



Wenig später, im Jahr 1805, stattete *Joseph-Marie Jacquard* (1752–1834) den 20 Jahre zuvor von *Edmund Cartwright* (1743-1823) erfundenen mechanischen Webstuhl mit einer Lochkartensteuerung aus – und baute damit den ersten »programmierbaren Automaten« (Abb. E–6). Mit Jacquards Webstuhl erreichte die Automation eine neue Stufe: Zum ersten Mal hatte ein Automat einen echten Zweck und Nutzen jenseits davon, Menschen zu unterhalten oder zu beeindrucken.



Abb. E–6 Modell des Jacquard-Webstuhls im Musée des Arts et Métiers (Paris)

Die Vorstellung, dass technische Automaten dem Menschen unangenehme, monotone, harte oder gefährliche Arbeiten abnehmen können, war entscheidend für den modernen Begriff »Roboter«. Er wurde 1920 vom tschechischen Künstler *Josef Čapek* (1887-1945) für die künstlichen Menschen im Theaterstück *R.U.R.* seines Bruders *Karel Čapek* (1890-1938) geprägt: »Robota« ist das tschechische Wort für »Zwangsarbeit« oder »Fronddienst«.

Der wirkliche Durchbruch für die Entwicklung nützlicher und flexibel einsetzbarer Roboter gelang jedoch erst mit der Entwicklung des Computers und dessen anschließender kontinuierlicher Miniaturisierung. Durch die Erfindung des integrierten Schaltkreises (IC) im Jahr 1958/1959 durch *Jack Kilby* (1923-2005) und *Robert Noyce* (1927-1990) und die Entwicklung des Mikroprozessors im Jahr 1970 wurden sehr flexible, leichte, schnelle und verschleißfreie, vor allem aber *programmierbare* Steuerungen möglich.

In den vergangenen 50 Jahren wurden Energiespeicher, Steuerungen und Antriebe so leistungsfähig, klein und bezahlbar, dass Roboter den Menschen inzwischen zahlreiche komplexe Tätigkeiten abnehmen können. Heute durchdringen Roboter immer mehr Lebensbereiche. Moderne Produktionsanlagen sind ohne Roboter schlichtweg undenkbar geworden. Sie verrichten Tätigkeiten exakter, ohne Pausen und meist wesentlich schneller als Menschen – und sind dabei auch noch günstiger. Durch Roboter bleibt die Produktion auch in einem Hochlohnland wie Deutschland wirtschaftlich und ist die Herstellung vieler Präzisionsprodukte überhaupt erst möglich. Roboter sind daher eine moderne Ausprägung des zentralen Ziels aller menschlichen Erfindungsgabe: der Verbesserung unserer Lebensumstände.

Zunehmend werden Roboter auch für Arbeiten in für Menschen tödlichen Umgebungen eingesetzt. Denn Roboter brauchen keinen Sauerstoff und können, bei geeigneter Konstruktion, weit höhere Temperaturen, Strahlungen und Drücke als Menschen ertragen. Sie arbeiten auch im Wasser, im All oder in verseuchtem Gelände zuverlässig. Daher werden sie auch als Lebensretter und Mechaniker eingesetzt – sie können Verschüttete bergen und Bomben entschärfen. Und schließlich können Roboter einige Dinge sogar deutlich besser als Menschen: Sie erkunden als fliegende Drohnen Gegenden aus jeder Höhe und Perspektive oder tauchen in sehr große Tiefen. Auch Rechenleistung und Reaktionsfähigkeit sind größer und schneller als die eines Menschen: Inzwischen spielen sie besser Schach, gewinnen im Tischtennis und sind gerade dabei zu beweisen, dass sie die besseren Autofahrer sind. Auch als Assistenten in der Medizin bewähren sie sich: Sie sind feiner steuerbar als Menschenhände, arbeiten immer konzentriert und ermüden nicht.

Neben der Verfeinerung der mechanischen Konstruktion und immer leistungsfähigeren, schnelleren und kleineren Mikroprozessoren für die Steuerung sind es vor allem hochauflösende Sensoren und ausgefeilte Algorithmen, z.B. zur Bildauswertung, die diese Leistungen möglich machen. In die Entwicklung eines Roboters fließen daher zahlreiche Spezialkenntnisse ein: Nur ein abgestimmtes Zusammenspiel von Mechanik, Programmierung, Sensorik und Elektronik führt zum gewünschten Ergebnis. Dabei helfen auch Erkenntnisse aus der Biologie



