

2 Grundlagen und Stand der Technik

In diesem Kapitel wird auf die Grundlagen für die anschließend folgende Handgelenkbaukastenentwicklung eingegangen. Zunächst werden robotische Strukturen, deren Bestandteile und die Begriffsdefinitionen erläutert. Die Vorstellung gängiger Endeffektoren und bisher realisierter Baukastensysteme vermittelt einen Eindruck der heutigen Standards und zeigt gleichzeitig Defizite auf.

2.1 Roboterstrukturen

Der Mensch entwickelt seit der Antike mechanische Hilfseinrichtungen, um verschiedene Handhabungsaufgaben durchzuführen. Mit der Entwicklung des Transistors im Jahre 1947 wurden neue Möglichkeiten in der Elektronik und damit auch in der Robotik geschaffen. Sieben Jahre später wurde von DEVOL der erste Industrieroboter namens Unimate in den USA zum Patent angemeldet [Dev54]. Dieser wurde 1961 von General Motors in der Automobilindustrie für Schweißaufgaben und Karosseriehandhabung eingesetzt (**Abb. 2-1**).

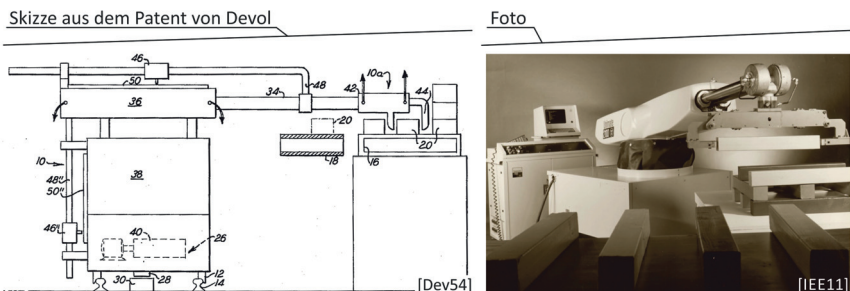


Abb. 2-1: Unimate – Erster Industrieroboter

Im Laufe der Jahre haben verschiedene Hersteller basierend auf dieser Idee die Entwicklung von Robotern vorangetrieben. Die Geschichte der Robotik startete 1954 mit dem Roboter „Unimate“ als serielle Kinematik. Erst spätere Entwicklungen beinhalten parallelkinematische Teilketten bzw. bilden komplett parallelkinematische Ketten aus. Mitte der 1960er Jahre waren STEWART und GOUGH mit der Stewart-Gough-Plattform [Ste65; Ste66] die ersten, die im Bereich der parallelen Kinematiken einen Prototypen hervorbrachten. Ende der 1980er Jahre reichte CLAVEL ein Patent [Cla89] für den heute bekannten Delta-Roboter

[ABB15b] ein. Die seriellen Strukturen haben einen erheblichen Entwicklungsvorsprung und daneben eine deutlich größere Etablierung und Akzeptanz in konservativen Industriezweigen erreicht.

Der Begriff Industrieroboter wird im heutigen Sprachgebrauch als Sammelbegriff für industriell eingesetzte Roboter verwendet. In den meisten Fällen wird damit ein serieller Roboter assoziiert. Dies bezeichnet einen Roboter mit offener kinematischer Kette. In diesem Zusammenhang wird auch von serieller Kinematik gesprochen. Zwischen dem Gestell und dem Endeffektor/Objekt kann dabei nur eine einzige nicht verzweigte Kette gebildet werden, bei der alle Antriebe seriell angeordnet sind (**Abb. 2-2**). Die Darstellung der kinematischen Struktur zeigt sechs Drehgelenke in serieller Anordnung. Von einem Parallelroboter bzw. von einer parallelen Kinematik wird gesprochen, wenn mehr als eine Kette zwischen Gestell und Plattform/Objekt gebildet werden kann, wodurch die Antriebsleistung über mehrere Wege zum Endeffektor geleitet wird (**Abb. 2-2**). Die parallele Delta-Struktur besitzt drei Arme, die an der Objektplattform befestigt sind und deren im Gestell gelagerte Glieder über drei gestellfest gelagerte Motoren angetrieben werden. Im Falle einer offenen kinematischen Kette mit geschlossenen kinematischen und parallel angetriebenen Teilketten wird von einer hybriden Kette gesprochen (**Abb. 2-2**). [Gog14]

