

1.2 Industrierobotik in der beruflichen Bildung

Harald Strating, Rene Egbers, Jonas Albersmann, Hochschule Osnabrück

1.2.1 Industrierobotik als Wirtschaftsfaktor für Deutschland

Industrielle Robotersysteme sind längst fester Bestandteil moderner Fertigungsstraßen und aus großen Industriezweigen nicht mehr wegzudenken, wie eine Analyse der Statistik¹ der *International Federation of Robotics* über Installationsdaten und operative Bestände von Industrierobotern weltweit verdeutlicht. Schon 1961 setzte die Firma General Motors den *Unimate* der Firma *Unimation* für die einfache Entladung von Spritzgussmaschinen ein. Mittlerweile haben Industrieroboter die Handhabungs- und Automatisierungstechnik komplett revolutioniert. Die weltweite Anzahl an Industrierobotern im operativen Bestand lag im Jahr 2021 - den Daten der *International Federation of Robotics* zufolge - bei 3.477.127 Stück. Der Markt für Industrieroboter wächst weiterhin unaufhaltsam. So wurden im Jahr 2021 fast 520.000 neue Roboter installiert (vgl. Bieller et al. 2022, S. 14.).

Diese globale Expansion basiert nicht zuletzt auf der stetigen Weiterentwicklung der Robotersysteme. Industrieroboter werden immer genauer, schneller und effizienter. Zudem erschließen sich durch moderne Technologien neue und erweiterte Anwendungsfelder für die Robotik. Die kollaborative Industrierobotik ist eines der neueren Anwendungsfelder der Robotik. Ausgefeilte interne Sicherheitssensorik ermöglicht es hier, dass Mensch und Roboter zu gleicher Zeit am gleichen Werkstück arbeiten können und die Sicherheit des Menschen zu jedem Zeitpunkt gewährleistet ist.

Von den ca. 520.000 neu installierten Robotern im Jahr 2021 waren etwa 39.000 kollaborative Industrieroboter (im Vorjahr belief sich diese Zahl auf etwa 26.000 neu installierte kollaborative Industrieroboter) (vgl. Bieller et al. 2022, S. 14). Die Wachstumsrate gegenüber dem Vorjahr 2020 entspricht für die Gesamtzahl an installierten Industrierobotern 31 % und dies trotz der schwierigen Produktionslage durch die Corona Pandemie (vgl. Müller 2022, S. 12). Weltweit bildet Europa nach China den zweitgrößten Absatzmarkt für Industrieroboter mit einem operativen Bestand von 678.706 Industrierobotern (Stand: 2021) und einem Wachstum von etwa 24 % im Jahr 2021. Deutschland bildet die europäische Spitze des Absatzmarktes für Industrieroboter und steht mit 23.777 neu installierten Industrierobotern im Jahr 2021 auf Platz fünf der weltweit am meisten installierten Industrieroboter 2021 hinter China (1), Japan (2), Amerika (3) und Korea (4). Dies entspricht einer Wachstumsrate von 6 % gegenüber dem Vorjahr und damit 5 % der im Jahr 2021 weltweit getätigten Roboterinstallationen (vgl. Bieller et al. 2022, S. 16). Werden diese Zahlen in Relation zu den Bevölkerungszahlen der jeweiligen Länder gesetzt, so wird deutlich, dass Deutschland im internationalen Vergleich eine hohe Roboterdichte aufweist. Die Relevanz der Industrierobotik als Wirtschaftsfaktor für Deutschland ist damit offensichtlich. Vorreiter beim Einsatz von Industrierobotern in der Industrie bilden hierzulande hochautomatisierte Industriezweige wie die Automobilindustrie, der Maschinenbau, die Gummi- und Kunststoffindustrie, die Elektronikindustrie sowie die Pharmaindustrie (vgl. Bieller et al. 2022, S. 27).

¹ Die Statistik ist aus dem Jahr 2022 und bezieht sich auf das Geschäftsjahr 2021. Eine aktuellere Statistik aus dem Jahre 2023 ist gegenwärtig noch nicht verfügbar.

1.2.2 Tätigkeits- und Berufsfelder im Zusammenhang mit der Industrierobotik

Die Betrachtung der genannten internationalen Zahlen und Entwicklungen erklärt, dass Industrieroboter alltäglicher Arbeitsgegenstand vieler Personen sind, vorrangig in den oben genannten Industrien. Um die Rolle der Industrierobotik in der beruflichen Bildung einzuordnen, besteht eine zielführende Möglichkeit darin, die Lebensphasen von Industrierobotersystemen und die hierin jeweils auszuführenden Tätigkeiten sowie die Berufe zu betrachten, die für die Erledigung dieser Tätigkeiten zuständig sind (vgl. Schlausch 2017).

Von Industrierobotersystemen wird in diesem Zusammenhang gesprochen, da es sich bei Industrierobotern um unvollständige Maschinen im Sinne der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG handelt und Roboter nur in Kombination mit einem Aktor (Endeffektor), einer Applikation und dem zu handhabenden Werkstück eine Maschine im Sinne der Maschinenrichtlinie bilden. Industrieroboter werden demnach als ganzes System, als Robotersystem, in Betrieben installiert.

Schlausch (2017) differenziert sieben Lebensphasen eines Robotersystems und ordnet ihnen jeweils spezifische Tätigkeiten der Facharbeit zu.

1. **Forschung und Entwicklung, Konstruktion und Arbeitsvorbereitung:** Entwicklung, Planung und Design der Roboterapplikation sowie die Vorbereitung der Produktion
2. **Herstellung:** Fertigung und Montage des Robotersystems
3. **Anpassung:** Spezifische Aufgabe der Roboterapplikation einrichten (programmieren)
4. **Roboterintegration:** Inbetriebnahme und Testen des Robotersystems sowie die Optimierung für den Serienlauf
5. **Produktion:** Betrieb und Bedienung des Robotersystems
6. **Instandhaltung:** Reparaturen, Wartungen und Störungsbeseitigungen am Robotersystem
7. **Modernisierung oder Rückbau:** Demontage und Überholung des Robotersystems oder die Entsorgung/das Recycling einzelner Komponenten des Systems

Bevor ein Industrieroboter eingesetzt wird, muss der Bedarf festgestellt und dann ein adäquates Industrierobotersystem entwickelt und konstruiert werden. Hierbei bestehen Entwicklungs-, Planungs- und Konstruktionsaufgaben sowie Aufgaben in der Arbeitsvorbereitung, die von Ingenieurinnen und Ingenieuren in Zusammenarbeit mit Produktionstechnologinnen und Produktionstechnologen ausgeführt werden.

Sind die vorbereitenden Tätigkeiten abgeschlossen, wird das Robotersystem hergestellt. Es muss gefertigt und montiert werden. Ebenfalls wird die spezifische Aufgabe der Roboterapplikation eingerichtet. Ist das Robotersystem montiert und eingerichtet, schließt die Phase der Roboterintegration an, in der die Inbetriebnahme erfolgt und Testläufe des Systems durchgeführt sowie Optimierungen für den Serienanlauf vorgenommen werden. All diese Tätigkeiten erfordern Kenntnisse über die Metall- und Elektrotechnik sowie teilweise über die Informationstechnik. In Betrieben arbeiten hierfür vorwiegend Industriemechanikerinnen und Industriemechaniker, Mechatronikerinnen und Mechatroniker und Elektronikerinnen und Elektroniker für Automatisierungstechnik zusammen. In den Phasen der Anpassung und der Roboterintegration werden je nach Komplexität des Robotersystems und des Ablaufprogramms bei Bedarf ebenfalls Fachinformatikerinnen und Fachinformatiker für Systemintegration involviert.

