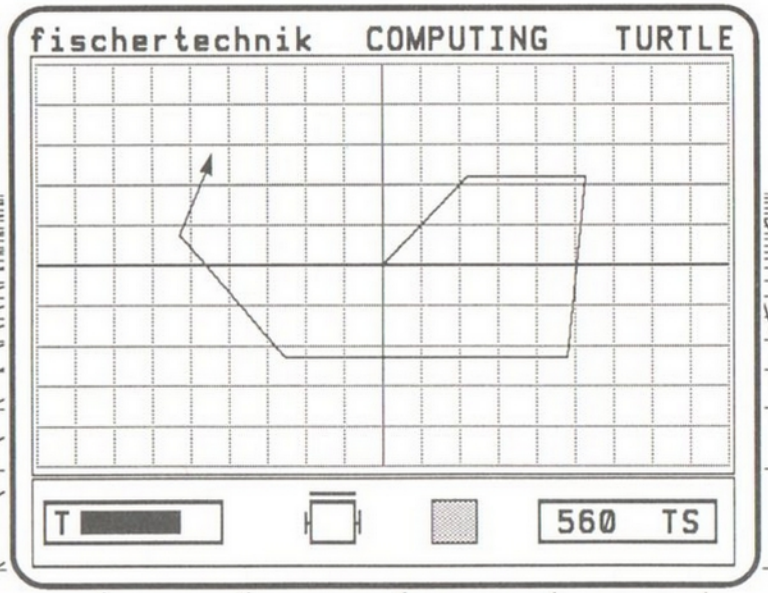


Experimentierhandbuch Atari-ST ®

fischertechnik COMPUTING

Lieber fischertechnik-Freund,

Sie kennen die Berichte aus den Zeitungen, Sie sehen die Sendungen im Fernsehen: Die Rede ist von Computern, von Robotern, von Automation und von der Fabrik der Zukunft. Nahtlos fügt sich ein Arbeitsgang an den anderen: Schweißen, Schrauben, Montieren, Lackieren.
Und dies ist schon das Ende eines Prozesses, der im Büro beginnt. Der Konstrukteur füttert die Maschine mit Maßangaben, die der Computer flugs in Darstellungen auf dem Bildschirm umsetzt - aber auch in Detailzeichnungen und Datenströme. On Line, auf direktem Wege, ist der Computer mit einem Kollegen in der Fabrikhalle verbunden, der aus den Daten die Bewegungen und Tätigkeiten eines Roboters errechnet. Und dieser arbeitet dann sein Programm ab - Stunde um Stunde, Tag um Tag.
Als K. Capek im Jahre 1921 das Wort Roboter erfand, da stellte er sich darunter einen künstlichen Menschen, eine Puppe, vor, die Bewegungen scheinbar selbständig ausführt und Funktionen, die der Mensch wahrnimmt, teilweise übernehmen kann. Jahrzehntelang war das menschenähnliche Aussehen ein besonderes Merkmal von Robotern. Hunderte von Science-Fiction-Stories und -Filmen zeugen davon. Die tatsächlichen Roboter haben mit diesen Gebilden wenig gemein, und sie sind auch längst nicht so intelligent.
Moderne Roboter sind Schwerstarbeiter. Sie bauen Autos und transportieren Lasten. Aber denken wie ein Mensch können sie (glücklicherweise) nicht. Und gar Gefühle zeigen, mit Phantasie an ein Problem herangehen, das kann ein Computer oder Roboter schon garnicht. Ein Computer kann nur das, was ihm mit einem Programm gesagt wird. Das Programm müssen wir (mit Phantasie und Kreativität!) entwickeln.
Dieser Experimentierkasten demonstriert praktisch alle Möglichkeiten von Computersteuerungen im Kleinen. Wenn Sie sich immer an die Anleitung halten, werden Sie sehr schnell mit der Programmierung vertraut werden. Und dann geht es schon zu den ersten Versuchen. Wir geben Ihnen aber auch eine Menge weiterer Anregungen zum Experimentieren. Versuchen Sie es einmal, Sie werden viel Spaß haben.

Ihre
Artur und Klaus Fischer

Anmerkung:
Dieses Anleitungsbuch beschreibt die Verwendung des fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Baukastens mit einem Atari-Computer der ST-Serie. Bitte vergewissern Sie sich, daß Ihr Computer ein Atari 260 ST, 520 ST, 1040 ST oder Mega-ST ist.
Der fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Baukasten kann mit anderer Software und anderem Handbuch auch an den Computern C64/128, Amiga 500 und 2000, IBM-PC und Kompatiblen und Schneider/Amstrad CPC betrieben werden.

Inhalt

Bevor Sie gleich mit dem schönsten Modell anfangen - lesen Sie bitte weiter. Wir wollen Ihnen hier noch einige Tips mitgeben.

Zunächst möchten wir Ihnen einen Überblick über Ihre COMPUTING EXPERIMENTAL Ausrüstung verschaffen.
Sie haben nun drei Anleitungsbücher in der Hand, von denen eines das vorliegende ist. Dieses Experimentierhandbuch dient als Leitfaden durch alle Experimente und enthält die Programme, Erläuterungen und Vorschläge. Aus drucktechnischen Gründen ist der Aufbau der fischertechnik Modelle in einem getrennten Anleitungsbuch dargestellt, der fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Bauanleitung. Das dritte Anleitungsheft ist die fischertechnik Interface-Anleitung. Dieses Anleitungsbuch werden Sie normalerweise nicht benötigen, denn die Benutzung des fischertechnik Interface im Rahmen des fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL wird ausführlich in dem vorliegenden Experimentierhandbuch beschrieben. Die fischertechnik Interface-Anleitung beschreibt dagegen die Benutzung des Interface im Rahmen eines anderen Softwaremodells. Die Interface-Anleitung werden Sie nur benötigen, wenn Sie sich über die Details der Arbeitsweise des Interface informieren wollen oder noch andere fischertechnik COMPUTING Baukästen erwerben wollen. Legen Sie daher die Interface-Anleitung im Moment zur Seite. Bewahren Sie sie aber gut auf, denn Sie könnten sie später benötigen.
Dann ist da die Hardware des Baukastens, insbesondere die Hunderte von fischertechnik-Bausteinen. Wenn Sie die Teile auf Vollständigkeit prüfen wollen, sollten Sie die Teileliste in der fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Bauanleitung zu Rate ziehen. Die Teileliste zeigt für jeden Baustein ein Foto, die Teilenummer und Bezeichnung (wichtig für Nachbestellungen) sowie dessen Anzahl im Baukasten.
Der große Kasten mit dem Klarsichtdeckel ist das fischertechnik Interface. Es verbindet das Modell mit dem Computer. Es wird außerdem noch mit dem Steckernetzgerät COMPUTING EXPERIMENTAL verbunden. So leitet das Interface unter Anweisung der Software und des Computers den elektrischen Strom zu dem fischertechnik Modell. Mehr darüber in Kapitel 4.
Das Softwarepaket, das Sie zugeschickt erhielten, enthält die COMPUTING EXPERIMENTAL-Diskette und GFA-BASIC in der Version 2.02. Dazu mehr in Kapitel 3.

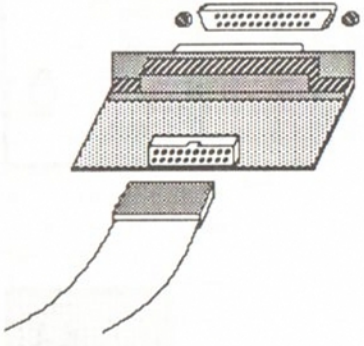


Bild 2.1: Das Interface wird mit Hilfe des Adapters an die Druckerschnittstelle angeschlossen

Das Softwarepaket beinhaltet außerdem noch ein kleines, aber sehr wichtiges Stück Hardware. Genau passend zu Ihrem Computer erhalten Sie einen Adapter für das Interface. Er besteht aus einem Stück Leiterplatte mit zwei Steckverbindern. Ein Steckverbinder besteht aus zwanzig Stiften mit einem Gehäuse darum. Entnehmen Sie das fischertechnik Interface dem Baukasten. An ihm ist ein Anschlußkabel befestigt und daran wieder ein Stecker. Dieser Stekker paßt genau auf die zwanzig Stifte. Eine Aussparung im Gehäuse und eine Nase am Stecker gewährleisten, daß Sie beides richtig herum zusammenstecken. Der andere Stecker des Adapters paßt zu der Druckerschnittstelle Ihres Computers. Die Druckerschnittstelle ist eine 25-polige trapezförmige Buchse. Die V24-Schnittstelle hat zwar auch 25 Pole, weist jedoch Stifte und keine Buchsen auf.

Wenn Sie Ihren Drucker weiterhin an den Computer angeschlossen lassen wollen, können Sie auch einen Druckerumschalter benutzen, um zwischen dem Drucker und dem fischertechnik COMPUTING Interface hin- und her zu schalten. Als Ersatzteil kann ein Adapter für den 36-poligen Centronics-Stecker geliefert werden, der bei den meisten Druckerumschaltern verwendet wird.

Schließen Sie den Adapter an die Druckerschnittstelle an.

Wichtig: Der Computer muß dabei ausgeschaltet sein!

Da die Standard-Druckerschnittstelle verpolungssicher ist, kann der Adapter nicht falsch aufgesteckt werden. Wenn der Adapter nicht zu passen scheint, prüfen Sie daher noch einmal seine Ausrichtung.

Entnehmen Sie nun auch das Steckernetzgerät dem Baukasten. Das Anschlußkabel trägt einen roten und einen grünen Stecker. Der rote Stecker kommt in eine der beiden Buchsen des Interface, die mit + bezeichnet sind. Die grüne kommt in eine der beiden Buchsen mit dem - Zeichen. Welche Buchse sie jeweils verwenden, ist gleichgültig. Die doppelte Anschlußmöglichkeit ist für größere fischertechnik COMPUTING Modelle vorgesehen, die mehr Strom benötigen.

Nun müssen Sie am Interface noch das Modell anschließen. Im Baukasten finden Sie dazu ein zwanzigpoliges Kabel von 2 Meter Länge, dessen einzelne Adern verschiedenfarbig sind. Am einen Ende ist ein Stecker angebracht, der am Interface ein-

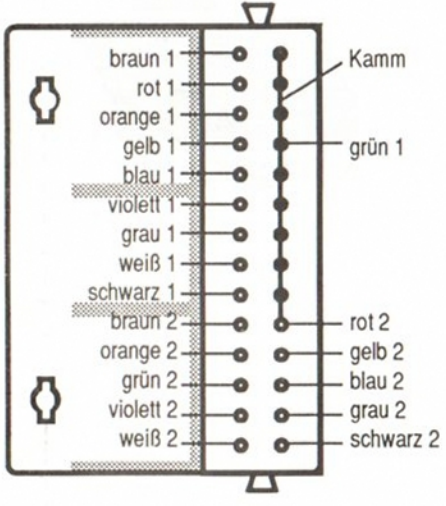


Bild 2.2: Anschluß des Interfacekabels an die 28-polige Steckbuchse. Beachten Sie, daß die Adern grün 1 und rot 2 zusammen mit dem Kamm montiert werden. (Ansicht Unterseite)

gesteckt werden kann.
Halt - noch nicht einstecken! Zuerst wollen wir das andere Ende des Kabels herrichten. Im Baukasten liegt eine 28-polige Steckbuchse (s. Bild 2.2 und fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Bauanleitung), in die fischertechnik Stecker hineinpassen. Dabei ist auch ein metallischer Kamm, der dazu dient, mehrere Buchsen untereinander zu verbinden. Schrauben Sie die zwanzig Adern des Flachbandkabels zusammen mit dem Kamm an die Buchsen an. Studieren Sie dazu Bild 2.2, das genau angibt, welche Ader an welche Buchse kommt. Benutzen Sie die Kabelfarben zur Orientierung: die Adern tragen die Farben Braun, Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, Grau, Weiß, Schwarz und dann das gleiche noch einmal. Achten Sie beim Anschrauben darauf, daß Sie die Schrauben nicht zu fest anziehen, so daß das Kabel abgequetscht würde. Zu den Buchsen, die den Kamm aufnehmen, kommen eine grüne und eine rote Leitung des Flachbandkabels. Es macht bei dem fischertechnik Interface nichts, daß die beiden Leitungen auf diese Weise miteinander verbunden werden, denn beide führen +5V.
Nach Abschluß der Arbeiten führen Sie noch eine sorgfältige Sichtkontrolle durch. Auf der Buchsenoberseite ist ein Etikett angebracht, das zu jeder Buchse den Farbcode des angeschlossenen Kabels trägt. Machen Sie sich die Mühe, wirklich sorgfältig und genau zu kontrollieren, ob alles übereinstimmt. Sie sparen sich späteren Ärger oder gar eine Beschädigung des Interface. Erst wenn Sie ganz sicher sind, können Sie den Verbindungsstecker in das Interface einstecken. Vorher sollten Sie aber noch das Flachbandkabel gegen die rote Platte drücken, eine 45 mm lange Strebe darüberlegen und diese mit zwei S-Riegel befestigen. Derart gesichert, ist die Verbindung von Kabel und Buchse vor Zugbelastung geschützt und kann nicht so leicht beschädigt werden.
Die Modelle und wie sie Stück für Stück aufgebaut werden, finden Sie in der Bauanleitung. Bei jedem Bauabschnitt sind in einem Kasten die Bauteile angezeigt, die in dem betreffenden Abschnitt hinzukommen. Ein Tip: Suchen Sie sich zu jedem Bauabschnitt zuerst die benötigten Teile zusammen, und bauen Sie sie anschliessend erst ein. Gehen Sie erst dann zu dem nächsten Bauabschnitt über, wenn alle Teile aufgebraucht sind. Sind noch welche übrig, studieren Sie noch einmal genau die

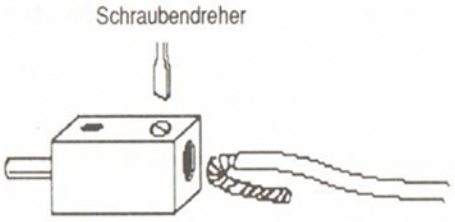


Bild 2.3: Montage eines fischertechnik Steckers

Übrigens:

Manchmal gibt es immer noch recht nützliche Zusatzinformationen. Z.B. eine Übersicht über Kommandos, eine Begriffserklärung, die Wirkungsweise eines Sensors usw. Sie können den Haupttext ruhig weiterlesen, aber vielleicht studieren Sie auch mal diese Hinweise. Sie stehen immer hier am linken Rande der Seite. Hier kommt gleich der erste:
Wenn Sie wissen wollen, welche Modelle zu welchen Textabschnitten gehören, vergleichen Sie einmal die Symbole in der linken oberen Ecke in beiden Heften! Richtig - gleiche Symbole kennzeichnen immer Modelle und Texte zum gleichen Thema.

Fotos; irgendwo müssen Sie zu sehen sein. Achten Sie bei den Bausteinen auch ggf. auf die Orientierung, damit Ihnen in späteren Bauabschnitten nicht der Weg verbaut ist.
Alle Modelle enthalten irgendwelche elektrischen Bauelemente: Schalter, Motoren, Sensoren. Diese werden mit der zuvor hergerichteten 28-poligen Steckbuchse verbunden. Dafür stehen eine Reihe von zweiadrigen Kabeln und fischertechnik Steckern zur Verfügung. Die benötigten Kabellängen (6 cm, 18 cm oder 44 cm) gibt Ihnen die Bauanleitung an.Versehen Sie die Kabel mit fischertechnik Steckern. Die Steckerfarben wählen Sie am besten so, daß sie den Farbkennzeichnungen des Flachbandkabels und der Steckerbuchse entsprechen. Das erleichtert Ihnen die Kontrolle der Verkabelung bei größeren Modellen.
Ziehen Sie zur Steckermontage ggf. die Isolation am Kabelende ab, verdrillen Sie ein wenig die Litzen und biegen Sie die Litzen auf die Isolation um (s. Bild 2.3). Schieben Sie das Kabelende dann so in den Steckeranschluß, daß das Schräubchen auf die Isolation drückt, wenn es angezogen wird. Wiederum: nicht zu fest anziehen, das Kabel könnte abgequetscht werden.
Selbstverständlich kommen an die beiden Enden einer Ader jeweils Stecker gleicher Farbe. Die Farbmarkierung in der Kabelisolation hilft Ihnen bei der Unterscheidung der beiden Adern.
Bevor es nun mit dem Laden der Software weitergeht, noch ein paar Hinweise zur Anleitung. Blättern Sie die Anleitung ruhig jetzt schon mal durch, schmökern Sie hier und da. Wenn es dann aber an das Experimentieren geht, sollten Sie Punkt für Punkt bearbeiten. Warum? In der Anleitung werden die Programme entwickelt, ganz so wie Programme auch in Wirklichkeit entstehen. Immer wieder wird ein Experiment durchgeführt, dann die nächste Verbesserung eingebaut. Wenn Sie etwas überspringen, wissen Sie nicht, wo und was Sie einfügen sollen.
Aber nicht nur für Programme trifft dies zu: Sie werden beim Durcharbeiten des Experimentierhandbuchs eine Menge erfahren. Und wenn Sie einen Abschnitt überspringen, werden Sie vielleicht die späteren Hinweise nicht so gut verstehen und einordnen können.

Die Arbeitsdiskette sollte mindestens folgende Dateien umfassen:

EXPER.LST *(Der BASIC-Teil des Interfacetreibers)*

INTERFAC.COM *(Der Maschinencode-Teil des Interfacetreibers)*

Bei Computern mit nur einem Diskettenlaufwerk sollten Sie auch den GFA-BASIC-Interpreter auf die Diskette kopieren, um nicht häufig die Diskette wechseln zu müssen.
Außerdem wird empfohlen das interaktive Diagnoseprogramm zum Austesten der Modell- und Interface-Funktionen ebenfalls auf die Arbeitsdiskette zu kopieren:

DIAGNOSE.BAS *(Das Diagnoseprogramm, wie es in der Interface-Anleitung be-*

Für die folgenden Versuche benötigen Sie fast immer einen oder mehrere Motoren, mit denen z.B. Seilwinde, Radarauge, Roboterarm oder der Fahrroboter bewegt werden. Sie werden über das Interface, das 20-polige, farbcodierte Kabel und die 28-polige Steckbuchse an den Computer angeschlossen. Die Stromversorgung erfolgt aus dem Netzgerät. Noch rührt sich nichts. Klar, die Software zur Ansteuerung fehlt noch.
Wenn alle Verbindungen hergestellt sind, schalten Sie erst alle Zusatzgeräte wie Bildschirm und fischertechnik COMPUTING Netzgerät ein und dann erst den Computer.
Als erstes sollten Sie sich eine Sicherungskopie der fischertechnik Diskette anfertigen. Sie fragen sich warum? Stellen Sie sich einmal vor, was Ihnen Ihr fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Baukasten noch nützen würde, wenn Sie die Diskette verlieren, beschädigen oder löschen würden! Die Software von fischertechnik ist nicht kopiergeschützt. Sie brauchen also keine ausgefeilten Kopierprogramme, sondern können das Diskettensymbol der fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Diskette anklicken und auf die Kopiediskette herüberziehen oder ein beliebiges anderes Kopierprogramm benutzen. Verfahren Sie so, wie es das Handbuch Ihres Computers vorschreibt. Vielleicht sollten Sie sich sogar zwei Kopien ziehen. Eine Kopie dient zum Gebrauch der Beispielprogramme auf der Diskette. Von der anderen Kopie löschen Sie die Beispielprogramme, jedoch nicht die Interface-Systemprogramme (s. nachstehende Beschreibung). Diese Diskette dient Ihnen als Arbeitsdiskette, wenn Sie die in diesem Experimentierhandbuch beschriebenen Experimente durchführen. Dies soll allerdings kein Freibrief sein; nach der geltenden Rechtsprechung sind nur Kopien zu Ihrem persönlichen Gebrauch gestattet.
Arbeiten Sie fortan nur noch mit der Kopiediskette. Verstauen Sie die Originaldiskette an einem sicheren Platz, an den keine natürlichen Feinde der Disketten, wie Sand, Hitze, Katzen oder Magnetfelder hinkommen können. Benutzen Sie die fischertechnik Originaldiskette nur, um gegebenenfalls eine weitere Kopie zu ziehen.
Einige fischertechnik Programme legen Daten auf Diskette ab. Wenn Sie schon dabei sind, sollten Sie sich auch noch mindestens eine leere Datendiskette formatieren.
fischertechnik bietet die Software des COMPUTING EXPERIMENTAL als GFA-

Wer nicht so schnell drücken mag, kann einmal das Diskettensymbol anklicken und dann mit der Maus auf den Rolladen Datei gehen; klicken Sie dort den Befehl ***Öffnen*** *an.*

Die Befehle auf der Ebene des Betriebssystems GEM und die Benutzung der Maus (Klicken, Doppelklicken und Ziehen) sind ausführlich in dem Handbuch Ihres Computers beschrieben.

BASIC-Programme an und liefert den GFA-BASIC-Interpreter samt Handbuch gleich mit. Werfen Sie auch einen Blick in dieses Handbuch. Erstellen Sie auch von der GFA-BASIC-Diskette eine Sicherungskopie.

In der folgenden Beschreibung gehen wir davon aus, daß der Atari ST mit einem Diskettenlaufwerk ausgestattet ist. Besitzer eines ST mit zwei Laufwerken, einer Festplatte oder einer RAM-Disk werden das nachfolgende Verfahren vereinfachen können, indem Sie Zugriff auf zwei Disketten gleichzeitig haben.

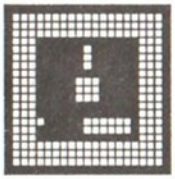
Wenn der Atari ST nicht mit einem hochauflösenden Schwarz/Weiß-Monitor SM124 oder vergleichbarem ausgestattet ist, sondern mit einem Farbmonitor oder einem Fernsehgerät betrieben wird, müssen Sie zunächst die mittlere Auflösungsstufe anwählen. Öffnen Sie mit der Maus den Rolladen **Desk** und wählen Sie den Menüpunkt **Einstellungen** an. Klicken Sie das Feld an, das für die mittlere Auflösungsstufe steht. Beschließen Sie die Einstellung durch Klick auf das Feld **Ok**.

Nun müssen Sie den BASIC-Interpreter laden. Legen Sie die Diskette mit dem GFA-BASIC-Interpreter in das Diskettenlaufwerk ein. Öffnen Sie das Diskettensymbol, indem Sie mit der Maus auf das Symbol zeigen und dann zweimal kurz hintereinander auf die linke Maustaste drücken. Nun öffnet sich das Fenster, das zu der Diskette gehört. Zeigen Sie mit der Maus auf die Datei **GFABASIC.PRG** und öffnen Sie sie wieder durch Doppelklick.

Wenn BASIC geladen ist, entfernen Sie die Diskette des GFA-BASIC-Interpreters und legen die fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Diskette ein.

GFA-BASIC gibt es (derzeit) in drei Hauptversionen (1, 2 und 3) mit etlichen Unterversionen. Die verschiedenen Versionen waren teils durch Verbesserungen des BASIC-Interpreters selbst, teils durch Verbesserungen der Hard- und Software des ATARI ST notwendig geworden. Die mitgelieferte Version von GFA-BASIC ist die Version 2.02, die mit allen Atari-ST, auch den neueren mit dem sog. "Blitter-TOS" arbeitet.

Gleichwohl wurden die BASIC-Programme des fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Baukastens in einer "defensiven" Art und Weise programmiert, so daß sie in allen wesentlichen Zügen unter allen Versionen korrekt arbeiten. Wenn Sie also eine andere Version von GFA-BASIC besitzen



und es vorziehen, mit dieser zu arbeiten, so beachten Sie die Hinweise im Anhang zur Umwandlung der BASIC-Dateien.
Unter anderen BASIC-Interpretern wie ST-BASIC und Omikron-BASIC arbeiten die fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Programme nicht.
Wenn BASIC geladen ist, wird der Schirm gelöscht. Am oberen Bildschirmende erscheint eine Leiste, die die Benutzung der Funktionstasten angibt, deren Menüpunkte aber auch direkt mit der Maus angeklickt werden können.
Als erstes BASIC-Programm sollten Sie das Programm FISCHER ausführen. Klikken Sie den Menüpunkt **Load** an. Aus dem Dateifenster wählen Sie das Programm **FISCHER.BAS** aus, indem Sie einen Doppelklick auf dem Dateinamen ausführen oder den Dateinamen mit einem einfachen Mausklick aktivieren und anschließend noch auf das Feld **Öffnen** klicken. Starten Sie das Programm, indem Sie auf den Menüpunkt **Run** klicken oder die Taste Shift festhalten und die Funktionstaste F10 gleichzeitig drücken.
Das Programm zeigt einige Bildschirme voll Informationen. Studieren Sie die Informationen genau. Sie enthalten viele wichtige Hinweise, die **nicht** in diesem Experimentierhandbuch stehen. Eventuell sind auch Hinweise auf Weiterentwicklungen der Software enthalten, die in diesem Handbuch nicht mehr berücksichtigt werden konnten. Wir empfehlen Ihnen, die Informationen auf Ihrem Drucker zum weiteren Nachschlagen auszugeben. Dazu dient die Datei LIESMICH.DOC, die unter dem Betriebssystem GEM aktiviert und gedruckt werden kann.
Nach der Ausgabe der Informationen werden Sie von dem Programm gefragt, ob Sie die Bilddateien des fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Systems erzeugen wollen.
Vergewissern Sie sich noch einmal, daß sich die Kopie und nicht das Original der fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Diskette in Laufwerk A befindet und antworten Sie mit "J" für "ja". Die Erzeugung läuft vollständig automatisch ab. Das Programm löscht den Bildschirm und baut eine Reihe von Bildern auf, die jeweils auf Diskette gespeichert werden. Der Grund für dieses Verfahren liegt in den verschiedenen Bildschirm-Betriebsarten des Atari ST. Wenn der Computer mit einem Monochromschirm SM124 (oder vergleichbarem) ausgestattet ist, müssen die Bilder in der sogenannten "hochauflösen-

In der Notation dieses Handbuchs wird der Aufruf eines Unterprogramms des Interfacetreibers immer mit der Kurzform der BASIC-Anweisung GOSUB, dem At-Zeichen @, aufgerufen. Unterprogramme außerhalb des Interfacetreibers werden dagegen immer mit dem ausgeschriebenen Kommando aufgerufen. Auf diese Weise soll der "Befehls"-Charakter der Interfacetreiber-Unterprogramme herausgestellt werden.

den Betriebsart" angelegt werden. Ist der Atari ST dagegen mit einem Farbmonitor ausgestattet oder an ein Fernsehgerät angeschlossen, müssen die Bilder in "mittlerer Auflösung" angelegt werden.

Wenn Sie vorhaben, fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL sowohl mit dem Monochromschirm als auch einem Farbschirm zu betreiben, so fertigen Sie sich zwei Kopien der fischertechnik Diskette an. Lassen Sie die Bilderzeugung mit einer Diskette unter dem Monochromschirm und mit der anderen Diskette unter dem Farbschirm ablaufen. Beide Sorten Bilder haben nicht zusammen auf einer 360-K-Diskette Platz. Sollten Sie jedoch eine Festplatte oder ein doppelseitiges Diskettenlaufwerk (720 K) besitzen, so können Sie sämtliche Dateien auf einer Diskette halten.

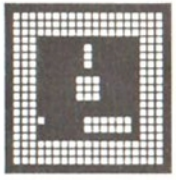
Für die nachfolgenden Experimente benötigen Sie ein Programmstück, das den Schlüssel zu dem Interface darstellt. Dieses Programm wird Interfacetreiber genannt und besteht aus der BASIC-Datei EXPER.LST und der Maschinencode-Datei INTERFAC.COM. Beides ist auf der Diskette enthalten. Löschen Sie zunächst das bisherige Programm im Arbeitspeicher des Computers durch Anwahl des Menüpunktes **New**. Bestätigen Sie die Sicherungsabfrage. Wählen Sie dann den Menüpunkt **Merge** und öffnen Sie die Datei EXPER.LST.

Die Datei enthält eine Sammlung von Unterprogrammen, die den Computer mit einer Reihe neuer "Befehle" versehen, die bislang noch nicht vorhanden waren. Durch Aufruf der Unterprogramme werden die fischertechnik Bauelemente über das Interface per Programm gesteuert. Der Aufruf der Unterprogramme ist sowohl aus Programmen heraus, als auch im Direktmodus möglich.

Um zu testen, ob der Interfacetreiber ordnungsgemäß läuft, wechseln Sie in den Direktmodus. Wählen Sie dazu den Menüpunkt **Direct** aus oder drücken Sie einfach die Esc-Taste. Geben Sie ein:

```
@in
```

Zunächst muß das Diskettenlaufwerk kurz anlaufen, denn das Unterprogramm lädt die Datei INTERFAC.COM. Erscheint danach am Bildschirm wieder das Bereitzeichen des BASIC-Interpreters, ist alles in Ordnung. Außerdem muß die Leuchtdiode auf der Leiterplatte des Interface kurz aufleuchten. Wenn sie nicht leuchtete, prüfen



Mit dem Menüpunkt ***Merge*** *werden Textdateien in den Arbeitsspeicher des BASIC-Interpreters geladen. Ein vorher vorhandenes Programm wird dabei nicht gelöscht. Vielmehr wird der Inhalt der Textdatei an der Stelle der Eingabemarke eingefügt.*
Mit dem Menüpunkt ***Load*** *wird ein codiertes BASIC-Programm in den Arbeitsspeicher des BASIC-Interpreters geladen. Ein ggf. vorhandenes früheres Programm wird dabei gelöscht. Achtung: die Codierung der BASIC-Programme der verschiedenen BASIC-Interpreter ist unterschiedlich. Deshalb können codierte BASIC-Programme nur wieder mit dem BASIC-Interpreter geladen werden, mit dem sie erzeugt wurden.*
Mit dem Menüpunkt ***Save*** *wird der Inhalt des Arbeitsspeichers des BASIC-Interpreters als codiertes BASIC-Programm auf der Diskette gespeichert.*
Codierte BASIC-Programme sind an der Dateiartbezeichnung ***.BAS*** *erkenntlich. Textdateien führen meist die Dateiartbezeichnung* ***.LST*** *(für Programmtexte),* ***.TXT*** *(bei Textverarbeitung) oder* ***.DOC*** *(für Hinweistexte).*

Sie, ob das Interface ordnungsgemäß an des Netzgerät angeschlossen ist.
In den folgenden Kapiteln werden Sie eine Menge Experimente finden, alle mit dazugehörigem Programm für Ihren Computer. Die Programme werden im Text Schritt für Schritt entwickelt. Dabei gehen Sie folgendermaßen vor:

- Speichern Sie ggf. das bisherige Programm im Arbeitsspeicher. Wählen Sie dazu den Menüpunkt **Save** und geben Sie im Datei-Auswahlfenster den gewünschten Dateinamen an.
- Löschen Sie, wenn dies gefordert wird, das bisherige Programm im Arbeitsspeicher mit Hilfe des Menüpunktes **New**.
- Laden Sie den Interfacetreiber wie zuvor beschrieben: also **Merge** anwählen, **EXPER.LST** aussuchen und öffnen.
- Setzen Sie die Eingabemarke (Cursor) ggf. an den Anfang des Interfacetreibers, indem Sie die Taste Control festhalten und die Taste Clr/Home drücken.
- Drücken Sie die Taste Insert. Dadurch rückt der bisherige Programmtext nach unten und gibt am Programmanfang eine Zeile frei.
- Geben Sie, beginnend in dieser Zeile, das Programm zu dem Experiment ein. Nach Beendigung einer jeden Zeile erscheint eine neue freie Zeile (Eingabe und Verbesserung von BASIC-Programmen ist in dem GFA-BASIC-Handbuch beschrieben.)
- Testen Sie das Programm, wie in der Experimentbeschreibung angegeben. Verbessern Sie ggf. aufgetretene Programmier- oder Tippfehler.
- Das Programm sollten Sie, wenn es funktioniert, auf eine Arbeitsdiskette (nicht die fischertechnik Diskette!) abspeichern.

Kommen Sie mal mit einem Programm gar nicht klar oder wollen Sie schnell ein Programm vorführen oder sich ein paar Anregungen zum Verschönern der Programme holen, so greifen Sie zur fischertechnik Diskette (bzw. zu deren Kopie). Dort finden Sie Beispielprogramme zu den Experimenten. Das Programmstück, das jeweils als Hauptprogramm gekennzeichnet ist, ähnelt meist den im folgenden abgedruckten Programmen. Der Rest des Beispielprogramms, manchmal gar der größte Teil, dient der Bedienerführung, der Gestaltung des Bildschirms usw.
Auch die Beispielprogramme bestehen aus dem eigentlichen Programm und dem Interfacetreiber. Das Laden der Beispielpro-

Die Beispielprogramme enthalten deswegen nicht den Interfacetreiber, damit die gesamte Software auf die fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL-Diskette paßt. Wenn Sie also die Beispielprogramme jedesmal inklusive Interfacetreiber abspeichern, müssen Sie damit rechnen, mehrere Disketten zu belegen.

gramme erfolgt daher auf ähnliche Weise wie das Erstellen der Übungsprogramme:

- Speichern Sie ggf. das bisherige Programm im Arbeitsspeicher. Wählen Sie dazu den Menüpunkt **Save** und geben Sie im Datei-Auswahlfenster den gewünschten Dateinamen an.
- Entfernen Sie ggf. die Arbeitsdiskette und legen Sie die (Kopie der) fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL-Diskette ein.
- Wählen Sie den Menüpunkt **Load** an und suchen Sie das gewünschte Programm aus. Öffnen Sie es mit Doppelklick oder aktivieren Sie es und klicken Sie **Öffnen** an.
- Setzen Sie die Eingabemarke (Cursor) an das Ende des Programms. Drücken Sie dazu die Tasten Control und Z.
- Laden Sie den Interfacetreiber wie zuvor beschrieben: also **Merge** anwählen, **EXPER.LST** aussuchen und öffnen.
- Starten Sie das Programm mit **Run**.
- Testen Sie das Programm, wie in den Bildschirmmeldungen angegeben.
- Speichern Sie ggf. das Programm auf einer getrennten Diskette. Wählen Sie dazu den Menüpunkt **Save** und geben Sie im Datei-Auswahlfenster den gewünschten Dateinamen an. Auf diese Weise werden Beispielprogramm und Interfacetreiber zusammen abgespeichert. Sie vermeiden bei einer späteren Benutzung den Aufruf von **Merge** .

