubieten. Ein Beispiel hierfür stellt URcaps dar. Die Plattform von Universal Robots ermöglicht externen Anbietern den Verkauf von Hard- und Software-Komponenten für UR-Roboter und Steuerungen. Auf diese Weise wird der User-Kreis erweitert und weitere Kaufargumente geschaffen.

## 5. Anwendungsbeispiele und Branchen

In den folgenden Abschnitten wird ein Überblick über bestehende Lösungen aus verschiedenen Branchen des Handwerks und der Industrie gegeben. Grundsätzlich zu unterscheiden sind Anwendungsfälle der Handhabung, wie das Palettieren, Bin-Picking (deutsch: Griff in die Kiste) oder die Maschinenbeschickung, Montagetätigkeiten wie das Kleben, Schweißen und sonstige Fügeprozesse und Bearbeitungsprozesse, wie das Schleifen, Polieren und Entgraten von Werkstücken.

### Verschiedene Anforderungen je Anwendung

Jede Anwendung stellt andere Anforderungen an eine flexible Automatisierungslösung mit Hilfe eines Cobots. Bei Handhabungsprozessen beispielsweise wirken vorrangig statische Kräfte wie die Gewichtskraft auf den Cobot. Fliehkräfte durch die Bewegung können durch eine entsprechende Pfadplanung reduziert werden. Jedoch erfordert ein Bin-Picking Prozess die intelligenten Fähigkeiten der Objekterkennung oder die Maschinenbeschickung eine kollisionsfreie Pfadplanung auch innerhalb der zu beschickenden Maschine. Entsprechende Kamertechnik ist durch den Integrator auszuwählen. Bei Montagetätigkeiten gewinnt oftmals das Engineering vor dem eigentlichen Prozess an Relevanz, weil es förderlich ist monotone, repetitive Aufgaben auf den Cobot zu übertragen, wodurch der Prozessplanung eine besondere Rolle zuteil wird. Weiterhin erfordert das Auftragen von Kleberauppen und das Bahnschweißen eine hohe Bahngenauigkeit, was durch das Knowhow in der Arbeitsvorbereitung unterstützt wird. Bei Bearbeitungsprozessen ist die Bahngenauigkeit entscheidend für die Fertigungsqualität, weshalb es hier auf die optimale Einstellung der Prozessparameter ankommt. Vorschübe, Drehzahl und die Fähigkeit Kraftspitzen auszugleichen ist für Polier- und Schleifanwendungen besonders relevant.

### Einsatz in kleinen und großen Betrieben

Beispiele für erfolgreiche Umsetzungen in Handwerk und Industrie können mittlerweile zur Genüge gefunden werden. Allen Branchen gemein ist der Fachkräftemangel in der DACH-Region und die Automatisierung mittels Cobots als Reaktion auf diesen Mangel. Dabei sind die betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen von Branche zu Branche denkbar unterschiedlich. Während in Industrien wie der Automobil- und Automobilzuliefererindustrie Innovationskapital in der Produktion keine große Hürde darstellt, ist die Anschaffung eines Cobots mitsamt Peripherie für einen Handwerksbetrieb im Mittelstand eine weitaus größere Investition. Auch die Voraussetzungen bezüglich des Knowhows in der Automatisierungstechnik ist in größeren Industrieunternehmen für gewöhnlich bereits vorhanden.

### Cobots in der produzierenden Industrie

Cobots werden bereits in diversen Unternehmen der Automobil- und Automobilzuliefererindustrie eingesetzt. Beispiele hierfür sind die Türmontage der X3-Modelle bei BMW, die Montage der Q5-Modelle bei Audi und die Stoßfängermontage bei Ford. Während beim ersten Beispiel ein Fügeprozess der Schall- und Feuchtigkeitsisolierung durchgeführt wird, steigern die beiden anderen Beispiele die Ergonomie durch die Abnahme schwerer Bauteile oder der Überkopfmontage. ZF als Getriebehersteller setzt nach eigenen Aussagen Cobots vielfältig ein. Während ca. 60 % für kameragestützte Handhabungsprozesse und ca. 20 % für visuelle Inspektionen verwendet wird, fällt der Rest zu gleichen Teilen für kraftbasierte Prüfprozesse und Montageanwendungen an [4]. Auch in weiteren technikgetriebenen Branchen wie der Medizintechnik werden bereits Cobots eingesetzt. So verwendet die Ausgründung guidoo des Fraunhofer IPA aus Mannheim einen Cobot für die flexible Operations-Assistenz [20]. In diesem Beispiel wird die Verlässlichkeit einer Maschine bei einer langen und ermüdenden Operation genutzt. In Abbildung 8 wird ein Beispiel der Maschinenbeschickung gezeigt. Der Cobot kann hier als Befähiger für eine flexible und temporäre Automatisierung von Werkzeugmaschinen verwendet werden. Durch die einfache Programmierung kann das jeweilige Unternehmen betriebswirtschaftliche Vorteile durch eine automatisierte dritte Schicht und ähnliche Konzepte ziehen.