Nach der Integration des Roboters in sein Robotersystem und der Programmierung des Ablaufprogramms, führt der Roboter vollautomatisiert oder teilautomatisiert, so wie es im kollaborativen Betrieb der Fall ist, seine Tätigkeit aus. Der Betrieb und die Bedienung werden in dieser Phase vorwiegend durch angelegerte Produktionsmitarbeiterinnen und Produktionsmitarbeiter oder beispielsweise durch Anlagenführerinnen und Anlagenführer, Industriemechanikerinnen und Industriemechaniker oder Konstruktionsmechanikerinnen und Konstruktionsmechaniker übernommen.

Die Phase der Produktion wird in geregelten Intervallen oder bei Störungen und Defekten immer wieder von Instandhaltungsphasen unterbrochen. In diesen müssen Wartungsarbeiten sowie Störungsbeseitigungen und Reparaturen durchgeführt werden. Diese Tätigkeiten werden abhängig von der Art der Wartung, Störung oder Reparatur durch Industriemechanikerinnen und Industriemechaniker, Mechatronikerinnen und Mechatroniker und Elektronikerinnen und Elektroniker für Automatisierungstechnik oder in Kombination durchgeführt.

Während der Lebenszeit des Robotersystems kann es zu Modernisierungsarbeiten kommen, bei denen es zu Überholungen des Systems oder Änderungen des Produktionsablaufs kommt. Diese Tätigkeiten werden ebenfalls von den drei aufgeführten Fachkräften übernommen. Diese Fachkräfte führen in der Regel auch die Demontage sowie das Recycling und die Entsorgung von Komponenten des Robotersystems nach dem Ablauf der Lebenszeit des Systems durch (vgl. Schlausch 2017, S. 5f.).

Bisher wurden in dieser Beschreibung die gängigsten Ausbildungsberufe genannt, die im Umgang mit den Industrierobotersystemen in der jeweiligen Lebensphase zusammenarbeiten. Je nach Einsatzgebiet können noch weitere Berufsfelder in den verschiedenen Lebensphasen an Robotersystemen tätig sein.

1.2.3 Robotik und ihre Rolle in den Rahmenrichtlinien verschiedener Ausbildungsberufe

Die Ausbildungsberufe der Mechatronikerinnen und Mechatroniker, der Industriemechanikerinnen und Industriemechaniker und der Elektronikerinnen und Elektroniker für Automatisierungstechnik weisen derzeit den wohl größten Bezug zur Industrierobotik auf. Daneben müssen noch die Produktionstechnologinnen und Produktionstechnologen für die Entwicklung, Konstruktion und Arbeitsvorbereitung ein Fachwissen rund um die Industrierobotik nachweisen. In den Phasen der Anpassung und der Roboterintegration können für die Erstellung komplexer Ablaufprogramme oder übergeordnete Steuerungsprogramme ebenfalls Fachinformatikerinnen und Fachinformatiker für Systemintegration herangezogen werden, diese benötigen jedoch kein umfangreiches Fachwissen im Themenfeld der Robotik.

Eine Analyse der Rahmenrichtlinien der Ausbildungsberufe für Mechatronikerinnen und Mechatroniker, Industriemechanikerinnen und Industriemechaniker, Produktionstechnologinnen und Produktionstechnologen und Elektronikerinnen und Elektroniker für Automatisierungstechnik zeigt, dass der Begriff Industrieroboter bisher in den Rahmenrichtlinien von keinem der genannten Ausbildungsberufe auftaucht¹. Es finden sich eher weitläufig interpretierbare Begriffe der Automatisierungs- und Handhabungstechnik, in denen die beruflichen Handlungskompetenzen gefördert werden sollen. Diese Offenheit der Begrifflichkeiten und Formulierungen soll Schulen eine Anpassungsfähigkeit an die regional eingesetzten Technologien ermöglichen. Unter dem in den Lernfeldern viel benutzten Begriff der Handhabungsautomaten können also verschiedene technische Systeme verstanden und in der Schule behandelt werden. Hierbei können sich die Schulen an die regionalen Gegebenheiten richten. Werden in den Firmen der Umgebung der Schule hauptsächlich Industrieroboter in der Handhabung oder anderen Anwendungsfeldern verwendet, so können Industrieroboter Bestandteil des Unterrichts der Lernfelder sein, in denen der Begriff Handhabungsautomaten auftaucht. Werden für diese Tätigkeit regional jedoch eher andere Handhabungsautomaten wie bspw. Vibrationswendelförderer eingesetzt, können diese wiederum Bestandteil des Unterrichts sein. Die begriffliche Offenheit ermöglicht einerseits die Offenheit bei der Behandlung ausgewählter Themen in der Schule, andererseits kann sie jedoch bei der Integration eines ausgewählten Inhalts in den Unterricht auf den ersten Blick als Störfaktor wirken, weil keine explizit passenden Begrifflichkeiten und Formulierungen auftauchen.

In der curricularen Analyse der Rahmenrichtlinien der Ausbildungsberufe für Mechatronikerinnen und Mechatroniker, Industriemechanikerinnen und Industriemechaniker, Produktionstechnologinnen und Produktionstechnologen und Elektronikerinnen und Elektroniker für Automatisierungstechnik sowie des beruflichen Gymnasium Technik, der Grundstufen und der Berufsfachschulen der Fachrichtungen Metall, Mechatronik und Elektronik wurden die entsprechenden Rahmenrichtlinien hinsichtlich der Integration von Inhalten der Robotik in die Lernfelder und Lerngebiete analysiert. Die Analyse zeigt, dass sich Inhalte der Robotik aus fünf Fachperspektiven heraus in den bestehenden Rahmenrichtlinien zuordnen lassen.

Eine erste Möglichkeit der Integration von Inhalten der Robotik in die Lernfelder ergibt sich durch eine Näherung über **steuerungstechnische Inhalte**. Das *Analysieren, Programmieren und Parametrieren steuerungstechnischer Systeme*, die *Integration analoger, digitaler und intelligenter Sensoren und Aktoren* sowie die *Verarbeitung von Signalen peripherer Geräte und Sensoren* stellen hier oft genannte Inhalte in den Rahmenrichtlinien dar.

Der Industrieroboter lässt sich als steuerungstechnisches System erfassen, welches sich analysieren, programmieren und parametrisieren lässt. Der wichtigste Bestandteil eines Roboters ist der Aktor (Endeffektor). Ohne ihn wäre der Roboter nur eine Aneinanderreihung von Gelenken. Die Verarbeitung vom Endeffektor ausgehender Signale ist also ein Kernbestandteil der Roboterprogrammierung. Ebenso wie die Verarbeitung von Signalen, die von Sensoren und Peripheriegeräten ausgehen, denn diese ermöglichen erst die Kommunikation mit anderen (Teil-)Systemen. Die Näherungsweise durch steuerungstechnische Inhalte bietet vor allem eine Einsicht in die Programmierstruktur sowie den steuerungstechnischen Aufbau von Robotersystemen.

Einen zweiten fachlichen Zugang liefern **fertigungstechnische Inhalte**. In der Industrie ergänzen Industrieroboter zumeist Fertigungsanlagen oder stellen Teilsysteme ganzer Fertigungsstraßen dar. Sie können jedoch auch selbst ein Fertigungssystem bilden. Bei der Näherung durch diese Perspektive finden sich entsprechende Inhalte in der *Strukturierung und Programmierung technischer Abläufe, bei der Integration von Teilsystemen in Ganzsysteme (Fertigungsanlagen, Robotersysteme)* sowie bei der *Optimierung von Fertigungs-, Montage- und Handhabungssystemen*.

¹ Die Analyse der curricularen Vorgaben erfolgt auf der Grundlage der aktuell gültigen Rahmenlehrpläne der genannten Ausbildungsberufe, die auf der Homepage der Kultusministerkonferenz abrufbar sind (www.kmk.org).