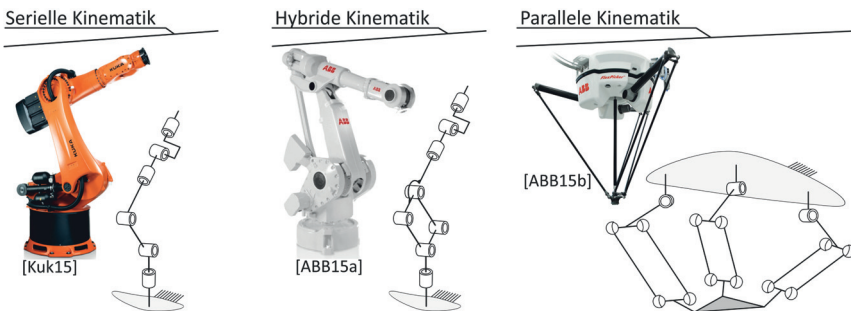


Abb. 2-2: Serielle Kinematik, Hybride Kinematik und Parallele Kinematik

Parallelkinematiken verfügen über eine Objektplattform, die meistens in Sinne der Wandelbarkeit nicht lösbar mit den Roboterarmen verbunden ist. An dieser Plattform ist ein Endeffektor befestigt, der das zu bewegendes Objekt aktiv greift. So sind in Abb. 2-2 bei der Delta-Kinematik (FlexPicker, ABB AG, Zürich, Schweiz) und in **Abb. 2-3** am EXPT (Festo AG,

Esslingen) drei Arme sowie beim Pentapod (IGM der RWTH Aachen University, Aachen) fünf Arme im Eingriff.

Auch industriell eingesetzte hybride Kinematiken besitzen mehrere Roboterarme, die mit einer Plattform fest verbunden sind. Im Gegensatz zu den Parallelkinematiken ist dort eine serielle Kette angeschlossen, die weitere orientierende Aufgaben ausführt. Der Exechon (Exechon AB, Sollentuna, Schweden) und der Tricept (Tricept Informationssysteme AG, Detmold) stellen zwei hybride Kinematiken dar (**Abb. 2-3**).

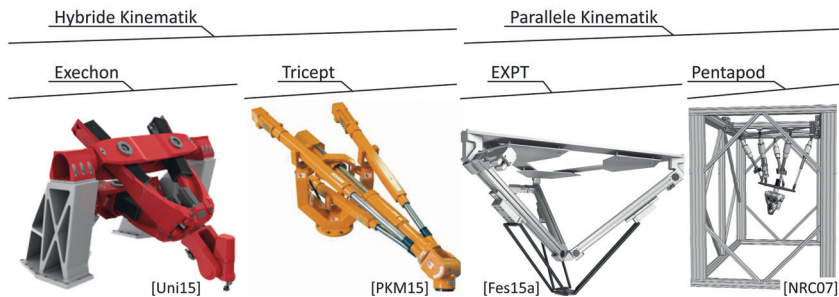


Abb. 2-3: Parallelkinematiken mit fest integrierter Arbeitsplattform

Mit dem steigenden Druck an immer geringere Kosten bei der Herstellung von Produkten werden hohe Anforderungen an stetig effizienter werdende Herstellungsprozesse gestellt. Die Anforderungen werden an die in den Herstellungsprozessen von Produkten eingesetzten Roboter übertragen. Diese müssen ihrerseits eine Bewegungsaufgabe effizienter und schneller mit geringeren Fehlerzahlen durchführen. Serielle Kinematiken besitzen zwar einen großen Arbeitsraum, kommen aber bei hochdynamischen Bewegungsaufgaben schnell an die Grenzen. In beiden Fällen ist der Grund dafür die vergleichsweise lange und träge Struktur inklusive der Antriebseinheiten, die auf jedem Glied als Antrieb für die nachfolgende Achse gelagert sind. Bei der Positioniergenauigkeit besitzt diese Kinematik den Nachteil, dass Ungenauigkeiten mit jeder hinzukommenden Achse aufaddiert werden. Ist ein hochdynamischer Prozess zu realisieren, werden bevorzugt Parallelkinematiken eingesetzt. Aktuelle Entwicklungen in diesem Bereich realisieren Objektbeschleunigungen von 15 g [Ade14]. Meistens liegen die Beschleunigungen jedoch unterhalb dieses Wertes, da ansonsten das zu handhabende Objekt beschädigt wird. Vielen Parallelkinematiken ist

gemein, dass die Antriebe im Gestell oder gestellnah gelagert sind. Dadurch wird die bewegte Masse auf ein Minimum reduziert, was zu den oben beschriebenen sehr guten dynamischen Eigenschaften führt.

Die Eigenschaften der Roboterarten sind in **Abb. 2-4** gegenübergestellt. Dabei wird pro Eigenschaft eine Bewegungsaufgabe zugrunde gelegt, bei der alle drei Kinematiken miteinander verglichen werden können.