Abbildung 8: Flexible und temporäre Automatisierung von Werkzeugmaschinen. Foto: WZL der RWTH Aachen

### Cobots im Handwerk

Darüber hinaus zeigt ein Blick in den bestehenden Stand der Technik, dass auch Handwerksbetriebe in Hochlohnländern auf den Cobot als Automatisierungslösung setzen, um ihre Prozesse zu automatisieren. Eine kurze Recherche ergibt dutzende Beispiele für Cobots im Handwerk. So werden diese klassisch in der Handhabung zur Beschickung von CNC-Maschinen in Schreinereien eingesetzt. Auch das Auftragen von Kleberaupen oder die Verleimung von Holzplatten ist mit kurzer Einarbeitung leicht zu programmieren. Im Holzverarbeitenden Handwerk werden zudem oftmals Schleif- und Polieraufgaben vom Cobot übernommen. So zeigt die FerRobotics GmbH, wie Holzmöbel mit ihrem Schleifendeffektor ACF und einem UR5 von Universal Robots geschliffen werden. Der Cobot übernimmt diesen körperlich anstrengenden und oftmals ergonomisch ungünstigen Prozess und die Werkenden können sich der Qualitätskontrolle und Nachbearbeitung widmen. Bei der HolzKunst Holoher GmbH wird ein Cobot der Firma Franka Emika dazu verwendet Sacklochbohrungen in Holzspielzeug mit Leim zu befüllen, um die Bauteile im Anschluss zu fügen. Diese repetitive Aufgabe – an manchen Tagen müssen bis zu 1000 Löcher befüllt werden – bindet unter Umständen gleich mehrere Mitarbeitende, die durch den Cobot anderen wertschöpfenden Tätigkeiten nachgehen können. Erfolgsgeschichten wie diese unterstreichen nicht nur das Potential von Cobots in diversen Branchen und Anwendungsfeldern. Sie zeigen auch, dass die Automatisierung mittels Cobots keineswegs einen Abbau an Arbeitskraft bedeutet, sondern dazu beitragen kann, Betriebe trotz Fachkräftemangel handlungsfähig zu machen und folglich Arbeitsplätze in Hochlohnländern zu festigen.



Abbildung 9: Anwendung von Cobots im Holzverarbeitenden Handwerk. Foto: HolzKunst Holoher GmbH

## 6. Einführung von Cobots im Unternehmen

In Kapitel 5 wurden Beispiele für erfolgreiche Einführungen von Cobots aufgezeigt. Dabei ist bei der Einführung und Wartung mit weniger Aufwand und Komplexität zu rechnen als für vollautomatisierte Industrieroboter. Cobots ermöglichen im Vergleich eine einfachere Modifikation und Erweiterung sowie Programmierung. Die Einführung kann grob in sieben Schritte von Projektvorbereitung bis Weiterbildung unterteilt werden.

### Projektvorbereitung

Vor dem Beginn des Projektes ist es wichtig möglichst einen Cobot-Verantwortlichen oder Verantwortliche zu ernennen. Diese Person oder Personengruppe bezieht früh alle Beteiligten in den Prozess mit ein. Dazu gehören u.a. betroffene Mitarbeitende der jeweiligen Fachabteilung, der Betriebsrat sowie Verantwortliche für die Arbeitssicherheit. Das daraus entstehende Projektteam führt den Einführungsprozess durch. Es sollten auch früh Beratungsstellen wie die BG oder regionale Unterstützungsmöglichkeiten zu Rate gezogen werden. Anhand einer ersten groben Eingrenzung der zu umsetzenden Aufgabe und z.B. Bestimmung der Interaktionsart, können Softwaretools für Quick-Checks wie beispielsweise der Cobotplaner genutzt werden, um erste Machbarkeitsanalysen durchzuführen [13]. Weiterhin können Checklisten, wie im Anhang des Buches "Mensch-Roboter-Kooperation erfolgreich einführen" zu finden, verwendet werden [4].