Eine dritte Fachperspektive bietet die Suche über **wartungs- und instandhaltungstechnische Inhalte**. Robotersysteme, ihre Aktoren, ihre Sensoren und Peripheriegeräte, aber auch ihre Sicherheitsfunktionen unterliegen als technische (Teil-)Systeme bestimmten Wartungs- und Instandhaltungsintervallen, die durchgeführt werden müssen, um die Funktionsfähigkeit des Systems sowie dessen Sicherheit zu gewährleisten. Instandhaltung und Wartung sind in den Rahmenrichtlinien der Ausbildungsberufe, für die die Robotik in Frage kommt, fast durchgängig Bestandteil der Ausbildung. Robotersysteme oder deren Komponenten können hier durchgängig integriert werden.

Eine vierte Perspektive für die Integration von Inhalten der Robotik bieten **sicherheitstechnische Inhalte**. Robotersysteme unterliegen je nach Tätigkeitsbereich vielfältigen und vielschichtigen Sicherheitsvorgaben. Besonders die kollaborierende Robotik bietet mit ihren Zusatzfunktionen der Kraft- und Leistungsbegrenzung, der Handführung, dem sicherheitsbewerteten überwachten Halt und der Geschwindigkeits- und Anstandsüberwachung ein breites Feld an zusätzlichen Sicherheitseinstellungen zu den sonstigen, wie Sicherheitszäune, Trittmatten usw. Hierfür werden in den curricularen Vorgaben Inhalte wie das *Prüfen, Justieren und Einstellen von Sicherheitseinrichtungen, die Beachtung der Betriebssicherheit und des Gesundheits- und Arbeitsschutzes* sowie das *Messen und Prüfen sicherheitsrelevanter Funktionen* aufgeführt.

Eine letzte durchaus interessante Interpretationsweise liegt in der Anpassung eines Robotersystems an **konstruktive Erweiterungen**. Hierbei werden besonders handhabungstechnische Aspekte zum Lerninhalt behandelt. Ausgehend von einer Problemstellung sollen Komponenten eines Robotersystems erstellt werden, die an den Prozess angepasst und optimiert sind. Bei dieser Betrachtungsweise stehen nicht die Programmierung und die Steuerungstechnik im Fokus, sondern der Prozessablauf, die Problemstellung und das Konstruieren von Komponenten. Dies ermöglicht eine Integration von Robotikinhalten bereits in den ersten Lernfeldern der metalltechnischen Ausbildungsberufe. Inhalte wie die *Erstellung von Teil- oder Ganzzeichnungen und deren zugehörigen Arbeitspläne ausgehend von Problemstellungen, die Auswahl von passenden Werkstoffen unter Berücksichtigung ihrer spezifischen Eigenschaften* sowie die Erstellung und Konstruktion ganzer Baugruppen kommen somit in Betracht.

Es bleibt festzustellen, dass Robotersysteme aus verschiedenen Fachperspektiven in den berufsbildenden Unterricht eingebunden werden können und dass ein vielfältiges Spektrum an verschiedenen metalltechnischen, elektrotechnischen, mechatronischen und informationstechnischen Kenntnissen durch Robotersysteme vermittelt werden können.

1.2.4 Der kollaborative Industrieroboter als Lernmedium in der beruflichen Bildung

Kollaborative Industrieroboter haben eine besondere Eignung als Lernmedium in der beruflichen Bildung. In erster Linie wurden kollaborative Industrieroboter für das Projekt Robonatives vorgesehen, da diese die Zusammenarbeit mit Robotern für Schülerinnen und Schüler zugänglicher machen. Konventioneller Robotikunterricht in der Berufsschule findet aufgrund der Sicherheitsvorgaben und zum Schutz der Schülerinnen und Schüler mit eingehausten Industrierobotern statt. Bei kollaborativen Industrierobotern ist eine Einzäunung des Robotersystems nicht zwingend notwendig. Dadurch wird ermöglicht, dass Schülerinnen und Schüler in direktem Kontakt mit den Robotern arbeiten können. Bevor die kollaborativen Industrieroboter jedoch für den Einsatz im Unterricht genutzt werden können, müssen die Sicherheitsparameter des Systems soweit angepasst werden, dass keine Gefahren beim Betrieb des Roboters für die Schülerinnen und Schüler entstehen kann. Ebenfalls muss das gesamte Robotersystem den Anforderungen für den kollaborativen Betrieb entsprechen. Diese sind in den Normen DIN EN ISO 10218 Teil 1 und 2 festgehalten. Für den Einsatz kollaborativer Industrieroboter als Lernmedium in der Schule ist es ebenfalls empfehlenswert, dass eine Mensch-Roboter-Kollaborationsmessung nach DIN ISO/TS 15066 durchgeführt wurde. Zwingend notwendig ist, dass aus dem Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung für die jeweilige Schülerschaft der unbedenkliche Umgang mit den Robotersystemen hervorgeht. Zu keinem Zeitpunkt darf eine Gefahr vom Robotersystem ausgehen. Kann dies nicht gewährleistet werden, sind zusätzliche Schutzmaßnahmen zu treffen, um einen sicheren Umgang mit dem kollaborativen Industrieroboter zu gewährleisten.

Gelingt die sichere Umsetzung des kollaborativen Robotersystems für den kollaborativen Einsatz mit Schülerinnen und Schülern, bietet das System den Vorteil, dass die Schülerinnen und Schüler den Roboterprozess nahbar erfahren können. Dies kann Hemmungen und Ängste vor dieser Art von Technologie mindern und somit das Erreichen der Bildungsziele stützen. Einen der wichtigsten Faktoren für die Integration von kollaborativen Industrierobotern stellt die Sicherheitstechnik dar. Beim konventionellen Industrieroboter ist die Sicherheitstechnik ein Gebiet, welches nur von ausgewählten Berufsbildern im Detail behandelt werden muss. Für die anderen Berufsbilder reichen hierfür grundlegende Informationen. Bei der kollaborativen Robotik verhält sich dies anders. Das Aushängeschild dieser Art von Industrieroboter ist die Sicherheit in der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter. Die Sicherheit des Systems wird zu einem zentralen Lernaspekt für alle Schülerinnen und Schüler, die an diesen Systemen arbeiten. Ebenfalls bieten kollaborative Industrieroboter ganz neue Anwendungsfelder für den Unterricht und decken aktuelle, zukunftsweisende gesellschaftliche und ethische Sichtweisen auf die Robotertechnologie auf. Roboter sind nicht mehr nur eigenständig arbeitende Systeme, die aufgrund ihrer ausgehenden Gefahr für den Menschen abgeschirmt von diesem existieren, sie dürfen vielmehr mit dem Menschen zusammen Hand in Hand arbeiten, wobei sie den Menschen bei seiner Arbeit unterstützen und entlasten. Dies macht den Roboter zu einem idealen Lernmedium für die berufsbildende Schule.

1.2.5 Curriculare Analyse relevanter Ausbildungsberufe sowie vollzeitschulischer Bildungsgänge

Diese nachfolgende curriculare Analyse behandelt mit den Ausbildungsberufen für Industriemechanikerinnen und Industriemechaniker, Mechatronikerinnen und Mechatroniker, Produktionstechnologinnen und Produktionstechnologen und Elektronikerinnen und Elektroniker für Automatisierungstechnik nur eine kleine Auswahl an Ausbildungsberufen, für die die Industrierobotik als Unterrichtsthema in Betracht kommt. Ausgewählt wurden diese Berufe, da bei ihnen spezifische Tätigkeits- und Berufsfelder im Zusammenhang mit der Industrierobotik besonders hervortreten. Überdies bietet diese Konstellation der Ausbildungsberufe den Vorteil, dass jeweils Rahmenrichtlinien eines Berufes der Fachrichtungen Metalltechnik, Elektrotechnik und Mechatronik analysiert werden. Die genannten Formulierungen lassen sich jedoch auf andere ähnliche curriculare Inhalte übertragen. Auch wurden nur Lernfelder betrachtet, bei denen die der gegebenen Zielformulierung und Inhalte so zutreffend auf die Robotik ausgelegt sind, dass diese für die Gestaltung umfangreicher Lernsituationen ausreichen. Die Robotik kann also auch in anderen Lernfeldern als den in der nachfolgenden Tabelle genannten, für kleinere Inputs eingesetzt werden.