In der nachfolgenden Beschreibung der Experimente wird davon ausgegangen, daß Sie grundlegende Kenntnisse in der Erstellung von BASIC-Programmen besitzen. Sie sollten in der Lage sein, die Kommandos einzugeben, die Eingaben gegebenenfalls zu korrigieren, ein Programm zu starten, es auf dem Bildschirm auszugeben und auf Diskette zu speichern. Wenn auch im Folgenden etliche Hinweise und Hilfen zur Programmiertechnik gegeben werden, so darf dies nicht als BASIC-Kurs verstanden werden.

Wenn Sie also mehr experimentieren wollen als nur die fertigen Programme auf der Diskette zu benutzen und Sie sich nicht ganz sicher bezüglich Ihrer Programmierfertigkeiten sind, so sollten Sie zunächst gründlich die Anleitung Ihres Computers und von GFA-BASIC studieren und eventuell auch einen BASIC-Programmierkurs durchnehmen.

Wenn nun alles richtig funktioniert, können wir mit den ersten Experimenten beginnen. Zunächst bauen wir das Modell Seilwinde 1 nach der Bauanleitung auf. Auf einem Grundrahmen befindet sich ein Motor mit Übersetzung. Auf eine vom Motor angetriebene Querachse ist eine Seiltrommel gesteckt. Der Motor ist über das orange und das gelbe Kabel mit dem Interface verbunden. Wenn Sie das Anschlußbild auf dem Interface ansehen, werden Sie bei diesen beiden Kabeln die Bezeichnung M1 (= Motor 1) finden. Stecken Sie das Modellkabel ins Interface. Vergewissern Sie sich, daß der Interfactreiber geladen ist (s. Kapitel 3), wechseln Sie durch Drücken der Esc-Taste in den Direktmodus und geben Sie ein:

```
@in
```

Wenn das Bereitzeichen des BASIC-Interpreters wieder erscheint, ist alles in Ordnung. Geben Sie jetzt ein:

```
@1r
```

Der Motor dreht sich kurz. Der Befehl @in (initialisiere Interface) versetzt das Interface in den Grundzustand; dies muß man immer am Anfang eines Programms machen.
Mit dem Befehl @1r wird der Motor 1 angesprochen. Er soll sich rechts herum drehen (@1r =Motor 1 rechts). Wenn rechts möglich ist, dann sicher auch links! Probieren Sie's aus:

```
@1l
```

Jetzt läuft der Motor kurz links herum. Aber warum läuft er nicht ständig? Im Interface ist eine Schutzschaltung eingebaut, die die Motorsteuerung nach ½ Sekunde abbricht, wenn das Interface vom Computer keine Kommandos mehr erhält. Dies kann auch am Erlöschen der Leuchtdiode beobachtet werden. Die Schutzschaltung soll verhindern, daß bei Fehlschaltungen, Programmierfehlern oder falschem Aufbau das Modell beschädigt wird. Stellen wir uns vor, ein Motor wäre falsch gepolt angekabelt und würde sich deswegen verkehrt herum drehen und sich anschicken, das schöne Modell, das Sie mit Sorgfalt gebaut haben, zu zerstören. Ihre natürliche erste Reaktion ist die Alternate-, Shift- und Control-Taste zu drücken (im Folgenden kurz als ASC-Taste bezeichnet). Das bewirkt zwar den Abbruch des Programms, bedeutet aber

Man nennt diesen Vorgang auch Initialisierung. Er ist auch für Computer sehr wichtig und wird bei jenen im allgemeinen immer nach dem Einschalten ausgeführt. Die Initialisierung bewirkt bei manchen Computersystemen, daß sogar gleich das passende Programm in den Computer geladen wird. Bei dem Interface ist dagegen ein eigener Befehl nötig. Um sicher zu sein, daß die Initialisierung auch wirklich durchgeführt wurde, werden andere Befehle wie @1r nur angenommen, wenn zuerst @in gegeben wurde.

Der GFA-BASIC-Interpreter nimmt selbsttätig eine Formatierung des BASIC-Programms bezüglich Einrückung, Wortabstand und Groß-/Kleinschreibung vor, letzteres je nach Version unterschiedlich. Die Schreibweise auf Ihrem Bildschirm kann daher von der hier abgedruckten (GFA-BASIC Version 3) abweichen.

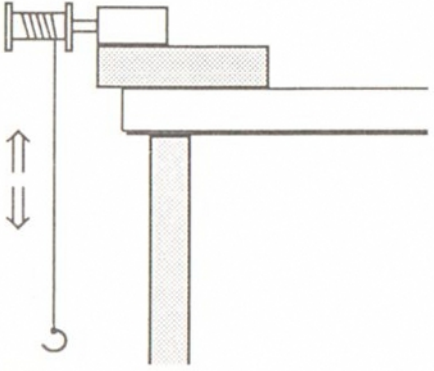


Bild 4.1: Eine Seilwinde kann man zum Experimentieren auch an einer Tischkante anbringen.

nicht unbedingt, daß auch der Motor stehen bleibt. Die Schutzschaltung des fischertechnik Interface bemerkt jedoch die Unterbrechung der Datenübertragung und schaltet selbsttätig den Motor ab.
Wie kann man den Motor nun dauernd laufen lassen? Dazu erstellen wir uns eine sog. Programmschleife. Drücken Sie die Esc-Taste und anschließend die Return-Taste, um zu dem Programm-Editor zu gelangen. Setzen Sie die Eingabemarke an den Programmanfang, indem Sie ggf. mit den Cursortasten dorthin bewegen oder die Tastenkombination Control+Clr/Home drücken. Drücken Sie die Insert-Taste, um eine freie Zeile zu erhalten. Geben Sie ein:

```
@in
DO
  @lr
LOOP
```

Wir möchten Sie daran erinnern, daß Sie zuvor das Programm EXPER.LST geladen hatten und jetzt die obigen vier Zeilen hinzugefügt haben. Ihr vollständiges Programm ist also beträchtlich länger:

```
@in
DO
  @lR
LOOP
PROCEDURE in
  REM ************************
  REM *** Interface-Treiber ***
  REM ***         für        ***
  REM ***      ATARI ST      ***
  REM ***      10.09.87      ***
  REM ************************
  REM
    :
    :          usw.
```

Für die nachfolgenden Experimente müssen Sie nicht die Bedeutung der Zeilen des Interfacetreibers verstehen. Denken Sie nur daran, daß er den notwendigen Schlüssel zu den Funktionen des Interface darstellt. Prüfen Sie immer bei jedem Programm für fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL, daß der Interfacetreiber in dem Programm enthalten ist und vor dem Aufruf eines jeglichen Interface-Kommandos erst der Aufruf @in ausgeführt wird. Beachten Sie auch noch: der genaue Wortlaut des Interfacetreibers kann je nach Version der Software auch von dem hier abgedruckten abweichen.
Starten Sie jetzt Ihr Programm durch An-

klicken des Menüpunktes **Run**.
Der Motor läuft jetzt dauernd. Mit der Zeile @1r läuft er ein Stück, durch die Zeile LOOP springt das Programm wieder zu der Zeile DO - der Motor dreht sich weiter. In dieser Schleife läuft das Programm nun endlos. Da wir aber noch andere Versuche durchführen wollen, halten wir es mit der ASC-Taste an. Dies löst die Schutzschaltung aus und der Motor hält an. Im Interface ist jedoch noch gespeichert, daß der Motor zuletzt eingeschaltet wurde. Deshalb sollten wir den Motor korrekt mit dem Befehl

```
@1a
```

abschalten. Sie können, wenn Sie es wollen, dieses Kommando im Direktmodus eingeben. Damit ist auch der Steuerbefehl im Interface gelöscht. Sie werden sich fragen, warum die Schutzschaltung erst ½ Sekunde verzögert einsetzt. Schauen Sie sich das Programm an. Die Befehle DO und LOOP benötigen einen winzigen Augenblick Zeit. In anderen Programmen werden vielleicht noch viel mehr Befehle zwischen den Steuerungen des Interface vonnöten sein. Die Schutzschaltung gewährt daher ½ Sekunde Rechenzeit.
Wenn Sie anstelle von @1r den Befehl @1l eingeben, läuft der Motor nach **Run** dauernd links herum.
Jetzt wollen wir den Motor steuern: er soll sich eine Weile rechts herum drehen und dann stehen bleiben. Damit wird eine Seilwinde nach Bild 4.1 an der Tischkante betrieben.
Wickeln Sie dazu auf die Seiltrommel eine ca. 30 cm lange Schnur und hängen an das Ende ein Gewicht (z.B. ein Förderkorb aus Bausteinen). Um den Befehl @1r nur eine bestimmte Anzahl - hier 2000 mal - auszugeben, setzen wir ihn in eine sog. FOR...NEXT-Schleife:

```
@in
FOR z=1 TO 2000
  @1r
NEXT z
@1a
END
```

Geben Sie das Programm anstelle des bisherigen Hauptprogramms ein. Dazu können Sie das bisherige mit **New** löschen, EXPER.LST mit **Merge** wieder laden und das Programm eingeben. In den meisten Fällen geht es jedoch schneller, wenn Sie das bisherige Hauptprogramm als Block markieren und löschen. Danach wird das

neue Hauptprogramm eingegeben. Starten Sie es mit **Run**. Der Motor dreht sich jetzt eine Zeit lang nach rechts, das Seil läuft nach unten. Dann stoppt der Motor - das Programm ist zuende.
Wie arbeitet nun diese FOR...NEXT-Schleife? Die FOR-Anweisung enthält einen Zähler z. Er erhält den Anfangswert 1 (...z=1...). Danach wird die nächste Zeile ausgeführt: @1r d.h. der Motor 1 startet im Rechtslauf (bzw. setzt den Rechtslauf fort). Mit der NEXT-Anweisung wird der Zähler um 1 erhöht. Außerdem wird der Zählerstand geprüft. Solange der Zähler den Grenzwert (2000 in diesem Fall: ... TO 2000) nicht überschritten hat, springt die Programmausführung in die Zeile zurück, die der FOR-Anweisung folgt. Hat der Zähler z den Grenzwert überschritten, wird die Schleife verlassen und der nächste Befehl ausgeführt. Hier ist es @1a: der Motor wird ausgeschaltet. Wenn Sie die Schleife nur 1000 mal durchlaufen lassen wollen, ändern Sie die Zahl in der Schleifenanweisung:

```
FOR z=1 TO 1000
```

Jetzt soll das Seil wieder aufgewickelt werden. Der Motor muß sich genau so lange nach links drehen, wie vorher nach rechts. Ändern Sie die Zeile mit dem Motorbefehl ab:

```
@1l
```

Nach **Run** läuft das Seil wieder nach oben. Damit die Seilwinde beide Bewegungen hintereinander ausführt, setzen wir im Programm auch zwei FOR...NEXT-Schleifen hintereinander. Die erste ist für die Abwärtsbewegung, die zweite für den Weg zurück nach oben.

```
@in
FOR z=1 TO 2000
  @1r
NEXT z
FOR z=1 TO 2000
  @1l
NEXT z
@1a
END
```

Mit **Run** starten Sie das Programm. Wenn das Seil wieder oben ist, ist das Programm zu Ende. Sie können das Seil auch dauernd auf- und abwärts laufen lassen, indem Sie dem Programm sagen, daß es am Ende wieder vorn anfangen soll:

Im Folgenden werden wir Sie nicht an das Speichern der Programme erinnern; es liegt bei Ihnen, das aufzubewahren, was Sie für wert halten. Es wird auch davon ausgegangen, daß zu Beginn eines jeden neuen Kapitels Sie mit leerem Programmspeicher anfangen und zuerst den Interfacetreiber laden.

```
@in
DO
  FOR z=1 TO 2000
    @1r
  NEXT z
  FOR z=1 TO 2000
    @1l
  NEXT z
  @1a
  FOR z=1 TO 10000
  NEXT z
LOOP
```

Vor dem erneuten Abwärtslauf wartet das Programm eine Zeitlang. Auch dafür benutzen wir wieder eine FOR...NEXT-Schleife. Hier wird nichts anderes gemacht, als von 1 bis 10000 gezählt, da innerhalb der Schleife keine Anweisung wie im vorherigen Versuch steht. Man nennt solche Schleifen, die den Programmablauf eine gewisse Zeit verzögern sollen, daher auch "Warteschleifen". Anstelle der Warteschleife hätte auch die BASIC-Anweisung PAUSE benutzt werden können.
Das Programm wurde mit der DO...LOOP-Anweisung umrahmt, wodurch der Vorgang von neuem beginnt.
Mit **Run** wird die Seilwinde in Gang gesetzt, mit der ASC-Taste läßt sie sich anhalten.

Wie Sie dem Bild auf dem Interface entnehmen können, lassen sich maximal vier Motoren ansteuern. Für jeden Motor sind zwei Leitungen vorgesehen, für Motor 2 z.B. grün und blau. Schließen Sie den Motor an diese Leitungen an, so ist der bisherige Befehl @1r nicht mehr wirksam. Motor 2 wird mit

`@2r` bzw. `@2l`

angesprochen. Analog dazu lassen sich Motor 3 und 4 betreiben:

`@3r` bzw. `@3l`
`@4r` bzw. `@4l`

Bevor Sie mit dem nächsten Programm beginnen, vergewissern Sie sich bitte, ob Sie nicht das vorige Programm aufbewahren möchten. Um es auf Diskette zu schreiben, wählen Sie den Menüpunkt **Save**. Geben Sie im Dateifenster z.B. den Namen MOTOR1 an. Anstelle MOTOR1 können Sie natürlich auch einen anderen Namen Ihrer Wahl verwenden. Nun löschen Sie den Programmspeicher und laden wieder den Interfacetreiber durch Anwahl von **Merge** und Auswahl der Datei EXPER.LST.

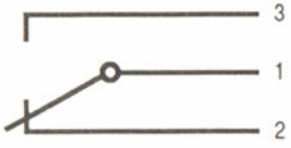


Bild 4.2: Schaltzeichen eines Tasters.

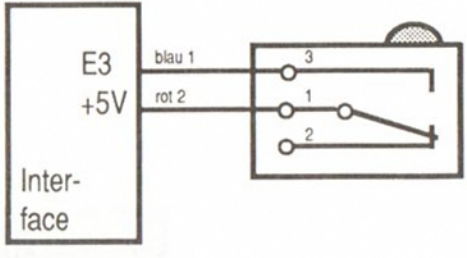


Bild 4.3: Verbindung vom Taster zum Interface.

4.2. Schaltkontakte und Taster: Eingabe

Neben Motoren werden bei den Modellen aus dem Baukasten oft Schalter bzw. Taster benutzt. Wie diese Bauteile funktionieren und wie sie vom Computer abgefragt werden können, soll im Folgenden gezeigt werden.

Nehmen Sie zunächst einen Taster aus Ihrem Baukasten. Er hat drei Anschlußbuchsen, neben denen die Schaltfunktion dargestellt ist, wie Bild 4.2 zeigt.

Dieser Taster hat zwei Schaltkontakte. In Ruhestellung, wenn der Taster nicht betätigt wird, besteht eine leitende Verbindung zwischen den Anschlüssen 1 und 2. Drükken Sie auf den Tastknopf, wechselt der Schaltkontakt an Anschluß 1 zur anderen Seite. Jetzt haben wir eine Verbindung zwischen Anschluß 1 und 3 - der Weg von 1 nach 2 ist unterbrochen. Dieser Zustand bleibt solange bestehen, wie der Taster gedrückt wird. Läßt man ihn los, geht er wieder in Grundstellung (Verbindung 1-2). Damit kennen wir nun auch den Unterschied zwischen Schaltern und Tastern. Ein Schalter - z.B. der Lichtschalter in Ihrem Zimmer - wird einmal betätigt und bleibt dann selbständig in dieser Stellung (AUS oder EIN). Ein Taster hat eine Grundstellung; er schaltet nach Betätigung um und geht nach Loslassen wieder von selbst in die Grundstellung zurück.

Wir wollen den Taster jetzt am Interface betreiben und schließen ihn dazu nach Bild 4.3 an. Anschluß 1 verbinden wir mit dem +5V-Anschluß am Interface (Leitung Rot 2), den Schaltkontakt 3 schließen wir an einem Eingang an. Wir können z.B. Eingang E3 (Blau 1) wählen. Um die Eingabeleitung E3 vom Computer abzufragen, geben Sie ein:

```
@in
DO
  @de
  PRINT AT(1,1);e3
LOOP
```

Der Befehl @de liest die Werte aller Eingabeleitungen des Interfaces ein. Auf dem Bildschirm wird der Wert des Eingangs E3 mit der nachfolgenden PRINT-Anweisung angezeigt. Die Druckposition auf die linke obere Bildschirmecke gesetzt. Dies wird durch die Anweisung AT(...) bewirkt. Die Zahlen nach dem Befehlswort bedeuten Zeilen- und Spaltennummer.

Starten Sie das Programm mit **Run**. Der Bildschirm wird gelöscht und anschließend der Schaltzustand laufend angezeigt. Zu-

nächst erscheint auf dem Bildschirm eine "0", d.h. die Verbindung zwischen 1 und 3 ist unterbrochen, wie wir aus Bild 4.3 auch sehen können. An E3 liegt keine Spannung. Drücken Sie auf den Taster. Jetzt wird eine "1" angezeigt: der Schaltkontakt ist geschlossen, an E3 liegen +5V an.
Man nennt den Kontakt 3 einen "Schließerkontakt", da er beim Betätigen des Tasters schließt.
Die Befehle zum Einlesen des Tasters und zum Ausdrucken des Werts sind mit einer DO...LOOP-Anweisung eingerahmt. Wir kennen diese Schleife bereits aus dem letzten Kapitel. Sie wird solange wiederholt, bis wir sie mit der ASC-Taste unterbrechen.
Damit Sie auch wissen, was "0" und "1" bedeuten, ergänzen wir das Programm. An die Stelle der PRINT-Anweisung kommen die Zeilen:

```
IF e3=0 THEN
   PRINT AT(1,1);"Taster aus"
ELSE
   PRINT AT(1,1);"Taster ein"
ENDIF
```

Nach **Run** wird der entsprechende Text angezeigt. Die Zuordnung erreichen wir mit einer IF...THEN-Abfrage. Dieser Befehl prüft eine Bedingung: wenn (IF) etwas zutrifft (e3=0), dann (THEN) führe aus: PRINT AT(1,1);"Taster aus".
In allen anderen Fällen (ELSE) wird der nächste Befehl ausgeführt:
PRINT AT(1,1);"Taster ein"
Die Bedingungsabfrage endet mit der Anweisung ENDIF.
Wie wir oben gesehen haben, besitzt der Taster noch einen zweiten Kontakt, den Anschluß 2. Stecken Sie das Kabel von 3 nach 2 und starten das Programm erneut mit **Run**. Auch jetzt wird wieder der Schaltzustand des Tasters angezeigt, nur ist er am Anfang "ein". Zuvor war er bei Verwendung des Kontaktes 3 "aus". Prüfen Sie's zur Kontrolle noch einmal nach!
Der Taster ist also in Ruhestellung zwischen Anschluß 1 und 2 geschlossen, wie wir auch aus Bild 4.3 sehen können. Diesen Kontakt nennen wir daher auch "Öffnerkontakt", da er bei Betätigung des Tasters öffnet. Probieren Sie die unterschiedlichen Schalterstellungen mit dem Programm aus. Später werden wir sie öfter für Steuerungen und Zählungen benötigen.
Zum Schluß wollen wir noch eine praktische Anwendung mit dem Taster durchführen: Prüfen Sie Ihre Reaktion! Sind Sie noch fit genug, um die weiteren Versuche

durchzustehen? Geben Sie folgendes Programm neu ein:

```
@in
PRINT"Wenn ein Feld erscheint"
PRINT"drücken Sie den Taster!"
PRINT
i=0
FOR z=1 TO 10000
NEXT z
PRINT CHR$(27);"p ";CHR$(27);
     "q"
REPEAT
  @de
  i=i+1
UNTIL e3=0
PRINT
PRINT"Stop nach: ";i
END
```

Am Taster sind die Kontakte 1 und 2 angeschlossen. Starten Sie das Programm und drücken Sie den Taster, wenn das Feld erscheint. Wenn Sie ein Ergebnis unter 20 erreichen, dann sind Sie wirklich topfit!
Die Bedeutung der meisten Programmzeilen kennen Sie bereits aus den bisherigen Beispielen. Das Feld wird durch Ausdrukken eines inversen Leerzeichens erzeugt. Dazu muß bei der Bildschirmdarstellung die Schriftfarbe mit der Hintergrundfarbe vertauscht werden. Dies wird durch das Sonderzeichen Escape+p bewirkt. Zunächst wird die normale Zuordnung gerade vertauscht. Danach wird das Leerzeichen gedruckt, das nun sichtbar als dunkles Rechteck erscheint. Dann wird durch das Sonderzeichen Escape+q wieder auf die alte Zuordnung zurückgestellt. Das Zeichen Escape kann man nicht wie die anderen Zeichen zwischen Anführungsstrichen eingeben, sondern muß es mit Hilfe seine Codenummer 27 und der CHR$-Funktion angeben.
Neu ist auch die REPEAT...UNTIL-Schleife. Sie entspricht der DO...LOOP-Schleife, wird aber nicht nur durch Betätigen des ASC-Taste verlassen, sondern auch, wenn die Bedingung, die nach UNTIL angegeben ist, erfüllt ist. In diesem Fall führt das Drükken der Taste zu dem Wert 0 für e3 und damit zum Verlassen der Schleife.
Anschließend wird der Wert der Variablen i ausgedruckt. Dieser ist nichts anderes als die Anzahl der Schleifendurchläufe durch die REPEAT...UNTIL-Schleife bis der Taster gedrückt wurde. In den nächsten Kapiteln sehen Sie noch mehr Beispiele, wie man einen Taster in einem Programm sinnvoll einsetzen kann.

4.3. Motorsteuerung mit Tastern: Seilwinde

Wir haben bisher Anschluß und Steuerung eines Motors sowie Handhabung von Tastern kennengelernt. Jetzt wollen wir beide Bauteile miteinander verbinden. Vom Programm soll die Stellung eines Tasters abgefragt und damit ein Motor gesteuert werden.
Zu diesem Versuch bauen wir das Modell Seilwinde 2 aus der Bauanleitung zusammen. Auf dem Grundrahmen befindet sich der Motor mit der Seilwinde, auf die wir wieder eine Schnur von ca. 30 cm Länge mit Gewicht am Ende wickeln. Außen am Rahmen sind zwei Taster angebracht. Die Anschlüsse 1 beider Taster liegen auf +5V (Kabel Rot 2 vom Interface). Der rechte Taster ist mit E3 (Kabel Blau 1), der linke mit E2 (Kabel Rot 1) verbunden. Wir benutzen jeweils Anschluß 3 der Taster, also den Schließerkontakt.
Wenn alles angeschlossen ist, entwerfen wir das Programm. Zunächst soll der Motor solange laufen, bis ein Taster gedrückt wird. Laden Sie den Interfacetreiber und geben Sie ein:

```
@in
@1r
REPEAT
  @de
UNTIL e3=1
@1a
END
```

Nach **Run** wird der Motor dauernd laufen. Drücken Sie den rechten Taster, bleibt er stehen. Die Abfrage des Schaltzustandes erfolgt in der UNTIL-Anweisung. Solange e3=0 ist, also der Schließerkontakt (1-3) offen ist, springt das Programm immer wieder in die Zeile nach der REPEAT-Anweisung. Dort wird erneut der Eingang eingelesen. Der Motor läuft derweil weiter, auch wenn er kein neues Kommando erhält. Um den Motor am Laufen zu halten, genügt es auch, die Eingänge des Interface abzufragen. Erst wenn weder Ein- noch Ausgänge abgefragt werden, schaltet das Interface nach einer halben Sekunde alle Motoren ab, weil es annimmt, daß das Programm angehalten wurde (z.B. durch die ASC-Taste oder eine Fehlermeldung). Trifft jedoch die Bedingung e3=1 zu (Taster gedrückt), wird die Schleife verlassen und der Motor ausgeschaltet.
Wir können für die Steuerung auch den anderen Taster benutzen:

```
UNTIL e2=1
```

Nach **Run** muß jetzt der linke Taster betätigt werden, um den Motor zu stoppen. Wir können auch beide Taster benutzen:

```
UNTIL e2=1 AND e3=1
```

Bei dieser Abfrage müssen zwei Bedingungen zutreffen, damit die Schleife verlassen und der folgende Befehl (@1a) ausgeführt wird. Die beiden Bedingungen sind e3=1 und (AND) e2=1, d.h. beide Taster müssen gedrückt sein, damit der Motor stoppt. Man nennt dies eine logische UND-Verknüpfung. Prüfen Sie diese Verknüpfung nach Start des Programms mit **Run** nach!
Die Aufgabe läßt sich auch mit einer anderen Schleifenkonstruktion lösen:

```
@in
@1r
WHILE e2=0 OR e3=0
  @de
WEND
@1a
END
```

Die WHILE-Anweisung prüft, ob die Variable e2 oder die Variable e3 (oder beide) den Wert 0 enthalten. Dies nennt man eine logische ODER-Verknüpfung, bei der die eine oder die andere Bedingung zutreffen muß, damit der Befehl weiter ausgeführt wird. Zu Programmstart sind beide Bedingungen immer erfüllt, denn der BASIC-Interpreter besetzt zunächst alle Variablen mit dem Wert 0. Der Schleifenkörper wird ausgeführt, d.h. es erfolgt die Eingabe vom Interface. Mit der WEND-Anweisung geht der Programmfluß zurück zu der WHILE-Anweisung. Ab der zweiten Runde entscheidet die Stellung der Taster über die Wiederholung der Schleife. Wenn Sie beide Taster drücken, wird die Schleife verlassen und der Motor gestoppt. Testen Sie auch dieses Programm!
Jetzt wollen wir den linken Taster für "Seilwinde aufwärts" und den rechten für "Seilwinde abwärts" einsetzen.

```
@in
DO
  @de
  IF e3=1 AND e2=0 THEN
    @1r
  ENDIF
  IF e3=0 AND e2=1 THEN
    @1l
  ENDIF
LOOP
```

Für die Bewegungsbefehle müssen wir aus Sicherheitsgründen jeweils beide Taster abfragen.
Einer muß frei sein, wenn der andere gedrückt wird. Sonst würden zwei sich widersprechende Befehle kurz hintereinander zum Interface geschickt werden, wenn man beide Taster drückt.
Geben Sie die Zeilen ein und starten das Programm mit **Run**. Sie können das Seil jetzt mit den beiden Tastern beliebig hinauf- und herunterfahren. Anhalten läßt sich der Motor mit der ASC-Taste. In den Bedingungen finden wir wieder die UND-Verknüpfung (AND) von zwei Vergleichen, die für die Ausführung des Befehls beide erfüllt sein müssen.
Man kann auch die Taster als Startknopf für eine vollständige Auf- oder Abwärtsbewegung der Seilwinde benutzen. Dazu ändern wir den Nachsatz der IF-Anweisung (die Zeilen zwischen THEN und ENDIF):

```
IF e3=1 AND e2=0 THEN
  FOR z=1 TO 2000
    @1r
  NEXT z
  @1a
ENDIF
IF e3=0 AND e2=1 THEN
  FOR z=1 TO 2000
    @1l
  NEXT z
  @1a
ENDIF
```

Wenn das Seil vollständig aufgewickelt ist, starten Sie das Programm mit **Run**. Durch kurzes Drücken des rechten Tasters läuft das Seil nach unten. Dazu dient die Schleife in dem Nachsatz der ersten IF-Anweisung, die wir bereits aus dem letzten Kapitel kennen.
Zurückziehen läßt sich das Seil wieder durch kurzes Drücken des linken Tasters. Die Programmschritte hierzu finden wir in dem Nachsatz der zweiten IF-Anweisung.
Was passiert, wenn das Seil unten ist und Sie drücken die Taste "Seil abwärts"? Die Trommel dreht sich so, als wolle sie das Seil abwickeln, rollt es aber falsch herum wieder auf. Damit das nicht passiert, merken wir uns die Position des Seils und lassen das Programm nur die richtige Folgebewegung ausführen. Wenn das Seil oben ist, geht's nur nach unten und umgekehrt. Halten Sie das laufende Programm mit der ASC-Taste an und ergänzen Sie die IF-Anweisungen:

```
IF e3=1 AND e2=0 AND pos=0 THEN
  FOR z=1 TO 2000
    @1r
  NEXT z
  @1a
  pos=1
ENDIF
IF e3=0 AND e2=1 AND pos=1 THEN
  FOR z=1 TO 2000
    @1l
  NEXT z
  @1a
  pos=0
ENDIF
```

Am Anfang muß das Seil oben sein; deswegen wird die Variable pos zu Programmstart, noch vor der DO-Anweisung, auf Null gesetzt. Die IF-Abfragen haben wir jeweils um eine zusätzliche Bedingung erweitert. So kann das Programm nur das Seil abwickeln, wenn Taster 3 gedrückt ist, Taster 2 frei ist und das Seil oben ist (pos=0). In der zweiten IF-Anweisung ist es genau umgekehrt: Taster 3 frei, Taster 2 gedrückt und Seil unten (pos=1). Dann wird das Seil hochgezogen. Die jeweilige Position halten wir in der Variablen pos fest, nachdem die entsprechende Bewegung durchgeführt wurde. Beenden läßt sich das Programm wieder mit der ASC-Taste.

Sie sehen, wie man mit den Tastern gezielt den Motor steuern kann - entweder durch direkte Laufbefehle (@1r, @1l) oder durch Aufruf eines Programmteils für einen längeren Lauf. Ebenso lassen sich Taster- und Motorstellung miteinander verbinden (logisch verknüpfen).

Auf Diskette finden Sie ein Programm mit dem Namen TASTER.BAS. Es führt Sie ausführlich in die Steuerung der Motoren ein.

Genaugenommen hätte die Variable pos im Anfangsteil des Programms nicht auf Null gesetzt werden müssen, denn der BASIC-Interpreter setzt zu Programmstart mit Run alle Variablen auf Null. So wie BASIC verfahren jedoch nicht alle Programmiersprachen und es gehört daher zum "sauberen" Programmieren, allen Variablen einen wohldefinierten Anfangswert zu verleihen.

4.4. Kommandos und Positionen: Schritt für Schritt

Wer die vorigen Versuche aufmerksam beobachtet hat, wird sicher bemerkt haben, daß das Seil beim Vor- und Rücklauf der Winde nicht immer an der gleichen Stelle anhielt. Der Grund dafür liegt in der Zeitsteuerung des Motors. Genauer ist die Steuerung nach dem Schrittsteuerprinzip. Hier wird jede Umdrehung des Motors gezählt. Man kann so das Seil genau 10 cm nach unten laufen lassen, indem man die Motorschritte vorgibt.
Wie man die Schritte zählt und damit den Motor steuert, soll im folgenden Versuch gezeigt werden.
Dazu bauen wir das Modell Seilwinde 3 aus der Bauanleitung zusammen. Auf dem Grundrahmen befindet sich wieder der Motor mit der Seilwinde. Auf der Seite der Seiltrommel ist ein Taster montiert, der mit dem Eingang E2 (Kabel Rot 1) des Interface verbunden ist. Er ist so angebracht, daß die Nocken der Seiltrommel ihn nach jeder halben Umdrehung betätigen.
Unser Programm soll nun so aussehen, daß der Motor anläuft und nach Betätigung des Tasters durch den Schaltnocken anhält. Laden Sie dazu den Interfacetreiber und geben Sie ein:

```
@in
@ll
REPEAT
  @de
UNTIL e2=1
@la
END
```

Stellen Sie die Seiltrommel so, daß der Taster nicht gedrückt ist. Nach **Run** bewegt sich der Motor, bis der Taster schaltet. Danach bleibt er stehen und hat dabei eine halbe Umdrehung hinter sich gebracht. Die Programmschritte kennen wir bereits aus dem letzten Kapitel: hier hatten wir den Taster mit der Hand betätigt.
Schauen Sie nun genau auf den Taster. Vielleicht ist der Taster schon wieder freigegeben, weil der Betätigungsnocken schon über das Ziel hinausgeschossen ist. In diesem Fall können Sie mit dem Menüpunkt **Run** den nächsten Schritt aufrufen. Stellen Sie jetzt aber die Seiltrommel mal so, daß der Nocken den Taster drückt und klicken Sie **Run** an. Der Motor wird nur einen kurzen, kaum merklichen Ruck ausführen und schon wieder stehen. Der Grund: Da der Taster schon gedrückt war, war die Abfrage in der UNTIL-Anweisung gleich beim ersten Mal erfüllt und das Programm wurde sofort beendet. Erweitern Sie das

Dieses Schrittsteuerprinzip findet man in der Digitaltechnik häufig. Neben Robotern, Diskettenlaufwerken und Druckern werden auch so alltägliche Dinge wie Quarz-Armbanduhren mit Zeigern mit einem schrittgesteuerten Motor betrieben. Wenn man genau hinschaut, kann man auch sehen, wie sich der Sekundenzeiger in ganz winzigen Schritten weiterbewegt.