### Projektstart

Beim Projektstart sollte sich das Unternehmen überlegen, welche konkreten strategischen Ziele erreicht werden sollen. Ziele können hierbei die Wahrung der langfristigen Wettbewerbsfähigkeit und Entlastung der Mitarbeitenden sein. Dann wird eine erste konkrete Aufgabenstellung anhand vorhandener Optimierungspotentiale, welche mit Cobots gelöst werden können, formuliert. Im Anschluss sollten der gegebene Arbeitsplatz und Prozess auf ihre Eignung für das Projekt bewertet werden. Weitere Bewertungskriterien sind z.B. die Komplexität der Anwendung, das Gefahrenpotential, die Taktzeiterfüllung und Losgröße. Aufgrund ihrer Flexibilität lohnen sich Cobots beispielsweise schon bei kleineren und mittleren Losgrößen. Aus diesen Kriterien wird ein Einstiegsprojekt entwickelt, welches möglichst ohne größere Hürden umsetzbar ist. Beispiele dafür sind unergonomische oder repetitive Handhabungsaufgaben. Das Projekt sollte allerdings leicht skalierbar und für komplexere Aufgaben erweiterbar sein.

### Wie findet man den richtigen Cobot?

Kapitel 4 hat bereits eine Übersicht von verfügbaren Cobots, Werkzeugen, Peripherie sowie Programmierplattformen verschafft. Die Auswahl des geeigneten Cobots ist dabei maßgeblich von den Aufgabeanforderungen abhängig. Bei der Betrachtung müssen neben den Kosten für das Cobot-System auch die Roboter-Lizenz, Inbetriebnahme, Schulung, Wartung und Zertifizierung berücksichtigt werden. Abhängig vom Anwendungsfall können die Gesamtkosten annähernd das Doppelte der Anschaffungskosten für ein Robotersystem inklusive der Sicherheitseinrichtung betragen. Die Amortisationszeit wird unter anderem von der Losgröße beeinflusst. Für kleine Losgrößen sind Amortisationszeiten von über zwei Jahren möglich. Daher ist eine klassische Betrachtung des ROI gegebenenfalls nicht geeignet. Der Betreiber sollte sich darüber im Klaren sein und langfristige Kriterien wie die Produktionsflexibilität oder Mitarbeiterzufriedenheit in Betracht ziehen, welche indirekt den Erfolg des Unternehmens fördern. Abbildung 9 leistet Hilfestellung bei der Auswahl eines Cobots unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Anwendung wie die Traglast, Reichweite, Wiederholgenauigkeit oder die Betriebsart. Am Beispiel der Reichweite kann ein Roboter mit 6 Freiheitsgraden alle Punkte im dreidimensionalen Raum mit beliebiger Orientierung erreichen und wird daher klassischerweise angewendet [4]. Eine zusätzliche 7. Achse erhöht die Flexibilität und Schnelligkeit, allerdings auch den Programmieraufwand. Weitere Achsen sind eher unüblich und redundant.

### Implementierung von Einstiegsprojekten

In Kapitel 3 wurde bereits erläutert, wie eine sicherheitstechnische Integration des Cobots durchzuführen ist. Dabei sollte möglichst nach dem Vier-Augen-Prinzip vorgegangen werden und früh eine Fachkraft der Arbeitssicherheit sowie die BG eingebunden werden, welche den Zertifizierungsprozess begleiten. Das Einstiegsprojekt soll vor allem dazu dienen, Bedenken und Ängste abzulegen und den Mitarbeitenden die Vorzüge des Cobots aufzeigen. Besonders hoch ist die Akzeptanz, wenn die jeweiligen Mitarbeitenden in den Entwicklungsprozess miteinbezogen werden. Dennoch muss den Mitarbeitenden vermittelt werden, dass der Cobot keinen Mitarbeiterersatz darstellt, sondern sie unterstützen und entlasten soll.

## Sukzessive Automatisierung sowie Weiterbildung

Ist das erste Einstiegsprojekt gemeistert, können sukzessiv komplexere Aufgaben anvisiert werden. Dadurch kann langsam Expertise in dem Bereich auf- und ausgebaut werden. Durch zusätzliche Schulungen und Weiterbildung der Mitarbeitenden, wird das erworbene Wissen weiterhin vergrößert. Unternehmen sollten sich stets über regionale Fördermaßnahmen informieren, um auch in Zukunft komplexe Probleme in Angriff zu nehmen.