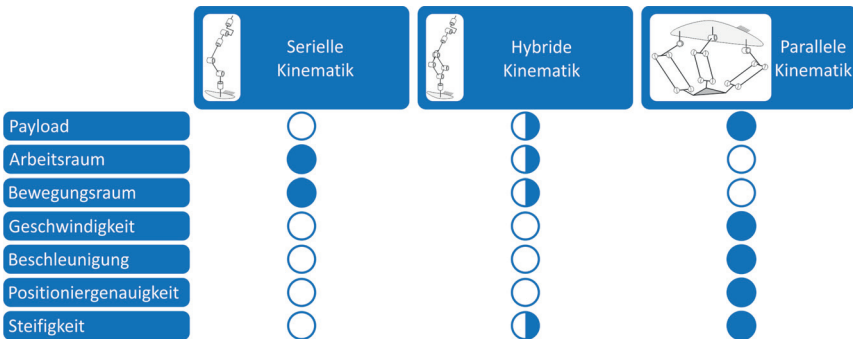


Abb. 2-4: Eigenschaften der Roboterstrukturen

Der jährliche Bedarf an Robotern wächst kontinuierlich. Dies ist im steigenden Automatisierungsgrad in sämtlichen Branchen begründet. **Abb. 2-5** stellt den jährlichen Roboterbedarf in den Jahren 2007 bis 2012 dar. Mit Ausnahme des Jahres 2009, begründet durch die Weltwirtschaftskrise, steigt die Zahl der jährlich vertriebenen Einheiten stetig an und betrug 2012 in Summe 162.000 Einheiten. In den Jahren bis 2017 wurde ein stetiges Wachstum vom 12 – 15% prognostiziert, was bis einschließlich 2015 eingehalten wurde [IFR14]. Die seriellen Kinematiken besitzen dabei den größten Marktanteil. In den Jahren 2007 bis 2012 wurden mehr serielle Kinematiken verkauft als alle anderen Roboterstrukturen zusammen genommen (Abb. 2-5). Dies ist auf die universelle Verwendbarkeit der Strukturen und die schnelle Programmierbarkeit zurückzuführen.

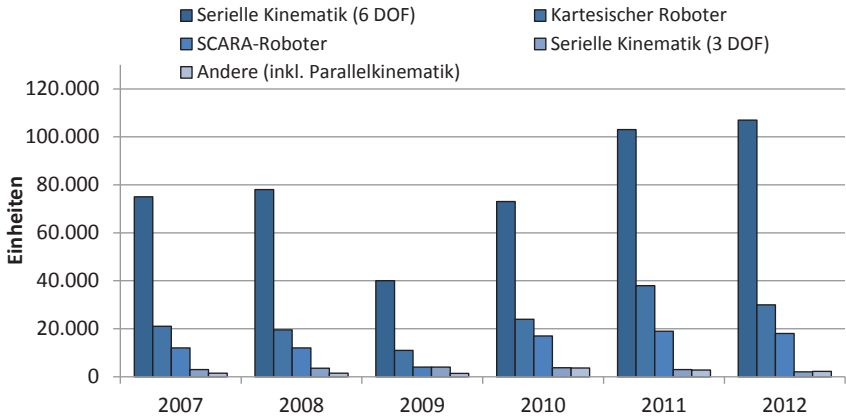


Abb. 2-5: Jährlicher Bedarf an Robotern sortiert nach Struktur [IFR13]

Eigens nur für einen Anwendungsfall konzipierte und auf diesen zugeschnittene Spezialmaschinen sind wenig flexibel. Flexibilität wird von ABELE als Eigenschaft eines Systems verstanden, schnell und kostengünstig auf andere Randbedingungen zu reagieren [ALW06]. Die Flexibilität eines Systems wird in Fähigkeitskorridoren gemessen, innerhalb derer das System auf externe Änderungen reagieren kann [ALW06; NRA08]. Reaktionen außerhalb dieser Korridore werden als Wandlungsfähigkeit bzw. Rekonfigurierbarkeit eines Systems definiert [RBE02; ZM06]. NYHUS definiert fünf Eigenschaften eines Systems als „Befähiger“ für Wandlungsfähigkeit. Diese sind Universalität, Mobilität, Skalierbarkeit, Modularität und Kompatibilität [NRA08]. **Abb. 2-6** stellt Flexibilität und Wandlungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Anzahl unterschiedlicher Bewegungsaufgaben dar.

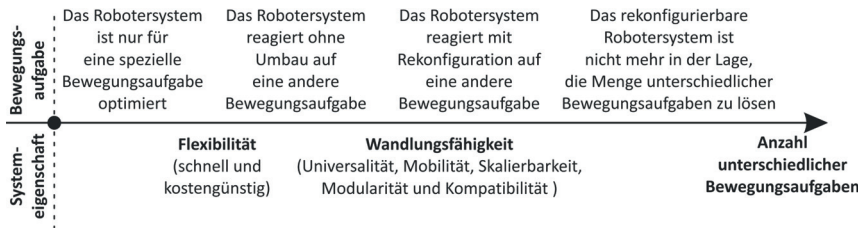


Abb. 2-6: Flexibilität und Wandlungsfähigkeit