Neben den Rahmenrichtlinien für die genannten Ausbildungsberufe wurden die curricularen Vorgaben verschiedener vollzeitschulischer Bildungsgänge der jeweiligen Fachrichtungen analysiert. Die Zielformulierungen und Inhalte der Berufsfachschule Metalltechnik überschneiden sich mit den nachfolgend angeführten Inhalten zu den Lernfeldern 1 – 4 der metalltechnischen Berufe. Alle Zielformulierungen und Inhalte der Grundstufe und Berufsfachschule Elektrotechnik sowie Mechatronik sind stark auf einfache elektronische Systeme ausgerichtet und weniger auf komplexe Systeme wie die eines Roboters. Eine Behandlung der Thematik bietet sich daher erst in den höheren Lernfeldern an.

Des Weiteren wurden die Lehrpläne für das Berufliche Gymnasium Technik mit seinen Fachrichtungen Bautechnik, Metalltechnik, Informationstechnik, Mechatronik, Elektrotechnik und Gestaltungs- und Medientechnik analysiert. Für die Fachrichtungen Bautechnik sowie Gestaltungs- und Medientechnik wurden keine speziellen Bezüge zur Robotik festgestellt. Für die Fachrichtung Informationstechnik fokussieren die Richtlinien eher auf andere Inhalte, vergleichbar mit der genannten Grundstufe bzw. Berufsfachschule Elektrotechnik und Mechatronik.

Die Rahmenrichtlinien für die Fachschule Technik wurden hier nicht im Detail analysiert, da die Angaben in den Rahmenrichtlinien technologieoffen formuliert sind und bezüglich der Technologien die ganze Bandbreite von der Montage über die Einrichtung und Wartung bis hin zur Demontage und Entsorgung abdecken. Damit sind alle aufgeführten Optionen zur Integration von Robotersystemen möglich.

In folgender Tabelle sind der Übersichtlichkeit halber die in dieser Analyse betrachteten Ausbildungsberufe und Schulformen mit den Lernfeldern verzeichnet, die für die Thematisierung der Robotik besonders in Frage kommen. Lernfelder, die für die Thematisierung der Robotik angedacht sind, sind mit einem X gekennzeichnet. Lernfelder, die nicht oder nur in geringem Maße für die Thematisierung der Robotik in Betracht kommen, sind nicht markiert.

| Ausbildungsberuf und Lernfeld | Industriemechanikerinnen und Industriemechaniker | Mechatronikerinnen und Mechatroniker | Produktionstechnologinnen und Produktionstechnologen | Elektronikerinnen und Elektroniker für Automatisierungstechnik | Berufliches Gymnasium Technik | BG Metalltechnik | BG Elektrotechnik | BG Mechatronik | BG Informationstechnik |
|-------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|----------------|------------------------|
| LF1 | | | | | Qualifikationsphase | | | | |
| LF2 | X | | | | SP1 | X | | | X |
| LF3 | X | | | | SP2 | | X | X | |
| LF4 | | | | | SP3 _(WP) | | | | |
| LF5 | | | | | SP4 _(WP) | | | X | |
| LF6 | X | X | | X | SP5 _(WP) | | | | |
| LF7 | | X | | X | SP6 | | | | |
| LF8 | | X | X | | | | | | |
| LF9 | X | | X | | | | | | |
| LF10 | | X | X | X | | | | | |
| LF11 | | | | X | | | | | |
| LF12 | X | X | X | X | | | | | |
| LF13 | X | X | | X | | | | | |
| LF14 | | | | | | | | | |
| LF15 | X | | | | | | | | |

Tabelle 2: Lernfelder ausgesuchter Ausbildungsberufe, in denen Robotik thematisiert werden kann

Lernfelder 1-4 Metalltechnik

Die Lernfelder 1 – 4 der metalltechnischen Berufe sind als einheitliche metalltechnische Grundstufe inhaltsgleich formuliert. Der Industrieroboter kann insbesondere in den Lernfeldern 2 und 3 als Lernobjekt verwendet werden. Ermöglicht wird die Betrachtung von Prozessen, die vom Industrieroboter ausgeführt werden sollen. Hierfür soll die Applikation durch die Auszubildenden entwickelt und konstruiert werden. Der Fokus liegt hierbei auf handhabungstechnischen Prozessen sowie auf der kreativen Gestaltung von technischen (Teil-)Systemen auf der Basis technischer Problemstellungen. So bieten sich die folgenden Lernfelder wie beschrieben an.

Lernfeld 2: Fertigen von Bauelementen mit Maschinen

Lernfeld 2 stellt ein Lernfeld dar, bei dem sich eine Problemstellung eines robotertechnischen Prozesses anbietet, welche sich durch konstruktive Gestaltung an Applikation oder Endeffektor lösen lässt. Die Schülerinnen und Schüler können ausgehend von der Problemstellung eigenständig „Teilzeichnungen und die dazugehörigen Arbeitspläne, auch mit Hilfe von Anwendungsprogrammen zum rechnerunterstützten Zeichnen“, erstellen und ändern. Sie können „Werkstoffe unter Berücksichtigung ihrer spezifischen Eigenschaften [auswählen] und [...] sie produktbezogen“ der Applikation oder dem Endeffektor zuordnen. Anschließend können die Produkte hergestellt und ausprobiert werden sowie hinsichtlich alternativer Möglichkeiten und Fertigungsverfahren bewertet werden. Arbeits- und Umweltschutz verstehen sich in diesem Lernfeld als zentraler Vermittlungsbestandteil und sollten jederzeit betrachtet werden. Die Schülerinnen und Schüler würden frühzeitig mit Robotersystemen in Kontakt kommen, ohne sie selbst zu programmieren. Jedoch würden sie sich im Kontext der Problemstellung bereits mit dem Bewegungsverhalten sowie den handhabungstechnischen Aspekten von Robotersystemen auseinandersetzen.

Handhabungsspezifische Inhalte wie Ordnungszustände, Positionierungs- und Orientierungsgenauigkeiten usw. können mit fertigungstechnischen Inhalten wie „ISO-Toleranzen“, „Oberflächenangaben“, „Messfehler“ usw. verknüpft werden. Die Auswirkungen der fertigungstechnischen Inhalte auf die handhabungstechnischen Inhalte können durch den Einsatz von Industrierobotersystemen erfahrbar gemacht werden.

Lernfeld 3: Herstellen von einfachen Baugruppen

Das Lernfeld 3 bietet sich als Weiterführung der in Lernfeld 2 erarbeiteten Inhalte an. Die dort beschriebenen Inhalte beziehen sich nun jedoch nicht mehr nur auf ein Bauelement, sondern auf eine Baugruppe, was die Auswahl an Problemstellungen hinsichtlich Applikations- und Endeffektorgestaltung erweitert. Eine Weiterführung der Kopplung handhabungstechnischer Inhalte mit konstruktiven Inhalten ist denkbar. Beispielsweise wären Werkstückmerkmale des zu handhabenden Objektes (Werkstück) kombinierbar mit dem fertigungstechnischen Inhalt des „kraft-, form- und stoffschlüssigen Fügens“.

Lernfeld 4: Warten technischer Systeme

Die Schülerinnen und Schüler bereiten die Wartung von technischen Systemen insbesondere von Betriebsmitteln vor und ermitteln Einflüsse auf deren Betriebsbereitschaft. Dabei bewerten sie die Bedeutung dieser Instandhaltungsmaßnahme unter den Gesichtspunkten Sicherheit, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit.

Sie lesen Anordnungspläne, Wartungspläne und Anleitungen, auch in englischer Sprache. Die Schülerinnen und Schüler nutzen digitale Informationsquellen.

Sie planen Wartungsarbeiten und bestimmen die notwendigen Werkzeuge und Hilfsstoffe. Sie wenden die Grundlagen der Elektrotechnik und der Steuerungstechnik an und erklären einfache Schaltpläne in den verschiedenen Gerätetechniken.