Programm, so daß es wie folgt aussieht:

```
@in
@11
REPEAT
  @de
UNTIL e2=0
REPEAT
  @de
UNTIL e2=1
@1a
END
```

Nun wird zunächst gewartet, bis der Taster freigegeben ist. Danach kann geprüft werden, ob der Taster wieder gedrückt wird. Dieses Programm arbeitet nun bei jeder beliebiger Anfangsstellung der Seiltrommel.
Da dieser Programmablauf sehr oft benötigt wird, gibt es dafür ein eigenes Unterprogramm:

```
@1v     (Motor 1 vorwärts)
```

Das Unterprogramm arbeitet zudem mit einer sogenannten Gegenstrombremse: kurz vor dem Befehl @1a wird der Motorstrom nochmals umgepolt. Damit bleibt der Motor schlagartig stehen. Die Positionierung wird also mit diesem Aufruf auch genauer sein.
Wenn wir den Motor z.B. zehn Umdrehungen laufen lassen wollen, müssen wir 20 mal diesen Befehl ausgeben (1 Befehl = ½ Umdrehung). Das Programm dazu sieht so aus:

```
@in
FOR z=1 TO 20
  @1v
NEXT z
END
```

Ebenso läßt er sich in die andere Richtung drehen; ändern Sie das Kommando zum Vorwärtsdrehen in:

```
@1z   (Motor 1 zurück)
```

Nach **Run** läuft der Motor zehn Umdrehungen zurück.
Neben den beiden Kommandos @1v und @1z gibt es diese Kommandos natürlich auch noch für die Motoren 2, 3 und 4. Also:

```
@2v   und   @2z
@3v   und   @3z
@4v   und   @4z
```

Mit diesen neuen Befehlen läßt sich unsere Seilwinde nun genau positionieren.
Das Programm dazu lautet:

```
@in
pos=0
DO
  REPEAT
  UNTIL INKEY$<>""
  IF pos=0 THEN
    FOR z=1 TO 20
      @1z
    NEXT z
    pos=1
  ELSE
    FOR z=1 TO 20
      @1v
    NEXT z
    pos=0
  ENDIF
LOOP
```

Das Seil auf der Winde befindet sich oben; starten Sie das Programm mit **Run**. Der Motor bewegt sich noch nicht. Sie müssen jetzt eine Taste drücken, damit das Seil nach unten läuft. Die Abfrage der Tastatureingabe erfolgt in einer REPEAT...UNTIL-Schleife, deren eigentlicher Schleifenkörper leer ist. Die INKEY$-Funktion liest den Code der gedrückten Taste ein.
Wird keine Taste gedrückt, ist INKEY$ leer (codiert durch die zwei Anführungszeichen, zwischen denen sich nichts befindet). Sobald eine Taste gedrückt wird, wird die REPEAT...UNTIL-Schleife verlassen.
Das Seil läuft nach unten. Die Anfangsposition war oben (pos=0); damit führt das Programm den ersten Teil der IF-Anweisung aus. Wenn das Seil unten ist, wartet das Programm wieder auf eine Tastatureingabe. Drücken Sie eine Taste, und das Seil läuft wieder nach oben, da jetzt pos=1 ist. Das Seil ist dabei im Uhrzeigersinn auf die Trommel gewickelt. Mit der ASC-Taste wird das Programm beendet.
Wir können das Seil jetzt auch auf halber Strecke anhalten, indem wir in den FOR...NEXT-Schleifen nur zehn Drehschritte vorgeben:

```
FOR z=1 TO 10
```

Nach **Run** und Tastendruck läuft das Seil bis zur Mitte und zurück.
Wenn wir die Schrittzahl erst nach Programmstart eingeben, läßt sich das Seil gezielt auf jede Position fahren:

```
@in
```

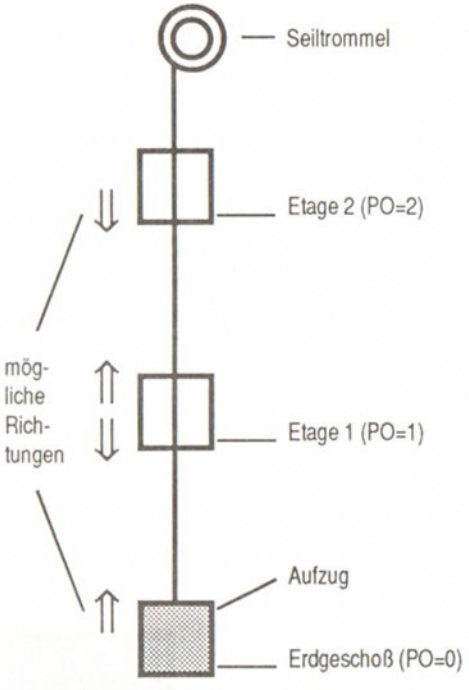


Bild 4.4: Arbeitsweise eines Aufzugs.

```
pos=0
INPUT "Schritte (1-20):";s
DO
  REPEAT
  UNTIL INKEY$<>""
  IF pos=0 THEN
    FOR z=1 TO s
      @1z
    NEXT z
    pos=1
  ELSE
    FOR z=1 TO s
      @1v
    NEXT z
    pos=0
  ENDIF
LOOP
```

Nach **Run** geben Sie die Schrittzahl ein; sie wird in s gespeichert. Nach einem Tastendruck läuft das Seil diese Anzahl Schritte vor und auch wieder zurück, denn der Endwert der FOR...NEXT-Schleifen ist der Wert von s.
Fahren Sie das Seil nun um 20 Schritte nach unten und beenden das Programm mit der ASC-Taste. Wir wollen mit den neuen Befehlen jetzt eine praktische Anwendung kennenlernen: einen Fahrstuhl mit drei Etagen. Mit Hilfe der Cursortasten ↑ und ↓ lassen wir den Lift nach oben und unten fahren. Als Aufzug benutzen wir unsere Seilwinde. Bild 4.4 zeigt den Fahrstuhl.
Für das Fahrstuhlprogramm löschen Sie den Programmspeicher, laden den Interfacetreiber und geben ein:

```
@in
pos=0
auf$=CHR$(0)+CHR$(72)
ab$=CHR$(0)+CHR$(80)
DO
  PRINT AT(1,1);"Etage:";pos
  a$=INKEY$
  IF a$=auf$ AND pos<>2 THEN
    FOR z=1 TO 10
      @1v
    NEXT z
    pos=pos+1
  ENDIF
  IF A$=AB$ AND pos<>0 THEN
    FOR z=1 TO 10
      @1z
    NEXT z
    pos=pos-1
  ENDIF
LOOP
```

Diesmal ist das Seil zu Beginn ganz ausgefahren, der Lift steht in Grundstellung ganz unten (Position pos=0).
Starten Sie das Programm mit Run. Auf dem Bildschirm erscheint die Anzeige, auf welcher Etage der Aufzug sich befindet. Geben Sie die Richtung des Fahrstuhls ein: z.B. ↑, wenn Sie nach oben möchten. Der Lift fährt hoch nach Etage 1 und der Bildschirm zeigt Ihnen das an.
Von Etage 1 können Sie nach oben und unten fahren, von den Etagen 0 und 2 nur in den angegebenen Richtungen nach Bild 4.4. Wenn der Lift auf Etage 2 steht, kann er nicht nach oben fahren, von Etage 0 kann er nicht weiter nach unten fahren.
Nach Bestimmung der Fahrtrichtung erfolgt die Auswahl des entsprechenden Programmteils. Die Etagenposition ist in den IF-Abfragen mit dem Cursortastencode UND-verknüpft. Die Codes für die Cursortasten sind am Programmanfang in den Variablen auf$ und ab$ festgelegt. Anders als bei den Buchstaben und Ziffern kann der Code für die Cursortasten nicht mit Anführungsstrichen eingegeben werden. Stattdessen muß in dem Anleitungsbuch des Computers die interne Verschlüsselung der Taste nachgeschlagen werden und in der Funktion CHR$(...) angegeben werden. Diese wandelt sie in den Tastencode um. Im Moment brauchen Sie sich um solche Details nicht zu kümmern, die richtigen Codes sind bereits in der Programmliste angegeben.
Probieren Sie selbst, in das Programm weitere Etagen einzubauen. Eine andere Anwendung von Motoren mit Schrittsteuerung ist ein Förderband, das schrittweise um einen bestimmten Betrag vorwärts läuft. Zwischendurch hält es immer wieder eine Zeitlang an. Versuchen Sie auch hierzu ein Programm zu schreiben, in dem Sie z.B. mit den Cursortasten rechts und links das Band jeweils 5 Schritte vor- und zurücklaufen lassen.
Eine Variante der Schrittsteuerung ist die Positionierung des Motors durch Angabe der Zielposition (Sollwert). Dabei merkt sich das Programm die momentane (Ist-) Position und entscheidet durch Soll-/Istwert-Vergleich, in welche Richtung sich der Motor drehen soll, um ans Ziel zu kommen. Als Positionsangabe wird die Schrittzahl benutzt.
Wir verwenden für unseren Versuch wieder das vorige Modell und wickeln das Seil ganz auf die Rolle. Dies soll die Position 0 sein. Laden Sie den Interfacetreiber neu und geben Sie folgendes Programm ein:

```
@in
z=0
DO
  CLS
  INPUT "Position (0-20):";s
  IF z<s THEN
    FOR i=z+1 TO s
      @1z
    NEXT i
  ENDIF
  IF z>s THEN
    FOR i=z-1 TO s STEP -1
      @1v
    NEXT i
  ENDIF
  z=s
LOOP
```

Die Anfangsposition 0 wird zu Beginn mit z=0 markiert. Nach Programmstart mit RUN geben Sie die gewünschte Position ein: eine Zahl zwischen 0 und 20. Das Programm prüft durch Vergleich, ob die Zielposition (Sollwert s) größer oder kleiner ist als die Startposition (Istwert z). Ist z<s, läuft der Motor die entsprechende Schrittzahl vor. Stören Sie sich nicht daran, daß hier @1z steht: das Seil ist im Uhrzeigersinn aufgewickelt und läuft nach unten. Ist die Sollposition kleiner als der Istwert (z>s), läuft der Motor in die andere Richtung zurück. Die zweite FOR...NEXT-Schleife zählt rückwärts (...STEP -1), also vom höheren Wert z zum kleineren Wert s in 1er-Schritten. Danach merkt sich das Programm die neue Position als Istwert in der Variablen z und wiederholt den ganzen Vorgang mittels der DO...LOOP-Schleife.
Zur Übung finden Sie auf der Diskette zwei Programme: mit Programm SCHRITT.BAS können Sie einen Motor schrittweise vor- und zurückdrehen, mit POSITION.BAS läßt er sich auf bestimmte Positionen bewegen. Der Ablauf wird jeweils auf dem Bildschirm dargestellt.

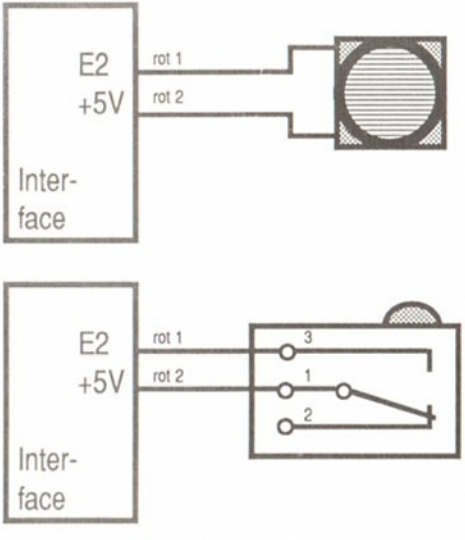


Bild 5.1: Ein Fotowiderstand ersetzt den Taster aus Bild 4.3.

Anstelle des mechanischen Tasters zur Messung der Schrittzahl und Steuerung eines Motors kann man auch eine Lichtschranke einsetzen. Sie besteht aus einem Lichtsender und einem Empfänger. Wird der Lichtstrahl zwischen den beiden Bauteilen unterbrochen, liefert sie ein Signal. Wie man die Lichtschranke mit dem Motor betätigen und ihn damit steuern kann, wird im Folgenden gezeigt.
Wir bauen zunächst das Modell Gabellichtschranke aus der Bauanleitung auf. Der Motor auf dem Grundrahmen treibt jetzt eine senkrechte Achse an, auf der eine Scheibe mit sechs Schlitzen sitzt. Am Außenrand der Scheibe befindet sich die Lichtschranke. Von oben leuchtet eine Lampe, die am Ausgang M3 des Interfaces angeschlossen ist, auf den Lichtempfänger. Dieses Bauteil, ein lichtempfindlicher Widerstand (Fachausdruck: Fotowiderstand), ist am Eingang E2 angeschlossen. Mit folgendem kurzen Testprogramm, das zu dem Interfacetreiber hinzugefügt wird, wird die Funktion des Aufbaus geprüft:

```
@in
FOR i=1 TO 1000
  @1r
  @3r
NEXT i
@1a
@3a
END
```

Nach dem Start des Programms mit **Run** dreht der Motor das Rad einige Zentimeter vor. Dabei leuchtet die Lampe auf.
Bevor wir die Funktion des Fotowiderstandes prüfen, müssen wir zunächst wissen, wie er arbeitet.
Der Fotowiderstand ist ein lichtabhängiger Widerstand. Er ändert seinen Widerstand, also seine Leitfähigkeit für den elektrischen Strom, mit der Stärke des einfallenden Lichtes. Drehen Sie das Rad auf der Achse so, daß ein Spalt über dem Fotowiderstand steht. Geben Sie das nächste Testprogramm ein:

```
@in
@de
PRINT e2
END
```

Am Bildschirm erscheint die Anzeige "0". Wenn nicht, ist vielleicht die Raumhelligkeit zu groß. Achten Sie darauf, daß kein direktes Licht auf den Fotowiderstand fällt.
Im nächsten Schritt schalten wir die Lampe

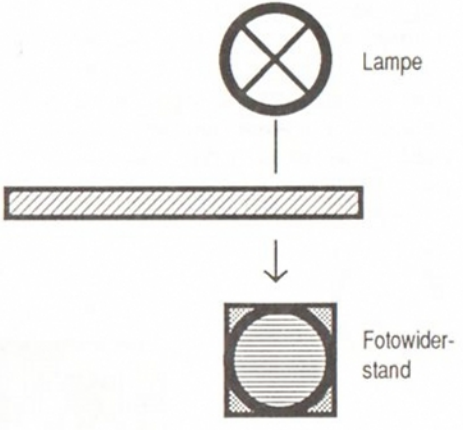


Bild 5.2: Prinzip einer Gabellichtschranke

des Modells wieder ein und lassen das Programm in einer Schleife laufen:

```
@in
@3r
DO
  @de
  PRINT e2
LOOP
END
```

Nach **Run** wird die Wirkung des Fotowiderstandes angezeigt: am Bildschirm erscheinen einige "0", dann eine "1". Was bedeutet das? Der Fotowiderstand ist nach Bild 5.1 wie der Taster zuvor angeschlossen.
Aus den Experimenten des vorigen Kapitels wissen wir, daß ein geöffneter Taster die Anzeige einer "0" bewirkt. Wird der Taster gedrückt, wechselt die Anzeige auf "1". Dies bedeutet, daß elektrischer Strom von dem Anschluß +5V über den Schalterkontakt in den Eingang E2 fließt. Beim Fotowiderstand zeigt sich dasselbe: bei Lichteinfall leitet er den elektrischen Strom, die Anzeige ist "1". Man sagt auch, er wird niederohmig. Ohne Lichteinwirkung leitet er schlechter, die Anzeige ist "0", was der Schalterstellung "offen" entspricht. Hier redet man von einem hochohmigen Widerstand. Wir benutzen diesen Effekt, indem wir dem Fotowiderstand entweder ganz helles oder gar kein Licht zuführen. Streulicht, auch von hellen Glühlampen, kann unsere Versuche stören. Daß zunächst noch eine "0" kam, liegt daran, daß die Lampe nach dem Kommando @3r noch einen kurzen Moment braucht, um die volle Helligkeit zu erreichen. Diesen Effekt werden wir in den nachfolgenden Experimenten beachten müssen und die Lampe immer eine Weile vorher einschalten.
Die Schaltwirkung der Lichtschranke, die man als Gabellichtschranke bezeichnet, können wir durch Unterbrechen des Lichtstrahls überprüfen (Bild 5.2). Halten Sie bei laufendem Programm ein dunkles Blatt zwischen Lampe und Fotowiderstand, so wechselt die Anzeige auf "0". Der Fotowiderstand sperrt - er wird hochohmig.
Er verhält sich bei großen Lichtsprüngen wie ein Taster (Schließerkontakt). Sein Vorteil liegt darin, daß er berührungslos arbeitet, reaktionsschnell ist und keine Abnutzung wie ein Taster hat. Der Nachteil ist natürlich die zusätzlich erforderliche Lichtquelle.
Mit dieser Lichtschranke wollen wir jetzt wieder den Motor steuern. Drehen Sie

Lichtempfindliche Bauelemente haben in der modernen Elektronik und in fast allen Bereichen unseres Lebens weiten Eingang gefunden. Das Bauelement in unseren Experimenten wird auch LDR - light dependent resistor - genannt, was soviel wie lichtabhängiger Widerstand bedeutet. Daneben gibt es noch Photodioden, Phototransistoren und Solarzellen, die alle auch auf Licht reagieren. Diesen Bauelementen liegt zugrunde, daß in atomaren Prozessen die Lichtteilchen (Photonen) elektrische Ladungsträger (Elektronen) im Halbleitermaterial freisetzen können. Lichtempfindliche Bauelemente finden wir z.B. in Belichtungsmessern, in solarbetriebenen Uhren, in der Fernsteuerung von Fernsehgeräten, aber auch in der hochmodernen Glasfasertechnik zur Informationsübertragung.

zunächst das Rad so, daß der Weg zwischen Lampe und LDR-Widerstand versperrt ist. Nach **Run** muß das Programm "0" anzeigen. Nach Halt mit der ASC-Taste erweitern wir das Programm mit der Motorsteuerung:

```
@in
@3r
@1r
REPEAT
  @de
UNTIL e2=1
@1a
@3a
END
```

und starten es mit **Run**. Der Motor dreht die Scheibe jetzt solange, bis durch einen Spalt des Rades Licht auf den Fotowiderstand fällt. Motor und Lampe werden ausgeschaltet. Die REPEAT...UNTIL-Schleife haben wir bereits im vorigen Kapitel kennengelernt und dafür einen neuen Befehl eingesetzt:

```
@1z
```

Löschen Sie das bisherige Hauptprogramm oder laden Sie den Interfacetreiber neu und geben Sie folgendes neues Programm ein:

```
@in
FOR z=0 TO 200
  @3r
NEXT Z
@1z
@3a
END
```

Starten Sie das Programm mit **Run**. Die Lampe wird in der FOR...NEXT-Schleife eine Weile vorgeheizt. Der Motor läuft anschließend solange, bis die Lampe wieder über einem Spalt in der Scheibe steht. Da sie sechs Einkerbungen hat, können wir den Befehl @1z sechsmal wiederholen und erzielen so eine ganze Umdrehung:

```
FOR i=1 to 6
  @1z
NEXT i
```

Mit der Programmänderung:

```
  @1v
```

dreht sich das Rad in die andere Richtung. Auf der Diskette finden Sie das Programm

WINKEL.BAS, das die Drehscheibe in ähnlicher Weise steuert, wie das Programm POSITION.BAS die Seilwinde. Allerdings weist das Programm eine Verfeinerung auf. Da bei der Drehscheibe nach sechs Schritten die Ausgangslage wieder erreicht wird, akzeptiert das Programm nur fünf verschiedene Positionsangaben (die Ausgangsposition ist als Zielposition nicht sinnvoll!). Die Positionen werden übrigens im Gradmaß eingegeben: 0°, 60°, 120°, 180°, 240° und 300°. 360° gibt es nicht mehr, diese Position lautet wieder 0°. Darüber hinaus sucht das Programm immer den kürzesten Weg zu der Zielposition. Von 60° auf 240° geht es also rückwärts über die 0°.

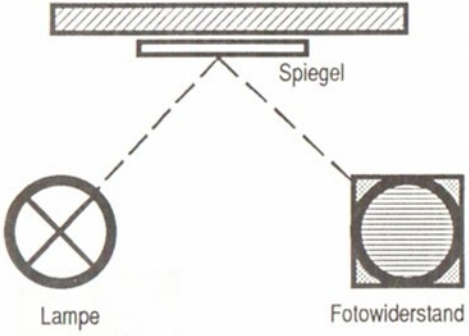


Bild 5.3: Arbeitsweise einer Reflexionslichtschranke

5.2. Schalten auf Distanz: Reflexionslichtschranke

Eine Variante des Versuchs ist die Reflexionslichtschranke. Hier wird das Licht nicht direkt zum LDR-Widerstand geführt, sondern von einer hellen Fläche reflektiert. Bild 5.3 zeigt den Unterschied:
Unterbrochen wird der Strahl, indem man die Reflexionsfläche entfernt. Ändern Sie das Modell Gabellichtschranke aus dem letzten Versuch in das Modell Reflexionslichtschranke aus der Bauanleitung ab. Die Lampe befindet sich jetzt ebenfalls auf der Unterseite des Rades. Sie strahlt auf die Scheibe, von der das Licht über aufgeklebte Segmentflächen reflektiert wird. Diese hellen Flächen befinden sich an denselben Stellen, an denen vorher das Licht durch das Rad gelangen konnte. Unser Programm müßte genauso laufen wie vorher. Starten Sie es durch Anklicken von **Run.**
Das Rad dreht sich einmal ganz und bleibt dann stehen. Wenn das nicht der Fall ist, stimmt vielleicht der Abstand zwischen Rad und Lampe nicht. Exakt einstellen läßt er sich mit folgendem Testprogramm. Speichern Sie das bisherige Programm und geben Sie als Hauptprogramm jetzt ein:

```
@in
@3r
DO
```

Lichtschranken werden in der Praxis an vielen Stellen eingesetzt: bei Alarmanlagen im Haus, in der Autowaschstraße oder als Zähler am Fließband. Auch in manchen Diskettenlaufwerken befindet sich eine Lichtschranke. Sie erkennt anhand eines Loches in der Diskette den Anfang einer Datenspur. Drehen Sie eine alte 5¼"-Diskette von Hand in der Hülle. An einer bestimmten Stelle werden Sie das Loch finden, das zum Schalten der Lichtschranke dient.

```
  @de
  PRINT AT(1,1);e2
LOOP
```

Drehen Sie das Rad so, daß ein helles Segment zwischen Lampe und Fotowiderstand steht, wie Bild 5.3 zeigt.
Jetzt starten Sie das Programm mit **Run**. Schieben Sie das Rad auf der Achse so weit nach oben oder unten, bis die Bildschirmanzeige "1" zeigt. Wenn Sie nun das Rad nach rechts und links drehen, muß die Anzeige zwischen "1" und "0" wechseln. Damit ist der Abstand zwischen Lampe und Rad richtig. Mit der ASC-Taste halten Sie das Testprogramm an. Laden Sie Sie das vorige Programm durch Anklicken des Menüpunktes **Load** und Auswahl der Datei. Nun können Sie das Programm erneut mit **Run** starten.
Auch hier lassen sich wieder verschiedene Anwendungsbeispiele wie zuvor ausprobieren: man kann das Rad abwechselnd nach rechts und links laufen lassen. Geben Sie dafür ein:

```
@in
FOR z=1 TO 200
  @3r
NEXT z
FOR i=1 TO 3
  @1v
NEXT i
DO
  FOR i=1 TO 6
    @1z
  NEXT i
  FOR i=1 TO 6
    @1v
  NEXT i
LOOP
```

Markieren Sie einen Punkt auf dem Rad und starten das Programm mit **Run**. Der Punkt wird sich um 360° hin- und herbewegen.
Natürlich kann man den Motor auch wieder mit Hilfe der Lichtschranke auf eine bestimmte Position drehen. Versuchen Sie selbst, die Grenzen der Lichtschranke festzustellen. Bei welcher Raumhelligkeit arbeitet sie noch einwandfrei?
Ist sie empfindlich genug, um den Motor immer wieder an der gleichen Stelle anzuhalten?
Es erweist sich, daß die Reflexionslichtschranke sehr sorgfältig einjustiert werden muß, um zuverlässig zu arbeiten. Die Erklärung dafür folgt im nächsten Kapitel.

6.1. Analogwerterfassung: Belichtungsmesser

Eingangsschaltungen an Computern, die analoge Werte erfassen können, werden AD-Wandler (Analog-Digital-Wandler) genannt. Die AD-Wandler arbeiten nach unterschiedlichen Verfahren, die sich im Aufwand, der Präzision und der Arbeitsgeschwindigkeit teils erheblich unterscheiden. Der AD-Wandler im fischertechnik Interface benutzt das gleiche Prinzip wie die Eingangsschaltung für stufenlose Joysticks, sog. Paddles. Je nach Widerstandswert erzeugt ein Zeitgeberbaustein Impulse entsprechender Dauer, die an einen Computereingang weitergegeben werden. Der Computer bestimmt wiederum die Impulsdauer durch ein Zählverfahren.

Wie wir aus dem letzten Versuch gesehen haben, arbeitet die Lichtschranke nicht so sicher bei der Motorsteuerung wie ein Taster. Besonders die Reflexionslichtschranke war anfällig gegen Fremdlichteinfall. Sie schaltete dadurch manchmal auch an nicht gewollten Stellen oder überhaupt nicht.
Um das genaue Verhalten des Fotowiderstandes bei Lichtänderung zu erfassen, bauen wir das Modell Belichtungsmesser aus der Bauanleitung zusammen. Sie brauchen dazu den Grundrahmen mit dem Motor nicht zu zerlegen. Die verbleibenden Bausteine genügen für den Belichtungsmesser. An der Halterung sitzt vorn der Fotowiderstand, der diesmal am Analogeingang EX (oranges Kabel) angeschlossen ist. Dieser Eingang erfaßt im Gegensatz zum Digitaleingang, den wir bei dem Versuch mit der Lichtschranke benutzt haben, analoge Meßwerte. Dies sind z.B. Spannungen, die sich zwischen einem Minimum und Maximum stetig ändern. Unser Interface ist so konstruiert, daß zwischen den Analogeingang und +5V ein veränderlicher Widerstand geschaltet werden kann. Der Widerstandswert wird in einen Zahlenwert umgesetzt, den der Computer lesen und verarbeiten kann.
Schließen Sie das Modell am Interface an und laden Sie GFA-BASIC und den Interfacetreiber (s. Kapitel 3). Zum Einlesen eines Analogwertes - hier also eines Widerstandswertes - mittels des Eingangs EX geben Sie ein:

```
@in
@ex
PRINT ex
END
```

Mit @in wird das Interface in den Grundzustand gebracht, mit @ex der Wert des Fotowiderstands im Computer in der Variablen ex gespeichert. Nach dem Programmstart mit **Run** wird der Analogwert durch die PRINT-Anweisung am Bildschirm angezeigt.
Daß der Fotowiderstand auf Lichtänderungen reagiert, können wir mit folgenden Programmänderungen feststellen:

```
@in
DO
  PRINT "Meßwert:";
  @ex
  PRINT ex
  REPEAT
  UNTIL INKEY$<>""
LOOP
```

Meßwert:	Licht
58	hell
87	
123	
174	
255	dunkel

Bild 6.1: Meßreihe einer Lichtmessung.

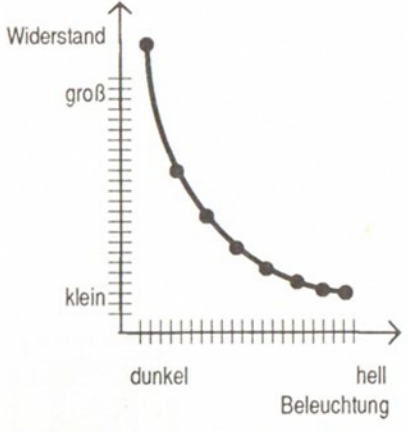


Bild 6.2: Allgemeiner Kennlinienverlauf des Fotowiderstandes.

Geben Sie die Zeilen ein und starten das Programm mit **Run**. Schwenken Sie nun den Fotowiderstand hin und her, so daß er unterschiedlich beleuchtet wird. Drücken Sie dabei immer wieder auf eine Taste des Computers; dann verläßt das Programm die REPEAT-Schleife und der nächste Meßwert wird auf dem Bildschirm angezeigt. Man erkennt deutlich, daß bei jedem Helligkeitswechsel der Zahlenwert größer oder kleiner wird. Wir haben es hier nicht mit zwei stabilen Zuständen wie beim Taster zu tun (EIN und AUS). Dadurch erklärt sich auch das unterschiedliche Schaltverhalten der Lichtschranke bei Helligkeitsschwankungen.

Den genauen Zusammenhang zwischen Lichtstärke und Widerstandswert (Meßwert) ermitteln wir durch eine Meßreihe. Wir halten den Fotowiderstand in die hellste Richtung im Zimmer (z.B. zum Fenster) und starten das Programm wieder mit **Run**. Der entsprechende Meßwert wird angezeigt. Jetzt drehen wir den Fotowiderstand etwas aus dem Licht und messen durch Drücken einer Taste erneut. Auch dieser Wert wird unter dem ersten angezeigt. Wir drehen den Lichtsensor einen Schritt weiter zum Dunklen hin und messen auch hier die Lichtstärke. Das Ganze wiederholen wir noch einige Male, bis der Fotowiderstand in die dunkelste Richtung im Zimmer zeigt.

Jetzt beenden wir das Programm mit der ASC-Taste. Die Tabelle auf dem Bildschirm sollte wie in Bild 6.1 aussehen. Hier ist noch zusätzlich die entsprechende Helligkeit angegeben.

Die Werte können bei Ihnen natürlich etwas anders sein, weil in jedem Zimmer andere Lichtverhältnisse herrschen. Wichtig ist nur die Abstufung von hell nach dunkel. Den Verlauf der Widerstandsänderung können wir am besten in einem X/Y-Koordinatenfeld erkennen (Bild 6.2).

Hier ist für jede Lichtstärke der entsprechende Meßwert aus der Tabelle als Punkt aufgetragen. Die Verbindung der Punkte ergibt eine Kurve, die sog. Kennlinie des Fotowiderstands. Man sieht, daß sie in Richtung größerer Helligkeit nichtlinear abfällt - man sagt, sie ist logarithmisch. In Datenbüchern finden wir solche Kennlinien mit genauen Lichtstärken und Widerstandswerten für den jeweiligen Fotowiderstand (Bild 6.3). Der Entwickler kann danach den richtigen Fotowiderstand für seine Schaltung, z.B. einen Belichtungsmesser, aussuchen und abgleichen.

Als praktische Anwendung wollen wir mit

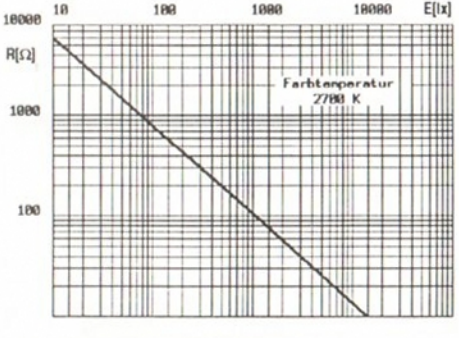


Bild 6.3: Kennlinie des fischertechnik Fotowiderstandes aus einem Datenbuch.

unserem Fotowiderstand nun auch einen Belichtungsmesser aufbauen. Wir messen die Lichtstärke im Zimmer und zeigen Sie als Balken auf dem Bildschirm an. Dabei interessiert uns zunächst noch nicht der genaue Lichtwert in Lux oder Candela; bei uns ist ein langer Balken viel Licht, ein kurzer wenig. Geben Sie folgendes Programm ein:

```
@in
REPEAT
UNTIL INKEY$<>""
@ex
hm=ex
DO
  he=ex
  @ex
  IF he<>ex THEN
    s=80*hm/ex
    CLS
    PRINT CHR$(27);"p";
    FOR i=1 TO s
      PRINT " ";
    NEXT i
    PRINT CHR$(27);"q"
  ENDIF
LOOP
```

Damit die hellste Stelle im Raum einen Balken ergibt, der die ganze Bildschirmbreite ausfüllt, messen wir zunächst diese Lichtstärke. Drehen Sie den Belichtungsmesser in diese Richtung und starten das Programm mit **Run**. Am Anfang des Programms finden wir das Programmstück zur Messung der hellsten Stelle im Raum. Wir starten den Vorgang durch Tastendruck (REPEAT-Schleife).

Weiter geht's mit der Messung der Lichtstärke, die in der Variablen hm abgespeichert wird. Diesen Wert benötigen wir später bei jeder Anzeige als Bezugsgröße.

Mit der DO-Anweisung beginnt das Programmstück, das nun immer wiederholt wird. Der jeweils letzte Meßwert wird der Variablen he zugewiesen; am Anfang ist er hm. Wir messen dann die Helligkeit aus der Richtung, in die der Fotowiderstand gerade zeigt, und vergleichen diesen Wert mit dem vorigen mittels der IF-Anweisung. Nur wenn der Meßwert sich von dem vorigen unterscheidet, muß etwas angezeigt werden. Dann wird zunächst die Balkenlänge errechnet. Bei halber Lichtstärke ist he ca. doppelt so groß wie hm. Daraus ergibt sich

s = 80*1/2 =40

Der Balken hat die halbe Länge wie vorher.

In der Lichtmessung gibt es eine Reihe von Maßsystemen. Jedes bezieht sich auf eine andere Fragestellung bzw. Meßanordnung:
Der Lichtstrom wird in Lumen (lm) angegeben.
Die Lichtstärke, das ist der Lichtstrom, der in eine bestimmte Richtung geschickt wird, wird in Candela (cd) gemessen.
Die Beleuchtungsstärke, das ist nun der Lichtstrom, der auf eine bestimmte Fläche einfällt, wird in Lux (lx) gemessen (1 lx = 1 lm/m²).
Um zu beurteilen, wie hell unser Auge oder aber unser Fotowiderstand etwas sieht, ist nicht nur maßgeblich, wie hell der Gegenstand beleuchtet ist, sondern auch wie nahe wir uns an dem Gegenstand befinden und wie "groß" unsere Augen sind. Dies kann als Stilb (sb) angegeben werden (1 sb = 1 cd/cm²). Ein Stilb entspricht heller Tagesbeleuchtung, das menschliche Auge kann aber noch Eindrücke von einem millionstel Stilb registrieren.

In der nächsten Zeile wird der Bildschirm gelöscht und darauf s Zeichen (FOR i=1 TO s) hintereinander angezeigt. Dieser Balken besteht aus inversen Leerzeichen. Die ungewöhnliche PRINT-Anweisung vor der FOR-Anweisung bewirkt dies, indem zunächst das Steuerzeichen Escape und dann der Kleinbuchstabe "p" ausgedruckt wird. Das Steuerzeichen Escape kann (wie auch die Cursor-Codes, s. Kapitel 4) nicht zwischen Anführungszeichen angegeben werden, sondern muß durch seine Codenummer 27 und die CHR$-Funktion erzeugt werden. Escape bewirkt die Umschaltung der Ausgabe weg von dem Bildschirm auf ein Steuerwort. Der nachfolgende Buchstabe "p" erscheint dann nicht auf dem Bildschirm, sondern löst die Steuerfunktion "inverse Bildschirmdarstellung" aus. Nach der Anzeige wird wieder auf normale Farbdarstellung zurückgeschaltet. Dies erfolgt durch eine ganz ähnliche PRINT-Anweisung, diesmal taucht jedoch der Kleinbuchstabe "q" anstelle des "p" auf. Mit der LOOP-Anweisung schließt sich die Schleife.
Drehen Sie bei laufendem Programm den Belichtungsmesser in verschiedene Richtungen. Es wird die jeweilige Helligkeit als Balken angezeigt. Natürlich braucht das seine Zeit, so daß Sie den Fotowiderstand nicht zu schnell drehen dürfen.
Versuchen Sie selbst, die Anzeige Zeile für Zeile auszugeben um so den Verlauf der Lichtintensität anzuzeigen.
Wenn Sie die wirkliche Lichtstärke anzeigen wollen, müssen Sie den Fotowiderstand bzw. die Meßeinrichtung abgleichen. Dazu benötigen Sie u.a. die entsprechende Kennlinie des Fotowiderstandes. Welcher Zahlenwert dann zu welchem Widerstandswert gehört, könnte man mit Vergleichswiderständen ermitteln, die man anstelle des Fotowiderstandes einsetzt. Sie sehen, hier kann man noch viel experimentieren!
Bislang hatten wir immer vor dem Fotowiderstand die Abdeckkappe zusammen mit dem Röhrchen montiert. Diese Anordnung dient dazu, den Sichtwinkel des Belichtungsmessers einzuschränken, so daß er genau auf ein Objekt ausgerichtet werden kann. Eine solche Anordnung wird auch Kollimator genannt.
Manchmal stellt sich jedoch auch eine andere Meßaufgabe. Dann soll nicht die Helligkeit eines Objekts gemessen werden, sondern die Beleuchtung, die auf ein Objekt einwirkt. In diesem Fall wird der Belichtungsmesser zum Objekt gebracht und

gegen die Lichtquelle(n) ausgerichtet. Gerade bei mehreren Lichtquellen muß der Belichtungsmesser den Lichteinfall von allen Seiten messen. Zu diesem Zweck ersetzen wir den Kollimator durch eine Streuscheibe in Form einer halb durchsichtigen, weißen Abdeckkappe.
Eine solche Abdeckung des Fotowiderstands wird auch Diffusor genannt.
Verwenden Sie die oben entwickelte Software oder das Programm BELICHT.BAS von der Diskette, um sich davon zu überzeugen, daß der Belichtungsmesser jetzt nicht mehr so empfindlich auf seine Ausrichtung reagiert.

