

Planung von Robotersystemen - Vorlesungszusammenfassung

Lernziele

- Einführung in Planung einer Industrieroboterzelle als komplexes Automatisierungssystem
- Überblick über die wesentlichen Baugruppen und Aufbau von Industrierobotersystemen
 - Überblick über Roboter sowie deren Einsatzfelder
 - End-Effektoren
 - Steuerungen
- Phasen der Planung von Robotersystemen
 - Konzeption der Anlage
 - Sicherheit von Robotern
 - Programmierung von Robotern
 - Inbetriebnahme und Abnahme

0.1 Einführung

Verwendung von Robotern durch die Jahrzehnte

Jahr	Verwendung
1973	Handling
1980	Assembly
1990	Service Robotics (Care-O-Bot)
2000	Image Processing Bin Picking
2010	Industry 4.0 ROS
2015	Artificial Intelligence Deep Grasping
2020	Automation of Automation
2030	Cognitive Robotics

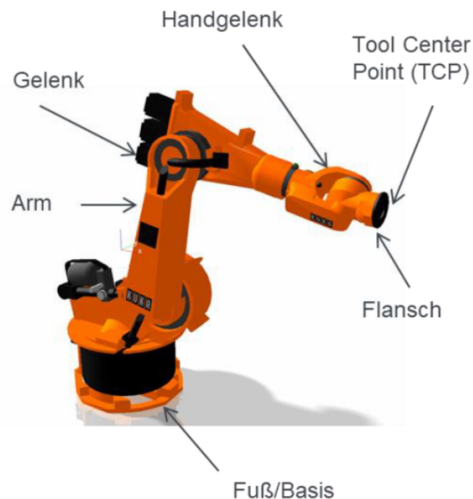
Entwicklungen

- Treibende Kraft: Fachkräftemangel (auch in DE und EU)
 - Alterung der Bevölkerung
 - Fehlende Pflegekräfte
 - Komplexität der Aufgaben (Unkraut jäten, Schweißen, ...)
- Zahl der neu installierten Roboter steigt (2022: 553k), besonders in China (über die Hälfte)
- Zuwachs hauptsächlich in den Bereichen
 - Unterhaltung (v.a. Gastronomie) (+125%)
 - Transport und Logistik (+44%)
 - Landwirtschaft (+18%)
- Weite Verbreitung bereits in Automotive, Elektronik, Metall, Chemie, Lebensmittel
- Märkte: China, Korea, Japan, USA, Deutschland
- Wachstum 8-12% p.a. in der letzten Dekade

Definition eines Roboters

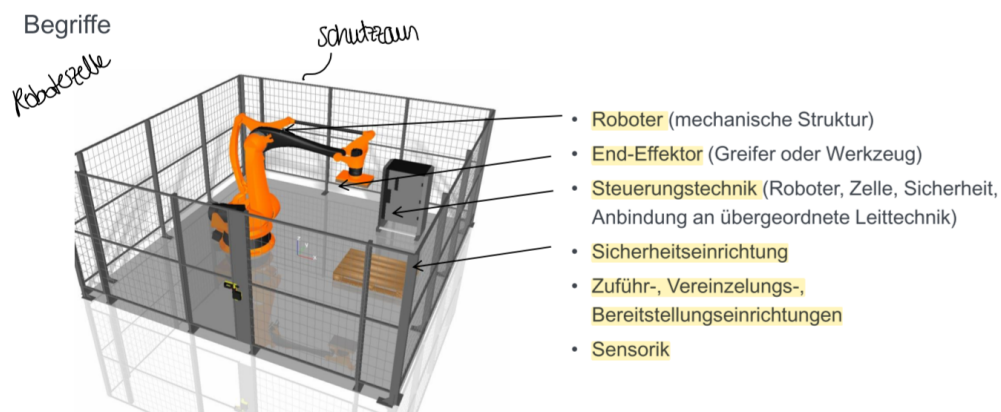
- Nach ISO 8373: Ein Roboter ist ein programmierbarer Manipulator mit drei oder mehr Achsen für industrielle Anwendungen.
- Roboter erzeugen automatisch eine durch ein Programm beschriebene Bewegung, so dass sich einmal festgelegte Abläufe ohne Personaleinsatz reproduzieren lassen.
- Der Roboter ist eine universell einsetzbare Maschine, die für verschiedene Prozesse verwendet werden kann.