Inhalte: Grundbegriffe der Instandhaltung; Wartungspläne; Anordnungspläne; Betriebsanleitungen; Betriebsorganisation; Verschleißursachen, Störungsursachen; Funktionsprüfung; Instandhaltungs- und Ausfallkosten, Störungsfolgen; Schadensanalyse; Größen im elektrischen Stromkreis, Ohmsches Gesetz; Gefahren des elektrischen Stroms, elektrische Sicherheit; Normen und Verordnungen

Industrieroboter müssen wie jedes andere technische System in regelmäßigen Abständen gewartet werden. Besonders die Schutzeinrichtungen und sicherheitstechnischen Funktionen sind zu pflegen. Aufgrund der Komplexität von Industrierobotersystemen und der erforderlichen Sicherheitstechnik wird hier jedoch empfohlen, die Wartung von Industrierobotersystemen erst in den höheren Lernfeldern zu behandeln. Viele der metalltechnischen Ausbildungsberufe weisen hierfür beispielsweise das Lernfeld der Instandhaltung auf.

Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Industriemechaniker/Industriemechanikerin (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 25.03.2004 in der Fassung vom 23.02.2018)

Lernfeld 6: Installieren und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme

Die Schülerinnen und Schüler installieren steuerungstechnische Systeme und nehmen sie in Betrieb.

Inhalte: Sensoren und Aktoren; Betriebsarten; Anlagensicherheit¹

Das Robotersystem findet hier Anwendung, in dem an ihm als Lernträger verschiedene Aktoren (Endeffektoren) und/oder Sensoren (fotoelektrische Sensoren, Kamerasysteme) installiert, angesteuert und getestet werden können. Hierbei handelt es sich um steuerungstechnische Systeme, die für den Handhabungsprozess relevant sind. Robotersysteme bieten für die Anbindung an diese Komponenten verschiedene Schnittstellen wie z. B. MODBUS oder I/O's.

Ebenfalls kann ein Robotersystem die geforderten Inhalte Betriebsarten und Anlagensicherheit abbilden. So kommt beispielsweise mit den kollaborativen Industrierobotern eine besondere Betriebsart hinzu, bei der Mensch und Roboter zusammenarbeiten dürfen, und ebenfalls bedienen Industrieroboter gängige Betriebsarten.

Bezüglich der Anlagensicherheit unterliegen Robotersysteme, wie alle Maschinen, gängigen europäischen Sicherheitsrichtlinien und sie können somit als Lernmedium dienen. Interessant wäre in diesem Zusammenhang die Vielfalt der verschiedenen Stufen der Zusammenarbeit, vom Roboter in einer Zelle über die sequenzielle Zusammenarbeit bis hin zur responsiven Zusammenarbeit, bei der Mensch und Roboter in Echtzeit zusammen an einem Werkstück arbeiten. Es gibt 5 Stufen der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter und jede dieser Stufen bedingt unterschiedliche sicherheitsrelevante Betrachtungsweisen. Bei der ersten wird die Sicherheitsbetrachtung vollständig auf die Abschottung des Robotersystems gesetzt, während bei der letzten die interne Sensorik so fein justierbar ist, dass Mensch und Roboter Hand in Hand arbeiten können und hierbei jederzeit die Sicherheit der Person gewährleistet ist.

Lernfeld 9: Instandsetzen von technischen Systemen

Die Schülerinnen und Schüler setzen technische Systeme instand. Sie planen Instandsetzungsmaßnahmen. Sie planen Instandsetzungsmaßnahmen für technische Systeme unter Berücksichtigung betrieblicher und wirtschaftlicher Forderungen. Dazu beschaffen sie die notwendigen technischen Informationen.

Die Schülerinnen und Schüler demontieren Teilsysteme in Baugruppen und Bauelemente unter Berücksichtigung der jeweiligen Schnittstellen und wählen die erforderlichen Werkzeuge und Hilfsmittel aus.

Die Schülerinnen und Schüler prüfen die Funktion und bereiten die Abnahme vor.

Sie planen die fachgerechte Entsorgung der defekten Teile und der verbrauchten Hilfsstoffe.

Sie wenden die Bestimmungen zur Arbeitssicherheit und zum Umweltschutz an.

Inhalte: Gesamtzeichnungen; Schaltpläne; zustand- und ausfallbedingte Instandsetzung; Verschleiß; Fehleranalyse; Demontage-/Montagepläne

Robotersysteme sind komplexe Handhabungssysteme, die aus verschiedenen Teilsystemen bestehen. Der Industrieroboter selbst stellt im Sinne der Maschinenrichtlinie eine unvollständige Maschine dar (vgl. DGUV 2015, S. 23). Erst in Kombination mit anderen (Teil-)Komponenten bilden sie eine vollständige Maschine im Sinne der Maschinenrichtlinie. Zu diesen (Teil-)Komponenten gehören u.a. Endeffektoren, externe Sicherheitseinrichtungen. Die (Teil-)Systeme sind eng an den Handhabungsprozess gebunden und können/müssen je nach Aufgabe ausgetauscht oder durch andere Komponenten ersetzt werden. Es gibt also viele (Teil-)Systeme, die in Betrieb genommen werden müssen, bzw. verschiedene Lebenserwartungen aufweisen und ersetzt bzw. wieder instandgesetzt werden müssen. Die oben aufgeführten Inhalte können also an Robotersystemen behandelt werden. Ebenfalls kann anhand von Robotersystemen der Sachverhalt unvollständiger Maschinen erläutert werden.

¹ Eingerückte Textpassagen sind direkt übernommene Textpassagen aus den im jeweiligen Kapitel oben genannten Rahmenlehrplänen für die Ausbildungsberufe.

Lernfeld 12: Instandhalten von technischen Systemen

Das Robotersystem als technisches System kann hier Betrachtung finden. Roboter besitzen wie andere technische Systeme gewisse Wartungsintervalle, die es zu thematisieren gilt. Bei kollaborierenden Robotersystemen wird empfohlen, die MRK-Messung aufgrund von Verschleiß in bestimmten zeitlichen Intervallen zu wiederholen. Hierdurch wird ein direkter Zusammenhang zwischen Arbeitssicherheit und Instandhaltung deutlich.

Lernfeld 13: Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme

Robotersysteme sind zumeist in Fertigungsstraßen eingebunden und/oder bilden ein Teilsystem eines übergeordneten Systems. Ein Ausfall des Systems hätte also einen Ausfall der ganzen Fertigungsstraße oder des übergeordneten Prozesses zur Folge. Ein Stillstand kann demnach zu hohen ökonomischen Problemen führen. Die Sicherstellung der Betriebsfähigkeit des Systems ist folglich elementar für die Sicherstellung der Betriebsfähigkeit übergeordneter Systeme. Die Zielformulierungen und Inhalte des Lernfeldes 13 lassen sich demnach in Gänze auf Industrieroboter übertragen.

Lernfeld 15: Optimieren von technischen Systemen

Robotersysteme können als Optimierungsmaßnahme für technische Systeme verwendet werden. Alternativ kann das Robotersystem selbst optimiert werden. So werden Robotersysteme beispielsweise als Optimierung für den Aus- und Einspannprozess an CNC-Drehbänken oder Fräsen verwendet, um die Taktzeit zu erhöhen oder einen kontinuierlichen Materialfluss zu generieren. Auch können manche Prozesse durch Robotersysteme erst abgebildet werden, da diese für den Menschen zu gefährlich wären (bspw. Handhabung giftiger Stoffe). Auch das Robotersystem selbst kann als optimierungsbedürftiges System betrachtet werden. Die Inhalte des Lernfeld 15 sind also ebenfalls vollständig auf Industrieroboter übertragbar.

Mechatroniker(in)

Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Mechatroniker/Mechatronikerin (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 30.01.1998 in der Fassung vom 23.02.2018)

Lernfeld 6: Planen und Organisieren von Arbeitsabläufen

Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die betrieblichen Organisationsstrukturen und organisieren die Teamarbeit auch interdisziplinär und nach funktionalen, fertigungstechnischen und ökonomischen Kriterien.