Mit dem Belichtungsmesser aus dem letzten Kapitel konnten wir die Helligkeit in unserem Zimmer in jeder Richtung messen und am Bildschirm anzeigen. Dazu mußten wir den Fotowiderstand von Hand drehen; das Meßergebnis wurde als unterschiedlich langer Balken auf dem Monitor angezeigt.
Jetzt wollen wir diese Messung automatisch ablaufen lassen und bauen dazu das Modell Computerauge aus der Bauanleitung auf. Auf dem Grundrahmen sitzt ein Motor, der über einen Schneckenantrieb eine senkrechte Achse dreht. Oben auf der Achse befindet sich der Fotowiderstand, den wir durch den Antrieb jetzt in alle Richtungen blicken lassen können. Der Motor arbeitet im Schrittsteuerprinzip, was wir an dem Taster an der Seite des Grundrahmens erkennen können.
Zunächst testen wir die Funktion von Motor und Fotowiderstand, bevor wir mit der automatischen Lichtmessung beginnen. Geben Sie folgendes Testprogramm ein:

```
@in
FOR i=1 TO 10
  @lv
NEXT i
END
```

Nach **Run** muß sich die senkrechte Achse um 90° drehen. Achten Sie darauf, daß sich das Kabel zum Fotowiderstand nicht verklemmt. Damit kennen wir auch schon das Verhältnis zwischen Motorschritten und Drehwinkel der Meßeinrichtung: 10 Schritte (FOR i=1 TO 10) drehen den Fotowiderstand um 90°; damit führt ein Schritt eine 9°-Drehung aus. Dieser Winkel ergibt sich aus dem Übersetzungsverhältnis. Der Befehl @1v dreht das Schneckenrad um ½ Umdrehung. 1 Umdrehung des Schnekkenrades dreht das Zahnrad um 1 Zahn. Es hat 20 Zähne; damit ergibt sich:

360°/20/2 = 9°.

Eine ganze Umdrehung von 360° erreichen wir mit:

```
FOR i=1 TO 40
```

und **Run**. Denken Sie an das Kabel zum Fotowiderstand! Im Notfall halten Sie das Programm mit der ASC-Taste an. Zurückdrehen läßt sich das Computerauge, indem der Befehl @1v durch den Befehl @1z ausgetauscht wird.
In eine bestimmte Position drehen läßt sich der Lichtsensor mit:

```
@in
re$=CHR$(0)+CHR$(77)
li$=CHR$(0)+CHR$(75)
DO
  REPEAT
    a$=INKEY$
  UNTIL a$<>""
  IF a$=re$ THEN
    @1z
  ENDIF
  IF a$=li$ THEN
    @1v
  ENDIF
LOOP
```

In den ersten Zeilen werden den Variablen re$ und li$ die Tastaturcodes für Cursor nach rechts und Cursor nach links zugewiesen.
Starten Sie das Programm mit **Run**. Jetzt können Sie die Cursortaste ← oder → betätigen. In den beiden IF-Anweisungen wird die gedrückte Taste erkannt und ein entsprechender Drehschritt ausgeführt. Das Programm läuft solange in der Schleife, bis Sie die ASC-Taste drücken.
Der Fotowiderstand ist nach wie vor am Analogeingang EX angeschlossen. Abgefragt wird er mit der Anweisung @ex. Der

Wert der Variablen ex entspricht der Helligkeit, die das Computerauge sieht. Drehen wir den Fotowiderstand, so muß sich auch die Anzeige je nach Lichtstärke wieder ändern. Ergänzen Sie das Programm vor der LOOP-Anweisung mit:

```
@ex
CLS
PRINT ex
```

und starten Sie es mit **Run**. Mit den beiden Cursortasten können Sie die Blickrichtung des Fotowiderstandes ändern. Die gemessene Lichtstärke wird jedesmal angezeigt. Auch eine komplette, selbständige Drehung um 360° mit Messung und Anzeige ist möglich. Geben Sie nach Betätigen der ASC-Taste ein:

```
@in
r=0
DO
  REPEAT
  UNTIL INKEY$<>""
  IF r=0 THEN
    FOR i=1 TO 40
      @lv
      @ex
      PRINT ex,
    NEXT i
    r=1
  ELSE
    FOR I=1 TO 40
      @lz
      @ex
      PRINT ex,
    NEXT i
    r=0
  ENDIF
LOOP
```

Nach Programmstart mit **Run** wartet das Programm auf eine Tastenbetätigung. Danach geht das Programm weiter bis zur IF-Anweisung, die entscheidet, in welche Richtung sich der Fotowiderstand drehen soll. Wenn er sich beim ersten Mal nach rechts gedreht hat, läuft er jetzt nach links und umgekehrt. Dazu führen wir einen sog. Merker ein: die Variable r. Sie wird am Anfang auf 0 gesetzt. Damit verläuft die erste Drehung nach rechts (Nachsatz der IF-Anweisung). In dem Nachsatz der IF-Anweisung erhält der Merker r den Wert 1. Bei dem nächsten Durchlauf springt das Programm deshalb in den Nachsatz der ELSE-Anweisung. Der Fotowiderstand dreht sich zurück. Nun folgt wieder eine Rechtsdrehung, da r auf 0 gesetzt wurde.

Wer mit der Programmiersprache LOGO vertraut ist, wird dieses Symbol sicher wiedererkennen. Die Grafik-Schildkröte wurde in dieser sehr leistungsfähigen Programmiersprache zuerst eingeführt. Die Schildkrötengrafik oder Turtlegrafik wurde aber auch in andere Programmiersprachen übernommen, so z.B. PASCAL, COMAL und jetzt auch BASIC, weil sie mit wenig mathematischem Aufwand die Erstellung von Grafiken erlaubt. Wer gern mehr mit Schildkrötengrafik experimentieren möchte, sollte sich Literatur zu LOGO besorgen.

Bei der Drehung werden die Meßwerte nebeneinander auf den Bildschirm geschrieben - für jeden Schritt (9°) ein Wert. Die kleinste Zahl entspricht dabei der größten Helligkeit, wie wir im letzten Kapitel gesehen haben. Auf der Diskette befindet sich ein fertiges Programm namens SCAN.BAS, das ähnlich arbeitet.
Übersichtlicher wird das Bild, wenn man den Helligkeitswert der entsprechenden Richtung zuordnet. Am besten eignet sich dazu eine zeichnerische Darstellung. Wir könnten z.B. in der jeweiligen Richtung (angefangen bei 0° oben am Schirm) die Helligkeit auftragen. Je heller, desto weiter entfernt wollen wir eine Markierung auf dem Schirm anzeichnen. Dies erfordert die Benutzung der hochauflösenden Grafik. Wir stellen Ihnen dazu ein einfaches Malinstrument zur Verfügung.
Auf der Diskette befindet sich ein Programm mit dem Namen SCANGRA.BAS, das eine grafische Darstellung der o.a. Lichtmessung erzeugt. Es benutzt das Malinstrument; und wie jenes funktioniert, erfahren wir im nächsten Kapitel.

6.3. Darstellung von Meßwerten: Computergrafik

Neben dem normalen Textbildschirm mit 25 Zeilen und 80 Zeichen pro Zeile kann unser Computer auch die Bildpunkte (Pixel) des Bildschirms einzeln ansteuern. Dabei gibt es drei verschiedene Betriebsarten, die sich in der Anzahl der Bildpunkte und deren Farbmöglichkeiten unterscheiden. In der Betriebsart "niedrige Auflösung" wird der Bildschirm in 320 x 200 Bildpunkte aufgeteilt, von denen jeder einzeln angesteuert und in einer von sechzehn Farben dargestellt werden kann. Damit lassen sich schon sehr gute Bilder und Grafiken erstellen. In der Betriebsart "mittlere Auflösung" können doppelt soviele Bildpunkte (640 x 200), jedoch nur in vier Farben dargestellt werden. In der Betriebsart "hohe Auflösung" ist die Auflösung nochmals feiner (640 x 400). Eine Farbdarstellung findet jedoch nicht mehr statt (monochrome Darstellung). Die letztgenannte Betriebsart läßt sich nur bei Verwendung eines dazu passenden hochauflösenden Monochrom-Monitors (Atari SM 124 oder kompatible Monitore) verwenden. Die beiden erstgenannten Betriebsarten lassen sich dagegen auf verschiedensten Farbmonitoren oder Fernsehgeräten verwenden. Die fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Software verwen-

Zusammenfassung aller Grafikbefehle:

@ge
Grafik einschalten / löschen
@ga
Grafik ausschalten, zurück zum Textschirm
@gv(s)
Grafik-Schildkröte um s Schritte vor
@gz(s)
Grafik-Schildkröte um s Schritte zurück
@gr(d)
Grafik-Schildkröte um d Grad rechts schwenken
@gl(d)
Grafik-Schildkröte um d Grad links schwenken
@g1
Grafikstift einschalten
@g0

det die Betriebsarten "mittlere Auflösung" bzw. "hohe Auflösung". Je nach verwendetem Bildschirm sollten Sie vor Starten von GFA-BASIC eine dieser beiden Auflösungsstufen gewählt haben (s. Kapitel 3). Das Malinstrument wird durch das Kommando

```
@ge
```

aktiviert. Mit der Anweisung wird der Bildschirm gelöscht und es erscheint ein kleines Dreieck in der Mitte des Bildschirms. Wir nennen das Dreieck Grafik-Schildkröte (engl. graphics turtle). Zunächst weist die Grafik-Schildkröte nach oben und zeigt damit ihre Marschrichtung an.
Die untersten vier Zeilen des Bildschirms bleiben weiterhin für Texteingabe und Textausgabe erhalten.
Stellen Sie sich vor, diese Schildkröte wäre Ihre Hand und der Bildschirm ein Zeichenblatt. In der Hand halten Sie einen Bleistift, mit dem Sie auf der Unterlage zeichnen können. Den Stift können Sie an jede Stelle auf dem Blatt bewegen und dort Punkte oder Linien zeichnen. Genau das kann die Grafik-Schildkröte auch. Nun zu dem ersten Beispielprogramm: die Schildkröte soll eine senkrechte Linie ziehen.

```
@in
@ge
@gv(20)
```

Bevor wir das Programm starten, wollen wir uns überlegen, wie wir uns aus dem Grafikschirm wieder zu dem vertrauten Textschirm zurückziehen. Das Malinstrument wird mit der Anweisung @ga wieder ausgeschaltet. Fügen Sie daher folgende Zeilen dem Programm hinzu:

```
PRINT "Beliebige Taste ->
     Programmende"
REPEAT
UNTIL INKEY$<>""
@ga
END
```

Wie Sie sehen, wurde eine Abfrage der Tastatur programmiert, die auf einen Tastendruck wartet. So haben Sie ausreichend Zeit, die Grafik zu studieren, bevor das Programm wieder auf den Textschirm zurückschaltet.
Nach **Run** bewegt sich die Schildkröte nach oben und hinterläßt auf dem Bildschirm eine Linie. Dies wird durch die Anweisung @gv(20) bewirkt. Die Schildkröte geht 20 Schritte vor und zeichnet dabei eine Linie.

Grafikstift ausschalten

@gc

Grafik kopieren (Hintergrundgrafik wird angezeigt)

@gs(f)

Farbe f (0-3) des Grafikstiftes wählen

@gh(f)

Farbe f (0-3) des Hintergrundes wählen; wird mit dem nächsten @ge wirksam.

@gk

aktueller Kurs der Grafik-Schildkröte nach gk speichern

@gx

X-Koordinate der Grafik-Schildkröte nach gx speichern

@gy

Y-Koordinate der Grafik-Schildkröte nach gy speichern

@gload(f$)

Grafikbild aus Datei f$ der Diskette laden

@gsave(f$)

aktuelles Grafikbild auf Diskette als Datei f$ speichern

In der nächsten Erweiterung des Programms, die vor der Tastaturabfrage eingeschoben wird, wird der Grafikstift ausgeschaltet - der Bleistift vom Papier angehoben.

```
@g0
@gv(10)
```

Beachten Sie, daß das erste Kommando mit der Ziffer Null und nicht mit dem Buchstaben O endet.
Wenn Sie das Programm mit **Run** starten, wird zunächst wieder der 20 Schritte lange Strich gezeichnet. Im nächsten Abschnitt hinterläßt die Grafik-Schildkröte keine Spur (der Grafikstift ist ja abgeschaltet). Damit kann man den Zeichenstift zu jeder Bildschirmposition führen und dort Punkte und Linien zeichnen. Wollen Sie wieder weiterzeichnen, müssen Sie den Grafikstift wieder einschalten, den Stift sozusagen aufs Papier setzen. Als nächstes wollen wir die Grafik-Schildkröte um 90° nach rechts drehen und wieder einen Strich zeichnen. Auch dieser wird wieder vor der Tastaturabfrage eingefügt:

```
@gl
@gr(90)
@gv(20)
```

Jetzt zeichnet das Programm zwei Linien auf den Bildschirm. In der nächsten Erweiterung drehen wir die Grafik-Schildkröte gegen den Uhrzeigersinn und lassen sie rückwärts fahren.

```
@gl(45)
@gz(30)
```

Starten Sie das Programm mit **Run**. Die Grafik-Schildkröte zeichnet nun zusätzlich eine diagonale Linie von 30 Schritten.
Sie können auch ein Viereck zeichnen. Geben Sie folgendes neues Programm ein:

```
@in
@ge
FOR i=1 TO 4
  @gv(30)
  @gr(90)
NEXT i
PRINT "Beliebige Taste ->
     Programmende"
REPEAT
UNTIL INKEY$<>""
@ga
END
```

Nach **Run** zeichnet die Grafik-Schildkröte ein Viereck auf den Bildschirm. Wir können auch ein größeres malen:

```
  @gv(40)
```

Nach Programmstart mit **Run** erscheint jetzt ein größeres Quadrat auf dem Schirm. Erweitern Sie das Programm:

```
@in
@ge
FOR k=1 TO 9
  FOR i=1 TO 4
    @gv(30)
    @gr(90)
  NEXT i
  @gr(40)
NEXT k
PRINT "Beliebige Taste ->
     Programmende"
REPEAT
UNTIL INKEY$<>""
@ga
END
```

Nach Programmstart mit **Run** mehrere Vierecke auf den Bildschirm gezeichnet, die jeweils um 40° verdreht sind. Sie sehen, wie einfach man mit der Grafik-Schildkröte malen kann.
Wenn Sie das gezeichnete Bild dauerhaft aufbewahren wollen, können Sie dazu das Kommando @gsave zusammen mit einem Dateinamen in einer Textvariablen oder Textkonstanten verwenden, z.B.:

```
@gsave("STERN")
```

Fügen Sie obige Zeile vor der Tastaturabfrage ein. Wenn Sie das Programm jetzt wieder starten, wird das Bild unter dem Dateinamen STERN.PI2 oder STERN.PI3 auf der Diskette gespeichert. Die Erweiterung ".PI" des Dateinamens weist die Datei als Bilddatei aus (PI von picture = Bild). Die anschließende Zahl kennzeichnet die Auflösungsstufe des Bildschirms (2 = mittlere Auflösung, 3 = hohe Auflösung). Die Erweiterung wird automatisch an den Dateinamen angefügt, Sie müssen sich darum nicht kümmern.
Wenn Sie das abgespeicherte Bild wieder einladen möchten, geben Sie das Kommando @gload zusammen mit dem Dateinamen STERN ein. Auch jetzt entfällt die Dateitypkennzeichnung ".PI2" oder "PI3".
Wir wollen das das Prinzip durch ein Programm aufzeigen, das erst das Bild erzeugt, speichert, dann den Schirm löscht und nach einer kurzen Weile das Bild wieder lädt. Hierzu wird das Programm weiterhin vor der Tastaturabfrage ausgebaut:

```
@ge
PAUSE 500
@gload("STERN")
```

Wenn Sie das Programm starten, werden Sie zunächst noch nicht das geladene Bild sehen. Es steht sozusagen hinter den Kulissen. Erst wenn Sie das Programm mit der Zeile:

```
@gc
```

nach dem Laden des Bildes erweitern, wird es sichtbar. Es wird, um es genau zu sagen, von dem unsichtbaren Ladespeicher in den sichtbaren Bildspeicher kopiert. Dies bedeutet eine große Hilfe. Stellen Sie sich vor, daß Sie eine Grafik, wie z.B. den Schirm des Computerauges, geladen haben. Auf dem Schirm werden nun Meßergebnisse eingetragen. Wenn Sie die Meßergebnisse wieder löschen wollen, brauchen Sie nicht den ganzen Bildschirm zu löschen oder das Bild wieder von Diskette zu laden. Das Kommando @gc kopiert Ihnen einen frischen Radarschirm aus dem Ladespeicher und Sie können die nächsten Meßdaten aufzeichnen.
Auch die Farben des Zeichenstiftes lassen sich verändern. Sie können vier verschiedene Farben für den Zeichenstift und den Hintergrund auswählen. Bei dem Farbmonitor (mittlere Auflösungstufe) gilt folgende Zuordnung:

0 : Weiß
1 : Schwarz
2 : Rot
3 : Grün

Die Zuordnung der Farben läßt sich durch das Einstellfeld des Desktop ändern. Schlagen Sie dazu in dem Handbuch Ihres Computers nach. Beim Ändern der Farben verändern Sie auch das farbliche Erscheinungsbild früherer Zeichnungen, die Sie von Diskette laden. Erst wenn der Computer wieder mit der fischertechnik Diskette gestartet wird, erscheint wieder die alte Farbzuordnung.
Mit den folgenden Zeilen am Programmanfang können Sie den Hintergrund rot einfärben (natürlich nicht auf einem Monochrom-Schirm):

```
@in
@ge
@gh(2)
@ge
.....
```

Wie Sie sehen, benötigt der Wechsel der Hintergrundfarbe ein zusätzliches Einschalt- bzw. Bildlöschkommando @ge um wirksam zu werden. Die Farbe des Zeichenstifts läßt sich dagegen jederzeit ändern und wird mit dem nächsten Zeichenkommando wirksam:

```
@gs(f)
```

Passen Sie aber auf, daß Sie der Schildkröte nicht die gleiche Farbe wie dem Hintergrund zuweisen. Dann wären die Spuren der Schildkröte unsichtbar, obwohl der Zeichenstift eingeschaltet ist!
Die verschiedenen Stift- und Hintergrund-"farben" sind sogar auf einem Monochrom-Schirm nicht ganz nutzlos, denn sie erzeugen weiße, graue und schwarze Darstellungen. Dabei besteht folgende Zuordnung:

Stift:
0 : Dünner weißer Strich
1 : Dünner schwarzer Strich
2 : Dicker schwarzer Strich
3 : Dicker Strich, schwarz oder weiß, je nach Hintergrund.

Hintergund:
0 : Weiß
1 : Schwarz
2 : fein gerastertes Graumuster
3 : grob gerastertes Graumuster

Man kann auch die aktuelle Position der Grafik-Schildkröte mit folgenden Kommandos abfragen:

```
@gk
@gx
@gy
```

Dabei wird in der Variablen gk der momentane Kurs der Grafik-Schildkröte in Winkelgraden zur Startrichtung, in gx die X-Koordinate und in gy die Y-Koordinate der Grafik-Schildkröten-Position festgehalten. Probieren Sie diese Kommandos aus:

```
@in
@ge
@gv(20)
@gr(90)
@gv(10)
```

Die Grafik-Schildkröte hat sich nach vorn und nach rechts bewegt und zeigt auch nach rechts. Mit der nachstehenden Programmerweiterung werden die Informationen über die Grafik-Schildkröte abgerufen:

```
@gk
PRINT "Kurs:";gk
@gx
@gy
PRINT "X:   :";gx;"   Y   :";gy
PRINT "Beliebige Taste ->
     Programmende"
REPEAT
UNTIL INKEY$<>""
@ga
END
```

Auf dem Bildschirm wird der Kurs mit 90 (°) und die Position mit X=10, Y=20 ausgewiesen.
Mit der Grafik-Schildkröte erzeugte Bilder können Sie auch auf Ihren Drucker bringen. Die Fachleute sagen dazu Hardcopy. Um eine Hardcopy auszugeben, drücken Sie die Tasten "Alternate" und "Help" gleichzeitig. Auf diese Weise können Sie Meßprotokolle Ihrer Experimente auch übersichtlich zu Papier bringen.
Es mag vielleicht stören, daß die Grafik-Schildkröte auch mit ausgedruckt wird. Wenn Sie dies vermeiden wollen, verwenden Sie stattdessen das Kommando:

```
@gprint
```

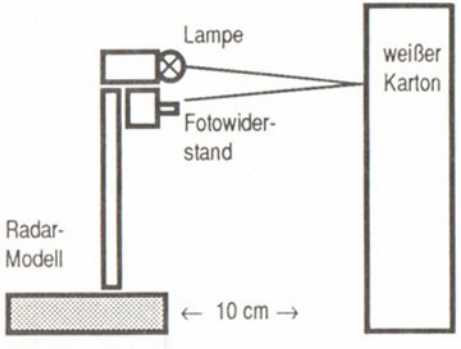


Bild 6.4: Abstandsmessung mit einem Radarmodell.

Bisher hatten wir bei der Lichtmessung Fremdlicht benutzt. Es wurden durch die Sonne oder Zimmerlampe beleuchtete Gegenstände abgetastet und deren Helligkeit angezeigt. Wenn wir nun einen Gegenstand vom Modell aus anstrahlen und die reflektierte Lichtmenge messen, könnte man daraus ableiten, wie weit der Gegenstand vom Modell entfernt ist. Vergrößern wir den Abstand zum Fotowiderstand, wird die Lichtstärke geringer. Ob sich daraus ein Radar entwickeln läßt, wollen wir mit dem folgenden Versuch ausprobieren.
Bauen Sie zunächst das Modell Radar aus der Bauanleitung zusammen. Es sieht ähnlich aus wie das Modell Computerauge, hat aber zusätzlich eine Lampe über dem Fotowiderstand. Sie ist am Anschluß M3 des Interfaces angeschlossen.
Nehmen Sie jetzt einen hellen Gegenstand, z.B. einen weißen Schuhkarton und stellen ihn 10 cm vor dem Modell nach Bild 6.4 auf. Die Lichtintensität, die von der Lampe ausgeht und durch den Karton wieder in die Fotozelle reflektiert wird, wird mit folgendem Programm gemessen:

```
@in
DO
  CLS
```

```
  @3r
  @ex
  PRINT ex
  REPEAT
    @3r
  UNTIL INKEY$<>""
LOOP
```

Bei dem Versuch darf kein Fremdlicht auf den Karton fallen. Dunkeln Sie deshalb den Raum etwas ab. Der Anzeigewert entspricht jetzt einer Entfernung von 10 cm. Dabei liefert nicht die erste Messung das richtige Ergebnis! Die Meßeinrichtung muß sich erst einpegeln (s. Kapitel 5). Wenn Sie die Repeat-Schleife am Ende des Programms entfernen würden, könnten Sie diesen Effekt genau beobachten. Durch die Trägheit der Lampe ist die Anzeige erst nach 10 bis 15 Schleifendurchläufen stabil. Den Wert, den das Programm ab dem zweiten Tastendruck anzeigt, merken wir uns und vergrößern den Abstand zwischen Modell und Karton auf 20 cm. Nun wird ein Wert angezeigt, der ca. doppelt so hoch ist wie vorher. Wenn wir auf 5 cm an den Karton heranrücken, beträgt der Anzeigewert nur noch ca. die Hälfte des ersten Meßwertes bei 10 cm. Uns sollen hier keine genauen Zahlen interessieren, wichtig ist nur das Prinzip. Allerdings sollten die Zahlen im normalen Arbeitsbereich des Interface liegen, also zwischen etwa 20 und 300. Erhalten Sie bei den Versuchen immer Werte über 300, so entfernen Sie einfach die Hülse 15 aus der Störlichtkappe des Fotowiderstands. Danach sinken die Zahlenwerte, denn der Fotowiderstand erhält eine größere Lichtmenge.

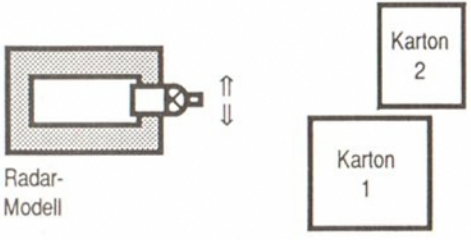


Bild 6.5: Radarabtastung mehrerer Gegenstände.

Man kann somit anhand der Lichtstärke, die von einem Gegenstand reflektiert wird, eine grobe Aussage über seine Entfernung vom Meßpunkt machen. Dabei dient als Vergleichswert eine bekannte Entfernung und die dazugehörende Lichtstärke. Wenn man mehrere Stellen abtastet, ist es wichtig, daß alle den gleichen Farbton (Grauwert) haben und kein Fremdlicht auf sie fällt. Wir wollen das jetzt mit zwei Kartons, die nach Bild 6.5 aufgestellt sind, ausprobieren. Dabei wollen wir auch unsere Radaranlage schwenken, wie wir es schon vorher mit dem Computerauge durchgeführt haben. Es ist noch dasselbe Programm, nur die Auswertung wird abgeändert:

```
@in
@ge
FOR i=1 TO 100
```

```
  @3r
NEXT i
FOR i=1 TO 40
  @1v
  @gl(9)
  @ex
  @g0
  @gv(ex/4)
  @gl
  @gr(90)
  @gv(5)
  @gz(5)
  @g0
  @gl(90)
  @gz(ex/4)
NEXT i
FOR i=1 TO 40
  @1z
NEXT i
PRINT "Beliebige Taste ->
    Programmende"
REPEAT
UNTIL INKEY$<>""
@ga
@3a
END
```

Dieser Versuch zeigt sehr anschaulich das Grundprinzip eines Radargerätes. Nur arbeiten diese Geräte nicht mit Licht, sondern mit Funkwellen. Dies sind etwas längere elektromagnetische Wellen, aber im Prinzip die gleiche Wellen wie die des Lichts. Auch das Meßprinzip unterscheidet sich. Während in unserem Versuch der Rückgang der Helligkeit mit der Entfernung ausgenutzt wird, mißt ein Radargerät die Laufzeit der Wellen vom Senden bis zum erneuten Eintreffen. Funkwellen breiten sich genauso wie Lichtwellen mit 300 000 km pro Sekunde aus. Die Laufzeit ist also wegen der hohen Geschwindigkeit meist sehr kurz, kann aber durch geeignete elektronische Schaltungen zuverlässig bestimmt werden.

Die gemessene Helligkeit wird in diesem Programm als Bewegungsmaß für die Schildkröte umgesetzt. Wie wir schon gesehen hatten, fällt umso weniger Licht auf den Fotowiderstand zurück, je weiter der Gegenstand entfernt steht. Umso größer wird der Analogwert EX ermittelt. Wir lassen also die Schildkröte umso weiter aus der Bildschirmmitte vorschreiten, je höher der Analogwert EX liegt. Dies erfolgt mit abgeschaltetem Schreibstift. Anschließend malt die Schildkröte einen kleinen Balken auf den Schirm und springt in ihre Ausgangslage zurück. Für den nächsten Meßpunkt dreht sich die Radaranlage um 9°. Um den gleichen Betrag lassen wir auch die Schildkröte drehen.
Ein ähnliches Programm ist RADAR.BAS, das Sie von der Diskette laden können.

Jetzt kommen wir zu einer weiteren physikalischen Größe: der Temperatur. Wir werden sie messen und in elektrische Werte umsetzen, damit unser Computer sie versteht. Und dann befassen wir uns mit der Temperaturregelung. Sie begegnet uns heute überall: z.B. im Kühlschrank, der eine eingestellte Temperatur beibehält, beim Heizlüfter, der für eine konstante Raumtemperatur sorgt, oder beim Kühlgebläse im Auto, das darauf achtet, daß der Motor nicht zu heiß wird.

Für die Messung der Temperatur benutzen wir einen temperaturabhängigen Widerstand - Fachleute nennen ihn NTC-Widerstand oder Heißleiter.

Sein Wert ändert sich also, wenn man die Umgebungstemperatur erhöht oder erniedrigt. Legt man an diesen Widerstand eine konstante Spannung, so stellt sich je nach Temperatur ein unterschiedlicher Strom ein.

Wie schön die Temperaturmessung mit einem Heißleiter funktioniert, wollen wir im folgenden Versuch ausprobieren. Dazu bauen wir das Modell Thermometer aus der Bauanleitung zusammen. Der Widerstand wird am Interface zwischen +5V (grünes Kabel) und den Analogeingang EY (gelbes Kabel) geschaltet. Der Eingang EX, den wir natürlich auch hätten benutzen können, wird zur Vermeidung von Störeffekten stillgelegt (Brücke von EX nach +5V). Wenn alles richtig angeschlossen ist, kann die erste Messung beginnen.

Geben Sie in den Computer ein:

```
@in
@ey
PRINT ey
END
```

Nach dem Start des Programms sollte auf dem Bildschirm eine Zahl etwa um 100 erscheinen. Wenn das der Fall ist, haben Sie zum ersten Mal eine Temperatur elektronisch per Computer gemessen.

Sollte eine Fehlermeldung erscheinen, so überprüfen Sie, ob der Interface-Treiber geladen ist.

Nun aber zu unserem Meßergebnis. Die Zahl, die wir auf dem Bildschirm ablesen, entspricht der Umgebungstemperatur. Daß sich der NTC-Widerstand auch wirklich mit der Temperatur ändert, können wir durch folgenden Test beweisen.

Geben Sie die Programmzeilen ein:

```
@in
DO
```

NTC kommt vom Englischen Negative Temperature Coefficient und bedeutet negativer Temperatur-Koeffizient. Und was das heißt, sagt das deutsche Wort Heißleiter sehr anschaulich: der Widerstand leitet umso mehr, je heißer er wird.

Ein Heißleiter besteht aus einem keramischen Material. Ausgangsprodukt sind die Oxide von Mangan, Eisen, Kobalt, Nickel, Kupfer und Zink, die eine starke Abhängigkeit ihrer Leitfähigkeit von der Temperatur aufweisen.

```
  @ey
  PRINT AT(1,1);USING "###",ey
LOOP
```

Die erste Zeile in der Wiederholschleife liest den Wert am Analogeingang EY - also den Widerstandswert unseres Heißleiters - ein. In der PRINT-Anweisung ist die Ausdruckposition angegeben, so daß der Ausdruck immer wieder an der gleichen Stelle erfolgt. Außerdem wird eine formatierte Bildschirmausgabe benutzt, so daß das bisherige Resultat überschrieben wird. Die drei Zeichen "#" in der Formatangabe erzwingen die Benutzung von drei Spalten am Bildschirm. So brauchen wir nicht zu berücksichtigen, daß die Anzeige mal zweistellig, mal dreistellig ist. Nach **Run** wird fortlaufend der aktuelle Temperaturwert gemessen und angezeigt. Der Zahlenwert ändert sich, wie Sie sehen, allerdings nicht sehr schnell. Klar, unsere Raumtemperatur ist ja konstant. Fassen Sie nun einfach mal den NTC-Widerstand zwischen Daumen und Zeigefinger fest an, damit er sich auf Ihre Körpertemperatur erwärmt. Der Anzeigewert ändert sich nach kurzer Zeit: der Zahlenwert wird kleiner. Nach Loslassen des Heißleiters erreicht der Meßwert allmählich wieder den alten Wert, nämlich die Zimmertemperatur. Beenden Sie jetzt das Programm mit der ASC-Taste.

Wie der Versuch zeigt, reagiert der NTC-Widerstand auf die Umgebungstemperatur - nur entspricht der Anzeigewert bei weitem nicht der wahren Temperatur in Grad Celsius. Wie kommt das?

Das Interface zwischen Heißleiter und Computer, das die Widerstandswerte in digitale, für den Computer verständliche Signale umwandelt, ist nicht kalibriert. Da das Kalibrieren des Interface aber auch viel zu kompliziert wäre - da müßten schon Elektroniker ran -, lassen wir den Computer mit Hilfe eines geeigneten Programms einfach die Umrechnung vornehmen; er soll die ursprünglichen Werte in Grad Celsius umrechnen. Der Fachmann spricht hier von einer Software-Lösung. Hätten wir das Interface umgebaut, wäre dies eine Hardware-Änderung gewesen.

Doch nun zur Kalibrierung selbst. Dazu brauchen wir ein mit Wasser gefülltes Gefäß, in das wir den NTC-Widerstand und ein Haushaltsthermometer tauchen. Wir lassen das oben abgedruckte Programm laufen und notieren Bildschirmanzeige und Temperaturwert des Thermometers.

Bevor wir jedoch mit dem Versuch starten,

Temperatur (Grad Celsius)	Wert EY
0	169
5	148
10	131
15	115
20	101
25	89
30	78
35	69
40	60
45	53
50	47

Bild 7.1: Meßwerttabelle der Temperatur, gemessen mit Thermometer und mit NTC-Widerstand.

muß der Heißleiter noch in eine Plastiktüte eingepackt werden, damit durch das Wasser kein Kurzschluß entsteht. Mit in die Tüte stecken wir das Thermometer, um für beide gleiche Meßbedingungen zu haben. Das Bild in der Bauanleitung zeigt den Aufbau der Abgleichanordnung. Achten Sie bei dem Versuch unbedingt darauf, daß keine Wasserspritzer an Ihren Computer kommen - sie könnten einen Kurzschluß auslösen. Bauen Sie daher das Gefäß möglichst weit entfernt von Ihrem Computer auf. Stellen Sie das Gefäß noch einmal in eine Schale, die bei Umkippen des Gefäßes das Wasser auffangen kann. Halten Sie Handtücher und Fließpapier bereit.