Begriffe



Kriterium	Industrieroboter			Arm-Module	Kleinroboter	
Kinematik	Horizontaler Knickarm	Portalroboter	Vertikaler Knickarm	Gelenkmodule	Leichtbauroboter	Sicherer Roboter
a.k.a	SCARA	"auf Schienen"	KUKA	modular	COBOT	kollaborativ
max Traglast [kg]	10	50-500	10-200	~10	7	4
DOF	4-5	3-6	5-6/6	2-7	7	6
Wiederholgenauigkeit	hoch	mittel	hoch	mittel	mittel	hoch
Sensorführung	✓	✓	✓	✗	✓	✗
Kosten [k€]	25	50-100	30-60	5/DOF	60	50

Roboterzelle



- Typische Roboter-Stückkosten: 50.000 € (einzeln)
- Systemkosten: 4-5-facher Roboterpreis

Automatisierung der Automatisierung

- Roboterinvest: 25-30% des Robotersystems
- Personalkosten: ~40% des Robotersystems
- Skaleneffekte werden durch Individualisierung (I4.0 → Unikate) aufgewogen
- Komplexe Automation ist zu 80% KVP / brown field
- Viele manuelle (Experten-)Prozesse beim Umrüsten

→ Automatisierung der Automatisierung

- Auslastungsoptimierte Matrixproduktion (höhere Auslastung, weniger Umrüsten)
- Automatisierte Layoutvorschläge (Fabrikhalle, Roboterzelle)
- Automatisierte Risikobeurteilung (Sicherheit)
- Autonome Verkettung mit Flurtransportsysteme (FTS)
- Selbstkonfigurierendes Bin Picking (Greifer, Kamera, Roboter)
- Selbstoptimierung Prozessparameter (z.B. Schweißparameter, Schwingungsdämpfung)

Wirtschaftlichkeit

Generell lohnt sich ein Industrieroboter, wenn die Stückkosten gering sind und die Stückzahlen hoch sind. Es gibt ein Transferpunkt, bei dem sich die Investition in einen Roboter lohnt. Durch die Reduktion der Anschaffungskosten und die Erhöhung der Flexibilität wird dieser Punkt immer früher erreicht.

Argumente für eine neue Roboteranwendung

- Nutzung durch Nicht-Experten möglich
- Flexibilität und einfache Konfiguration
- Verbesserte Produktion
- Hohe Investitionsrendite
- Schnelle Amortisation
- Verbindung zum Zulieferer

Gründe für Nicht-Investition

- Zu kleine Losgrößen für die Automatisierung
- Keine automatisierungsgerechten Prozesse
- Automatisierung zu teuer
- Kein geeignetes Personal zur Nutzung von IR
- IR zu groß, zu unflexibel
- Programmierung zu aufwendig
- Sonstige Vorbehalte gegen IN-Einsatz
- Schlechte IR-Erfahrungen bekannter Firmen

Wann ist der Einsatz von Robotern sinnvoll?

Anwendungsaspekt	Zustand
Stückzahl	hoch
Marktstabilität	hoch
Notwendiger Entwicklungsaufwand	gering
Personalmarkt	angespannt
Erfahrung mit automatisierten Systemen	hoch
Ergonomie	niedrig
Qualitätsanforderungen	hoch

Herausforderungen und Unsicherheiten

- **Toleranzen** im Werkstück und im Prozess können durch **Sensorik** ausgeglichen werden.
- **Marktvolatilität** kann durch **Wandlungsfähigkeit** ausgeglichen werden.
- **Datenvollständigkeit** kann durch **I4.0: Datenintegration** ausgeglichen werden.

Beispiele moderner Anwendungen

- Vernetzte Flurtransportsysteme statt der Produktion am "Fließband"
- Programmierung durch Vorführung (z.B. Schweißen)
- Flexibilität von mobilen Robotern beim Griff in die Kiste
- Sensorgeführtes Schweißen