Inhalte: Analyse von Arbeitsabläufen; Ergonomie und vorbeugender Unfallschutz; Darstellungsverfahren von Arbeitsabläufen; Wirtschaftlichkeit, Organisations- und Produktionsabläufe.

Die Betrachtung von Arbeitsabläufen auf ihre Eigenschaften hin kann durch die Implementierung der Untersuchung von Möglichkeiten des Einsatzes kollaborativer Roboter erweitert werden. Das Lernfeld erfasst von technischen und ökonomischen Parametern auch Gesichtspunkte des Gesundheits- und Arbeitsschutzes. Diese - genutzt als Ausgangspunkt für die Untersuchung von Vor- und Nachteilen des Ersetzens des bisherigen Fertigungsprozesses durch einen Roboter - vertiefen das Verständnis der Einsatzspektren und Grenzen der Robotik.

Lernfeld 7: Realisieren mechatronischer Teilsysteme

Sie kennen Möglichkeiten zur Realisierung von Linear- und Rotationsbewegungen mittels elektrischer, pneumatischer und hydraulischer Komponenten und wenden Kenntnisse über Steuerungen und Regelungen an, um Weg- und Bewegungsrichtung zu beeinflussen. Einfache Programmierverfahren werden beherrscht.

Inhalte: Wirkungsweise von Sensoren und Wandlern; Signalverhalten von Sensoren und Wandlern; Programmierung von einfachen Bewegungsabläufen und Steuerungsfunktionen; Prozessdaten auslesen, verarbeiten und interpretieren.

Das Lernfeld kann genutzt werden, um die wichtigsten Grundlagen eines Roboters und eines mechatronischen Systems zu verdeutlichen. Die Robotik kann als Ausgangspunkt für das Erlernen der verschiedenen Bewegungsarten und -richtungen dienen und darüber hinaus auch den zielgerichteten Einsatz von Sensorik im interdisziplinären Zusammenspiel von Roboter und mechatronischen System einführen. Durch einen überschaubar gestalteten Programmieraufwand können Schülerinnen und Schüler den Umgang mit einfachen Programmieraufgaben erlernen.

Lernfeld 8: Design und Erstellen mechatronischer Systeme

Sie bestimmen die technischen Parameter erforderlicher Schutzeinrichtungen und wählen diese aus.

Vorschriften des Arbeits- und Gesundheitsschutzes werden von ihnen beachtet.

Inhalte: Funktionsweise, Auswahl und Einstellung von Schutzeinrichtungen; Positionierungsvorgänge, Freiheitsgrade; Programmieren von Bewegungsabläufen und Steuerungsfunktionen.

Das Lernfeld setzt sich unter anderem mit den Vorschriften des Arbeits- und Gesundheitsschutzes auseinander und kann im Kontext des möglichen Einsatzes eines kollaborativen Roboters dazu genutzt werden, unterschiedliche rechtliche und technische Rahmenbedingungen eines solchen Einsatzes genauer zu untersuchen. Die Schülerinnen und Schüler analysieren Gefahrenquellen im Umgang mit der Robotik und bewerten diese kritisch. Sie analysieren die Sicherheitsparameter kollaborativer Industrieroboter und bewerten diese kritisch.

Lernfeld 10: Planen der Montage und Demontage

Die Schülerinnen und Schüler beherrschen die Planung und Vorbereitung der Montage und Demontage mechatronischer Systeme. Sie erklären den Ablauf der Arbeitsprozesse und können Arbeitsergebnisse beurteilen.

Sie beziehen bereits in der Vorbereitungsphase Aspekte des Gesundheits- und Arbeitsschutzes in ihre Überlegungen ein. Sie überprüfen Montagebedingungen am Aufstellungsort und berücksichtigen sie.

Inhalte: Betriebliche Montageunterlagen; Sicherheitsmaßnahmen und deren Prüfung; Prüfungen während der Montage.

Wie bei den Industriemechanikerinnen und Industriemechanikern im Lernfeld 9 werden hier Aspekte der Montage und Demontage behandelt, die auf den Industrieroboter übertragbar sind.

Der Aufstellungsort für Roboter spielt im Hinblick auf mögliche Gefahrenquellen für arbeitende Personen im Umfeld eine entscheidende Rolle. Dieser Aspekt muss im Planungs- und Entscheidungsprozess des Einsatzes Betrachtung finden. Mögliche Gefährdungsszenarien im Umfeld des Roboters müssen entweder durch Sperrzonen oder durch Anpassungen des kollaborativen Roboters im Vorfeld getroffen werden.

Lernfeld 11: Inbetriebnahme, Fehlersuche und Instandsetzung

Die Schülerinnen und Schüler stellen die Gesamtfunktion und die Teilfunktion eines Systems einschl. seiner Schutzeinrichtungen dar. Dazu entnehmen sie Informationen aus technischen Unterlagen.

Die Schülerinnen und Schüler erläutern die Verfahren zur Inbetriebnahme von mechatronischen Systemen und legen die Vorgehensweise für die Inbetriebnahme eines Gesamtsystems fest.

Sie nutzen die Möglichkeiten von Diagnosesystemen und interpretieren Funktions- und Fehlerprotokolle. Die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen wird von ihnen überprüft.

Sie justieren Sensoren und Aktoren, überprüfen Systemparameter und stellen sie ein. Ergebnisse werden in Unterlagen dokumentiert. Sie grenzen Fehler systematisch ein beseitigen Störungen.

Inhalte: Blockschaltbilder; Wirkungs- und Funktionspläne von mechatronischen Systemen; Überprüfung und Einstellung von Sensoren und Aktoren; Systemparameter; BUS Parametrierung; Softwareanwendung; Elektrische und mechanische Schutzmaßnahmen, Schutzvorschriften; Prozessvisualisierung, Diagnosesysteme, Ferndiagnose; Qualitätssicherungsverfahren; Behebung von Programmfehlern; Einflüsse von mechatronischen Systemen auf ökonomische, ökologische und soziale Bedingungen.

Die Zielformulierungen und Inhalte des Lernfeld 11 der Mechatronikerinnen und Mechatronikern sind hinsichtlich der Inbetriebnahme und Instandsetzung identisch mit denen der Lernfelder 9 und 11 der Industriemechanikerinnen und Industriemechanikern. Die Fehlersuche betreffend, können die Kompetenzen der systematischen Fehleranalyse durch die Nähe von Robotersystemen zu mechatronischen Systemen und den damit einhergehenden Behebungen von Programmfehler durch den Einsatz eines Roboters erlernt werden. Das Überprüfen von Schutzmaßnahmen und -einrichtungen ist auch im Arbeitsfeld der Robotik elementar.

Lernfeld 13: Übergabe von mechatronischen Systemen an Kunden

Die Schülerinnen und Schüler bereiten Informationen über mechatronische Systeme textlich und grafisch auch in digitaler Form auf und präsentieren sie.
Sie planen die Einweisung von Betriebs- und Bedienungspersonal in die Anlage und führen diese durch.

Inhalt: Bedienungsanleitungen, Betriebsanleitungen

Besonders Robotersysteme benötigen aufgrund ihrer breitgestreuten Einsatzmöglichkeiten und ihrer oft für das anwendende Bedienungspersonal neuartigen Umgangseigenschaften eine klare und im Vorhinein verständlich strukturierte Einweisung. Das Lernfeld befasst sich mit den Überlegungen der Übergabe von mechatronischen Systemen an Kunden und bietet den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, sich über das eigene Verständnis hinaus mit den Kompetenzen zum adäquaten Umgang mit Robotersystemen auseinanderzusetzen. Aufgrund der Neuartigkeit des Einsatzes von Robotern in bestimmten Branchen ist die Betrachtung einer geeigneten Einweisung in das System von entscheidenderer Rolle im Kontext der Gefahrenvermeidung.