## Cobotauswahl in 11 Schritten

1. Erfüllung der geforderten Takt- und Leistungsmerkmale, Bahnsteuerung		
Übereinstimmung gering (1 Punkt)	Übereinstimmung in Kernelementen und relevanten Funktionen (2 Punkte)	Anforderungen mit Reserven komplett erfüllt, Ausbau skalierbar (3 Punkte)
2. Traglast		
Traglast kaum darstellbar (1 Punkt)	Traglast erfüllt Anforderungen, keine Reserven (2 Punkte)	Anforderung an Traglast erfüllt mit Reserven (3 Punkte)
3. Armreichweiten und Freiheitsgrade (FG)		
Weniger als 6 FG, eingeengte Bewegungsräume und Werkzeugorientierung (1 Punkt)	Mit mehr als 6 FG überbestimmt, beliebiger Punkt mit beliebiger Orientierung erreichbar, 7. Achse erhöht Flexibilität und Schnelligkeit (2 Punkte)	Mit 6 FG ausreichend für 3D-Raum, beliebiger Punkt mit beliebiger Orientierung erreichbar (3 Punkte)
4. Sicherheitsfunktionen und elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)		
Nur Basisanforderungen an Betrieb werden erfüllt (1 Punkt)	Normenkonformer Kooperationsbetrieb darstellbar (2 Punkte)	Normenkonformer Kollaborationsbetrieb, auch EMV Kraftmomentensensorik in Gelenken (3 Punkte)
5. Integrationspotentiale		
Eigenständige Steuerung ohne oder mit geringen Vernetzungs- und Integrationsmöglichkeiten (1 Punkt)	Steuerungstechnik mit umfassenden Möglichkeiten zur Integration in Steuerungsumfeld (2 Punkte)	Steuerungstechnik mit Möglichkeiten zur Vernetzung mit anderen Robotern/ Netzwerken (3 Punkte)
6. Programmierfunktionen und Bedienung		
Online-Programmierung über Handbediengerät. Offline beschränkt. Kein umfassendes Teaching (1 Punkt)	Online- und Offlineprogrammierung, ebenso im 3D rechnergestützten Umfeld (CAx) (2 Punkte)	Intuitive Bedienung, Programmierung On- und Offline, in 3D CAx, durch Handführung (3 Punkte)
7. Robustheit des Systems		
Anforderungen an Laufruhe und Stabilität werden erfüllt. Relative Wiederholgenauigkeit der Pose OK (1 Punkt)	Laufruhe, Stabilität und Nachschwingverhalten in Ordnung. Absolute Wiederholgenauigkeit OK (2 Punkte)	Stabile Konstruktion mit hoher Resistenz gegen Störung. Absolute Wiederholgenauigkeit OK (3 Punkte)
8. Medienversorgung und Dichtigkeitsanforderungen		
Anschluss externer Medien (Pneumatik, Elektrik) schaltbar gegeben, Medienführung außenliegend (1 Punkt)	Anschluss externer Medien (Pneumatik, Elektrik), Medienführung überwiegend innenliegend (2 Punkte)	Medienanschlüsse (Pneumatik, Elektrik), komplett innenliegend, Schutz bezüglich Internet Protocol hinreichend (3 Punkte)
9. Software- (SW-) und Systemfunktionalitäten		
Neue SW-Entwicklung mit reduziertem Funktionsumfang, häufigen Updates und geringem Support (1 Punkt)	Langjährige SW-Entwicklung mit umfassendem Funktionsumfang, wenig Updates und Support (2 Punkte)	Umfassende SW- und Bedienfunktionen, ansprechende Benutzerschnittstelle (HMI), stabil und praxiserprobt (3 Punkte)
10. Trainingskapazität des Anbieters und Plattformen für Beschaffung, Vernetzung		
Begrenzte Erfahrung, Training erfolgt durch Mitarbeiter der Technik. Kaum Plattformangebote (1 Punkt)	Training erfolgt im Rahmen von Vertrieb oder Applikationsentwicklung Beschaffungsplattform (2 Punkte)	Training in Schulungsumfeld durch erfahrene Trainer, ortsnah. Applikations-/Nutzerforen (3 Punkte)
11. Solidität und Erfahrungswerte des Roboteranbieters/Systemintegrators		
Startup ohne größere Anzahl im Markt installierter Systeme und Referenzen (1 Punkt)	Roboteranbieter mit Erfahrung in klassischer Industrierobotik und Serie (2 Punkte)	Roboteranbieter mit umfassender MRK-Expertise, Referenzen (3 Punkte)
Summenbildung*		
Bis 11 Punkte: Ungeeignet für diese Applikation → Ausschluss	12 bis 22 Punkte: Bedingt geeignet für diese Applikation → Vertiefen/Zurück	23 bis 33 Punkte: Vermutlich geeignet → In engere Auswahl nehmen

\* Bei Nichterfüllung sind 0 Punkte zu vergeben.