2.1 Überblick und Industrieroboter

Roboterkinematiken

Kinematik	Serielle Roboter			Parallele und andere Roboter
Bauform	Knickarm	SCARA	Portal	Delta, Seilroboter
Marktanteil	66%	19%	10 %	1%
Vorteile	Zugänglichkeit, Beweglichkeit, Traglast		Sehr große Reichweite und Nutzlast	Hohe Steifigkeit, Genauigkeit, Dynamik
Nachteile	Mäßige abs. Genauigkeit	eingeschränkte Beweglichkeit, kleiner Arbeitsraum, kleine Traglast		
Typische Prozesse	Schweißen, Kleben, handling	Montage, Pick&Place	Pick&Place, Regalbedienung, Kommissionierung	Pick&Place, Sonderaufgaben
DOF	5-6	3-4	3	3-6
Form des Arbeitsraums	Kugel	Zylinder	Quader	Komplex
Radius des Arbeitsraums	0.5-3m	0.5-1m	0.1-100m	0.1-10m
Traglast [kg]	5-1000	0.5-5	0.5-X000	0.5-X000
Dynamik	mittlere Geschw. und Beschl.	sehr große Geschw. und Beschl.	je kleiner, desto schneller	sehr große Geschw. und Beschl.

Einsatzbereiche

- **Handling (44%)**: Materialtransport, Palettieren, Entpalettieren, Verpacken, Sortieren
- **Welding (19%)**: Punktschweißen, Lichtbogenschweißen, Laserstrahlschweißen
- **Assembly (12%)**: Bauteilmontage, Endmontage, Schrauben, Nieten
- **Clean Room (6%)**: Reinraum, Lebensmittel, Pharma
- **Machining (2%)**: Fräsen, Bohren, Schleifen
- **Dispensing (2%)**: Kleben, Dichten, Lackieren

Steuerungen

Die Steuerung besteht aus:

1. Energieversorgung
 2. Motorcontroller der Achsen
 3. Untergeordnete Steuerungen der Sensoren und Aktoren
- Die Robotersteuerung wird in der Regel vom Roboterhersteller bereitgestellt und erfolgt in einer einfachen, für den jeweiligen Hersteller spezifischen Programmiersprache.
 - Steuerungen bieten in der Regel Schnittstellen zur Integration weiterer Sensoren und Aktoren und SPS an.
 - Technologiepakete für spezielle Anwendungen (z.B. Schweißen, Lackieren) sind verfügbar.

Leistungsdaten und Eigenschaften von Robotern

- **Freiheitsgrade**: Anzahl der unabhängigen Bewegungsmöglichkeiten des Roboters. Können linear oder rotatorisch sein.
- **Singularitäten**: Punkte im Arbeitsraum, an denen der Roboter seine Beweglichkeit verliert, z.B. wenn zwei Gelenke in einer Linie liegen.
- **Arbeitsraum und Begrenzungen**: Der Bereich, in dem der Roboter seine Aufgaben ausführen kann, und eventuelle Einschränkungen.
- **Dynamik**: Die Fähigkeit des Roboters, sich schnell und präzise zu bewegen.
- **Traglast**: Maximales Gewicht, das der Roboter tragen kann, an jedem Punkt im Arbeitsraum, wenn es direkt am Flansch befestigt ist.
- **Genauigkeit**: Maß für die Präzision, mit der der Roboter seine Aufgaben ausführt.
- **Kollisionen**: Situationen, in denen der Roboter mit anderen Objekten oder Hindernissen kollidieren kann.
- **Steifigkeit**: Reversible Verformung des Roboters unter Last.
- **Kinematische Transformation**: Umrechnung zwischen verschiedenen Koordinatensystemen des Roboters, speziell zwischen Gelenk- und Arbeitsraumkoordinaten.
- **Kosten**: Gesamtkosten für den Kauf, die Installation und den Betrieb des Roboters.

Formen der Genauigkeit

- **Wiederholgenauigkeit** gibt an, wie genau eine Pose innerhalb von vielen Zyklen erreicht werden kann. Bei vielen Industrierobotern bis zu 0.05 mm.
- **Absolutgenauigkeit** gibt an, wie genau die Raumkoordinaten bezogen auf das Basissystem des Roboters erreicht werden; hier sind Industrieroboter vergleichsweise ungenau.
- **Bahngenauigkeit** gibt die Abweichung von der programmierten Bahn an.
- Die Genauigkeit ändert sich unter wechselnder Last aufgrund der relativ geringen Steifigkeit.
- Robotergerauigkeit kann nicht pauschal durch eine einzige Kenngröße beschrieben werden.