Zu Beginn füllen wir das Gefäß halb mit Wasser und tun ein paar Eiswürfel aus dem Kühlschrank mit hinein. Dadurch wird das Wasser bis an die 0-Grad-Grenze abgekühlt. Starten Sie nun das Programm mit **Run** und notieren sich Thermometer- und Bildschirmwert auf einem Zettel. Jetzt erwärmen Sie das Wasser, indem Sie etwas heißes Wasser dazu gießen (Vorsicht, daß nichts überläuft!). Wenn sich die Temperatur stabilisiert hat, messen und notieren Sie die neuen Werte. Die Messungen führen Sie solange fort, bis das Wasser etwa 50 Grad erreicht hat.

Beenden Sie nun das Programm mit der ASC-Taste. Sie haben jetzt eine Meßreihe vorliegen, die den Meßwert des NTC-Widerstandes in Abhängigkeit von der Temperatur zeigt. Sie sollte wie in Bild 7.1 aussehen. Leichte Abweichungen sind zulässig, denn die Umwandlung des Widerstandswertes in einen Zahlenwert ist von Interface zu Interface wegen der Wertestreuung der elektronischen Bauelemente verschieden.

Nehmen Sie den NTC-Widerstand wieder aus dem Gefäß und lassen ihn auf Zimmertemperatur abkühlen. Nach erneutem Programmstart wird ein Zahlenwert angezeigt, den der Computer in den richtigen Temperaturwert umrechnen soll. Dazu benutzen wir die zuvor ermittelte Meßwerttabelle. Ein Anzeigewert von 89 entspricht 25 Grad Celsius, ein Anzeigewert von 60 entspricht 40 Grad Celsius, und ein Anzeigewert von 169 entspricht 0 Grad Celsius. Wie wir sehen, sind die beiden Zahlenreihen gegenläufig, also zum höchsten Temperaturwert gehört der niedrigste EY-Wert und umgekehrt.

Dazu kommt, daß - wie der Fachmann sagt - die Kennlinie des NTC-Widerstandes nicht linear ist. Anschaulich wird das, wenn wir die Kennlinie in einem X/Y-Koordinaten-

In der DEFFN-Anweisung haben wir nun berücksichtigt, daß der Temperaturkoeffizient des Heißleiters negativ ist. Wir erinnern uns: Negative Temperature Coefficient - je höher die Temperatur, desto kleiner der Meßwert. Daß zur Umrechnung der Logarithmus benutzt wird, liegt daran, daß die Widerstandskurve mit einer Exponentialfunktion gegen Null sinkt:

$R=R_N * e^{B/T}$

R ist der Widerstandswert und T ist die absolute Temperatur in Kelvin (s.u.); B und R_N in dieser Formel sind Materialkonstanten. Das Symbol e bezeichnet die Exponentialfunktion.
Wenn Sie ein guter Mathematiker sind, werden Sie herausfinden, daß die Kalibrationsformel nicht exakt , ist aber eine ganz gute Näherung darstellt.

feld aufzeichnen. Versuchen Sie's doch einmal! Sie werden sehen, daß die Kennlinie keine Gerade ist.
Man könnte sich nun durch Einzelversuche an die richtige Gleichung für die Umrechnung herantasten - wir wollen Ihnen jedoch gleich die Lösung verraten. Fügen Sie als erste Zeile ein:

```
DEFFN t(x)=INT(200-39*LOG(x))
```

Die PRINT-Anweisung wird ebenfalls geändert:

```
PRINT AT(1,1);"Temperatur= ";
      FN t(ey);"Grad Celsius"
```

und starten Sie das Programm mit **Run**. In der ersten eingefügten Zeile wird eine Umrechnungsformel von Analogwerten in °C definiert (DEFFN t...). Die Funktion LOG wird darin benutzt; sie ist der natürliche Logarithmus. In der PRINT-Anweisung wird nun nicht ey, sondern der umgerechnete Temperaturwert ausgedruckt. Jetzt stimmt die Anzeige schon besser.
Aber auch diese Formel muß noch nicht ganz genau sein. Wegen der obengenannten Unterschiede von Interface zu Interface sollten Sie sich Ihre ganz individuelle Umrechnungsfunktion ermitteln. Verwenden Sie das Programm KALIBR.BAS von der Diskette und geben Sie die Tabellenwerte ein (°C und Analogwert EY), so wie sie bei Ihrem Versuch ermittelt wurden. Das Programm errechnet die am besten passende Umrechnungsfunktion und druckt Sie auf dem Bildschirm aus. Notieren Sie sich die Funktion. Sie können Sie überall, bei den im Experimentierhandbuch beschriebenen Versuchen und bei den Programmen auf Diskette, anstelle von

```
DEFFN t(x)=INT(200-39*LOG(x))
```

verwenden.
Wir haben damit ein elektronisches Thermometer mit Computeranzeige gebaut, das uns die Umgebungstemperatur in Grad Celsius anzeigt. Wir könnten dieses Modell ohne weiteres als Thermometer in einer Wetterstation benutzen. Und wenn Sie dann noch die Uhrzeit mitanzeigen und das Ganze vielleicht noch fortlaufend ausdrukken, dann haben Sie einen Temperaturschreiber, mit dem Sie z.B. Ihre Heizung kontrollieren können. Doch soweit wollen wir hier nicht gehen.
Stattdessen wollen wir Ihnen noch zeigen,

wie Sie den Temperaturverlauf grafisch auf dem Bildschirm anzeigen können. Die notwendigen Grafikbefehle hatten wir ja schon in Kapitel 6 kennengelernt. Hierzu werden wir zwei Unterprogramme anhängen, die wir im Hauptprogramm aufrufen:

```
DEFFN t(x)=INT(200-39*LOG(x))
@in
GOSUB neues_bild
DO
  @ey
  PRINT AT(1,1);"Temperatur= ";
     FN t(ey);"Grad Celsius"
  GOSUB anzeige
LOOP
```

Unterprogramme werden immer dann verwendet, wenn bestimmte Programmsequenzen mehrmals benötigt werden. Unterprogramme sind auch dann sinnvoll, wenn man sie in Zusammenhang mit bestimmten logisch abgeschlossen Programmabschnitten bringt, wie es hier der Fall ist. Das Unterprogramm "neues_bild" erfüllt die Funktion "Bildschirm löschen", das Unterprogramm "anzeige" die Funktion "Meßwert zeichnen". Hier nun die beiden Unterprogramme:

```
PROCEDURE anzeige
  @gx
  IF gx=210 THEN
    GOSUB neues_bild
  ENDIF
  @gv(FN t(ey))
  @gl
  @gv(1)
  @g0
  @gz(FN t(ey)+1)
  @gr(90)
  @gv(1)
  @gl(90)
RETURN

PROCEDURE neues_bild
  @ge
  @g0
  @gz(82)
  @gl(90)
  @gv(209)
  @gr(90)
RETURN
```

Das Unterprogramm "anzeige" läßt die Grafik-Schildkröte um den Temperaturwert bei abgeschaltetem Stift nach oben fahren, schaltet den Stift ein und läßt die Schildkröte noch eins vorgehen. Damit erscheint auf dem Bildschirm ein Punkt, der um so viele Schritte von der Unterkante entfernt ist, wie

Die Celsius-Skala der Temperatur (°C) ist nach dem Schmelzpunkt und dem Siedepunkt des Wassers ausgerichtet. Der Temperaturbereich dazwischen wurde in 100 gleiche Abschnitte, je ein Grad Celsius, eingeteilt. Die Fahrenheit-Skala (°F) benutzt andere Orientierungspunkte. Als 100°F wurde die Bluttemperatur des Menschen festgesetzt; als 0°F die tiefste Temperatur, die zu jener Zeit mit einem Salz-Wasser-Gemisch erzielt werden konnte. Die Kelvin-Skala (K - ohne Gradzeichen!) ist jüngeren Datums. Nachdem festgestellt wurde, daß es einen absoluten Tiefstpunkt der Temperatur gibt, -273,15 °C, wurde dieser als Null Kelvin bezeichnet. Die Temperaturschritte sind die gleichen wie bei der Celsius-Skala.
Die Umrechnungsformeln für die entsprechenden Temperaturskalen sind:

0 K = -273,15 °C

32...212 °F = 0...100 °C
oder - mathematisch exakt -

C = 5/9 (F - 32)

wobei C = Temperatur in °C und F = Temperatur in °F bedeutet.

der Temperatur entspricht. Die Grafik-Schildkröte wird dann wieder an den unteren Bildschirmrand zurückgezogen, nach rechts gedreht und in die nächste Spalte gestellt. Dann wird sie wieder nach links gedreht. Anschließend ist die Grafik-Schildkröte bereit für den nächsten Aufruf. Wenn die Bildschirmseite gefüllt ist und auch vor dem ersten Verwenden muß der Bildschirm gelöscht werden. Hierzu dient das Unterprogramm "neues_bild". Nach Einschalten der Grafik wird die Schildkröte in die linke untere Ecke des Bildschirms rangiert. Übrigens: die Zahlenwerte 82 und 209 betreffen die Bildschirmabmessungen. Sie stellen die Fahrstrecken der Grafik-Schildkröte dar, um von der Bildmitte in die linke untere Ecke zu gelangen.
Das Programm wird mit der ASC-Taste angehalten. Die Temperaturanzeige läßt sich noch verdeutlichen. Bei unseren Experimenten können wir sicherlich auf den Temperaturbereich von 0°C bis 20°C verzichten und den Bereich zwischen 20°C und 40°C auf die Bildschirmhöhe spreizen. Dazu müssen Sie die Fahrtstrecken der Grafik-Schildkröte im Unterprogramm "anzeige" ändern:

```
@gv((FN t(ey)-20)*6)
@gz((FN t(ey)-20)*6+1)
```

Wir werden unser Programm jetzt noch international anpassen, damit wir auch unserem englischen Freund mitteilen können, wieviel Grad Fahrenheit bei uns herrschen. Wissenschaftlich Interessierten liefern wir auch gleich noch die Angabe in Kelvin mit.
Wir erweitern unser Hauptprogramm, so daß nach jeder Messung die Temperatur gleichzeitig in °C, Kelvin und °F auf dem Bildschirm angezeigt wird:

```
PRINT AT(1,1);"Temperatur= ";
   FN t(ey);"Grad Celsius"
PRINT "Temperatur= ";FN t(ey)
   +273.15;"Kelvin"
PRINT "Temperatur= ";FN t(ey)
   *1.8+32;"Grad Fahrenheit"
```

Nach Start mit **Run** wird wieder die aktuelle Temperatur, nun gleich dreifach, angezeigt.

7.2. Steuerung der Wärmezufuhr: Heizungsregelung

Im letzten Kapitel haben wir gesehen, wie man mit dem Heißleiter Temperaturen messen und mit dem Computer anzeigen kann. Der Computer kann aber noch mehr: Man kann ihn auch zur Steuerung der Wärmezufuhr benutzen. Die Änderungen der Temperatur sollen dabei möglichst gering bleiben. In der Praxis ist dies nichts anderes als eine Heizungsregelung. Damit lernen wir auch gleichzeitig das verstehen, was die Experten als Regelkreis bezeichnen.

Für den Versuch bauen wir das Modell Ofen aus der Bauanleitung zusammen. Das Modell verbinden wir mit dem Interface - zuvor bitte genau prüfen, ob alles richtig verdrahtet ist und nicht etwa ein Kurzschluß vorliegt.

Sehen wir uns das Modell etwas genauer an. Es besteht aus einer Lampe mit dem darüber liegenden NTC-Widerstand. Das Lämpchen dient hier als "Brenner" für die Heizung. Bitte wundern Sie sich nicht, denn solch eine Lampe strahlt nicht nur Licht aus, sondern auch Wärme. Wer's nicht glaubt, kann ja einmal eine Glühbirne in der Stehlampe zuhause anfassen, die einige Zeit eingeschaltet war. Aber vorsichtig, bitte!

Der NTC-Widerstand dient als Temperaturfühler für die vom Brenner erzeugte Wärme. Die Temperatur soll auf einem bestimmten Wert konstant gehalten werden. Dies erreichen wir über einen Regelkreis: wir geben eine Solltemperatur vor und messen die vorhandene Isttemperatur am Brenner. Erreicht die Brennertemperatur den Sollwert - das meldet der Heißleiter -, soll der Brenner ausschalten. Wird die Temperatur nach Abkühlung unterschritten, soll er wieder einschalten.

Dies wollen wir jetzt ausprobieren. Die Lampe ist am Interface mit dem Motoranschluß M3 verbunden. Eingeschaltet wird sie - wie wir in einem früheren Versuch schon gelernt haben - mit dem Befehl @3l bzw. @3r, ausgeschaltet mit @3a. Der Heißleiter ist mit dem Analogeingang EY verbunden und wird also mit @ey abgefragt. Geben Sie Folgendes ein:

```
DEFFN t(x)=INT(200-39*LOG(x))
@in
ts=30
DO
  @ey
  te=FN t(ey)
  PRINT AT(1,1);"Temperatur=";
     te;" Grad Celsius"
  IF te<ts THEN
    @3r
```

```
  ENDIF
  IF te>ts THEN
    @3a
  ENDIF
LOOP
```

Die meisten Programmzeilen kennen wir schon; die Umrechnungsfunktion in °C, die Sie natürlich wieder durch Ihre bessere, individuelle ersetzen sollten, wird in der ersten Zeile definiert. Mit der nächsten Zeile wird das Interface in den Grundzustand gebracht (initialisiert). Die ersten Zeilen in der Wiederholschleife messen die Temperatur am Heißleiter, die umgerechnet, in der Variablen te gespeichert und ausgedruckt wird.
In der Variablen ts geben wir eine Temperatur vor, bei der der Brenner abschalten soll (Sollwert), beispielsweise 30 °C. Natürlich müssen wir jetzt den tatsächlichen Temperaturwert (Istwert) nach jeder Messung mit dem Sollwert vergleichen. Dazu dienen die beiden IF-Anweisungen.
Wenn die Isttemperatur te kleiner als die Solltemperatur ts ist, wird der Brenner eingeschaltet (@3r). Hat der Istwert den Sollwert überschritten, wird der Brenner mit @3a ausgeschaltet. Danach wird der Programmabschnitt wiederholt - es folgt eine erneute Temperaturmessung.
Und nun zur Praxis: Starten Sie das Programm mit **Run**. Die Lampe schaltet ein, was ja richtig ist, denn zunächst ist die Temperatur am NTC-Widerstand kleiner als 30 °C (Sollwert). Jetzt tut sich scheinbar nichts mehr. Zunächst einmal muß der Brenner den Heißleiter aufheizen, und das braucht seine Zeit. Irgendwann schaltet die Lampe aus: die Solltemperatur ist erreicht. (Wenn sich nichts tun sollte, ist vielleicht der NTC-Widerstand zu weit von der Lampe entfernt.)
Der Brenner heizt nun nicht mehr, so daß der Meßfühler abkühlt. Nach kurzer Zeit schaltet der Brenner wieder ein, und der Vorgang beginnt erneut.
Dieses Ein- und Ausschalten wiederholt sich nun laufend: der Regler schaltet zwischen zwei Punkten den Brenner: beim Überschreiten der Solltemperatur aus und beim Unterschreiten wieder ein. Man nennt einen solchen Regler auch ganz folgerichtig einen Zweipunktregler. Sein Verhalten erkennt man am besten aus der Regelkurve in Bild 7.2. Die Regelkurven können Sie sich selbst auch auf Ihren Bildschirm holen, indem Sie die Unterprogramme aus Kapitel 7.1 zur Anzeige der Temperatur ("anzei-

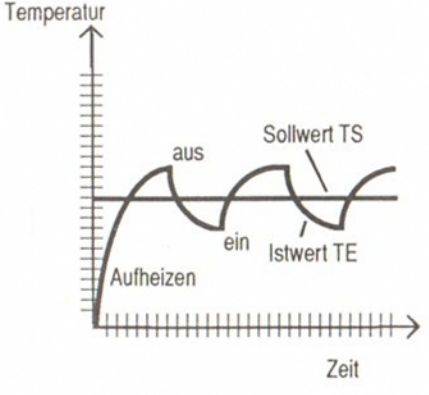


Bild 7.2: Regelkurve eines Zweipunktreglers

ge") und zum Löschen des Bildschirms ("neues_bild") hinzufügen. Die Unterprogramme werden wie in Kapitel 7.1 aufgerufen, d.h. GOSUB neues_bild nach dem Initialisieren des Interface und GOSUB anzeige nach der PRINT-Anweisung.
Die Isttemperatur schwankt zickzackförmig um die Solltemperatur. Die Zeit zwischen "Brenner ein" und "Brenner aus" nennt man Hysterese. Diesen Effekt wollen wir noch etwas genauer untersuchen. Nach Anhalten des Programms mit der ASC-Taste ändern Sie die Zeile mit der Festlegung des Sollwerts und die IF-Anweisungen ab:

```
ts=30
ot=ts+2
ut=ts-2

  IF te<ut THEN

  IF te>ot THEN
```

und starten das Programm wieder mit **Run**. Was stellen wir fest? Richtig! Die Zeit zwischen "EIN" und "AUS", das Hystereseintervall ist größer geworden, da jetzt erst über 32 °C (ot) ausgeschaltet und unter 28 °C (ut) wieder eingeschaltet wird.
Merken Sie sich nun die Anzahl der Schaltintervalle z.B. in 5 min. Jetzt erhöhen wir die Solltemperatur auf 35 °C:

```
ts=35
```

und starten wieder mit **Run**. Wieviel Schaltimpulse zählen Sie diesmal in derselben Zeit? Es sind mehr als vorhin, und warum? Der Heißleiter kühlt sich bei gleicher Umgebungstemperatur schneller ab als vorher. Versuchen Sie es doch einmal mit 10 °C Solltemperatur

```
ts=10
```

Aber warten Sie nicht zulange. Oder sitzen Sie gerade in einem solch kühlen Raum?
Sie sehen, hier kann man noch viel experimentieren. Das Modell hat uns gezeigt, wie man durch Steuerung der Wärmeerzeugung die Temperatur regeln kann. Wir verstehen jetzt, welche Aufgabe bei unserer Heizung zuhause das Raumthermostat hat und warum die Heizung bei kaltem Wetter öfter anspringt.
Auch zu diesem Modell finden Sie wieder ein Musterprogramm auf der Diskette, mit dem der Regelvorgang übersichtlich dargestellt wird. Sein Name ist OFEN.BAS.

7.3. Steuerung der Kühlung: Gebläse

Regler, wie wir sie hier in unserem Experiment kennengelernt haben, werden in einer Vielzahl von technischen Prozessen eingesetzt. Dabei handelt es sich beileibe nicht nur um die Temperatur. Das kann auch genausogut die Ausgangsspannung eines Netzteils, die Benzinzufuhr zum Autovergaser, der Druck in einer Dampfmaschine (der historisch erste technische Regler) oder die Aktivität eines Kernreaktors sein. Und es geht noch weiter: auch biologische Prozesse unterliegen einem Regelmechanismus, damit "die Bäume nicht in den Himmel wachsen". Selbst auf gesellschaftliche Phänomene kann man die Formeln der Regeltechnik anwenden.

Statt über die Wärmezufuhr kann man natürlich die Temperatur auch über die Kühlung regeln. Was man jeweils macht, hängt von Soll- und Isttemperatur und im Normalfall von der Lufttemperatur ab. Das bedeutet aber auch, daß es Regler gibt, die sowohl heizen als auch kühlen müssen. Beispiel: Klimaanlagen; im Winter arbeiten sie als Heizung, im Sommer als Kühlung.
Wir wollen uns jetzt mit der Temperaturregelung durch Steuerung der Kühlung befassen und lassen dazu unsere Heizung, die Glühlampe, in Betrieb. Kühlen kann man - wenn es sich um höhere Temperaturen handelt - sehr gut mit ganz gewöhnlicher Luft. Und damit das schneller und wirkungsvoller funktioniert, unterstützt man die Luftzufuhr mit einem Kühlgebläse.
Dieses Prinzip wird oftmals dann benutzt, wenn sich die Wärmequelle nicht abschalten läßt. So kann man z.B. einen Automotor während der Fahrt nicht einfach abschalten, wenn er zu warm wird. Oder wollen Sie alle paar hundert Meter anhalten und etliche Minuten warten, bis Sie mit abgekühltem Motor wieder weiterfahren dürfen?
Mit einem Gebläse läßt sich jedoch die Temperatur bei laufendem Motor regeln. Wie das geht, soll der folgende Versuch zeigen. Wir bauen dazu das Modell Gebläse der Bauanleitung auf. Über der Lampe als Wärmequelle befindet sich wieder der NTC-Widerstand für die Temperaturmessung. Davor ist ein Kühlgebläse angebracht. Verbinden Sie das Modell mit dem Interface und prüfen zunächst durch ein Testprogramm, ob alles richtig verdrahtet ist. Geben Sie bitte ein:

```
@in
FOR i=1 TO 1000
  @1r
  @3r
NEXT i
@1a
@3a
@ey
PRINT ey
END
```

Nach Programmstart muß der Lüfter und die Lampe aufleuchten. Außerdem wird ein Wert von etwa 100 auf dem Bildschirm angezeigt. Wenn das alles der Fall ist, können wir mit dem Versuch beginnen.
Die Regelung soll folgendermaßen ablaufen: Die Lampe als Heizquelle brennt dauernd. Der Heißleiter mißt die Temperatur und schaltet das Gebläse ein, wenn die

Solltemperatur überschritten wird. Geben Sie zunächst ein:

```
DEFFN t(x)=INT(200-39*LOG(x))
@in
ot=30
ut=25
@3r
DO
  @ey
  te=FN t(ey)
  IF te>ot THEN
    @1r
  ENDIF
  IF te<ut THEN
    @1a
  ENDIF
  PRINT AT(1,1);"Temperatur= ";
     te;" Grad Celsius"
LOOP
```

Damit sind die ersten beiden Bedingungen erfüllt. Die Lampe brennt dauernd (@3r), und die Temperatur wird gemessen (erste Zeilen der Wiederholschleife). Sie ist in der Variablen te gespeichert. Die beiden IF-Anweisungen bilden den Soll-/Istwert-Vergleich für den Regelkreis.
Starten Sie nun das Programm mit **Run**. Die Lampe brennt und wärmt den Heißleiter auf. Das braucht zunächst seine Zeit. Wird die obere Grenztemperatur (ot) überschritten, schaltet der Lüfter ein. Er kühlt den Heißleiter ab, bis die untere Grenztemperatur (ut) unterschritten wird. Hier schaltet das Gebläse wieder aus, und der Kreislauf beginnt von neuem: erwärmen - Lüfter ein - abkühlen - Lüfter aus - erwärmen usw.
Um die Temperaturen zu verfolgen, bei denen das Gebläse ein- und ausschaltet, wurde die PRINT-Anweisung vorgesehen.
Auch bei diesem Versuch lassen sich Hystereseverhalten und Schalthäufigkeit bei unterschiedlichen Solltemperaturen wie beim Modell Ofen grafisch darstellen. Versuchen Sie diese Programmänderungen selbst einmal!
Wir wollen uns nun mit einem anderen Effekt befassen, den wir vom Auto her kennen. Sie haben sicher schon gelesen: "Vorsicht, Lüfter läuft auch bei ausgeschalteter Zündung !".
Der Automotor wird also auch gekühlt, wenn er abgestellt wurde und seine Temperatur noch zu hoch ist. Das soll unser Modell nun auch machen. Dazu geben wir folgendes Programm ein:

```
DEFFN t(x)=INT(200-39*LOG(x))
@in
```

```
ot=30
ut=25
@3r
REPEAT
  @ey
  te=FN t(ey)
  IF te>ot THEN
    @1r
  ENDIF
  IF te<ut THEN
    @1a
  ENDIF
  PRINT AT(1,1);"Temperatur= ";
     te;" Grad Celsius"
UNTIL INKEY$<>""
@3a
@1r
REPEAT
  @ey
  te=FN t(ey)
  PRINT AT(1,1);"Temperatur= ";
     te;" Grad Celsius"
UNTIL te<=20
@1a
END
```

Nach dem Starten mit **Run** läuft das Programm zunächst wie vorher. Abschalten läßt sich der "Motor" (Lampe) nun durch Drücken einer beliebigen Taste. Der Lüfter läuft noch solange weiter, bis die Temperatur unter 20 °C gesunken ist. Danach endet das Programm. Die Temperaturabfrage sowie der Soll-/Istwert-Vergleich ist ähnlich dem entsprechenden Teil der ersten Schleife.

Wenn Sie den Temperaturverlauf mit der Schildkröte mitprotokolliert hatten, so sollten Sie nicht vergessen, die Grafik am Programmende abzuschalten.

Das soll für diesen Versuch reichen. Natürlich läßt sich auch an dem Programm noch einiges verbessern. So können Sie z.B. den Wärmeerzeuger schrittweise aufheizen usw. Ein fertiges Programm zur Darstellung der Temperaturregelung durch Kühlung gibt es wieder auf der Diskette unter dem Namen GEBLAESE.BAS.

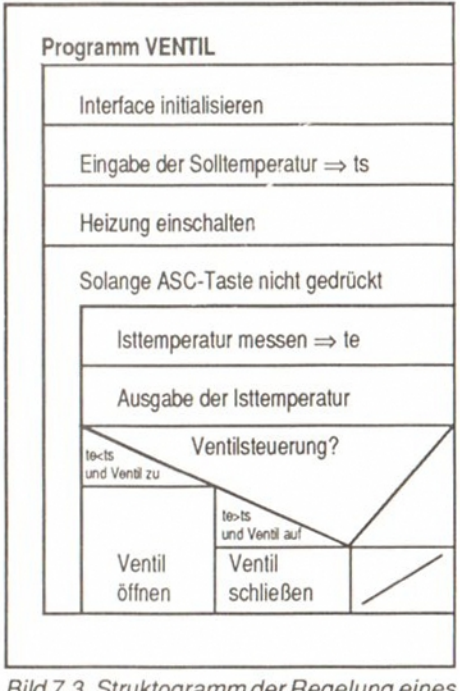


Bild 7.3. Struktogramm der Regelung eines Thermostatventils

Man kann die Temperatur auch durch die Steuerung des Wärmeflusses regeln. Was man darunter versteht, läßt sich am besten anhand eines Thermostatventils eines Heizkörpers erklären. Der Heizkörper ist an einen Heizkreis angeschlossen, durch den laufend warmes Wasser gepumpt wird. Wieviel Wasser (= Wärmemenge) durch den Heizkörper fließen soll, bestimmt das Thermostatventil. Hier stellt man die gewünschte Temperatur ein. Das Ventil ist solange geöffnet, bis diese Temperatur erreicht ist. Dann schließt es; es kann kein Wasser nachfließen, bis die Temperatur wieder unter den Sollwert abgesunken ist. Dieses Prinzip wollen wir wieder durch einen Versuch kennenlernen und bauen dazu das Modell Ventil aus der Bauanleitung auf. Das Wasser ersetzen wir durch Luft und das Ventil durch einen Schieber. Über dem Heizelement, der Lampe, ist wieder der Temperaturfühler angebracht. Die Lampe ist am Ausgang M3, der NTC-Widerstand am Eingang EY des Interfaces angeschlossen. Neu ist der Schieber, der wie ein Ventil wirkt und den Wärmefluß von der Lampe zum Heißleiter unterbrechen soll. Er wird durch eine Bauplatte realisiert, die durch einen Motor (Ausgang M1) gedreht wird. Da der Motor im Schrittsteuerprinzip angetrieben wird, ist noch ein Schalter (E2) an seiner Welle angebracht.

Für dieses Modell wollen wir jetzt ein Steuerprogramm erstellen. Den Ablauf sehen wir uns in Bild 7.3 an, einem sog. Struktogramm. Die Programmierung umfangreicherer Aufgaben sollte immer mit einem Struktogramm beginnen, um später Fehler besser zu finden und Ergänzungen einfacher einbauen zu können.

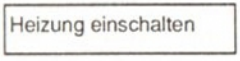
Unser Programm läuft nun folgendermassen ab: Man gibt eine Solltemperatur vor, die das Modell erreichen und halten muß (z.B. 36°C). Der Brenner wird eingeschaltet, der Schieber geschlossen und die Isttemperatur gemessen. Ist sie kleiner als der Sollwert, wird der Schieber geöffnet. Er bleibt solange offen, bis die Solltemperatur überschritten wird; dann schließt er.

Bevor Sie nun das folgende Programm abtippen, versuchen Sie doch einmal, das Struktogramm des Programms zu verstehen. Sie haben ja schon bei den bisherigen Experimenten Erfahrungen gesammelt.

Hat's geklappt? Prima! Sehen wir uns aber nun das Programm an:

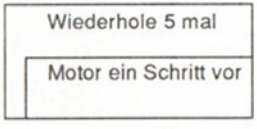
```
DEFFN t(x)=INT(200-39*LOG(x))
@in
INPUT "Solltemperatur:";ts
```

Unter einem Struktogramm versteht man eine zeichnerische Darstellung des Programms. Das Struktogramm wird von oben nach unten gelesen. Treffen Sie ein Rechteck an, so wird die darin beschriebene Aktion ausgeführt:



Eine Verzweigung wird durch ein auf der Spitze stehendes Dreieck angegeben. Darunter folgen für die verschiedenen Wege nebeneinanderliegende Rechtecke:

Schleifen erhalten am Rand einen Balken. Entweder oben oder unten oder auch gar in der Mitte steht die Bedingung für die Wiederholung der Schleife, je nachdem ob am Anfang, am Ende oder in der Mitte die Prüfung auf das Ende der Schleife erfolgt:




```
ot=ts+1
ut=ts-1
s=0
@3r
DO
  @ey
  te=FN t(ey)
  PRINT AT(1,1);"Temperatur =
     ";te;" Grad Celsius"
  IF te<ut  AND s=0 THEN
    @1v
    s=1
  ENDIF
  IF te>ot AND s=1 THEN
    @1v
    s=0
  ENDIF
LOOP
```

Die Eingabe der Solltemperatur erfolgt mit der INPUT-Anweisung. Wählen Sie den Wert nicht zu niedrig, da die Lampe ganz schön heizt.
Die nächsten beiden Zeilen legen die Grenzwerte für "Schieber öffnen" und "Schieber schließen" fest. Die Variable s hält die Schieberstellung fest (0=geschlossen). Nach der Temperaturmessung erfolgt der Soll-/Istwert-Vergleich. Ist die Isttemperatur te kleiner als der Sollwert und (AND) der Schieber geschlossen, öffnet der Schieber (Nachsatz des ersten IF). Das merken wir uns mit s=1. In der nachfolgenden IF-Anweisung ist es genau umgekehrt: Ist te>ot und (AND) der Schieber offen (s=1), wird er geschlossen. Das Programm wiederholt den Regelmechanismus in einer DO-Schleife.
Auch zu diesem Versuch gibt es wieder ein fertiges Programm, das den Namen VENTIL.BAS trägt.

8.1 Geometrie des Roboters: Arbeitsräume

Nach einer Richtlinie des VDI (VDI steht für Verband Deutscher Ingenieure, und die müssen es ja wissen) handelt es sich bei Robotern um "universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegung hinsichtlich Bewegungsfolge und -wegen bzw. -winkeln frei programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind".

Bis hierher haben wir eine ganze Reihe von Experimenten gemacht, die eigentlich nur ein einziges Ziel hatten: Der Computer sollte seine Umwelt erkennen können und seine Erkenntnisse wiederum zum Steuern einsetzen. So lernte der Computer sehen - mit Hilfe des Fotowiderstandes - und fühlen - mit Hilfe des NTC-Widerstandes - und er lernte eine Bewegung zu steuern - mit Hilfe des Motors.
Mit diesen Fähigkeiten hat unser Computer schon eine ganze Menge von dem Gehirn eines Roboters. Was ist eigentlich ein Roboter?
Ein Roboter ist eine Maschine oder Automat, der sich fast wie ein menschlicher Arm bewegen kann und solche Arbeiten, wie Greifen, Stapeln, Schweißen usw., ausführen kann. Was er in welcher Reihenfolge tun soll, wird ihm per Programm beigebracht. Und im Programm steht auch, ob er dabei auch Meßdaten, wie Helligkeit oder Wärme, berücksichtigen muß.
Was es mit den Bewegungsachsen, -wegen und -winkeln auf sich hat, wollen wir mit Hilfe unseres Modells kennenlernen. Dazu bauen wir das Robotermodell aus der Bauanleitung zunächst einmal auf. Das Gebilde ist ein sog. Schweißroboter. Die Schweißzange vorn realisieren wir durch ein Lämpchen. Sie brauchen jetzt natürlich keine Eisenteile bereitzulegen, geschweißt wird hier nicht. Mit dem Schweißroboter wollen wir nur die Bewegungsmöglichkeiten und die Programmierung eines Roboters kennenlernen. Und den Schweißroboter haben wir uns deshalb ausgedacht, weil er in der Produktion von Autos eine so wichtige Rolle spielt.
Wenn Sie den Roboter nun mit dem Interface an den Computer angeschlossen haben, versuchen Sie zunächst einmal, ihn zu bewegen, bevor wir auf die Bewegungsachsen zu sprechen kommen. Der Roboter muß sich in Grundstellung befinden: Schweißarm eingefahren und nach vorn gerichtet. Lösen Sie hierzu den Motor aus dem Getriebeeingriff und stellen Sie den Roboterarm richtig ein. Rasten Sie den Motor wieder in seine korrekte Stellung ein. Geben Sie dann ein:

```
@in
@11
END
```

Nach Start des Programms dreht sich der gesamte Aufbau des Roboters um einige Grad. Mit der Zeile:

Industrieroboter haben meist sechs Achsen. Drei Hauptbewegungsachsen dienen dazu, den Greifarm in die richtige Position zu fahren. Daß dazu gerade drei Achsen notwendig sind, liegt daran, daß der Raum dreidimensional ist (Länge, Höhe und Breite). Drei Orientierungsachsen des Roboters sind im "Handgelenk" untergebracht. Sie dienen dazu, das Werkzeug oder das Werkstück richtig auszurichten (Drehen, Kippen, Wenden). Das Betätigen des Werkzeugs (Schweißzange, Schraubendreher usw.) oder des Greifers zählt bei den Achsen nicht mit.