Produktionstechnolog(in)

Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Produktionstechnologe/Produktionstechnologin (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 15.02.2008)

Lernfeld 8: Auftragsanalyse und Projektmanagement

Die Schülerinnen und Schüler wenden die Methoden des Projektmanagements zur Gestaltung betrieblicher Prozesse an. Dazu analysieren sie betriebliche Aufträge zur Gestaltung von Fertigungs-, Montage-, Handhabungs- oder Logistikprozessen. Sie beschaffen die zur Abwicklung des Projektes erforderlichen Informationen, erfassen die Randbedingungen und erstellen ein Lastenheft.

Sie nutzen effiziente Verfahren und Methoden zur Planung von Projekten und wenden Projektplanungssoftware an. Sie entwickeln Lösungsalternativen und bewerten diese. Sie planen die Einführung der ausgewählten Lösung in die Produktion und erstellen die erforderlichen Dokumente.

Inhalte: Ablauforganisation; Prozessgliederungsplan

Die Schülerinnen und Schüler sollen in diesem Lernfeld die Methoden des Projektmanagements auf betriebliche Prozesse anwenden und hierfür unter anderem Handhabungsprozesse analysieren. Ferner sind für diese Prozesse Lösungsalternativen zu suchen. Bestandteil dieses Lernfeldes kann demnach der Vergleich zwischen manuellen Handhabungsprozessen und Handhabungsprozessen mit Industrierobotern sein. Bei den Vergleichstätigkeiten müssen sich die Schülerinnen und Schüler intensiv mit den handhabungstechnischen Aspekten auseinandersetzen.

Lernfeld 9: Einrichten von Handhabungs- und Materialflusssystemen

In Lernfeld 9 treffen alle Zielformulierungen sowie Inhalte auf Robotersysteme als Handhabungssysteme zu. Somit wird eine Vielzahl von Betrachtungsansätzen geboten.

Die Schülerinnen und Schüler können Robotersysteme als „Handhabungssysteme in flexible Fertigungsanlagen integrieren“ sowie „Technische Anforderungen für Robotersysteme und steuerungstechnische Systeme beschreiben“. Zusätzlich sollen die Schülerinnen und Schüler „die Signale der Peripheriegeräte und der Sensoren über Schnittstellen mit der Ablaufsteuerung“ verknüpfen. Sie sollen eigenständig Handhabungssysteme einrichten und die Funktion der Sicherheitseinrichtungen überprüfen. Weitere Punkte wären das Testen und Optimieren von Programmabläufen und eine Projektaufgabe.

Lernfeld 11: Simulieren von Produktionsprozessen

Auch in Lernfeld 11 der Produktionstechnologinnen und Produktionstechnologen treffen alle Zielformulierungen und Inhalte auf den Einsatz von Industrierobotern als Lernmedium zu.

In Lernfeld 11 sollen komplexe Aufgabenstellungen analysiert und Ziele sowie Vorgehensweisen für die Simulation von Gesamt- und Teilprozessen festgelegt werden. Hierbei sind „insbesondere Fertigungs-, Montage-, Handhabungs- und Logistiksysteme sowie Kombinationen dieser Systeme“ zu betrachten. Roboterprozesse können gerade bei komplexen Ablaufprogrammen, der Zusammenarbeit von Industrierobotern und anderen Maschinen oder der Zusammenarbeit mehrerer Industrieroboter in einer Zelle aufwendig und für die Programmiererinnen und Programmierer sehr anspruchsvoll werden. Eine Abhilfe schaffen hierbei Simulationsprogramme für Industrieroboter. Schülerinnen und Schüler können im Laufe dieses Lernfeldes an die Simulation solcher Prozesse herangeführt werden.

Lernfeld 12: Optimieren von Produktionsprozessen

Wie bereits in Lernfeld 9 und Lernfeld 11 treffen auch in Lernfeld 12 alle Zielformulierungen und Inhalte auf den Einsatz von Industrierobotern als Lernmedium in diesem Lernfeld zu.

In Lernfeld 12 gibt es zwei Betrachtungsweisen zum Einsatz von Industrierobotern als Lernmedium. Erstens können Industrieroboterprozesse selbst optimiert werden, beispielsweise durch Taktzeitminimierungen. Des Weiteren können Industrierobotersysteme als Optimierungsoption herangezogen werden, beispielsweise beim Austausch von manuellen Montageprozessen, aufgrund von ökonomischen oder ergonomischen Faktoren, gegen automatisierte mit dem Industrieroboter ausgeführte Montageprozesse. Der Einbezug von kollaborativen Industrierobotern bietet sich hier besonders an. Diese optimieren Handhabungs- und Fertigungsprozesse und werden zur Unterstützung von Maschinen- und Anlagenbedienerinnen und Anlagenbediener eingesetzt.

Elektroniker(in) für Automatisierungstechnik

Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker für Automatisierungstechnik/ Elektronikerin für Automatisierungstechnik (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.05.2003 in der Fassung vom 23.02.2018)

Lernfeld 6: Anlagen analysieren und deren Sicherheit prüfen

Die Schülerinnen und Schüler bereiten die Prüfung automatisierter Anlagen vor. Dazu analysieren sie Anlagen mit mechanischen, elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Komponenten unter Nutzung von Plänen und Dokumentationen auch in audiovisueller und virtueller Form.

Sie fassen die Anlagenkomponenten zu Funktionseinheiten zusammen, definieren Schnittstellen und stellen die Funktionsstruktur von Anlagen grafisch dar. Sie untersuchen arbeits-teilig Signal-, Energie- und Stoffflüsse von Funktionseinheiten sowie deren Komponenten und leiten daraus deren Funktion und deren Übertragungsverhalten ab.

Die Schülerinnen und Schüler führen Funktionsprüfungen, Sichtprüfungen und Messungen an einzelnen Komponenten und den Anlagen durch, speziell unter den Aspekten Betriebssicherheit und Personenschutz. Sie eignen sich die Handhabung der notwendigen Mess- und Prüfgeräte an und nutzen deren Betriebsanleitungen, auch in englischer Sprache. Sie dokumentieren und präsentieren die Ergebnisse der Prüfungen, erstellen und ändern Pläne auch mit digitalen Medien.

Inhalte: Sensoren, Aktoren; Schnittstellen; Betriebsarten; Redundanz und Diversität; Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen

Der kollaborative Roboter mit seinen vier Sicherheitsfunktionen (Handführung, Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung, sicherheitsgerichteter Stopp und die Kraft- Leistungsbegrenzung) kann hier als zu analysierendes Objekt dienen. Auch seine Funktionsweise kann von den Schülerinnen und Schülern untersucht werden. In diesem Zusammenhang können MRK-Messungen durchgeführt (falls das Equipment vorhanden ist), und/oder die Auswirkungen verschiedener Aktoren am Roboterarm auf deren sicherheitstechnischer Auswirkungen geprüft werden. Verschiedene Sensoren zur Verbesserung der Anwendersicherheit in ein bestehendes System lassen sich integrieren. Hierbei sollten immer die elektrotechnische Implementierung und die Funktionsweisen der verschiedenen Bauteile in den Fokus rücken.

Lernfeld 7: Steuerungen für Anlagen programmieren und realisieren

Die Schülerinnen und Schüler entwerfen und erstellen normenkonform Steuerungsprogramme auch mit bibliotheksfähigen Funktionen und Funktionsbausteinen. Sie testen und dokumentieren diese.

Die Schülerinnen und Schüler programmieren Verknüpfungssteuerungen, auch mit Zeit- und Zählfunktionen. Sie entwickeln, testen und dokumentieren lineare und verzweigte Ablaufsteuerungen mit unterschiedlichen Betriebsarten.

Die Schülerinnen und Schüler programmieren mehrachsige Bewegungsabläufe oder verfahrenstechnische Abläufe.