2.2 Neuartige Robotersysteme

- Roboter lohnen sich nicht für zu geringe Stückzahlen
- je nach Schichtmodell amortisiert sich ein Roboter schneller oder langsamer
- Man unterscheidet zwischen Robotern in Großserienfertigung (low mix, high volume) und in Kleinserienfertigung (high mix, low volume). Bei Kleinserienfertigung ist die Automatisierung schwieriger, da die Anlagen häufig umgerüstet werden müssen.

Einflüsse auf die Kosten im Leben einer Anlage

1. **Investitionskosten:** Kosten für die Anschaffung der Anlage
2. **Anlaufkosten:** Kosten für die Inbetriebnahme der Anlage
3. **Variable Kosten:** Änderungen, welche die Produktion beeinflussen
4. **Rekonfigurationskosten:** Kosten für die Anpassung der Anlage aufgrund von Produktänderungen
5. **Obsoleszenzrisiko:** Risiko, dass die Anlage veraltet und nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden kann

Drei Probleme bei der Rekonfiguration von Robotersystemen

1. Sicherheitskonzept muss angepasst werden → kollaborative Roboter, günstigere Roboter
2. Endeffektor muss angepasst werden → universelle Endeffektoren
3. Programmierung muss angepasst werden → offline Programmierung oder "no code"/"low code" robotics (sensor-basierte Programmierung, Trace-Pen)

Kollaborative Roboter

- Diversifikation der Produktionsbedingungen erfordert flexiblere Automatisierungslösungen, insbesondere bei kleinen Losgrößen
- Cobots sind einfach zu programmieren (z.B. durch App Store für Roboterapplikationen) und erfordern oft weniger Sicherheitstechnik
- Cobots mit hoher Traglast oder hoher Geschwindigkeit sind wenig sinnvoll, da die Energie des bewegten Objekts dann gefährlicher ist als der Roboter ($1/2 mv^2$).
- z.B. Schweiß-Cobots haben sich erfolgreich am Markt etabliert
- Teure und schwer programmierbare Systeme setzen sich nicht durch
- Trend: Externe Peripherie (Achsen, Schweißquelle, etc.) kann direkt vom teach pendant des Roboters durch zusätzlich installierbare „Apps- angesteuert werden
- Trend: "no-code robotics" — mäßig erfolgreich bis dato

2.3 Parallele Roboter und Seilroboter

Eigenschaften

- Leichtbau durch optimale Belastung: Statt Biegung/Torsion nur Zug/Druck.
- Geringe Masse, hohe Dynamik
- Kleinerer Arbeitsraum aber große Traglast
- Parallele Roboter sind steifer und genauer als serielle Roboter
- Die Kinematik ist komplexer, da die Position von mehreren Gelenken gleichzeitig abhängt.

Bauarten und Antriebe

Antriebsart	Drehgelenk	Schubgelenk	Linearschlitten	Seilwinde
Bauart	Delta-Roboter	Stewart-Plattform	Hexaglide	Seilroboter
Beschreibung	3-4 Beine mit "Kniegelenken"	Plattform auf 6 Beinen	wie Delta-3D-Drucker	Ein Seil in jede Ecke des Raums

Antriebsart	Drehgelenk	Schubgelenk	Linearschlitten	Seilwinde
Steuerungstechnik	elektrischer Antrieb mit großer Übersetzung	elektrischer oder hydraulischer Antrieb	Antrieb über Lineardirektantrieb der Kugelgewindetrieb, Stab rein passiv	Elektrischer Antrieb, einfache Umsetzung mit Standardkomponenten
Eigenschaften	räumlich/flächig paralleler Roboter mit 3-4 Beinen + opt. Zusatzachse	vollbewegliche Plattform	3/6 Linearantriebe auf 3 Schienen	TCP hängt an 4/8 Seilen, die die Position klar bestimmen
Vorteile	hohe Dynamik, Struktur ist passiv	hohe Steifigkeit, Nutzlast und Genauigkeit, aber beschränkte Rotation	geringe Emissionen im Bauraum	Simpler Maschinenbau, Krantechnik aufrüstbar
Branchen	Lebensmittel, Pharma, Elektronik	hochbelastete oder hochgenaue Aufgaben, Bewegungssimulatoren	Handling	Handling, SpiderCam, Hochregallager