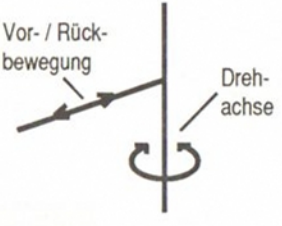


Bild 8.1: Bewegungsachsen unseres Schweißroboters.

```
@1r
```

anstelle @1l und erneutem Programmstart dreht er sich wieder zurück. Eine präzisere Drehung des Roboters erhalten Sie wieder mit der Verwendung der Schrittkommandos:

```
@1v   bzw.   @1z
```

Wenn Sie

```
@2l
```

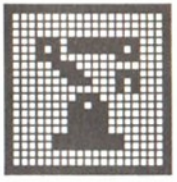
eingeben und das Programm starten, wird sich die Spindel am Roboterarm kurz drehen. Stellen Sie die Spindel wieder in die Grundstellung (Schweißarm ganz eingezogen). Mit

```
@in
FOR i=1 TO 12
  @2v
NEXT i
END
```

und **Run** fährt der Arm ganz aus. Ändern Sie in dem Schleifenkörper den Befehl in @2z, dann fährt er wieder zurück. Aber Vorsicht, wenn die Spindel zu Beginn nicht ordnungsgemäß in Grundstellung gebracht wurde; in den Endstellungen kann sich die Mechanik leicht verklemmen. Machen Sie weitere Versuche, um die "Reichweite" des Roboters zu erforschen. Mit

```
@in
FOR i=1 TO 10
  @1v
NEXT i
END
```

und **Run** dreht er sich um 90°. Ein Schritt entspricht somit 9°. Achten Sie dabei darauf, daß sich die Anschlußkabel des Roboters nicht verklemmen oder verheddern. Mit dem Kommando @1z im Schleifenkörper dreht sich der Roboter wieder zurück.
Unser Roboter hat also zwei Bewegungsachsen: eine Drehung um die senkrechte Achse und eine Vor- und Zurückbewegung des Armes. Verglichen mit unserem Körper wäre das eine Drehung in der Hüfte und ein Vorstrecken des Armes.
Moderne Roboter besitzen natürlich noch wesentlich mehr Achsen. Sie können z.B. den Arm auf- und abbewegen oder den Greifer drehen, um beim Automobilbau in jede Ecke einer Karosserie zu gelangen.



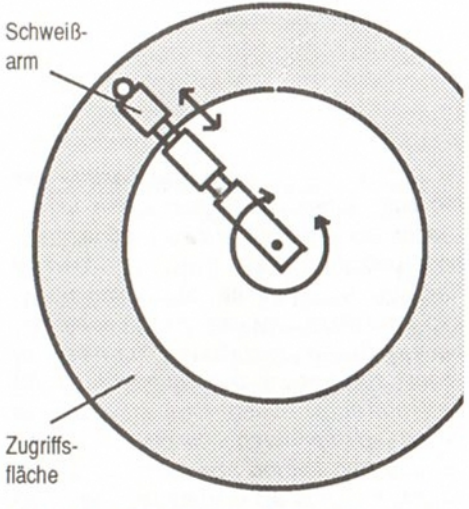


Bild 8.2: Zugriffsfläche des Schweißroboters.

Schematisch dargestellt kann sich unser Roboter wie in Bild 8.1 bewegen.
Daraus wollen wir nun den erreichbaren Raum des Roboters ableiten. Wir gehen dabei von einer direkten Bewegung ohne Umgehung von Hindernissen aus. Versuchen Sie selbst, die entsprechende Fläche auf einem Blatt Papier zu skizzieren. Bewegen Sie den Roboter, wie oben beschrieben, wenn Ihnen noch etwas unklar ist.
Wie wir sehen, kann der Roboter auf eine ringförmige Fläche - ähnlich einer großen Unterlegscheibe - zugreifen. Er kann darauf mit zwei Bewegungsachsen jeden Punkt erreichen (Bild 8.2).
Man sagt auch, die Ausbreitung ist zweidimensional (Breite x Tiefe). Für industrielle Anwendungen werden meist alle drei Raumdimensionen gefordert, also auch die Höhe. Drei Achsen können Sie mit einem anderen fischertechnik-Modell, dem Trainingsroboter, bewegen.
Wir wollen uns nun hier mit der Programmierung unseres Roboters befassen, nachdem wir einiges über die Robotergeometrie gelernt haben. Die einzelnen Bewegungsschritte lassen sich zu einem Programm zusammenfassen. Und der Roboter wird dann eine Arbeit planmäßig ausführen - genau so, wie wir es ihm sagen.

Für den Schweißroboter wollen wir nun ein Steuerprogramm schreiben. Zunächst bringen wir ihn in Grundstellung, d.h. der Schweißarm ist eingefahren, und der Aufsatz zeigt nach vorn in Längsrichtung des Rahmens. Genau positionieren läßt er sich, wie wir im vorigen Abschnitt gesehen haben, mit den Befehlen

@1v bzw. @1z
für die Drehachse und

@2v bzw. @2z
für die Armbewegung.

Unser Roboter soll an einem Punkt A schweißen, dann in Grundstellung zurückfahren, dort eine Zeit warten und wieder zum Punkt A fahren, wo er erneut schweissen soll. Dieser Bewegungsablauf ist in Bild 8.3 übersichtlich dargestellt.
Der Roboter muß also folgende Aktionen nacheinander ausführen:

1. Drehung 45° nach rechts
2. Arm ausfahren
3. Schweißen
4. Arm einfahren
5. Drehung 45° nach links
6. Pause

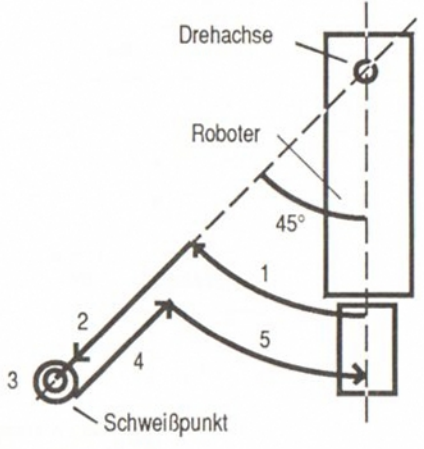
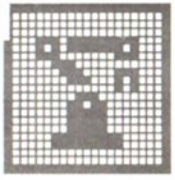


Bild 8.3: Bewegungsablauf beim Schweissen.

Die Drehrichtung "rechts" entspricht einer Drehung im Uhrzeigersinn, wenn man von oben auf das Modell sieht. Diese sechs Schritte realisieren wir im einzelnen wie folgt:
Zunächst erstellen wir wieder ein Struktogramm für das Programm (Bild 8.4).
Man erkennt, daß der Programmablauf linear von oben nach unten erfolgt; danach beginnt der Vorgang wieder von vorn. Für jeden Bewegungsteil ist ein Programmabschnitt zuständig. Man nennt diese Methode auch "lineare Programmierung" eines Roboters. Zu dem Struktogramm wird nun das entsprechende Programm erstellt.
Versuchen Sie es zunächst selbst, bevor Sie weiterlesen.

```
@in
DO
  ' Arm rechts
  FOR i=1 TO 5
    @1z
  NEXT i
  ' Arm vor
  FOR i=1 TO 12
    @2v
  NEXT i
  ' Schweißen
  FOR i=1 TO 1000
    @3r
  NEXT i
  @3a
  ' Arm zurück
  FOR i=1 TO 12
    @2z
  NEXT i
  ' Arm links
  FOR i=1 TO 5
    @1v
  NEXT I
  ' Pause
  PAUSE 100
LOOP
```

Haben Sie es geschafft? So sollte das Programm aussehen. Sie sehen, es hat jede Menge FOR...NEXT-Schleifen; für jede Armbewegung ist eine solche Schleife notwendig, da die Bewegungen jeweils aus Einzelschritten bestehen.
So hat z.B. die erste Schleife für die Armdrehung rechts um 45° fünf Durchläufe, d.h. es wird fünfmal der Befehl @1z ausgeführt. Dabei dreht sich der Arm jedesmal um 9°. Auch das Schweißen ist mit FOR...NEXT-Schleifen aufgebaut. Hier dienen sie aber dazu, eine bestimmte Zeit verstreichen zu lassen. Die Pause am Ende



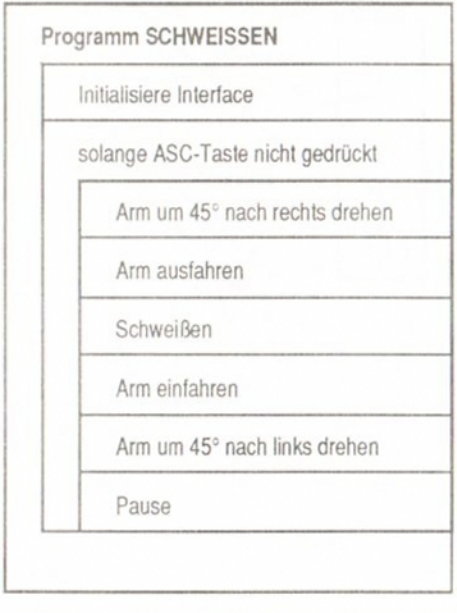


Bild 8.4: Struktogramm zum Programm "Schweißen".

des Durchlaufs ist jedoch mit der PAUSE-Anweisung programmiert.
Wenn Sie das Programm eingegeben haben und es mit **Run** starten, wird der Roboter seine Arbeit nach dem Programm genauso ausführen, wie wir es ihm vorgeschrieben haben. Anhalten läßt er sich mit der ASC-Taste.
Unser Programm läuft zwar einwandfrei, hat aber einen Nachteil: es läßt sich nur für diesen einen Arbeitsvorgang gebrauchen. Bei Änderungen, z.B. Drehung nach links oder Schweißen an zwei Punkten, muß es komplett neu geschrieben werden. Bei kleinen Programmen ist das nicht allzu schwierig, bei großen macht dies aber schon eine Menge Arbeit. Daß es auch anders geht, zeigt das nächste Kapitel.

Jede Fabrik, in der ein Roboter für irgendwelche Arbeiten eingesetzt wird, muß sicher ab und zu das Programm für den Roboter ändern, wenn ein neues Werkstück gefertigt werden soll oder sich der Arbeitsablauf ändert. Nehmen wir nur das Beispiel Autoindustrie: jedes Jahr kommt ein neues Modell auf den Markt, für das immer wieder derselbe Schweißroboter eingesetzt wird. Ein Programm, das vielleicht mehrere hunderttausend Mark kostet, jedesmal neu zu kaufen oder zu entwickeln, ist natürlich viel zu teuer. Dafür gibt es eine billigere Lösung: die Tabellenprogrammierung des Roboters.
Die Befehle für den Bewegungsablauf des Roboters werden in einer Tabelle im Computerspeicher abgelegt und nacheinander aufgerufen. Für andere Aufgaben wird dann nur die Tabelle neu erstellt.
Dies wollen wir jetzt auch mit unserem Schweißroboter ausprobieren. Wir nehmen denselben Arbeitsablauf wie im vorigen Kapitel und erstellen dazu ein Tabellenprogramm. Überlegen wir uns, wie wir die Tabelle gestalten. Jede Aktion des Roboters versehen wir mit einem Kennbuchstaben:

V - Schweißarm vorwärts

Die BASIC-Funktion VAL(...) ist ganz nützlich, um Zahlenwerte aus einer Zeichenkette herauszuziehen. Sie beginnt am Anfang der Zeichenkette und berücksichtigt alle Zeichen, die zu einem Zahlenwert beitragen (z.B. Ziffern und Dezimalpunkt). Die Auswertung endet bei dem ersten Zeichen, das nicht zu einem Zahlenwert gehört.
Die BASIC-Funktion RIGHT$(...) schneidet einen Teil der Zeichenkette aus. Sie beginnt beim rechten Ende und nimmt soviele Zeichen, wie in dem zweiten Argument angegeben sind.
In unserem Fall wird die Roboteraktion also durch das rechte Ende des Tabelleneintrags, das dazugehörige Maß durch das linke Ende des Tabelleneintrags bestimmt. Dies erlaubt interessante Möglichkeiten der Kommentierung der Tabelle, wobei allerdings keine Kommas oder Leerzeichen erlaubt sind, z.B.:

12Schritte_bis_zum_Objekt_V

Z - Schweißarm zurück
R - Roboter nach rechts drehen
L - Roboter nach links drehen
S - schweißen
P - Pause
E - Ende des Programms

Zu allen Aktionen außer dem Programmende müssen wir dann noch Maßzahlen angeben, z.B. um wieviele Schritte der Schweißarm vorgeschoben werden soll oder wie lange geschweißt werden soll. Der Bequemlichkeit halber setzen wir die Maßzahl vor die Kennziffer der Aktion; so läßt sich die Tabelle nachher leichter per Programm auswerten. Der Bewegungsablauf des vorigen Kapitels stellt sich wie folgt dar:

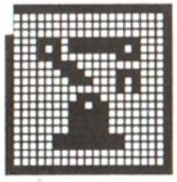
5R	(Roboter um fünf Schritte nach rechts)
12V	(Schweißarm um zwölf Schritte vor)
1000S	(1000 Schleifendurchläufe lang schweißen)
12Z	(Schweißarm um zwölf Schritte zurück)
5L	(Roboter um fünf Schritte nach links)
100P	(100 Hundertstelsekunden = 1 Sekunde lang pausieren)
E	(Ende des Programms)

Die Tabelle im Computer wird in Form von DATA-Zeilen geführt, z.B.:

```
Bewegung:
DATA 5R,12V,1000S,12Z,5L,100P,E
```

Die Tabellenwerte, z.B. 5R sind nicht mit Kommandos zu verwechseln. Welche Kommandos benötigt werden, muß das Programm erst noch aus den Tabellenwerten ermitteln. Wir können die Tabellenwerte "5R", "12V" usw. nacheinander lesen und ausführen lassen. Dies erfolgt mit der READ-Anweisung. In der Variablen der READ-Anweisung steht dann der Befehl, den wir weiterverarbeiten können. Wir trennen im ersten Schritt die Maßzahl ab; dies erfolgt durch die Funktion VAL(...). Die Aktion ermitteln wir als den am weitesten rechts stehenden Buchstaben des Befehls mit der Funktion RIGHT$(...). Probieren wir das Ganze einmal aus; geben Sie ein:

```
@in
RESTORE bewegung
REPEAT
  READ a$
  w=VAL(a$)
  k$=RIGHT$(a$,1)
  ' Schweißarm vor
```



Wenn Sie in Ihren Programmen zu fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL die DATA- und READ-Anweisung benutzen, sollten Sie die DATA-Anweisungen wie im Beispiel immer mit einer Marke versehen und vor der READ-Anweisung mit einer RESTORE-Anweisung auf die Marke Bezug nehmen. Der Grund dafür: In dem Interfacetreiber werden ebenfalls DATA- und READ-Anweisungen für die Gestalt der Grafik-Schildkröte benutzt. Mit der RESTORE-Anweisung erreichen Sie eine eindeutige Zuordnung der Werte der DATA-Anweisung und vermeiden Konflikte mit dem Interfacetreiber.

```
IF k$="V" THEN
  FOR i=1 TO w
    @2v
  NEXT i
ENDIF
' Schweißarm zurück
IF k$="Z" THEN
  FOR i=1 TO w
    @2z
  NEXT i
ENDIF
' Roboter nach rechts
IF k$="R" THEN
  FOR i=1 TO w
    @1z
  NEXT i
ENDIF
' Roboter nach links
IF k$="L" THEN
  FOR i=1 TO w
    @1v
  NEXT i
ENDIF
' Schweißzange ein
IF k$="S" THEN
  FOR i=1 TO w
    @3r
  NEXT i
  @3a
ENDIF
  ' Pause
  IF k$="P" THEN
    PAUSE w
  ENDIF
UNTIL k$="E"
END
bewegung:
DATA 5R,12V,1000S,12Z,5L,100P,E
```

Starten Sie das Programm mit **Run**. Der Roboter durchläuft einmal den vorigen Bewegungsablauf.
Probieren Sie nun eigene Arbeitsabläufe aus - Sie brauchen nur die Tabelle entsprechend zu ändern. Geben Sie z.B. ein

```
Bewegung:
DATA 6R,12V,1000S,12Z,12L
DATA 1000P,12V,1000S,12Z,6R,E
```

Der Roboter macht (fast) alles mit, was Sie ihm vorschreiben. Sie sollten allerdings darauf achten, daß der Bewegungsablauf immer in der Grundstellung endet. Sie ersparen sich damit, ihn vor jedem Programmstart eigens wieder in die Grundstellung zu bringen. Wenn Sie diese Regel bei der Erstellung der DATA-Zeile(n) befolgen, können Sie den Bewegungsablauf auch

vom Programm beliebig oft wiederholen lassen. Betten Sie den Hauptteil des Programms in eine DO-Schleife ein:

```
@in
DO
  RESTORE bewegung
   :
  UNTIL k$="E"
LOOP
END
bewegung:
DATA ....
```

Jetzt zeigt sich der Nutzen der RESTORE-Anweisung. Sie bewirkt, daß das nächste READ-Kommando wieder auf den ersten Tabellenwert in der ersten DATA-Zeile zugreift.
Das vorliegende Programm sollten Sie auf Diskette speichern oder im Computer geladen lassen, denn im nächsten Kapitel wird es noch ausgebaut.
Die Programmierungsart mit Bewegungstabellen wird auch bei professionellen Robotern angewandt; sie macht den Roboter universell einsetzbar. Auf Diskette befindet sich wieder ein etwas erweitertes Programm zu diesem Thema:
ROBOTTAB.BAS.

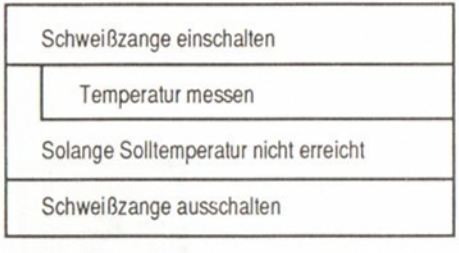
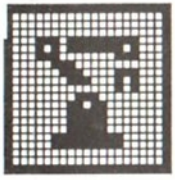


Bild 8.5: Struktogramm zum Programm "Schweißen mit Sensor".

8.4 Sensorführung des Roboters: Mit eigenen Sinnen

Wer sich mit der Schweißtechnik auskennt, weiß, daß unterschiedliche Materialien verschiedene Schweißmethoden erfordern. Unter anderem ist die Temperatur der Schweißnaht wichtig für die spätere Haltbarkeit der Verbindung. Unser Roboter soll diese Prüfung auch durchführen; d.h. er soll feststellen, wann die Schweißstelle die richtige Temperatur hat, bevor er sich zur nächsten begibt. Genau dasselbe macht ein moderner Industrieroboter auch.
Dazu bauen wir zunächst die Variante des Schweißroboters aus der Bauanleitung auf. Im Prinzip sieht der Roboter genauso aus wie zuvor, nur besitzt er jetzt an der "Schweißzange" einen Temperatursensor. Diesen NTC-Widerstand kennen wir bereits aus früheren Versuchen - unser Roboter lernt jetzt also Wärme fühlen und bezieht die gemessene Temperatur in den Schweißvorgang mit ein. Einen Fühler bezeichnet man ganz allgemein auch als Sensor, so daß wir unseren Schweißroboter ohne Übertreibung als sensorgeführt bezeichnen können.
Dazu müssen wir jetzt die Temperatur mit in das Programm einbauen, denn die Schweißdauer soll ja jetzt vom Signal des Heißleiters abhängen. Wenn er die richtige



Neben Temperaturfühlern benutzt man in der Robotik auch noch optische Sensoren, um bestimmte Punkte zu finden, oder Meßfühler für Materialdickenprüfung und dgl. Damit lassen sich die Roboterarme millimetergenau führen und Arbeitsabläufe exakt einstellen. Ganz moderne Roboter sind sogar mit einer Videokamera ausgestattet. Die Bildauswertung erlaubt dem Roboter z.B. auch dann sicher zuzugreifen, wenn Teile in wahlloser Ausrichtung auf einem Förderband gebracht werden. Oder die Videokamera ist mit einem Infrarotfilter für Wärmestrahlung ausgestattet. Dann kann der Roboter die Qualität seiner Schweißnaht sogar "sehen".

Temperatur meldet, wird der Schweißvorgang abgebrochen.
In der Bewegungstabelle geben wir jetzt als Maßzahl die Temperatur des Heißleiters ein, die später erreicht werden soll, z.B. 35S. Diese Temperatur entspricht natürlich nicht der Schweißtemperatur einer richtigen Schweißzange; diese liegt wesentlich höher, über 2800 °C.
Wenn der Roboter einen Schweißvorgang durchführen muß, wird zunächst die Schweißzange eingeschaltet. Laufend wird jetzt die Temperatur an der Schweißzange gemessen. Wenn der Sollwert erreicht ist, wird der Schweißvorgang beendet.
Beginnen wir wieder mit dem Struktogramm (Bild 8.5). Ein Vergleich mit dem Programm des vorigen Kapitels zeigt, daß lediglich der Programmabschnitt, der das Schweißen steuert, ausgetauscht wird.
Versuchen Sie das Programm wieder selbst zu schreiben, bevor wir es besprechen.
Zu Beginn des Programms starten wir wieder mit der wohlbekannten Funktionsdefinition zur Umrechnung des Analogwertes in °C gemäß Kapitel 7.

```
DEFFN t(x)=200-39*LOG(x)
```

Dort steht auch beschrieben, wie Sie sich durch Kalibrierung des NTCeine genauere Temperaturanzeige des NTC verschaffen.
Den Programmabschnitt zum Schweißen ersetzen wir durch die folgenden Zeilen:

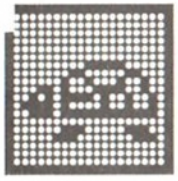
```
' Schweißen (mit Sensor)
IF k$="S" THEN
  @3r
  REPEAT
    @ey
    t=FNT(ey)
  UNTIL t>w
  @3a
ENDIF
```

Selbstverständlich muß auch die DATA-Zeile an das neue Programm angepaßt werden. Anstelle der Zahl der Schleifendurchläufe für die Schweißdauer erscheint jetzt die Temperaturangabe in °C:

```
bewegung:
DATA 5R,12V,35S,12Z,5L,100P,E
```

Geben Sie die Zeilen ein und starten das Programm mit **Run**. Der Roboter wird jetzt die Schweißlänge von der Temperatur abhängig machen. Probieren Sie auch andere Temperaturen.

Wir haben mit diesem Versuch einen sensorgesteuerten Roboter kennengelernt, der auf Wärme reagiert.
Die Roboterbewegung mit Sensorführung können Sie auch wieder mit dem Musterprogramm auf Diskette studieren. Sein Name ist ROBOTSNS.BAS.
Eine andere Variante des Programms ist ROBOTGRA.BAS. In diesem Programm wird die Grafik-Schildkröte dazu benutzt, um die Bewegungen des Roboters am Bildschirm darzustellen. Die Schildkröte zeichnet dabei nicht, sie dient lediglich als Cursor, um die Schweißpunkte anzuzeigen. Als Hintergrund wird eine Autokarosserie eingeblendet. Studieren Sie dieses Programm; es zeigt Ihnen, wie einfach eine Begleitgrafik eingebaut werden kann.



9.1 Bewegung der Schidkröte: Zwei rechts, zwei links

Wir nennen das Fahrzeug "Schildkröte". Der Begriff kommt vom Englischen und heißt dort "Turtle". Es gibt dafür auch noch andere Namen, "Igel" beispielsweise - ihre Bedeutung ist aber immer dieselbe. Man hat das Wort "Schildkröte" oder "Turtle" gewählt, weil manche Modellroboter mit einem Schreibstift versehen sind und eine Linie entlang ihrer Fahrspur ziehen - ähnlich wie eine Schildkröte mit ihrem Schwanz im Sand. Die Programmiersprache LOGO und die Grafik-Schildkröte stammen übrigens auch von einem fahrbaren Modellroboter ab.

Wenn bisher von Robotern die Rede war, dann haben wir darunter stationäre Arbeitsautomaten verstanden. Sie standen auf einem Grundrahmen und hatten lediglich einen beweglichen Arm, mit dem sie ihre nähere Umgebung erreichen konnten. Etwas Neues werden Sie jetzt kennenlernen: den Fahrroboter.

Wie der Name schon sagt, kann er umherfahren und an verschiedenen Orten arbeiten. Typische Fahrroboter sind die sog. Flurförderfahrzeuge, die Lasten ohne Führer hin- und hertransportieren können. Wie diese Fahrzeuge - oder besser Roboter - gesteuert werden und was sie alles können, zeigt uns das nächste Modell, das wir nach der Bauanleitung zusammenbauen.

Bevor wir dieses Fahrzeug in Betrieb nehmen, sehen wir es uns erst einmal genau an. Es besitzt auf der linken und rechten Seite jeweils unabhängig voneinander angetriebene Räder. Sie werden von zwei Motoren im Schrittsteuerprinzip angetrieben, was man an den beiden Mikroschaltern auf der Rückseite des Modells erkennt. Das Gleichgewicht wird durch ein drittes Rad im Heck erreicht, das sich frei bewegen kann und nicht angetrieben wird. Vorn hat das Fahrzeug eine Stoßstange, hinter der ein Schalter sitzt. Beim Drücken auf die Stoßstange macht er sich durch Klicken bemerkbar. Außerdem ist über der Achse noch ein optischer Sensor angebracht.

Damit die Schildkröte in den folgenden Experimenten exakt läuft, sollten Sie sich Mühe bei der Ausrichtung der Mechanik geben. Die Schildkröte ist am besten justiert, wenn sie bei den folgend beschriebenen Kommandos besonders schnell läuft.

Verbinden Sie jetzt das Kabel der Schildkröte mit dem Interface. Wenn Sie GFA-BASIC und den Interfacetreiber geladen haben, geben Sie Folgendes ein:

```
@in
@1v
END
```

Wenn das Programm gestartet wird, dreht sich der in Fahrtrichtung rechte Motor kurz, die Schildkröte insgesamt dreht sich um wenige Grad gegen den Uhrzeigersinn (von oben betrachtet). Mit der Programmänderung @2v anstelle @1v und nochmaligem Programmstart passiert dasselbe mit dem linken Motor. Die Schildkröte dreht sich nach rechts. Lassen wir sie im Kreis fahren:

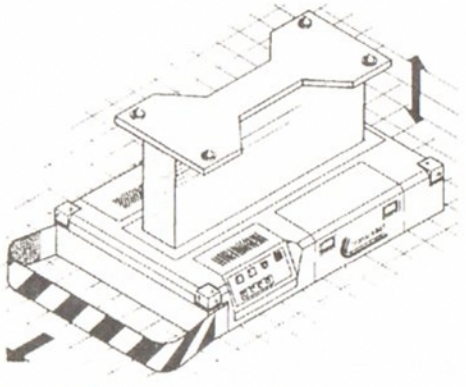


Bild 9.1: Ein fahrerloses Transportfahrzeug mit Hubtisch

Fahrbare Roboter werden auch als FTS (= fahrerlose Transportsysteme) oder englisch AGV (= automatically guided vehicles) bezeichnet. In der Produktion bieten sie eine höhere Flexibilität als Förderbänder. Wenn sie Lasten transportieren, müssen sie nur diejenigen Stationen anfahren, wo die Lasten aufgenommen oder abgegeben werden. Die Aufträge erhalten sie per Funk oder anderen Methoden von einem Prozeßrechner. Manche FTS sehen wie Hubtische, andere wie Gabelstapler aus. Wieder andere ziehen wie eine Lokomotive eine Schar von Anhängern. Wie Roboter aus den Science-Fiction-Geschichten sehen sie aber alle nicht aus.

```
@in
FOR i=1 TO 150
  @2v
NEXT i
END
```

Geben Sie die Zeilen ein und starten das Programm mit **Run**. Die Schildkröte dreht sich im Uhrzeigersinn um das rechte Rad. Achten Sie dabei auf das Anschlußkabel, damit es sich nicht verklemmt und stellen Sie die Schildkröte nach Drehungen immer wieder in die Ausgangsstellung zurück. Das Kabel zum Interface wäre sonst nach ein paar Versuchen aufgewickelt. Bei der späteren Programmierung müssen Sie darauf besonders achten.
Geradeaus-Bewegungen sind nur möglich, wenn beide Motoren gleichzeitig angesteuert werden. Wenn Sie

```
@1v
@2v
```

als Schleifenkörper eingeben, sehen Sie, daß sich jeweils zuerst das rechte und dann das linke Rad dreht. Die Schildkröte bewegt sich zickzackförmig vorwärts. Wie es eleganter geht, zeigen wir im nächsten Kapitel.

9.2 Codierung der Fahrroute: Wegweisungen

Bei unseren ersten Bewegungsversuchen mit der Schildkröte haben wir gesehen, daß wir sie mit Hilfe von zwei unabhängig voneinander angetriebenen Rädern vor-, zurückfahren und sich drehen lassen können. Sie bewegt sich also wie ein Kettenfahrzeug, und das gilt natürlich auch für die Geradeausfahrt. Dazu müssen beide Motoren gleichzeitig angesteuert werden. Da dies mit den bisherigen Kommandos nicht möglich ist, führen wir neue Befehle ein. Geben Sie ein:

```
@in
@ti
@tv(1)
END
```

Starten Sie das Programm und die Schildkröte fährt vorwärts. Das Kommando @ti diente dazu, die Schildkröte zu initialisieren. Was das Initialisieren bei der Schildkröte bewirkt, erfahren Sie in Kapitel 10. Vorerst gehen wir davon aus, daß das Initialisieren vor dem Gebrauch der neuen Schildkrötenbefehle erforderlich ist. Das nächste Kommando bewegt die Schildkröte mit beiden Motoren gleichzeitig einen Schritt vorwärts. Wird es ersetzt durch:

Fassen wir die Schildkrötenbefehle zusammen:
@ti
Die Schildkröte wird initialisiert.
@tv(s)
*Die Schildkröte fährt um s*5 mm vorwärts.*
@tz(s)
*Die Schildkröte fährt um s*5 mm zurück.*
(s = 0 .... 32767)
@tr(d)
Die Schildkröte dreht sich um d Grad nach rechts.
@tl(d)
Die Schildkröte dreht sich um d Grad nach links.
(d = 0 .... 355, durch 5 teilbar)

```
@tz(1)
```

bewegt sie sich nach dem Programmstart zurück. Eine längere Strecke legt sie mit:

```
@tv(20)
```

zurück. Nun fährt sie genau 10 cm vor. Damit kennen wir auch schon die Schrittweite für ein Vorwärtskommando @tv: Es werden 20 Schritte an beiden Motoren ausgeführt. 10 cm Strecke geteilt durch 20 ergibt eine Fahrstrecke von 5 mm pro Schritt. Für die Rückwärtsbewegung gilt natürlich das Gleiche. Geben Sie als Bewegungskommando:

```
@tz(20)
```

ein, und die Schildkröte fährt wieder 10 cm zurück.
Durch Ansteuerung beider Motoren gleichzeitig ist auch eine Drehung der Schildkröte um die eigene Achse möglich. Dabei muß sich ein Rad vor und das andere zurückdrehen. Auch dafür gibt's zwei neue Befehle. Geben Sie als Bewegungskommando:

```
@tr(5)
```

ein. Die Schildkröte dreht sich um einige Grad im Uhrzeigersinn (von oben auf die Schildkröte gesehen). Mit:

```
@tl(5)
```

dreht sie sich wieder zurück. Nun wollen wir natürlich noch wissen, um wieviel Grad sie sich bei einem Befehl dreht. Dies ermitteln wir durch einen größeren Drehwinkel, der in dem Bewegungskommando angegeben wird:

```
@tr(90)
```

Bevor Sie das Programm mit **Run** starten, merken Sie sich die Achsenlinie (Kabel evt. anheben!). Die Schildkröte dreht sich um einen rechten Winkel. Unsere Vermutung bestätigt sich: das Drehmaß der Schildkröte wird direkt in Winkelgraden eingegeben. Probieren Sie jetzt mal aus:

```
@tr(37)
```

Die Schildkröte reagiert überhaupt nicht, stattdessen wird auf dem Bildschirm eine Fehlermeldung angezeigt, die besagt, daß die Schildkröte solche Schritte nicht ausführen kann. Der Grund: Wenn der rechte

Motor um einen Schritt zurückläuft und der linke Motor um einen Schritt vorläuft, dreht sich die Schildkröte um 5°. Bei größerer Zahl von Drehschritten wird die Gradzahl immer ein Vielfaches von 5° sein. Das Kommando prüft die Maßzahl somit auf Durchführbarkeit. Ein ähnlicher Fall:

```
@tr(400)
```

Auch dieser Befehl führt zu einer Fehlermeldung, denn eine Drehung um mehr als 360° (Volldrehung) führt zu nichts außer einem verdrehten Anschlußkabel. Das Kommando läßt deshalb höchstens Drehwinkel von 355° zu. In obigen Fall hätten wir also besser:

```
@tr(40)
```

angegeben.
Zur Probe versuchen Sie, folgende Schildkrötenbewegung hintereinander ablaufen zu lassen: 5 cm vorwärts, 90° Rechtsdrehung, 8 cm zurück. Vergleichen Sie Ihr Programm mit diesem:

```
@in
@ti
@tv(10)
@tr(90)
@tz(16)
END
```

Machen Sie sich weiter mit der Schildkrötensteuerung vertraut - Sie werden sehen, daß man mit den vier Elementarkommandos auch die kompliziertesten Wege beschreiben kann. Wird die Strecke allerdings zu umfangreich, sind also viele Drehungen nötig und Teilstücke zu durchfahren, ist das bis jetzt angewandte Programmierverfahren nicht empfehlenswert. Wir wollen im nächsten Kapitel eine andere Möglichkeit zeigen, Steuerprogramme für die Schildkröte zu schreiben. Wir kennen sie übrigens schon von der Roboterprogrammierung her.