(Stichwort »Bionik«): Viele Lebewesen haben optimierte Bewegungsapparate ausgebildet, die heute als Vorbild für die Konstruktion von Robotern dienen – z.B. für deren Aerodynamik oder die Bewegungssteuerung.

fischertechnik-Roboter

Roboter sind – das belegen zahlreiche MINT-Initiativen und Wettbewerbe – für viele Jugendliche und an Technik interessierte Junggebliebene ein faszinierender Einstieg in MINT-Themen. Sie eignen sich auch aus einem weiteren Grund als Thema von MINT-Projekten: Um einen Roboter »zum Leben« zu erwecken, braucht man Kenntnisse aus allen vier MINT-Bereichen: Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik. An einem Roboter lässt sich daher auf hervorragende Weise und ganz konkret der praktische Nutzen dieser Kenntnisse vermitteln.

Dank der rasanten Entwicklung in der Informationstechnik ist die Konstruktion eines Roboters heute nicht mehr allein gut finanzierten Forschungsinstituten vorbehalten. Leistungsfähige Mikroprozessoren und hochwertige Sensoren gibt es inzwischen für wenige Euro – und hilfreiches Lernmaterial findet man zuhauf im Internet.

Für dieses Buch haben wir fünf Robotermodelle ausgewählt, an denen wir die praktische Anwendung von Grundlagen der Mechanik, der Regelungstechnik, der Mathematik und der Informatik vorstellen. Sie eignen sich nicht nur zum Selbststudium, sondern auch für den Einsatz im Unterricht – als Einführung in die Konstruktion und Steuerung komplexer technischer Systeme.

Inzwischen gibt es zahlreiche Bausätze für mobile Roboter. Sie ersparen dem Käufer den früher unvermeidlichen Gang in den Hobbykeller und erfreuen sich großer Beliebtheit – vor allem, weil gut ausgestattete Hobbykeller mit Werkbank, Bohrer, Säge und Feile inzwischen wahrscheinlich Seltenheitswert besitzen. Allerdings haben Bausätze einen großen Nachteil: Das Zusammenstecken eines Bausatzes spart nämlich nicht nur Zeit, sondern reduziert auch Einsichten. Die Auseinandersetzung mit Schwerpunkt, Reibung, Gewicht und Drehmoment, einwirkenden Kräften und statischer Stabilität hat der Hersteller vorweggenommen; sie ist daher am Bausatz nicht mehr nachvollziehbar.

Und ein zweiter wichtiger Nachteil beschränkt die Einsatzmöglichkeiten eines Bausatzes erheblich: Variationen und Ergänzungen des Robotermodells sind meist nur in geringem Umfang möglich, es gibt (wie – leider – üblicherweise in der Schule) nur genau »die eine« richtige Lösung – ganz anders übrigens als im wirklichen Leben. Da nachhaltige Lernprozesse aber nachweislich erst bei einer vertieften Auseinandersetzung mit einer nicht alternativlosen Lösung einer

Problemstellung einsetzen, nämlich durch Experimentieren, Ausprobieren und das Analysieren von Fehlversuchen, sind Bausätze didaktische Sackgassen: Der Lernerfolg ist auf die vom Hersteller vorgesehenen Elemente beschränkt, wirkt nicht darüber hinaus und vermeidet Lernen durch Fehler.

Daher schlossen wir die Verwendung von Bausätzen für dieses Buch aus. Eine komplette Roboter-Eigenkreation stellt jedoch schon in Ermangelung gut ausgestatteter Hobbykeller keine geeignete Alternative dar. Deshalb haben wir uns für die Verwendung eines Konstruktionsbaukastens mit sehr geringen Herstellungstoleranzen und einem professionellen Verbindungssystem (Nuten, Zapfen, Riegel) entschieden, das die Entwicklung vielfältiger mechanischer Modelle und insbesondere Roboter-Prototypen erlaubt sowie deren spätere Modifikation, Ergänzung und Erweiterung ermöglicht. Wollen wir die Gestaltungsmöglichkeiten so offen wie möglich halten, also eine stabile Mechanik mit Statik, Getrieben und Antrieben, mit Pneumatik, Sensoren und Elektronik koppeln, ist das Konstruktionssystem fischertechnik dafür eine ideale Wahl.

Zumal mit fischertechnik bereits in den frühen 80er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts erste Robotermodelle für Schulen entwickelt und eingesetzt wurden. 1987 widmete sich ein ganzes Buch der Programmierung von fischertechnik-Robotern [4], und im selben Jahr ließ ein CHIP-Sonderheft einen fischertechnik-Portalroboter Mühle spielen (Abb. E-7, [5]).