Entwicklung paralleler Roboter

Anforderungen aus Applikation

- Translatorischer Arbeitsraum
- Rotatorischer Arbeitsraum
- Bauraum und Störkonturen
- Freiheitsgrade
- Traglast
- Dynamik

Relevante Kriterien für die RoboterAuslegung

- Eigenkollisionen
- Singularitäten
- Hub der Aktoren
- Antriebsdimensionierung
- Seile unter Spannung

Steuerungstechnik

- Benutzerspezifische kinematische Transformationen
- Echtzeitfähigkeit

Ausblick

- Leistungssteigerung zu erwarten
 - Dynamik
 - Arbeitsraumgröße
 - Genauigkeit
- Leistungsfähige Steuerungstechnik ermöglicht den Betrieb komplexer Kinematiken
- Energie- und Ressourceneffizienz

3.1 Greifer, Werkzeuge, Messmittel

Endeffektor = Funktionseinheit eines Robotersystems

- Der Prozess bestimmt die Auswahl des Endeffektors
- ein Prozess ist entweder werkzeuggeführt (z.B. Schweißen) oder werkstückgeführt (z.B. Montage, Handhabung)
- Bei Werkstückführung ist der Endeffektor ein Greifer (oder Spannmittel)
- Das Wirkelement erfüllt die Hauptfunktion des Endeffektors, es bewirkt den Prozess. Das sind Greifer, Werkzeuge, Mess- und Prüfmittel
- Das Zubehör erfüllt eine Hilfsfunktion, es unterstützt den Prozess. Hierzu gehören Wechselsysteme, Ausgleichssysteme, Messsysteme.
- Die Peripherie ist die Umgebung des Roboters, sie ermöglicht den Prozess. Hierzu gehören Kabelschutz, Wechselstationen, Reinigungssysteme. Sie sind keine Bestandteile des Endeffektors.
- Größe, Kosten, Gewicht und Komplexität variieren bis zum Faktor 1000.

Greifer

- Es wirken statische, dynamische und prozessbedingte Kräfte auf den Greifer
- Es gibt viele unterschiedliche Greiferarten, die sich in der Art des Greifens, der Anzahl der Greifpunkte und der Art der Aktuierung unterscheiden
- Greifprinzipien: Klemmgreifer, Sauggreifer, Magnetgreifer, Nadelgreifer, Aufwälggreifer, Ultraschall/Bernoulli-Greifer
- Flexible Greifer haben unterschiedliche Greifbacken an einem Finger oder wechselbare Finger oder können sich (aktiv oder passiv) verformen
- Die Bereitstellung der zu greifenden Teile ist ein wichtiger Bestandteil der Greiferwahl/-konstruktion
- Die Greifplanung kann einerseits vordefiniert sein, andererseits kann sie auch adaptiv gelöst werden (Automatisierung der Automatisierung)
- Griffpositionen können manuell oder automatisch am Bauteil bestimmt werden oder ohne Modell der Bauteil(lage) bestimmt werden. Greifstrategien hängen von den jeweiligen Greifprinzipien ab.

Werkzeuge, Mess- und Prüfmittel

- Roboterwerkzeuge basieren meist auf Handwerkzeugen (Schweißpistole) oder Maschinenwerkzeugen (Frässpindel), sie können aber auch speziell für den Roboter entwickelt werden (z.B. Wickeln von Sattelspulen)
- Zusätzliche Achsen und Sensoren ermöglichen eine Prozessregelung

Arbeitsschritt	Werkzeug
Schweißen	Schweißpistole, Schweißzange, Schweißlaser
Bearbeiten	Frässpindel, Entgratspindel, Schleifwerkzeug, Strahlpistole
Beschichten, Kleben	Lackierpistole, Klebepistole, Spritzpistole
Messen, Prüfen	Laserkamera, Ultraschall, Röntgen

Zubehör

Funktion	Zweck
Wechseln	Austauschen von Effektoren für unterschiedliche Prozesse
Schützen	Durch Auslenken bei Kollisionen/Notabschaltung
Ausgleichen	Kompensieren von Toleranzen und Verformungen
Messen	Erfassen von Prozessgrößen (Kräfte, Momente)
Durchführen	Elektrik, Pneumatik, Hydraulik, Datenübertragung