9.3 Routenplanung mit der Schildkröte: Planspiele

Eine Schildkröte ist ein Fahrroboter und soll deshalb auch größere Strecken mit mehreren Richtungsänderungen zurücklegen können. Stellen Sie sich ein Flurförderfahrzeug vor, das in einer großen Halle Material von einer Ecke in eine andere transportiert und dabei kreuz und quer durch die Halle fahren muß. Das Programm dafür ist natürlich entsprechend umfangreich.
Solch ein Programm wollen wir jetzt auch für unsere Schildkröte erstellen. Wir wenden dafür die numerische Routenplanung an. Wir kennen diese Art der Programmierung bereits von unserem Roboter: in einer Tabelle werden die einzelnen Bewegungsschritte zusammengestellt, die die Schildkröte nacheinander ausführt. Der Vorteil dieses Verfahrens ist wieder die universelle Anwendbarkeit des Programms. Man braucht nur die Tabelle zu ändern und schon fährt die Schildkröte einen anderen Weg. Gut, daß wir die Methode uns schon beim Schweißroboter angeschaut haben. Das neue Programm ist sogar einfacher als jenes des Schweißroboters. Als Aktionen haben wir die vier Schildkrötenbewegungen **R**echts, **L**inks, **V**orwärts und **R**ückwärts. Probieren wir's aus!

```
@in
@ti
RESTORE bewegung
REPEAT
  READ a$
  w=VAL(a$)
  k$=RIGHT$(a$,1)
  ' Schildkröte vor
  IF k$="V" THEN
    @tv(w)
  ENDIF
  ' Schildkröte zurück
  IF k$="Z" THEN
    @tz(w)
  ENDIF
  ' Schildkröte rechts drehen
  IF k$="R" THEN
    @tr(w)
  ENDIF
  ' Schildkröte links drehen
  IF k$="L" THEN
    @tl(w)
  ENDIF
UNTIL k$="E"
END
```

Die Bahn der Schildkröte wird wieder in DATA-Zeilen codiert, z.B.:

```
bewegung:
DATA 20V,60R,20V,60R,20V,60R,
     20V,60R,20V,60R,20V,300L,E
```

Probieren Sie das Programm aus. Welche geometrische Figur beschreibt die Schildkröte? Warum steht an vorletzter Stelle in der Tabelle das Kommando 300L und nicht 60R? Sie können die DATA-Zeile austauschen und eigene Bahnen codieren. Ihrer Phantasie sind dabei keine Grenzen gesetzt. Ein ähnliches Programm befindet sich auf der Diskette; sein Name ist ROUTENUM.BAS.

Wie wär's denn mit einer schönen Darstellung der Schildkrötenroute auf dem Bildschirm? Wozu haben wir eine Grafik-Schildkröte, die fast den gleichen Befehle gehorcht? Wenn zu dem Kommando @tv das Kommando @gv gestellt wird, macht die echte Schildkröte die Schritte in Vorwärtsrichtung und die Grafik-Schildkröte saust auf dem Bildschirm entsprechend vor. Die Grafik-Schildkröte hinterläßt auf dem Bildschirm auch noch ihre Spur, wenn der Grafikstift eingeschaltet war. Genauso entsprechen sich das Rückwärts- und die Drehkommandos. Wenn also alle Kommandos gleichermaßen an die echte und die Grafik-Schildkröte gehen, wird die Route der Schildkröte auf dem Bildschirm aufgezeichnet. Das Programm wird also in jedem Nachsatz der IF-Anweisungen ergänzt:

```
@in
@ti
@ge
RESTORE bewegung
REPEAT
  READ a$
  w=VAL(a$)
  k$=RIGHT$(a$,1)
  ' Schildkröte vor
  IF k$="V" THEN
    @tv(w)
    @gv(w)
  ENDIF
  ' Schildkröte zurück
  IF k$="Z" THEN
    @tz(w)
    @gz(w)
  ENDIF
  ' Schildkröte rechts drehen
  IF k$="R" THEN
    @tr(w)
    @gr(w)
  ENDIF
  ' Schildkröte links drehen
  IF k$="L" THEN
    @tl(w)
    @tl(w)
  ENDIF
UNTIL k$="E"
@ga
```


```
END
bewegung:
DATA 20V,60R,20V,60R,20V,60R,
     20V,60R,20V,60R,20V,300L,E
```

Die Programme auf der Diskette benutzen Hintergrundbilder, die mit @gload geladen werden (s. Kap. 6). Dies steht Ihnen ebenso frei. Fügen Sie nach dem @ge-Kommando ein:

```
@gload("TURTLE")
@gc
```

Nach Einfügen dieser Zeilen bewegt sich die Schildkröte auf einem Rasterfeld, das Ihnen die Orientierung erleichtert. Beachten Sie aber, daß beim Ausführen dieses Programms die fischertechnik Diskette in das Diskettenlaufwerk eingelegt sein muß, damit das Bild geladen werden kann.

Modernen Robotern bringt man ihren Bewegungsablauf durch Ausprobieren bei. Schrittweise werden sie von Position zu Position gebracht. Den Ablauf merkt sich der Roboter (bzw. sein Steuercomputer) und macht daraus eine Bewegungstabelle, nach der er dann arbeitet.
Wir wollen dies jetzt auch mit unserer Schildkröte ausprobieren. Dazu nehmen wir wieder die Schildkröte und schließen sie am Interface an. Kontrollieren Sie, ob alles richtig gesteckt und GFA-BASIC sowie der Interfacetreiber geladen sind. Geben Sie dann ein:

```
@in
@ti
@tv(1)
```

Nach dem Start des Programms muß sich die Schildkröte einen Schritt vorbewegen. Wenn nicht, kontrollieren Sie bitte alles noch einmal nach.
Bevor wir mit der Routenplanung nach dem Teach-In-Verfahren beginnen, wollen wir uns zunächst eine feste Fahrunterlage schaffen, auf der sich die Schildkröte leicht bewegen kann. Außerdem lassen sich darauf mit Bleistift oder Klebeband Wege und Markierungen für die spätere Fahr-

Man nennt dies ein Teach-In-Verfahren, zu deutsch: Lehrverfahren, da der Roboter seinen Bewegungsablauf gewissermaßen erlernt. Der große Vorteil des Teach-In-Verfahrens: der Roboter-Instruktor sieht sofort, was der Roboter macht und muß sich dies nicht aus Tabellen vorstellen. Oder hätten Sie sofort den DATA-Zeilen der vorigen Kapitel angesehen, was die Roboter im einzelnen machen?

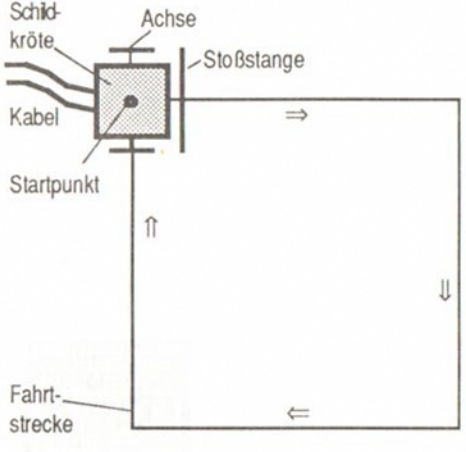


Bild 9.2: Fahrstrecke der Schildkröte.

strecke darstellen.
Schneiden Sie sich aus Sperrholz oder dickem Karton eine ca. 50 cm x 50 cm große Platte aus. Darauf zeichnen Sie mit weichem Bleistift die geplante Fahrstrecke - aber dünn, damit Sie sie auch wieder ausradieren können!
Die Schildkröte soll vom Ausgangspunkt ein Viereck befahren: zeichnen Sie also ein Quadrat mit einer Kantenlänge von 10 cm mitten auf die Platte, und setzen Sie die Schildkröte auf einen Eckpunkt. Dieser sollte unter der Achse der Schildkröte liegen. Bild 9.2 zeigt die genaue Startposition. Jetzt benötigen wir ein Programm, mit dem die Schildkröte den Weg "erlernt" und ihn später abfährt. Wir befahren die Route mit der Schildkröte, indem wir am Computer jeweils eine Taste für die gewünschte Richtung drücken. Dafür benutzen wir die Cursortasten, die Folgendes bewirken sollen:

Cursor hoch:	Schildkröte 1 Schritt vor
Cursor runter:	Schildkröte 1 Schritt zurück
Cursor rechts:	Drehung um 5° nach rechts
Cursor links:	Drehung um 5° nach links

Das Programm für die Cursortastenabfrage sieht folgendermaßen aus:

```
@in
@ti
auf$=CHR$(0)+CHR$(72)
ab$=CHR$(0)+CHR$(80)
re$=CHR$(0)+CHR$(77)
li$=CHR$(0)+CHR$(75)
REPEAT
  REPEAT
    k$=INKEY$
  UNTIL k$=auf$ OR k$=ab$ OR
        k$=re$ OR k$=li$ OR
        UPPER$(k$)="E"
  IF k$=auf$ THEN
    @tv(1)
  ENDIF
  IF k$=ab$ THEN
    @tz(1)
  ENDIF
  IF k$=re$ THEN
    @tr(5)
  ENDIF
  IF k$=li$ THEN
    @tl(5)
  ENDIF
UNTIL UPPER$(k$)="E"
END
```

In den ersten Zeilen nach der Initialisierung werden die Zeichencodes für die Cursortasten festgelegt.

Die Tastaturabfrage zu Beginn der Wiederholschleife wartet solange, bis eine der zugelassenen Tasten (Cursortasten und "E") gedrückt wird. Der Tastencode steht dann in der Variablen k$. Welche Taste gedrückt wurde, wird durch IF-Anweisungen abgefragt. Hier stehen die Codes für die vier Cursortasten. Je nach Cursortaste (Richtung) wird der entsprechende Befehl ausgeführt. Drückt man "E", wird das Programm abgebrochen. Ansonsten läuft es in einer Schleife: nach jeder Aktion springt es wieder zum Anfang.

Starten Sie das Programm nun mit **Run**. Wenn Sie eine Cursortaste drücken, bewegt sich die Schildkröte in die entsprechende Richtung; andere Tasten außer "E" reagieren nicht. Die Schildkröte bewegt sich solange, bis Sie die Cursortaste wieder loslassen. Spielen Sie ruhig etwas mit dem Programm, bis Sie die Schildkröte ganz sicher über die Platte bewegen können.

Damit wäre der erste Schritt der Teach-In-Programmierung getan: die schrittweise Bewegung der Schildkröte über die gewünschte Route. Jetzt muß sich der Computer den Weg noch merken. Dazu lassen wir ihn einfach wieder eine Tabelle aufstellen, genauso wie bei der Programmierung des Roboters. Wir legen ein Feld a$(...) an, in das die Bewegungsbefehle geschrieben werden. Außerdem werden noch folgende Variablen benötigt:

Die Variable i ist der Zähler für die Plätze im Feld a$. In jeden Platz des Feldes a$ kommt nun ein Kommando, genauso wie wir es bislang in die DATA-Zeilen geschrieben haben. Das Kommando muß aufgrund der Steuerbewegungen der Schildkröte konstruiert werden. Überlegen wir uns ein Beispiel:

Angenommen Sie fahren die Schildkröte ein Stück vor, haben z.B. fünfmal die Taste Cursor hoch gedrückt. Programmtechnisch wäre es jetzt am einfachsten, das Programm würde in fünf aufeinanderfolgende Plätze des Feldes a$ jeweils "1V" einschreiben. Dies wäre aber Platzverschwendung und würde auch den Programmablauf verlangsamen. Wir sammeln daher gleiche Bewegungen erst einmal auf, um dann in dem genannten Beispiel an einen Platz des Feldes A$ die Aktion "5V" zu schreiben. Dies macht unser Programm etwas komplizierter, lohnt aber die Mühe.

Mit der Variablen schritt wird die Anzahl gleicher Schritte gezählt. Außerdem wird noch eine Kopie des Cursorcodes in l$ angelegt. Sollte der aktuelle Cursorcode irgendwann nicht mehr mit dieser Kopie

Wir hätten bei der Numerierung der Feldplätze auch bei I=0 anfangen können. Dies wurde nicht getan, weil eines der Programme auf Diskette I=0 als Spezialfall behandelt und wir aber die Felder einheitlich benutzen wollten.

übereinstimmen, ist die Folge gleicher Kommandos beendet und es muß in die Tabelle a$ geschrieben werden. Dies erledigt das Unterprogramm "tabelleneintrag". Dort werden die vereinbarten Kommandos aus der Schrittzahl in der Variablen schritt und dem Kennbuchstaben in code$ zusammengesetzt. Die Schrittzahl wird wieder zurückgesetzt und außerdem eine neue Kopie des Cursorcodes angelegt. Der Zeiger i in das Feld a$ wird auch erhöht.

```
DIM a$(500)
@in
@ti
auf$=CHR$(0)+CHR$(72)
ab$=CHR$(0)+CHR$(80)
re$=CHR$(0)+CHR$(77)
li$=CHR$(0)+CHR$(75)
l$=""
i=1
schritt=0
REPEAT
  REPEAT
    k$=INKEY$
  UNTIL k$=auf$ OR k$=ab$ OR
        k$=re$ OR k$=li$ OR
        UPPER$(k$)="E"
  IF k$<>l$ THEN
    GOSUB tabelleneintrag
  ENDIF
  IF k$=auf$ THEN
    @tv(1)
    schritt=schritt+1
  ENDIF
  IF k$=ab$ THEN
    @tz(1)
    schritt=schritt+1
  ENDIF
  IF k$=re$ THEN
    @tr(5)
    schritt=schritt+5
  ENDIF
  IF k$=li$ THEN
    @tl(5)
    schritt=schritt+5
  ENDIF
UNTIL UPPER$(k$)="E"
a$(i)="E"
END
PROCEDURE tabelleneintrag
  IF l$<>"" THEN
    IF l$=auf$ THEN
      code$="V"
    ENDIF
    IF l$=ab$ THEN
      code$="Z"
    ENDIF
    IF l$=re$ THEN
      code$="R"
```

Die Funktion STR$ dient dazu, einen Zahlenwert wie hier die Anzahl der Schritte in der Variablen schritt in eine Zeichenkette umzuwandeln, d.h. in diesem Fall in eine Folge von Dezimalziffern.

```
    ENDIF
    IF l$=li$ THEN
      code$="L"
    ENDIF
    a$(i)=STR$(schritt)+code$
    i=i+1
    schritt=0
  ENDIF
  l$=k$
RETURN
```

Starten Sie das Progamm jetzt mit **Run**. Bislang merken Sie keinen Unterschied zu dem vorigen Programm. Beenden Sie das Programm durch Drücken der Taste "E". Geben Sie folgende Erweiterung am Ende des Hauptprogramms ein:

```
i=1
WHILE a$(i)<>"E"
  PRINT a$(i)
  i=i+1
WEND
END
```

Lassen Sie die Schildkröte fünf Schritte vorwärts fahren und drücken Sie dann "E". Auf dem Bildschirm erscheint

```
5V
```

Dies ist der erste erzeugte Befehl. Jetzt wollen wir den erlernten Weg selbständig von der Schildkröte abfahren lassen. Dazu tauschen wir das Programmstück zum Ausdrucken, das wir eben eingegeben haben, gegen ein ähnliches Programmstück wie bei der Ausführung der DATA-Zeilen aus (s. voriges Kapitel). Das Lesen der DATA-Zeilen wird jetzt durch ein Lesen des Feldes a$ ersetzt. Außerdem wurde der Programmteil etwas kürzer formuliert.

```
' Ausführteil
DO
  i=1
  WHILE a$(i)<>"E"
    PRINT a$(i)
    w=VAL(a$(i))
    k$=RIGHT$(a$(i),1)
    IF k$="V" THEN
      @tv(w)
    ENDIF
    IF k$="Z" THEN
      @tz(w)
    ENDIF
    IF k$="R" THEN
      @tr(w)
    ENDIF
    IF k$="L" THEN
      @tl(w)
```

```
    ENDIF
    i=i+1
  WEND
  REPEAT
  UNTIL INKEY$<>""
LOOP
END
```

Geben Sie die Programmzeilen ein. Zu Beginn des Ausführteils wird der Zähler i wieder auf den Anfang des Feldes a$ gesetzt. Danach wird jeder Befehl gelesen, ausgedruckt und ausgeführt. Nach jedem Durchlauf wartet das Programm auf einen Tastendruck, bevor es mit dem nächsten Durchlauf beginnt.
Starten Sie nun das Programm mit **Run**. Wir sind jetzt im Eingabe- oder Lernteil. Fahren Sie den Weg (das Viereck) mit der Schildkröte ab, indem Sie die entsprechenden Cursortasten drücken. Wenn Sie zwischendurch vom Weg abkommen und neu anfangen wollen, drücken Sie die ASC-Taste, setzen die Schildkröte wieder auf den Ausgangspunkt und beginnen das Programm erneut mit **Run**.
Am Ende steht die Schildkröte wieder auf dem Startpunkt. Geben Sie jetzt "E" ein. Damit lassen wir sie das Erlernte ausführen und schon fährt sie los - genau auf dem Weg, den wir ihr beigebracht haben. Wenn Sie die gleiche Bahn nochmals sehen wollen, drücken Sie eine beliebige Taste der Tastatur.
Durch die Kreisfahrten der Schildkröte wikkelt sich das Anschlußkabel immer mehr auf. Vor jedem Start sollte man deshalb die Schildkröte zurückdrehen, damit sich das Kabel frei bewegen kann.
Probieren Sie nun neue Wege aus oder erweitern das Programm. Sie können z.B. Fehleingaben rückgängig machen, wenn Sie vom Weg abgekommen sind oder den Weg rückwärts durchfahren oder die Route auf dem Bildschirm gleichzeitig darstellen. Speichern Sie aber zunächst das Programm, denn es wird im folgenden Kapitel ausgebaut. Ein komfortables Programm mit Bildschirmanzeige finden Sie auf Diskette unter dem Namen ROUTEACH.BAS. Es kann zudem die Routen auf der Diskette abspeichern und wieder laden, auf dem Drucker oder dem Bildschirm ausgeben.

9.5 Routenplanung am Bildschirm: Voraussicht

Dieses System finden wir in der Industrie unter dem Namen CAD-Programmierung (CAD = Computer Aided Design). Übrigens keine leichte Aufgabe für das Computersystem: dem Roboterprogrammierer muß ja ein realistischer Eindruck wie bei einer Fernsehaufzeichnung geboten werden, damit er den Bildschirm-Roboter zuverlässig führt. Bei Detailproblemen muß er mit seiner Bildschirmanzeige näher heranfahren können. Auch die Umgebung des Roboters muß auf dem Bildschirm dargestellt werden. Es wäre verhängnisvoll, wenn ein Roboter eine andere Maschine streifen würde, bloß weil sie während der Programmierung auf dem Bildschirm nicht zu sehen war.
Da haben wir es mit der Schildkröte schon leichter.

In Kapitel 6.3 haben wir bereits die Bildschirmgrafik kennengelernt. Mit einem Zeichenstift - der Grafik-Schildkröte - konnten wir einzelne Linien und Punkte und auch ganze Figuren auf den Grafikschirm zeichnen. Diese Bildschirmgrafik wollen wir jetzt für die Routenplanung der Schildkröte einsetzen. Am Bildschirm wird die gewünschte Fahrspur mit der Grafik-Schildkröte erstellt, nach der die Schildkröte dann fahren soll. Welche Vorteile bringt das? Für uns keinen; wir können uns Zeit beim Experimentieren lassen und schon in der Lehrphase die Schildkröte benutzen. Anders in der Industrie. Die laufende Produktion mit Robotern müßte für die Lehrphase unterbrochen werden. Daher bedeutet es schon einen gewaltigen Vorteil, wenn die Bewegung des Roboters schon am Bildschirm einstudiert werden kann.
Wenige Änderungen des Teach-In-Programms des letzten Kapitels genügen, um vom Teach-In-Programm zum CAD-Programm zu kommen. Es genügt, die Schildkrötenbefehle während der Lehrphase von der echten Schildkröte auf die Grafik-Schildkröte umzulenken. Vorher muß natürlich noch die Bildschirmgrafik eingeschaltet werden. Wir bringen die nachfolgenden Änderungen in dem ersten Teil des Programms an. Der Ausführteil und das Unterprogramm "tabelleneintrag" bleiben unverändert:

```
DIM a$(500)
@in
@ti
@ge
auf$=CHR$(0)+CHR$(72)
ab$=CHR$(0)+CHR$(80)
re$=CHR$(0)+CHR$(77)
li$=CHR$(0)+CHR$(75)
l$=""
i=1
schritt=0
REPEAT
  REPEAT
    k$=INKEY$
  UNTIL k$=auf$ OR k$=ab$ OR
        k$=re$ OR k$=li$ OR
        UPPER$(k$)="E"
  IF k$<>l$ THEN
    GOSUB tabelleneintrag
  ENDIF
  IF k$=auf$ THEN
    @gv(1)
    schritt=schritt+1
  ENDIF
  IF k$=ab$ THEN
    @gz(1)
    schritt=schritt+1
```

```
    ENDIF
    IF k$=re$ THEN
      @gr(5)
      schritt=schritt+5
    ENDIF
    IF k$=li$ THEN
      @gl(5)
      schritt=schritt+5
    ENDIF
  UNTIL UPPER$(k$)="E"
  @ga
  a$(i)="E"
  ' Ausführteil
```

Probieren Sie das Programm aus. Das Lehren der Route geht am Bildschirm nun sogar wesentlich flüssiger. Bei Betätigen der Taste "E" setzt sich dann die richtige Schildkröte in Bewegung.
Verbessern Sie Ihr Programm, indem Sie sich die Planquadrate der Schildkrötenwelt auf den Bildschirm holen. So können Sie leichter den Bewegungsspielraum abschätzen. Die Zeilen werden nach dem @ge-Kommando eingefügt:

```
@gload("TURTLE")
@gc
```

Wer will, kann die Grafik-Schildkröte vor dem Wiederhollauf auf die Ausgangsposition zurücksetzen, die Stiftfarbe umschalten und zusätzlich zu der Schildkröte die Route auf dem Bildschirm malen. So können Sie verfolgen, wo sich die Schildkröte jeweils befindet. Ein anderer Vorschlag: Erweitern Sie das Programm so, daß Sie zunächst auf dem Bildschirm die Lage von Hindernissen aufzeichnen. Konstruieren Sie dann mit dem CAD-Verfahren den Weg zwischen den Hindernissen hindurch. Wenn Sie keinen Fehler gemacht haben, sollte auch die echte Schildkröte zwischen den echten Hindernissen hindurchfinden.
Wir haben in diesem Kapitel gesehen, wie man mit Hilfe des Computers am Bildschirm Zeichnungen - hier die Fahrroute - erstellen kann, die dann später ausgeführt werden. Auf Diskette finden Sie auch zu diesem Thema ein fertiges Programm unter dem Namen ROUTEDIT.BAS.

Das Programm ROUTEDIT.LST ist mit dem hier entwickelten Programm nicht sehr eng verwandt. Nach Konstruktion der Route am Bildschirm kann nicht sofort in den Ausführbetrieb übergewechselt werden. Vielmehr muß die Route auf einer Diskette abgespeichert werden. Ausgeführt wird sie mit dem Programm ROUTEACH.LST, das ja Routen von der Diskette laden kann. Dafür entschädigt Sie ROUTEDIT.LSTmit einer Vielzahl von Fähigkeiten: nicht nur, daß Sie die Route konstruieren können; Sie können auch noch nachträglich Änderungen anbringen, Bahnstücke von Diskette an jeder beliebigen Stelle einfügen, Kommandos löschen usw. Nebenbei lernen Sie durch Studium dieses Programms, wie ein Editor funktioniert.

10 Die Schildkröte bekommt Fühler

10.1 Sensor für Hindernisse: Stoßstange

Industrielle Fahrroboter haben riesige Not-Stop-Bügel, die in erster Linie für den Personenschutz vorgesehen sind. Zur Orientierung benutzen sie andere Sensoren, z.B. ein Echolot auf der Basis von Ultraschall.

Daß 0 und 1 gegenüber unseren früheren Experimenten gerade vertauscht ist, hat seinen Grund in der Verkabelung des Tasters. Schauen Sie genau hin: Im Gegensatz zu anderen Anwendungen wird diesmal Kontakt 1 und 2 verwendet. Klar, bei dem gegebenen Einbau hätte in Kontakt 3 kein Stecker eingesteckt werden können. Ein weiterer Grund geht tiefer. In der industriellen Praxis werden alle Sicherheitsüberwachungen an den öffnenden Kontakt eines Tasters angeschlossen. Sollte durch einen Unfall die Leitung zum Taster beschädigt oder abgerissen werden, reagiert die Elektronik genauso, wie wenn der Taster gedrückt würde, also meist mit der Abschaltung der Anlage.

Die Programmierung der Schildkröte sah bisher so aus: Vorgabe der Route per Tabelle oder im Teach-In-Verfahren und anschließend Fahrt nach dieser Tabelle. Stellen Sie sich einen Fahrroboter in einer grossen Halle vor, der z.B. Pakete hin- und hertransportiert. Sein Weg ist natürlich auch vorgeschrieben. Plötzlich fällt ein Paket aus dem Regal genau in seinen Fahrweg. Was nun? Der Roboter kann es rammen und beiseite schieben oder darüber fahren. Besser wäre es natürlich, wenn er das Paket irgendwie erkennen würde und das Hindernis umgehen könnte. Dazu braucht er einen Sensor, einen Fühler, der z.B. auf Druck reagiert.

Unsere Schildkröte hat dafür einen Sensor: die Stoßstange. Sie ist vorne vor den Rädern angebracht und betätigt einen Mikroschalter, wenn man sie nach hinten drückt. Der Schalter ist am Eingang E5 des Interface angeschlossen. Seine Funktion läßt sich mit folgendem Programm überprüfen:

```
@in
DO
  @de
  PRINT AT(1,1);e5
LOOP
```

Geben Sie die Zeilen ein, und starten Sie das Programm mit **Run**. Am Bildschirm erscheint jetzt eine "1". Drücken Sie auf die Stoßstange, wechselt die Anzeige auf "0". Stoßstange frei bedeutet also: E5=1, Stoßstange vor Hindernis: E5=0.

Der Digitaleingang, an dem der Schalter liegt, wird mit @de abgefragt. Mit der ASC-Taste halten Sie das Programm an.

Die Funktion der Stoßstange wollen wir jetzt bei fahrender Schildkröte testen. Sie soll sich solange vorwärts bewegen, bis sie an ein Hindernis stößt.

Legen Sie vor die Schildkröte in ca. 10 cm Abstand ein Buch als Hindernis. Geben Sie ein:

```
@in
@ti
@tv(200)
END
```

Die Schildkröte fährt vorwärts und stoppt, wenn die Stoßstange an das Buch stößt. Das Ganze geschah ohne zusätzliche Abfrage, denn das Kommando @tv prüft schon selbst die Betätigung des Tasters. Die Null bzw. Eins des Tasters wird auch von dem Kommando @tv ständig in die Variable e5 geschrieben. Sie können daher folgende Ergänzung des Programms nach

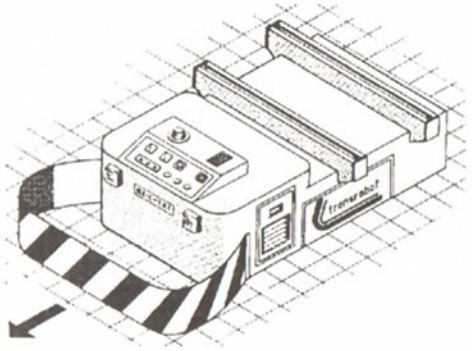


Bild 10.1: Industrieroboter mit Not-Stop-Bügel

dem Bewegungskommando vornehmen:

```
PRINT e5,ts
```

Starten Sie das Programm mit **Run**. Die Schildkröte fährt los. Sobald die Schildkröte an ein Hindernis stößt, bleibt sie stehen, und der Bildschirm zeigt eine Null. Wenn aber die Schildkröte unbehindert fahren konnte, bleibt sie nach einem Meter stehen und der Bildschirm zeigt eine Eins. Durch Abfragen von E5 kann also ermittelt werden, ob die geforderte Strecke ordnungsgemäß gefahren wurde oder ein Hindernis im Weg lag. Die Abfrage der Stoßstange wird nur von dem Kommando @tv vorgenommen, denn die Schildkröte hat nur vorne eine Stoßstange. Insbesondere muß es der Schildkröte möglich sein, auch bei gedrückter Stoßstange mit dem Kommando @tz zurückzufahren, um sich wieder vom Hindernis zu entfernen.
Wie weit ist die Schildkröte gekommen, bis sie anstieß? Die Variable ts zeigt dies an. Sie enthält nach Beendigung des Kommandos @tv die tatsächlich gefahrene Schrittzahl. Wurde der Weg in voller Länge gefahren, so enthält sie natürlich gerade den Zahlenwert, der im Argument des @tv-Kommandos angegeben war. Auch mit diesem Hilfsmittel kann festgestellt werden, ob die Schildkröte angestoßen ist.
Damit ist unsere Schildkröte selbständiger geworden; sie lernt, ihre Umwelt zu erkennen. Lassen wir sie ihre Welt, ihren Bewegungsraum auf der Platte, auf der sie fährt, ertasten. Dazu bauen wir "Mauern" aus Büchern um sie, so daß in der Mitte eine Fläche von ca. 40 cm x 40 cm übrigbleibt. In jeder Richtung soll die Schildkröte jetzt bis zur Mauer fahren und anhalten. Damit wir sie nicht jedesmal drehen müssen, soll sie anschließend von selbst in die nächste Richtung fahren.

```
@in
@ti
DO
  REPEAT
    @tv(200)
  UNTIL e5=0
  @tz(10)
  @tr(90)
LOOP
```

Setzen Sie die Schildkröte parallel zu einer Wand und starten das Programm mit **Run**. Sie wird jetzt nacheinander bis zu jeder Wand fahren, dort anhalten, sich um 90°

Fassen wir die verschiedenen Rückmeldungen der Schildkröte zusammen:

@tx
Setzt in die Variable tx die derzeitige X-Position der Schildkröte.

@ty
Setzt in die Variable ty die derzeitige Y-Position der Schildkröte.

@tk
Setzt in die Variable tk den derzeitigen Kurs der Schildkröte.

@tv

@tz

@tr

@tl
Außer daß die Schildkröte bewegt wird, setzen die Kommandos in die Variable ts die Zahl der durchgeführten Schritte der Schildkröte. Das Kommando @tv schreibt zusätzlich in die Variable e5 den Schaltzustand der Stoßstange ein.

drehen und weiterfahren. Vor der Drehbewegung muß sie etwas zurücksetzen, damit sie mit den Rädern nicht anstößt. Mit der ASC-Taste läßt sie sich anhalten. Wenn wir die Schritte zwischen zwei gegenüberliegenden Wänden abfragen, wissen wir auch, wie groß der Raum ist. Geben Sie ein:

```
@in
@ti
FOR k=1 TO 4
  REPEAT
    @tv(200)
  UNTIL e5=0
  IF k=3 THEN
    sb=ts
  ENDIF
  IF k=4 THEN
    sl=ts
  ENDIF
  @tz(10)
  @tr(90)
NEXT k
PRINT "Breite:";sb*5+80;" mm"
PRINT "Länge :";sl*5+80;" mm"
END
```

Setzen die Schildkröte parallel zur Querwand mit Fahrtrichtung nach rechts und starten mit **Run**. Sie wird jetzt alle vier Wände anfahren und stoppen. Dies erreichen wir mit der FOR...NEXT-Schleife (vier Durchläufe). Die Übertragung der Schrittzahl für die Breite erfolgt bei der Fahrt von rechts nach links, also bei K=3. Die Länge wird bei der Fahrt von vorn nach hinten gemessen, also bei K=4. Beide Werte werden in Millimeter umgerechnet, der Abstand zwischen Radachse und Stoßstange (40 mm) zweimal hinzugezählt und dann am Bildschirm angezeigt.
Sie werden feststellen, daß die Genauigkeit, mit der die Schildkröte ihre Welt auslotet, sehr empfindlich davon abhängt, ob sie auch wirklich exakt parallel zu den Begrenzungen ihrer Welt fährt. Wir können dies verbessern, wenn wir auch schon bei der ersten und der zweiten Kante die Position der Schildkröte aufzeichnen. Hierfür stehen uns noch weitere Schildkrötenkommandos zur Verfügung:

```
@tx
```

speichert die derzeitige X-Position der Schildkröte in die Variable tx. Ähnliches gilt für

```
@ty
```

Dieses Kommando setzt die Y-Position in die Variable ty. Auch der derzeitige Kurs der Schildkröte kann ermittelt werden:

```
@tk
```

setzt den Kurs in die Variable tk. Die Positionsangaben beziehen sich immer auf Position und Kurs der Schildkröte zu dem Zeitpunkt, wo das @ti-Kommando gegeben wurde. Es kann daher durchaus sinnvoll sein, das @ti-Kommando mehr als einmal im Programm zu benutzen, wenn man sich eine neue Ausgangslage wählen will.
Mit diesen Kommandos schreiben wir obiges Programm um:

```
@in
@ti
FOR k=1 TO 4
  REPEAT
    @tv(200)
  UNTIL e5=0
  IF k=1 THEN
    @ty
    oben=ty
  ENDIF
  IF k=2 THEN
    @tx
    rechts=tx
  ENDIF
  IF k=3 THEN
    @ty
    unten=ty
  ENDIF
  IF k=4 THEN
    @tx
    links=tx
  ENDIF
  @tz(10)
  @tr(90)
NEXT k
PRINT "Breite:";(rechts-links)
     *5+80;" mm"
PRINT "Länge :";(oben-unten)
     *5+80;" mm"
END
```

Mit diesem Programm und mit Hilfe des Sensors "Stoßstange" kann die Schildkröte ihre Welt schon ganz munter untersuchen. Sie können natürlich das Programm noch erweitern, indem Sie die Welt der Schildkröte auf dem Bildschirm grafisch anzeigen.
Zur Demonstration gibt es auf Diskette ein Programm, das WELT.BAS heißt. Mit ihm können Sie ebenfalls die Schildkrötenwelt erforschen.