Abbildung 10: Leitfaden zur Auswahl von Cobots angelehnt an [4]

## 7. Fazit und Ausblick

Cobots – als Tool für eine kostengünstige und praxisnahe Automatisierung – bieten aufgrund eines geringen Investitionsrisikos, der intuitiven Programmierung und der Eignung für kollaborative Prozesse eine niedrighschwellige Möglichkeit der Automatisierung. Die gezeigten Anwendungsbeispiele verdeutlichen, dass der Cobot Produktionsstandorte in Hochlohnländern wie Deutschland entscheidend festigen kann. Zudem können Cobots Herausforderungen wie dem wachsenden Fachkräftemangel entgegenwirken. Bei der Einführung gilt es, unter Berücksichtigung des im Fokus stehenden Use-cases, die wichtigsten technischen Anforderungen an das Cobot-System zu identifizieren. Darüber hinaus sind bei der Umsetzung die genannten Sicherheitsrichtlinien zu beachten, um die Potentiale voll ausschöpfen zu können.

Für die Zukunft ist zu erwarten, dass Cobots in weiteren Anwendungsfällen der Industrie und des Handwerks eingesetzt werden. Einerseits durch die disruptiven Innovationen aus der Forschung und Entwicklung und andererseits durch den hohen Bedarf an Automatisierungslösungen wird der Cobot weiter an Relevanz zunehmen. Sie gelten somit als wichtiger Baustein für die Bewältigung zukünftiger Herausforderungen.

Das Whitepaper unterliegt einer sorgfältigen wissenschaftlichen Recherche, leistet dennoch nur einen Überblick über die Thematik. Weiterhin erhebt das Paper keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder exakte Auslegung der Rechtsvorschriften. Es wird geboten, bei Bedarf die geltenden Normen zu lesen oder Beratungsstellen aufzusuchen.

## 8. Literaturverzeichnis

- [1] **International Federation of Robotics (IFR)**, World Robotics 2022 Industrial Robots. Statistics, Market Analysis, Forecasts and Case Studies. Online verfügbar unter: [https://ifr.org/downloads/press2018/2022\\_WR\\_extended\\_version.pdf](https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf) (zuletzt geprüft am 09.11.22).
- [2] **B. Lotter**, Montage in der industriellen Produktion: Ein Handbuch für die Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [3] **S. Haddadin**, Towards Safe Robots: Approaching Asimov's 1st Law. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014.
- [4] **M. Glück**, Mensch-Roboter-Kooperation erfolgreich einführen: Grundlagen, Leitfaden, Applikationen, 1st ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer Vieweg, 2022.
- [5] **Richtlinie 2006/42/EG** des Europäischen Parlaments des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung).
- [6] **DIN EN ISO 10218-1:2011** Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen, Teil 1: Roboter (ISO 10218-1:2011).
- [7] **IHK Koblenz**, CE-Kennzeichnung/EG-Konformitätserklärung. Online verfügbar unter: <https://www.ihk.de/koblenz/unternehmensservice/innovation-und-technologieberatung/innovation-1359/ce-kennzeichnung-eg-konformitaetserklaerung-4493688> (zuletzt geprüft am 09.11.22).
- [8] **Verband Deutscher Werkzeug- und Formenbauer e.V. (VDWF)**, Risikobeurteilung gemäß Maschinenrichtlinie. Online verfügbar unter: [https://www.vdwf.de/fileadmin/user\\_upload/Risikobeurteilung\\_2019.pdf](https://www.vdwf.de/fileadmin/user_upload/Risikobeurteilung_2019.pdf) (zuletzt geprüft am 09.11.22).
- [9] **BG/BGIA-Empfehlungen** für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie: Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern. Online verfügbar unter: <https://publikationen.dguv.de/Forschung/IFA/Allgemeine-Informationen/2448/BG/BGIA-Empfehlungen-fuer-die-Gefaehrdungsbeurteilung-nach-Maschinenrichtlinien-Gestaltung-von-Arbei> (zuletzt geprüft am 09.11.22).
- [10] **Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM)**, Klassifikation der Gefährdungen. Online verfügbar unter: [https://www.bghm.de/fileadmin/user\\_upload/Arbeitsschuetzer/Praxishilfen/Gefaehrdungsbeurteilungen/Allgemeine\\_Arbeitsblaetter/Klassifikation\\_Gefaehrdungen.pdf](https://www.bghm.de/fileadmin/user_upload/Arbeitsschuetzer/Praxishilfen/Gefaehrdungsbeurteilungen/Allgemeine_Arbeitsblaetter/Klassifikation_Gefaehrdungen.pdf) (zuletzt geprüft am 09.11.22).
- [11] **ISO/TS 15066:2016-02**. Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter, Ausgabedatum; 2016-02.
- [12] **Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)**, Kollaborierende Robotersysteme – Planung von Anlagen mit der Funktion „Leistungs- und Kraftbegrenzung“. Online verfügbar unter: [https://www.dguv.de/medien/fb-holzundmetall/publikationen-dokumente/infoblaetter/infobl\\_deutsch/O8O\\_roboter.pdf](https://www.dguv.de/medien/fb-holzundmetall/publikationen-dokumente/infoblaetter/infobl_deutsch/O8O_roboter.pdf) (zuletzt geprüft am 09.11.22).
- [13] **Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM)**, Cobot-Planer – Sichere MRK-Applikationen einfach und schnell planen. Online verfügbar unter: <https://cobotplaner.de/preamble> (zuletzt geprüft am 09.11.22).
- [14] **Universal Robots GmbH**, „Kollaborative Robotik – Handlungssicherheit in der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) mit der ISO TS 15066,“ 2017.
- [15] **EN ISO 12100:2011** Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung.