Peripherie

- Die Peripherie ermöglicht den Betrieb des Endeffektors
- Kabel und Schläuche
 - müssen schleppkettentauglich bzw. robotertauglich sein
 - sollen in Kabelschutzschläuchen oder Schleppketten geführt werden
- Sensor- und Aktorverteiler reduzieren die Kabelanzahl und erleichtern Inbetriebnahme, Wartung, Reparatur

Fazit

- Die Entwicklung oder Auswahl von Greifern und Werkzeugen unterliegt vielen Einflussfaktoren und ist daher anwendungsspezifisch
- Einfache Aufgaben:
 - es existieren Komponenten und Baukästen
 - immer ist mindestens die Auswahl und Integration notwendig
- Komplexere Aufgaben:
 - Oft Sonderanfertigung oder komplette Neuentwicklung → Greifer und Werkzeuge sind Anpass- oder Sonderkonstruktionen

3.2 Steuerungstechnik

Grundlagen der Steuerungstechnik

Ein technischer Prozess ist die Umformung und/oder der Transport von Materialien, Energie und/oder Information. Beispiele sind Fertigung von Teilen oder die Montage von Produkten.

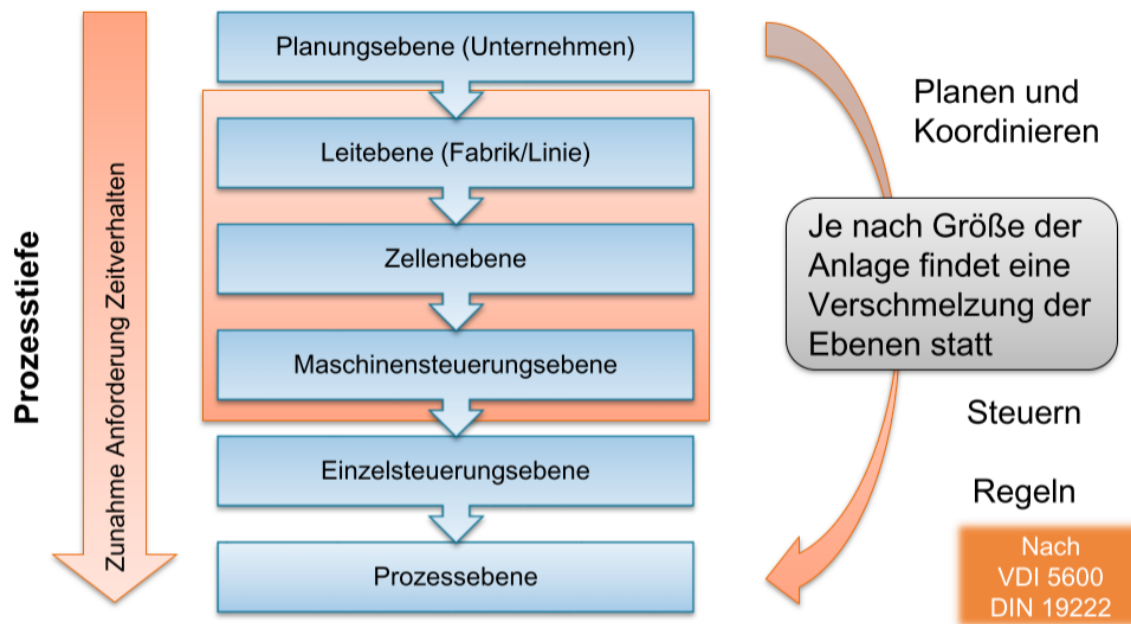
Eine Automatisierungseinrichtung hat das Ziel, die Arbeit des Menschen im operativen Bereich zu erleichtern. Die Herausforderung ist prozesssicheres Einwirken des Nutzers durch Steuerungstechnik. Automatisierungsobjekte sind z.B. Roboter, Automaten, Fertigungssysteme und Werkzeugmaschinen.

Der Mensch/Nutzer hat die Aufgabe, die Automatisierungseinrichtung zu lenken und zu beobachten. Er hat Zugriff auf Führungsgrößen zur Beeinflussung der Anlage.