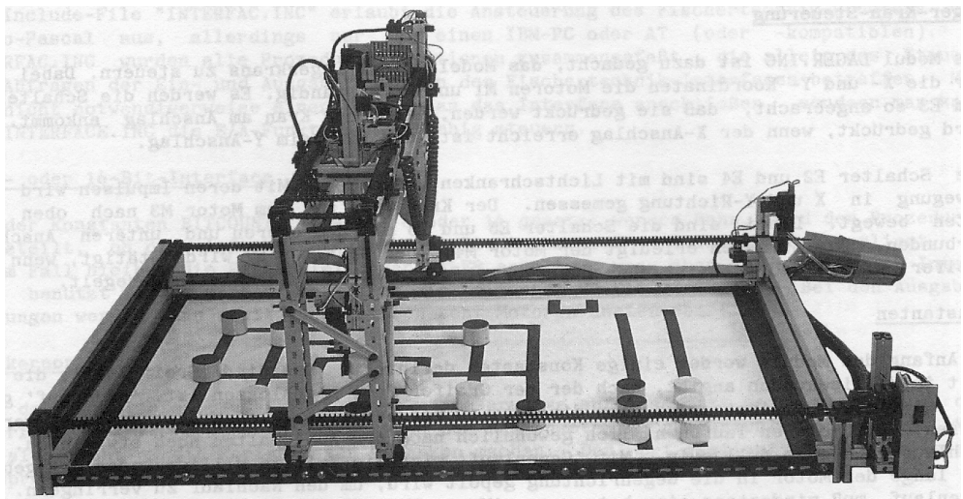


Abb. E-7 Portalroboter spielt Mühle (CHIP Special, 1987) [5]

Die in diesem Buch vorgestellten fünf fischertechnik-Roboter sind Neuentwicklungen und eine Hommage an diese ersten, vor über 30 Jahren konstruierten fischertechnik-Roboter zugleich. Sie nutzen einerseits die statische, mechani-



sche und konstruktive Leistungsfähigkeit des fischertechnik-Systems und zeigen andererseits, welche Möglichkeiten in der Verwendung heutiger Mikrocontroller und Sensoren stecken.

Die fünf Roboter lassen sich allesamt mit aktuellen fischertechnik-Bauteilen nachbauen und wurden von uns so gestaltet, dass sie mit relativ wenigen Bauteilen auskommen. Damit können sie auch mit kleineren fischertechnik-Bauteilsammlungen nachgebaut werden. Einzelne fehlende Teile lassen sich entweder durch kreative Konstruktionsvarianten ersetzen oder auch im Einzelteilvertrieb nachbestellen. Zu allen Modellen haben wir dafür Bauteillisten zusammengestellt, die auf der Webseite zum Buch zum Download bereitstehen.

Grundsätzlich sind auch zahlreiche Varianten unserer Konstruktionsvorschläge möglich – genau dazu wollen unsere Modellvorschläge anregen. Der Lerneffekt wird darunter nicht leiden, ganz im Gegenteil.

Arduino-Steuerung

Die Firma fischertechnik bietet mehrere Controller zur Steuerung von fischertechnik-Modellen an: für junge Einsteiger den Smart BT Controller (als Nachfolger des ROBO LT Controllers) und für »Profis« den (sehr leistungsfähigen) ROBOTICS TXT Controller (als Nachfolger des ROBO TX Controllers). Beide können mit der beeindruckend flexiblen und leistungsfähigen grafischen Programmiersprache ROBO Pro programmiert werden, die wir vor allem Programmierneulingen auch sehr empfehlen.

Zur Steuerung der in diesem Buch vorgestellten fischertechnik-Roboter verwenden wir dennoch keinen der fischertechnik-Controller, sondern einen Arduino Uno (Abb. E-8). Zwar nimmt sich ein Arduino Uno mit seinem 16-MHz-8-Bit-Mikroprozessor und mickrigen 2KB RAM geradezu wie ein Kinderspielzeug im Vergleich mit dem »Herz« des TXT Controllers aus – einem mit 600MHz getakteten ARM Cortex A8, ausgestattet mit 256MB RAM und 128MB Flash-Speicher.

Für die Wahl des Arduino sprechen jedoch vor allem zwei gewichtige Gründe:

- Der fischertechnik-Controller ist selbst zum »Straßenpreis« von etwa 200 € kein Schnäppchen: Für einen Einsteiger, der die Leistungsfähigkeit des Controllers so bald nicht ausreizen wird, ist das eine hohe Investition. Der Smart BT Controller für rund 80 € wiederum besitzt zahlreiche Beschränkungen



Abb. E-8 Arduino Uno (Rev. 3)