Inhalte: Digitale und analoge Signalverarbeitung; Strukturierte Programmierung; Programmiersprachen, auch grafische; Variablendeklaration, Instanziierung, symbolische Adressierung; Anlagensicherheit durch Hardware und Programmierung

Industrieroboter bieten sich hier als programmierbares Objekt an. Sie verfügen zum Teil über bibliotheksfähige Funktionen und Funktionsbausteine. Durch digitale und analoge Signalverarbeitung gibt es Verknüpfungsmöglichkeiten mit anderen Systemen. An ihnen können Variablendeklarationen und Instanziierungen eingeübt und mit realen Produktionsabläufen verknüpft werden. Den Kernbereich von Industrierobotern bilden mehrachsige Bewegungsabläufe, so dass auch hier eine Abbildung möglich ist.

Lernfeld 10: Automatisierungssystem in Betrieb nehmen und übergeben

Die Schülerinnen und Schüler prüfen, justieren und stellen Sicherheitseinrichtungen ein. Sie beachten dabei die Betriebssicherheit sowie die Vorschriften des Gesundheits- und Arbeitsschutzes.

Zielformulierungen und Inhalte des Lernfeldes 10 gleichen sich hinsichtlich des Einsatzes von Industrierobotern als Lernmedium dem Lernfeld 6 -Installieren und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme- der Industriemechanikerinnen und Industriemechaniker und dem Lernfeld 11 -Inbetriebnahme, Fehlersuche und Instandsetzung- der Mechatronikerinnen und Mechatroniker. Hinzu kommt ein größerer Fokus auf die Sicherheitseinrichtungen des Industrierobotersystems.

Lernfeld 11: Automatisierungssysteme in Stand halten und optimieren

Zielformulierungen und Inhalte entsprechen hinsichtlich der Instandhaltung dem Lernfeld 12 -Instandhalten von technischen Systemen- der Industriemechanikerinnen und Industriemechaniker. Daneben enthält das Lernfeld 11 der Elektronikerinnen und Elektroniker für Automatisierungstechnik Formulierungen darüber, die Instandhaltungsmaßnahmen zu optimieren und Selbstüberwachungen von Steuerungs- und Regelungsprozessen zu integrieren. Diese sind auch übertragbar auf Robotersysteme.

Lernfeld 12: Automatisierungssysteme planen

Zielformulierungen und Inhalte stimmen mit denen des Lernfeldes 6 der Mechatronikerinnen und Mechatroniker und des Lernfeldes 8 der Produktionstechnologinnen und Produktionstechnologen überein. Der Fokus liegt auf der Projektplanung und Entwicklung praktischer Lösungen.

Lernfeld 13: Automatisierungssysteme realisieren

Zielformulierungen und Inhalte gleichen denen der Lernfelder 7 und 13 der Mechatronikerinnen und Mechatroniker.

Berufliches Gymnasium Technik

Rahmenrichtlinien für das Fach Technik im Beruflichen Gymnasium – Technik – Stand: Mai 2008. Erweiterungen: August 2014 und 2016.

Einführungsphase:

In der Einführungsphase kann die Robotik im Lerngebiet **T1: Technische Informationen nutzen und erstellen**, wie in den oben beschriebenen Lernfeldern 1 – 4 der metalltechnischen Ausbildungsberufe behandelt werden.

Qualifikationsphasen: Informationstechnik, Elektrotechnik und Mechatronik

Diese drei Qualifikationsphasen beinhalten alle das Lerngebiet „Technische Prozesse steuern“.

Lerngebiet IT1 (verbindlich): Technische Prozesse steuern

Lerngebiet METRO2 (verbindlich): Technische Prozesse steuern

Lerngebiet ET2 (verbindlich): Technische Prozesse steuern

Die Schülerinnen und Schüler realisieren verbindungs- und speicherprogrammierte Steuerungen unter Berücksichtigung von Standardlösungen. Sie wählen Sensoren und Aktoren aus und binden diese ein.

In den Unterrichtshinweisen ist festgelegt, dass Auswahl und Anbindung von Sensoren und Aktoren nur an wenigen Sensoren und Aktoren exemplarisch durchgeführt werden soll. Hierfür bieten sich Robotersysteme als Lernmedium an, da hier eine (je nach Modell) einfache Integration von Aktoren und Sensoren möglich ist und nach der Integration die Funktionsfähigkeit sowie die Wirkweise an einem realen Modell getestet und überprüft werden kann.

Lerngebiet METRO4 (wahlweise): Handhabungssysteme programmieren und optimieren

Die Schülerinnen und Schüler programmieren und optimieren Handhabungssysteme. Sie planen die Programmierung von Handhabungssystemen. Dabei stellen sie vollständige Prozesse oder Teilprozesse eines Handhabungssystems durch eine Ablaufbeschreibung dar. Sie programmieren und parametrieren Automatisierungskomponenten. Sie überprüfen ihre Arbeitsergebnisse und führen systematisch eine Fehlersuche und -korrektur durch. Sie beurteilen ihre Lösungen anhand ausgewählter Kriterien und optimieren das Handhabungssystem.

In diesem Lerngebiet werden Roboter explizit als mögliches Handhabungssystem genannt. Hier können alle genannten Inhalte an einem Robotersystem erarbeitet und durchgeführt werden. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auf dem Handhabungsprozess.

Qualifikationsphase – Metalltechnik

Lerngebiet MT1 (verbindlich): Technische Produkte gestalten und dimensionieren

Die Schülerinnen und Schüler wählen Lösungskonzepte für die Gestaltung technischer Produkte aus und begründen ihre Auswahl. Ausgehend vom ausgewählten Lösungskonzept entwickeln sie einen grobmaßstäblichen Entwurf. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten die Feingestaltung technischer Produkte aus. Sie ermitteln grundlegende Belastungen und führen einfache statische Berechnungen durch. Unter Berücksichtigung von Werkstoffkennwerten dimensionieren sie Einzelteile. Für die notwendigen Berechnungen nutzen sie auch geeignete Software. Die Schülerinnen und Schüler erstellen Teilzeichnungen.

Der Industrieroboter kann hier, wie in den anfangs aufgeführten Lernfeldern 1 – 4 der metalltechnischen Ausbildungsberufe, als Lernmedium verwendet werden. So wird die Betrachtung von Prozessen möglich, die vom Industrieroboter ausgeführt werden sollen. Hierfür können einzelne Komponenten (bspw. Aktoren) entwickelt und durch die Auszubildenden erstellt werden.

Der Fokus liegt dabei auf handhabungstechnischen Prozessen sowie auf der kreativen Gestaltung von technischen (Teil-)Systemen auf der Grundlage technischer Problemstellungen. Der durch die Schülerinnen und Schüler gestaltete Lösungsansatz kann anschließend am realen System erprobt und evaluiert werden.

Literatur

Bieller, S.; Bill, M.; Kraus, W. und Müller, C. (2022): *Market presentation World Robotics 2022 extended version*. Frankfurt am Main, VDMA Services GmbH.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV) (2015): *DGUV Information 209-074 – Industrieroboter*. Berlin.

DIN EN ISO 10218-1:2012-01: *Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Roboter (ISO 10218-1:2011)*.

DIN EN ISO 10218-2:2012-06: *Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Robotersysteme und Integration (ISO 10218-2:2011)*.

DIN ISO/TS 15066:2017-04: *Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter (ISO/TS 15066:2016)*.

Kultusministerkonferenz (KMK): *Rahmenlehrpläne dualer Ausbildungsberufe*. Downloadbereich. <https://www.kmk.org/themen/berufliche-schulen/duale-berufsausbildung/downloadbereich-rahmenlehrplaene.html> (01.05.2023)

Müller, C. (2022): *World Robotics 2022 – Industrial Robots. IFR Statistical Department*. Frankfurt am Main VDMA Services GmbH.

Schlausch, Reiner (2017): *Arbeiten und Lernen an und mit Robotertechnik*. In: lernen und lehren (2017): Schwerpunktthema Robotik. Heft 125 – 32. Jahrgang. Heckner.