Abgrenzung von Steuerung und Regelung

- Steuern — beschreibt den Vorgang zur Beeinflussung von Ausgangsgrößen eines Systems durch Einstellen von Eingangsgrößen
- Regeln — beschreibt den Vorgang bei dem fortlaufend eine Regelgröße erfasst und mit einer Führungsgröße verglichen wird (Regelabweichung), so dass die Regelgröße der Führungsgröße nachfolgt
- Vergleich:
 - Geschlossener Wirkungskreis durch Rückkopplung der Regelgröße
 - Ständiger Vergleich von Soll- und Istwert des geschlossenen Wirkungskreises ermöglicht die Reduzierung von Störgrößen

Organisation und Hierarchie einer Steuerung



Automatisierungspyramide:

- ERP: Enterprise Resource Planning (Planungsebene)
- MES: Manufacturing Execution System (Betriebsleitebene)
- SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition (Prozessleitebene)
- PLC: Programmable Logic Controller (Steuerungsebene/SPS)
- Bus: Feldbus (Feldgeräteebene)

Leitebene / Zellebene / Maschinensteuerungsebene:

- Leitebene: Lenken, Zusammenfassen, Verwalten
 - Programmverwaltung, Systemabbildung, Aufbereiten von Betriebsdaten
 - Einbeziehung des Nutzers zur Lenkung und Organisation des Prozesses
- Zellebene: Koordinieren und Verteilen
- Programmverteilung, Verwaltung von Werkzeug- und Werkstückdaten, Steuerdatengenerierung für Werkstück- und Werkzeugfluss in der Zelle, Auswerten von Messdaten und ggf. Beeinflussung
- Maschinensteuerungsebene: Programmieren und Verarbeiten
 - Handeingabe, Auswahl der Betriebsarten, Erzeugung der Achsbewegung, Überwachungs- und Diagnosefunktionen

Maschinensteuerung eines Roboters

- Anforderungen der Echtzeitdatenverarbeitung
 - Rechtzeitigkeit — Einhaltung von Zykluszeit und Abtastzeitpunkt
 - Gleichzeitigkeit — Abarbeitung zeitlich paralleler Aufgabe
 - Verfügbarkeit — Unterbrechungsfreie Betriebsbereitschaft
- Umsetzung:
 - Feldbusse für die Kommunikation
 - Echtzeiterweiterung im Rechnerteil (z.B. Kuka: vxWorks)
 - Aufteilung des Steuerungssoftware in zyklische Tasks

Hauptfunktionen

- Die Ablaufsteuerung bildet den für den Anwender wichtigsten Teil der Steuerung
- Die Programmiersprache ist herstellerspezifisch; die wesentlichen Funktionen sind allerdings vergleichbar
- In einem Programm werden Bewegungen des Roboters als Sequenzen von Einzelbewegungen hinterlegt:
 - Punkt-zu-Punkt (PTP)
 - Lineare Bewegung
 - Kurven (Kreise, Splines)
- Weiterhin sind einfache Strukturierungen möglich
 - Einfache Flusskontrolle (if-then-else) sowie Schleifen
 - Unterprogramme
 - Einfache Variablen
 - ...
- Maschinensteuerung beinhaltet Teilsysteme mit offener oder geschlossener Wirkungskette
- Steuerungstypen
 - Die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) verarbeitet zyklisch Eingangssignale und bestimmt anhand interner Zustände und einer Logik die Ausgangssignale
 - Die Robotersteuerung (RC) dient als Programmsteuerung, zur Ausführung von Bewegungen und zur Steuerung externer Geräte
 - Die numerische Steuerung (NC) ist eine Programmsteuerung, in der Fertigungsschritte werkstückorientiert interpretiert und Bewegungen ausgeführt werden

Adaptive und Sensor-Steuerung

- Sinn und Zweck:
 - Kompensation von Störungen, die auf der Gelenkebene nicht erfasst werden (z.B. Durchbiegen und Drift)
 - Anpassung eines Prozessparameters (z.B. Abstand zum Werkstück)
- Lösungsmöglichkeiten:
 - Referenzierung: Anpassung des Programms
 - Externe Regelung: Bewegungsüberlagerung durch Erfassung der Ist-Pose
- Welche Anhaltspunkte sind zu beachten?
 - Prozesssichere Auswertung und Vernetzung der Sensoren
 - Schnittstelle zur Steuerung

3.3 Roboterprogrammierung und Zellsimulation

Roboterprogrammierung Grundlagen

- Ziel ist, die Aufgabe des Roboters zu definieren und Planungsdaten zu erhalten (z.B. Takzeiten)
- Programmierung kann online (vor Ort, Handgerät/Vormachen) oder offline (von einem anderen Ort, ohne Roboter. Simulativ oder automatisch) erfolgen
- Zeitaufwand: Faustregel 1min/Punkt bei Online-Programmierung mit Handgerät