- [16] **DIN EN ISO 10218–2:2011** Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen, Teil 2: Robotersysteme und Integration (ISO 10218–2:2011).
- [17] **Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI)**, Wesentliche Veränderungen an Maschinen – eine interaktive Arbeitshilfe der BG RCI. Online verfügbar unter: [https://www.bgrci.de/fileadmin/BGRCI/Downloads/DL\\_Praevention/Fachwissen/Maschinensicherheit/Interaktive\\_Arbeitshilfe\\_wesentliche\\_Veraenderungen.pdf](https://www.bgrci.de/fileadmin/BGRCI/Downloads/DL_Praevention/Fachwissen/Maschinensicherheit/Interaktive_Arbeitshilfe_wesentliche_Veraenderungen.pdf) (zuletzt geprüft am 09.11.22).
- [18] **C. Härdtlein**, Leitfaden für den ortsflexiblen Einsatz von Leichtbaurobotern: Praxisnah. Anwenderfreundlich. Prägnant: Fraunhofer-Gesellschaft, 2021.
- [19] **Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)**, DGUV Information 209–074 – Industrieroboter. Online verfügbar unter: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/270> (zuletzt geprüft am 09.11.22).
- [20] **Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)**, guidoo – Ein robotisches Assistenzsystem zur Durchführung schneller und präziser Biopsien. Online verfügbar unter: [https://gesundheitstechnologien.ipa.fraunhofer.de/de/unsere\\_projekte/guidoo.html](https://gesundheitstechnologien.ipa.fraunhofer.de/de/unsere_projekte/guidoo.html) (zuletzt geprüft am 09.11.22).

Alle Teile des Erfolgs

**CONRAD**

Mehr Informationen zum  
Thema Cobot finden Sie  
unter **conrad.de/cobots**

**WZL** | **RWTH AACHEN**  
UNIVERSITY

**WZL**  
**AACHEN GMBH**

**Ihr Kontakt für persönliche  
Beratung und Unterstützung**

**Andreas Meiler Dipl.-Ing. (FH)**  
Head of Education Product & Service Management

Tel. +49 (0)9622/30 41 63  
Mail: [andreas.meiler@conrad.de](mailto:andreas.meiler@conrad.de)



Irrtümer und Druckfehler vorbehalten. Die AGB finden Sie unter [conrad.de](https://conrad.de). Stand: November 2022.  
Alle Informationen zum Datenschutz gem. Art. 13 DSGVO finden Sie unter [conrad.de/datenschutz](https://conrad.de/datenschutz).  
Ein Angebot der Conrad Electronic SE, Conrad Electronic Stores GmbH & Co. KG, Conrad  
Electronic Regensburg GmbH & Co. KG und der Conrad Electronic Werbberg GmbH, alle  
Klaus-Conrad-Str. 1, 92240 Hirschau.