Online-Programmierung

Programmierhandgerät

- Definieren der Bewegung durch anzufahrende Punkte, Bewegungsart (PTP, Bogen, ...) und Bewegungsparameter (Geschwindigkeit, Beschleunigung, ...)
- Definieren des Prozessablaufs (meist durch warten auf Signale, setzen von Ausgängen, ...)
- Unterschiedliche Handgeräte: Touchscreen, Tastatur, Joystick, 3D-Maus, ...
- Bei üblichen Werkstücken kann mit einem Tag Programmieraufwand pro Werkstück gerechnet werden (450 Punkte entsprechen 7,5h Programmieraufwand)

Programmieren durch Vormachen

- Statt die Punkte einzugeben, kann der Roboterführer die Bewegungen vormachen, indem er den Roboterarm führt und mit dem Handgerät die Punkte speichert
- Ziel: Reduzierung des Programmieraufwands, geringerer Schulungsaufwand

Offline-Programmierung

1. Abbilden der Roboterzelle in einem CAD-Programm (Herstellerdatenbank für Roboter, CAD-Modelle des Werkstücks und der Zelle)
2. Definieren der Bewegungen und des Prozessablaufs
3. Definieren der I/Os und der Parameter
4. Simulation auf Kollisionen, Erreichbarkeit, Taktzeiten, ...
5. Exportieren des Programms in die Robotersteuerung
6. Laden des Programms in die Robotersteuerung
7. Testen des Programms und ggf. Anpassen

Simulation

- Erreichbarkeiten und Kollisionen frühzeitig erkennen
- Singularitäten und Achsbeschränkungen erkennen
- Taktzeiten und Prozessabläufe optimieren

Wofür wird simuliert?

- Industrierobotik: Überwiegend Nutzung von in der Entwicklung bekannten geometrischen Eigenschaften
- Vorstudien: Machbarkeit, Erreichbarkeit, Taktzeiten, Kosten
- Grundlage für virtuelle Methoden bei der Entwicklung: Layoutplanung, Offline-Programmierung, Ableitung von Planungsunterlagen

Offline: Aufwandsbetrachtung Zeit

Ohne konkrete Randbedingungen nur schwer zu beantworten

- Anschaffung von Softwarelizenzen
- Eventuell Adaption der Software durch das Systemhaus
- Hardware: vergleichbar mit CAD-Arbeitsplatz
- Schulung eines am besten in 3D-Arbeiten vorgebildeten Mitarbeiters
- Zeitaufwand für die Datenkonvertierung
- Zeitaufwand für die Offline-Programmierung
- Zeitaufwand für das Nachteachen

Intuitive Programmierung

- Block-basierte Programmierung, Blöcke haben vorprogrammierte Funktionen
- Steuerungsablauf wird aus den Blöcken zusammengesetzt
- Vorteil: Einfache Programmierung, auch für ungeübte Anwender

Sensorintegration ("Roboter lernen sehen")

- Sinn und Zweck: Anpassung des Prozesses an Toleranzen und Varianten
- Beispiele: Lageerkennung, Nahtverfolgung, Kraftsensoren, Qualitätskontrolle (Fehlerbilder)
- Programmierung: Viel komplexer, Problemquellen sind Schnittstellen, Programmablauf und Fehlerbehandlung

Auswahl von Komponenten und Tools

Kriterium	Online-Programmierung	Offline-Programmierung
Soll die Anlage bereits im Vorfeld simuliert werden?	Nicht möglich	Ermöglicht die Optimierung der Anlage
Wechselt mein Produkt/Variante oft?	Häufiger Stillstand durch Programmieren	Höhere Produktivität
Verfügbarkeit von CAD-Daten	Nicht notwendig	Notwendig
Sind die CAD-Daten aus verschiedenen Quellen?		Erschwert die Offline-Programmierung
Wie hoch ist meine Zellenauslastung?	Bei geringer Auslastung stört die Blockierung durch Programmierung nicht	Höhere Zellenauslastung möglich
Hab ich qualifiziertes Personal?	eher praktische Erfahrung notwendig	theoretische und praktische Erfahrung notwendig