10.2 Umfahren von Hindernissen: Achtung! Kollision

Den Tastsinn der Schildkröte haben wir im letzten Kapitel kennengelernt. Mit der Stoßstange als Fühler hat sie ihre Umwelt erforscht und die Grenzen ihres Bewegungsraumes erkannt. Jetzt wollen wir diesen Tastsinn dazu benutzen, daß die Schildkröte ein Hindernis erkennt und ihm ausweicht. Wir benutzen wieder die Schildkröte mit der Stoßstange. Setzen Sie die Schildkröte auf die Fahrplatte aus Sperrholz oder Pappe und bauen ca. 10 cm vor ihr ein Hindernis (Buch) auf. Es sollte zunächst nicht breiter als die Schildkröte selbst sein. Sehen wir uns die Aufgabe in Bild 10.2 an.
Die Schildkröte soll von A nach B fahren und trifft auf ein Hindernis. Sie soll es rechts umfahren und dahinter wieder auf die ursprüngliche Route gelangen.
Das Programm beginnt mit der Fahrt bis zum Hindernis:

```
@in
@ti
REPEAT
  @tv(200)
UNTIL e5=0
END
```

Geben Sie die Zeilen ein und starten das Programm mit **Run**. Die Schildkröte bleibt am Hindernis stehen (e5=0). Zum Ausweichen muß sie nun etwas zurückfahren und sich um 90° nach rechts drehen. Jetzt fährt sie mindestens 12 cm vor (eine Schildkrötenbreite) und dreht sich wieder um 90° nach links. Hier setzt sie ihren Weg fort, um zum Ziel nach B zu kommen. Bild 10.3 zeigt das Umfahrungsmanöver.
Ergänzen wir unser Programm entsprechend. Da wir den Bewegungsablauf des Ausweichens noch öfter brauchen werden, schreiben wir ihn als Unterprogramm:

```
@in
@ti
REPEAT
  @tv(200)
UNTIL e5=0
GOSUB ausweichen
END
PROCEDURE ausweichen
  @tz(10)
  @tr(90)
  @tv(24)
  @tl(90)
  @tv(34)
RETURN
```

Setzen Sie die Schildkröte zurück und starten das Programm mit **Run**. Nach dem

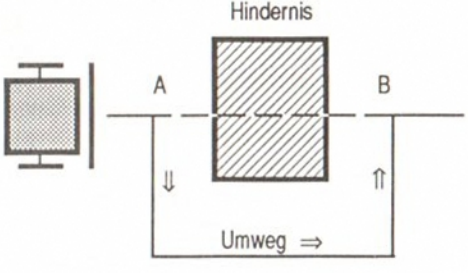


Bild 10.2: Fahrt um ein Hindernis.

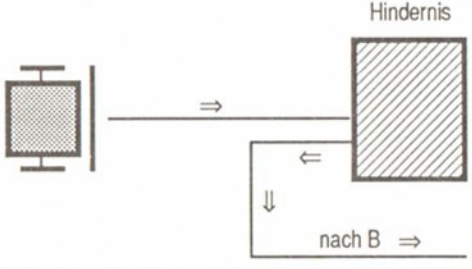


Bild 10.3: Ausweichen der Schildkröte nach rechts.

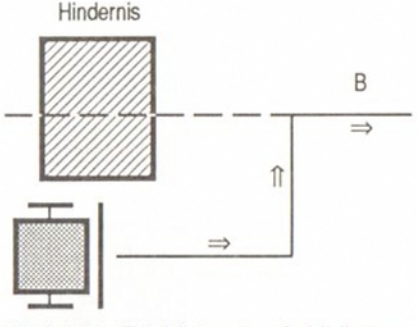


Bild 10.4: Rückfahrt der Schildkröte nach links.

Kommando @tl(90) steht sie neben dem Hindernis. Die Schildkröte setzt ihren Weg nach vorn fort. Als Maß haben wir 34 gewählt; damit geht die Schildkröte die zehn Schritte wieder vor, die sie vor dem Schwenken zurücksetzte und dann nochmal um eine Schildkrötenbreite weiter.
Ist das Hindernis breiter als eine Schildkrötenbreite (12 cm), so steht die Schildkröte vor dem Hindernis und kann nicht weiter. Wir wollen das Unterprogramm "ausweichen" so schreiben, daß die Schildkröte ein Hindernis beliebiger Breite abtasten kann und dann ihren Weg am Hindernis vorbei fortsetzt.

```
PROCEDURE ausweichen
  REPEAT
    @tz(10)
    @tr(90)
    @tv(24)
    @tl(90)
    @tv(34)
  UNTIL ts=34
RETURN
```

Was jetzt noch fehlt, ist eine automatische Abtastung der Hindernislänge. Dazu benutzen wir natürlich auch wieder die Stoßstange und das gleiche Unterprogramm. Nehmen Sie in dem Hauptprogramm die entsprechenden Ergänzungen vor:

```
@in
@ti
REPEAT
  @tv(200)
UNTIL e5=0
GOSUB ausweichen
@tl(90)
@tv(34)
IF e5=0 THEN
  GOSUB ausweichen
ENDIF
END
```

Jetzt fehlt nur noch der Weg hinter dem Hindernis zurück auf die ursprüngliche Route. Bild 10.4 zeigt diesen Ablauf.
Wir ergänzen unser Programm vor der END-Anweisung mit folgenden Zeilen:

```
@tx
IF tx<0 THEN
  @tz(ABS(tx))
ELSE
  @tv(tx)
ENDIF
@tr(90)
@tv(10)
```

Zu Beginn des neuen Abschnitts benutzen wir das Kommando @tx um die Position zu ermitteln und auf jeden Fall auf die Ausgangsposition X=0 zurückzufinden. Anschließend wird auf den Originalkurs eingeschwenkt und geradeaus weitergefahren.
Setzen Sie die Schildkröte nun wieder vor das Hindernis und starten das Programm mit **Run**. Sie wird jetzt an jedem Hindernis vorbeikommen, egal wie lang es ist. Natürlich läßt sich noch einiges an dem Programm ausbauen - Sie können es z.B. so erweitern, daß die Schildkröte auch links am Hindernis vorbeifährt. Beachten Sie auch noch folgenden Grenzfall: Wenn die Schildkröte auf ihren Originalkurs zurückkehrt, kann es sein, daß sie so eng an der Rückseite des Hindernisses entlangfährt, daß sie nicht genügend Platz zum Drehen hat. Verbessern Sie das Programm, um auch diesen Fall zu berücksichtigen.
Ein fertiges Programm mit Benutzerführung finden Sie auf Diskette unter dem Namen HINDERNS.BAS.

Für den folgenden Versuch benutzen wir wieder die Stoßstange unserer Schildkröte. Wir wollen die Möglichkeit, daß die Schildkröte Hindernisse erkennen und ihnen ausweichen kann, so ausnutzen, daß sie durch ein Labyrinth findet. Bevor wir das Labyrinth auf der Fahrplatte aufbauen, muß zunächst die erforderliche Straßenbreite für die Schildkröte ermittelt werden. Setzen Sie die Schildkröte mitten auf die Platte und lassen Sie sie einmal um ihre eigene Achse drehen:

```
@in
@ti
@tr(180)
@tr(180)
END
```

Markieren Sie mit einem Bleistift den Platzbedarf bei der Drehung, die später in dem Labyrinth auch möglich sein muß. Es werden ca.16 cm Straßenbreite benötigt. Nun bauen wir die erste Labyrinthstrecke nach Bild 10.5 auf.
Sie besteht aus einer geraden Strecke, die nach ca. 20 cm nach links abbiegt. Begrenzt wird der Weg durch seitliche Wände, die wir z.B. durch Holzleisten (10mm x 10mm Querschnitt) herstellen können. Die-

In den USA, Japan und Europa werden ganze Wettbewerbe für selbstgebaute Schildkröten veranstaltet. Dabei geht es darum, daß ein solcher fahrender Roboter möglichst schnell durch ein Labyrinth findet.

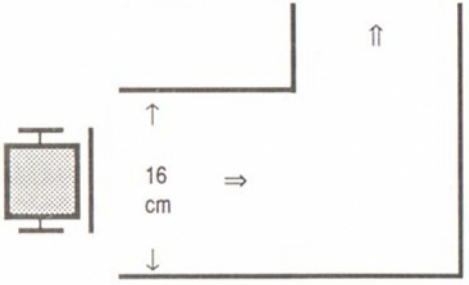


Bild 10.5: Labyrinth mit Abbiegung links.

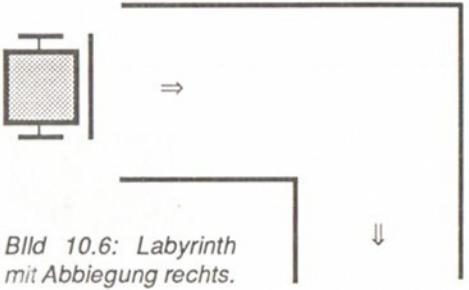


Bild 10.6: Labyrinth mit Abbiegung rechts.

se befestigen wir mit doppelseitigem Klebeband auf der Platte entlang der vorher aufgezeichneten Straßengrenzen. Ein- und Ausfahrt lassen wir offen.
Unser Programm soll in der Lage sein, die Schildkröte durch das Labyrinth bis zum Ausgang zu führen. Zunächst lassen wir sie vom Eingang aus vorwärts fahren, bis sie auf ein Hindernis stößt: die Querwand. Geben Sie ein:

```
@in
@ti
GOSUB bis_zur_wand
END
PROCEDURE bis_zur_wand
  REPEAT
    @tv(200)
  UNTIL e5=0
  @tz(8)
RETURN
```

Die Vorwärtsbewegung mit Erkennung des Hindernisses verlegen wir in das Unterprogramm "bis_zur_wand", da wir diesen Bewegungsteil später öfters benötigen. Mit der dritten Zeile des Hauptprogramms sprechen wir das Unterprogramm an. Bei einem Hindernis fährt die Schildkröte sofort acht Schritte zurück, damit sie Platz für die anschließende Drehung hat.
Starten Sie das Programm mit **Run**; die Schildkröte muß bis zur Wand vorfahren und zurücksetzen. Nun soll sie nach links oder rechts fahren. Wir gehen davon aus, daß sie die Richtung noch nicht kennt. Also lassen wir sie den Weg rechts und anschließend links prüfen, ob er frei ist. Natürlich kann man es auch in der anderen Reihenfolge machen. Wir erweitern unser Hauptprogramm:

```
@in
@ti
GOSUB bis_zur_wand
' rechts probieren
@tr(90)
GOSUB bis_zur_wand
' links probieren
@tl(180)
GOSUB bis_zur_wand
END
```

Setzen Sie die Schildkröte wieder an den Eingang und starten das Programm. An der Querwand dreht sie sich um 90° nach rechts und fährt vor. Dafür benutzen wir das Unterprogramm "bis_zur_wand". Ist der Weg frei, fährt sie ungehindert weiter. Bei

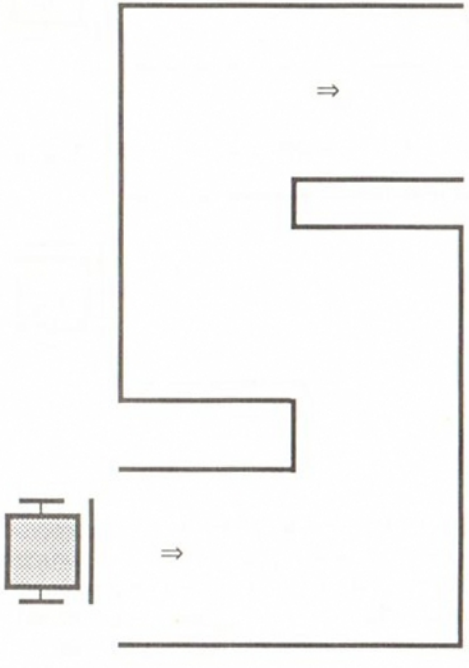


Bild 10.7: Einfaches Labyrinth.

einem Hindernis hält sie an und setzt zurück. Nun versucht sie die andere Richtung. Dazu dreht sie sich um 180° und fährt weiter vorwärts (ebenfalls mit dem Unterprogramm "bis_zur_wand"). Da hier der Ausgang unseres Labyrinths ist, wird sie ungehindert weiterfahren. Anhalten läßt sie sich mit der ASC-Taste.

Prüfen wir, ob die Schildkröte auch den Ausgang rechts findet. Ändern Sie dazu die Strecke nach Bild 10.6 ab. Setzen Sie die Schildkröte an den Eingang, und starten Sie mit **Run**.

Wir wollen nun sehen, ob wir mit diesem kleinen Programm auch durch ein längeres Labyrinth mit mehreren Abbiegungen hintereinander fahren können. Dazu bauen wir den Weg nach Bild 10.7 auf.

Damit das Programm bei jeder neuen Abbiegung auch wieder von vorn anfängt, müssen wir sowohl das Hauptprogramm als auch das Unterprogramm ergänzen:

```
@in
@ti
GOSUB bis_zur_wand
naechster_versuch:
' rechts probieren
@tr(90)
GOSUB bis_zur_wand
IF s>20 THEN
  GOTO naechster_versuch
ENDIF
' links probieren
@tl(180)
GOSUB bis_zur_wand
IF s>20 THEN
  GOTO naechster_versuch
ENDIF
END
PROCEDURE bis_zur_wand
  s=0
  REPEAT
    @tv(200)
    s=s+ts
  UNTIL e5=0
  @tz(8)
RETURN
```

Im Unterprogramm werden die Vorwärtsschritte mit Hilfe des Zählers ts in s aufaddiert. Fährt die Schildkröte nach einer Rechtsdrehung ungehindert weiter und stößt bei der nächsten Abbiegung gegen die Querwand, hätte sie beim bisherigen Programm eine Drehung um 180° gemacht. Da sie aber bis dahin mehr als 20 Schritte gemacht hat, springt das Programm wieder zum Anfang (GOTO naechster_versuch). Die gleiche Abfrage

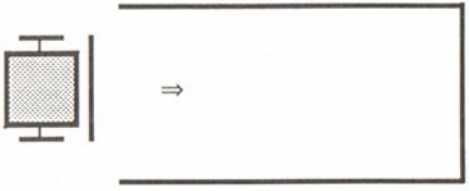


Bild 10.8: Sackgasse.

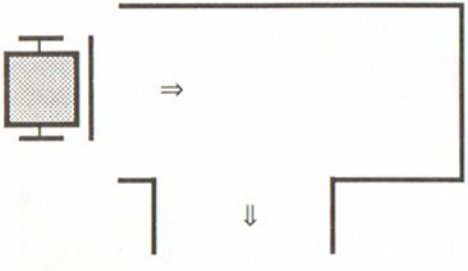


Bild 10.9: Sackgasse mit seitlichem Ausgang.

findet sich auch nach dem zweiten Unterprogrammaufruf für die Abbiegung nach links.
Geben Sie die zusätzlichen Zeilen ein und starten Sie das Programm mit **Run**. An jeder Abbiegung prüft die Schildkröte beide Richtungen und entscheidet sich immer für die freie. So findet sie nach kurzer Zeit den Ausgang. Halten Sie sie mit der ASC-Taste an.
Mit diesem einfachen Labyrinth wollen wir uns aber nicht begnügen. Neben dem richtigen Weg gibt es auch immer einen, der in eine Sackgasse führt. Unsere Schildkröte soll natürlich auch aus einer Sackgasse herausfinden. Bauen Sie zunächst die Strecke nach Bild 10.8 auf.
Nach Programmstart wird die Schildkröte bis zur Querwand am Ende fahren und sich nach rechts drehen. Hier findet sie keinen Ausgang, also dreht sie sich zur anderen Seite. Auch hier geht's nicht weiter: sie hängt fest! Nach der Sprungmarke "naechster_versuch:" wird eingefügt:

```
w=s-8
```

Vor der END-Anweisung kommt dann der Programmabschnitt zum Wenden:

```
' zurück aus der Sackgasse
@tr(90)
@tz(w)
```

Die Schildkröte fährt erst zur rechten, dann zur linken Wand. Stößt sie dagegen, hat sie bis dahin jeweils weniger als 20 Schritte gemacht. Das Programm geht weiter zu dem neuen Abschnitt. Hier dreht sie sich wieder in Fahrtrichtung und fährt den Weg aus der Sackgasse zurück. Die Schrittzahl hat sie sich vorher in w gemerkt.
Gehen wir noch einen Schritt weiter: der Ausgang aus der Sackgasse ist irgendwo seitlich, wie Bild 10.9 zeigt.
Auch diesen Weg soll die Schildkröte finden. Dazu sehen wir uns erst einmal an, wo die Schildkröte am Ende der Sackgasse (Bild 10.10) steht, bevor sie zurückfährt.
Sie soll nicht direkt zurückfahren, sondern abwechselnd links und rechts prüfen, ob ein Ausgang vorhanden ist. Dies macht sie bis zum Sackgassenanfang - sie geht also höchstens w Schritte zurück. Geben Sie die zusätzlichen Programmzeilen und Veränderungen ein. Zur Kontrolle hier wieder das vollständige Programm:

```
@in
@ti
```

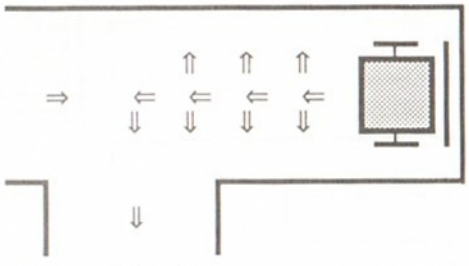


Bild 10.10: Ausfahrt aus der Sackgasse.

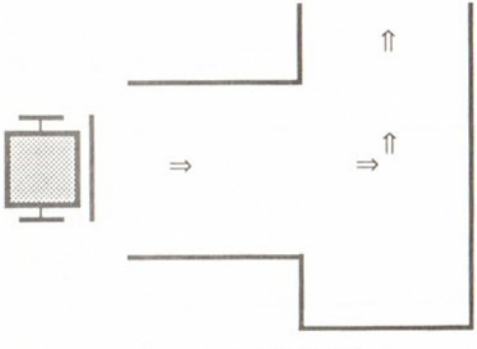


Bild 10.11: Abzweigung in eine Sackgasse.

```
GOSUB bis_zur_wand
naechster_versuch:
w=s-8
rechts_probieren:
@tr(90)
GOSUB bis_zur_wand
IF s>20 THEN
  GOTO naechster_versuch
ENDIF
' links probieren
@tl(180)
GOSUB bis_zur_wand
IF s>20 THEN
  GOTO naechster_versuch
ENDIF
' zurück aus der Sackgasse
@tr(90)
@tz(10)
w=w-10
IF w>20 THEN
  GOTO rechts_probieren
ENDIF
@tz(w)
END
PROCEDURE bis_zur_wand
  s=0
  REPEAT
    @tv(200)
    s=s+ts
  UNTIL e5=0
  @tz(8)
RETURN
```

Die Schildkröte fährt 10 Schritte zurück und zieht diese von der Gesamtschrittzahl w ab Jetzt prüft sie, ob hier ein Ausgang ist - aber nur, wenn sie sich noch nicht wieder am Eingang der Sackgasse befindet (w<20).
Den Versuch, einen Ausgang zu finden, kennen wir schon: wir tun einfach so, als stände die Schildkröte vor einer Abbiegung (Sprungmarke "rechts_probieren:"). Sind beide Seiten zu, fährt sie weiter zurück wie in einer Sackgasse.
Bauen Sie nun den Weg nach Bild 10.10 auf und starten die Schildkröte am Eingang. Sie findet den Ausgang aus der Sackgasse. Sollte sie dabei an den Wänden anstoßen, verbreitern Sie den Weg etwas oder verringern die Rückschritte z.B. auf 5 (Programmabschnitt "zurück aus der Sackgasse"). Dann tastet die Schildkröte die Wände in kleineren Abständen ab.
Nun fehlt noch eine letzte Labyrinthmöglichkeit: wenn an einem Abzweig der Weg in die eine Richtung in eine Sackgasse führt, der in der anderen weiterführt. Bild 10.11 zeigt den Verlauf.
Wenn die Schildkröte von links kommt, wird sie bis zur Querwand fahren und zurückset-

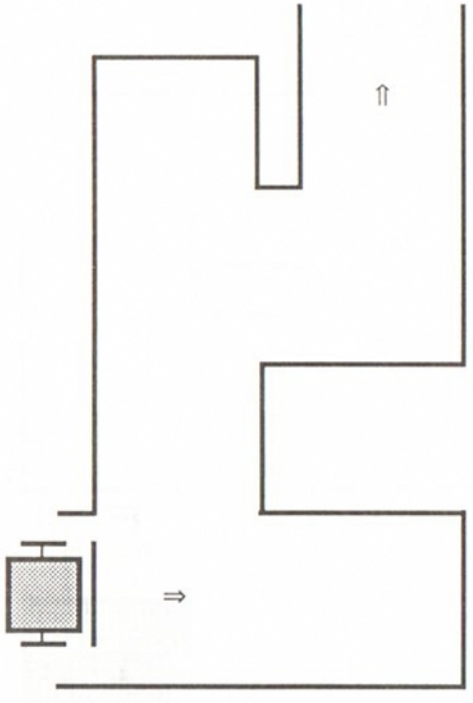


Bild 10.12: Schwieriges Labyrinth.

zen. Liegt die Ausfahrt rechts, wird sie diese sofort finden, da sie diese zuerst prüft. Bei einer Sackgasse rechts sucht die Schildkröte rückwärts nach einem Ausweg, bis sie wieder am Eingang der Gasse steht. Wir lassen sie nun einfach eine Kehrtwendung von 180° machen, damit sie auf dem freien Weg weiterfahren kann. Die entsprechende Zeile wird vor der END-Anweisung eingefügt:

```
@tl(180)
```

Damit Sie dann weitersucht, wird das gesamte Hauptprogramm in eine DO-Schleife eingebunden. Also:

```
@in
@ti
DO
  :
  @tl(180)
LOOP
END
```

Geben Sie die Zeile ein und testen die Schildkröte, ob sie sich richtig verhält. Bauen Sie die Strecke mit Hilfe der Holzleisten auf und probieren alle Möglichkeiten aus.

Zum Schluß wollen wir ein richtiges Labyrinth aufbauen, um alle Suchmöglichkeiten, die wir kennengelernt haben, von unserer Schildkröte ausführen zu lassen. Erstellen Sie sich z.B. ein Labyrinth nach Bild 10.12, das schon einige Schwierigkeiten aufweist. Schicken Sie die Schildkröte dort hinein. Wenn nichts schiefgeht, wird sie irgendwann am Ausgang ankommen. Ein fertiges Programm zum Durchfahren eines Labyrinths finden Sie wieder auf Diskette (LABYRINT.BAS).

Probieren Sie auch andere Strecken aus. Vielleicht - oder wahrscheinlich - ergeben sich doch noch Probleme, die die Schildkröte mit unserem Programm noch nicht lösen kann. Es kann z.B. passieren, daß die Schildkröte zwar wieder aus dem Labyrinth herausfindet, aber nicht zu dem Ausgang, den wir uns überlegt haben. Bild 10.13 zeigt ein solches Labyrinth, wo die Ausfahrt nach rechts übersehen wird, weil die Schildköte mit dem jetzigen Programm nach einem Ausgang nur sucht, wenn sie geradeaus nicht mehr weiterfahren kann.

Noch schlimmer: Studieren Sie einmal, wie sich die Schildkröte bei dem Labyrinth aus Bild 10.14 verhalten würde.

Richtig - in diesem Labyrinth ist die Schild-

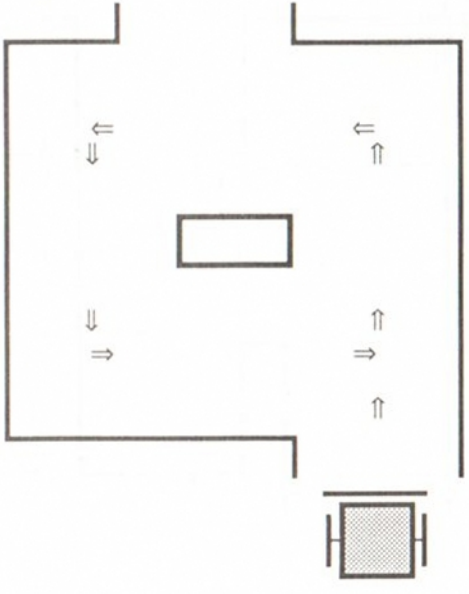


Bild 10.13: Bei diesem Labyrinth findet die Schildkröte nicht den oberen Ausgang.

kröte gefangen und fährt immer im Kreis herum. Den Ausgang, der zur Freiheit führen würde, prüft die Schildkröte nicht, da sie vorzugsweise immer nach rechts abbiegt. Die Vorzugsrichtung "rechts" mit "links" zu tauschen bringt aber auch keine allgemeingültige Lösung. Die Schildkröte würde dann in einem gespiegelten Labyrinth nach Bild 10.13 festhängen.

Zum Erfolg führt die sogenannte "Rechte-Hand-Regel". Sie besagt, daß man immer wieder aus einem Labyrinth herausfindet, wenn man bei **jeder** möglichen Abzweigung nach Möglichkeit rechts abbiegt. Anschaulich: Beim Betreten des Labyrinths berühren Sie mit der rechten Hand die rechts liegende Wand und laufen an dieser Wand entlang. Früher oder später werden Sie wieder aus dem Labyrinth herauskommen, vielleicht nicht bei dem erwarteten Ausgang oder auch nicht auf dem kürzesten Wege, aber Sie kommen heraus. Auch diese Strategie kann mit der Schildkröte programmiert werden. Da die Schildkröte keinen Fühler an der rechten Flanke besitzt, muß sie in regelmäßigen Abständen sich nach rechts wenden und fühlen, ob die Wand noch vorhanden ist. Wenn ja, geht es wieder zurück auf die Bahn, Linksschwenk und weiter. Wenn sich rechts eine Öffnung ergeben hat, geht es dort weiter. Das ständige Tasten macht die Bewegung der Schildkröte zwar langsam, aber dafür findet sie jetzt aus jedem Labyrinth. Und noch etwas: das Programm ist verblüffend kurz. Da wir vom bisherigen Programm nichts verwenden können, speichern und löschen wir es und geben neu ein:

```
@in
@ti
DO
  @tv(10)
  IF e5=0 THEN
    @tz(ts)
    @tl(90)
  ELSE
    @tr(90)
  ENDIF
LOOP
END
```

Den Zahlenwert 10 in der vierten Zeile müssen Sie vielleicht etwas anpassen. Ist er zu groß, trifft die Schildkröte vielleicht nicht jede Abzweigung nach rechts; das Problem hatten wir vorher schon beim Rückzug aus einer Sackgasse betrachtet. Zu klein darf der Wert aber auch nicht werden. Wenn die Schildkröte sich in einem

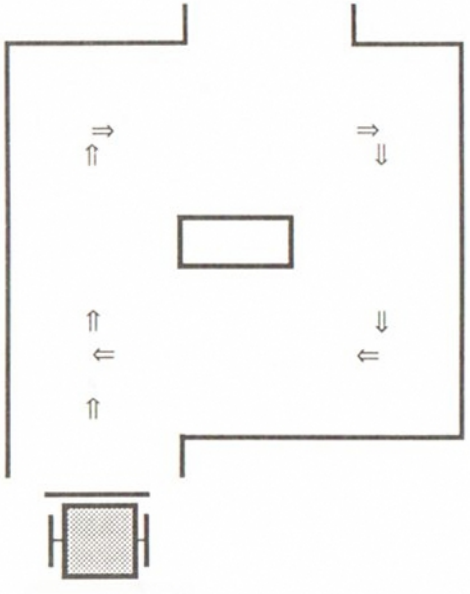


Bild 10.14: In diesem Labyrinth verirrt sich die Schildkröte.

geraden Gang befindet, muß gewährleistet sein, daß sie innerhalb der Zahl der Schritte dieses @tv-Kommandos auch tatsächlich die rechte Wand findet.

Es steht Ihnen frei, das Programm mit einer Darstellung des Wegs der Schildkröte auf dem Bildschirm auszustatten. Das Programm STRATEGY.BAS auf der Diskette macht dies ebenfalls.

Bleibt noch die Frage wie die Schildkröte auf dem kürzesten Wege durch ein Labyrinth findet. Bei den eingangs angesprochenen Wettbewerben kommt es natürlich auf die Fahrzeit der Schildkröten an. Mit einfachen Programmen geht es allerdings hier nicht weiter. Wir wollen nur den Gedankengang kurz andeuten. Bei einem ersten Durchgang durch das Labyrinth tastet die Schildkröte möglichst viele Gänge ab. Daraus wird wiederum eine "Landkarte" konstruiert. Mit den mathematischen Methoden der Graphentheorie sucht nun das Programm auf der Landkarte die kürzeste Verbindung zwischen Start und Ziel heraus. Im zweiten Durchgang fährt die Schildkröte dann auf diesem Weg möglichst schnell die Strecke ab. Die Schildkröten sind übrigens meist mit berührungslosen Abstandsfühler, einer Art Echolot, ausgestattet, mit denen sie auch bei hoher Geschwindigkeit auf der Bahn bleiben, Hindernisse im voraus erkennen und seitliche Abgänge ermitteln, ohne sich ihnen hinwenden zu müssen. Sinnvoll wären seitliche Sensoren sicherlich auch für unsere Schildkröte. Vielleicht läßt sich die Schildkröte mit Tastern und weiteren Bauteilen aus Ihren anderen fischertechnik-Baukästen erweitern?

Solche Schildkröten sind keineswegs nur eine Spielerei. Industriefirmen und Universitäten haben schon Schildkröten gebaut und untersucht. Ziel dieser Forschungen ist die Entwicklung selbständiger Fahrautomaten in der Industrie und beim Katastrophenschutz. Vielleicht wird aber daraus auch einmal ein Haushaltsroboter, der alleine staubsaugen, rasenmähen und andere Arbeiten verrichten kann.

10.4 Sensor für Licht: Hell und dunkel

Neben dem Tastsensor "Stoßstange" besitzt die Schildkröte noch einen optischen Sensor. Dieses Auge, ein Fotowiderstand, ist über der Achse der Schildkröte angebracht. Sie finden den Fotowiderstand versteckt hinter einer Blende, die das Sichtfeld des optischen Sensors begrenzen soll. Dadurch sieht die Schildkröte gerade soviel wie nötig und wird nicht von seitlichen Helligkeitsunterschieden beeinflußt.
Der Fotowiderstand ist am Analogeingang EX des Interfaces angeschlossen (orangefarbenes Kabel); das Meßprinzip hatten wir bereits in früheren Versuchen kennengelernt. Ob die Lichtmessung funktioniert, können wir mit den Befehlen

```
@in
@ex
PRINT ex
END
```

überprüfen. Wenn Licht auf den Fotowiderstand trifft, wird eine kleine Zahl (30...100) am Bildschirm angezeigt. Halten Sie die Sensoröffnung zu, so daß kein Licht einfällt, liegt der Wert ziemlich hoch, bei ca. 300.
Wir wollen die Lichtmessung jetzt mit der Schildkrötenbewegung verbinden: bei Licht soll die Schildkröte losfahren, bei Dunkelheit stoppen. Das Programm dazu sieht so aus:

```
@in
@ti
DO
  @ex
  IF ex<128 THEN
    @tv(1)
  ENDIF
LOOP
```

Geben Sie die Zeilen ein und starten das Programm mit **Run**. Die Schildkröte fährt los, wenn der Raum hell beleuchtet ist. Halten Sie einen Gegenstand oder Finger vor den Lichtsensor, bleibt die Schildkröte stehen. Im Programm wertet die IF-Anweisung den Helligkeitsunterschied aus; die Schaltschwelle liegt bei einem Wert von 128. Durch Anpassen dieser Zahl können Sie auch mit dem Lichtschalter in Ihrem Zimmer die Schildkröte in Gang setzen. Dabei sollte aber nicht allzuviel Tageslicht auf den Sensor treffen.
Mit Licht läßt sich auch die Fahrtrichtung unserer Schildkröte steuern. Machen wir sie zunächst einmal lichtscheu, d.h. sie soll sich vom Licht abwenden. Tauschen Sie das Bewegungskommando aus:

In der Praxis benutzt man ebenfalls Licht zur Steuerung von Fahrrobotern. Mit einem Lichtstrahl lassen sich Wege markieren oder Hindernisse erkennen. Damit der Roboter aber nicht zu empfindlich auf Tageslicht oder andere Lichtquellen reagiert, wird unsichtbares Infrarotlicht verwendet, das der Empfänger aus allem anderen Licht herausfiltert. Infrarotlicht folgt am langwelligen Ende des Lichtspektrums auf das sichtbare Licht.

```
@tr(5)
```

Stellen Sie die Schildkröte so, daß sie ins Licht schaut, z.B. zum Fenster und starten mit **Run**. Sie dreht sich solange, bis es ihr dunkel genug ist. Umgekehrt geht's auch. Drücken Sie die ASC-Taste, und geben Sie statt der bisherigen IF-Anweisung ein:

```
IF ex>128 THEN
  @tl(5)
ENDIF
```

Nach **Run** dreht sie sich aus dem Dunklen wieder zum Licht.
Jetzt steuern wir die Schildkröte mit einer beweglichen Lichtquelle. Sie soll einer Taschenlampe folgen, die wir vor ihr herführen.
Dazu schreiben wir ein Programm, das die Schildkröte bei ausreichend Licht nach vorn fahren läßt, bei Dunkelheit aber eine Lichtsuche einschaltet. Die Grenze zwischen "hell" und "dunkel" wurde mit 128 festgelegt. Sie kann natürlich den speziellen Umgebungsbedingungen der Schildkröte angepaßt werden.

```
@in
@ti
DO
  @ex
  IF ex>128 THEN
    GOSUB suchen
  ELSE
    @tv(1)
  ENDIF
LOOP
PROCEDURE suchen
  l=ex
  @tr(5)
  DO
    @ex
    EXIT IF ex<l
    @tl(10)
    @ex
    EXIT IF ex<l
    @tr(10)
  LOOP
RETURN
```

Starten Sie das Programm mit **Run**. Richten Sie den Lichtstrahl aus ca. 20 cm Abstand direkt auf den Sensor. Die Schildkröte sucht jetzt die Lampe; sie dreht sich nach links und rechts. Erkennt sie den Lichtstrahl, fährt sie vorwärts auf ihn zu (Nachsatz der ELSE-Anweisung).
Die Schildkröte bewegt sich solange nach

vorn, bis die Lichtmessung einen Wert über 128 ergibt, es also dunkler wird. Nun kommt das Unterprogramm "suchen" zum Zuge. Das Programm merkt sich die letzte Lichtstärke und prüft zunächst nach rechts, ob es hier heller ist. Wenn das der Fall ist, also die Taschenlampe jetzt aus dieser Richtung strahlt, springt das Programm aus der DO-Schleife und beendet das Unterprogramm (EXIT-Anweisung). Ansonsten dreht sie sich zurück und prüft die Lichtstärke in der anderen Richtung. In dieser Suchschleife bleibt die Schildkröte solange, bis wieder genügend Licht auf den Sensor fällt und sie vorwärts fahren kann. Anhalten läßt sie sich mit der ASC-Taste.
Damit die Schildkröte auch erkennt, wann die Taschenlampe ausgeschaltet wird oder die Schildkröte an ein Hindernis stößt, ergänzen wir das Programm:

```
@in
@ti
REPEAT
  @ex
  IF ex>128 THEN
    GOSUB suchen
  ELSE
    @tv(1)
    erfolgreich=(e5=1)
  ENDIF
UNTIL NOT erfolgreich
END
PROCEDURE suchen
  l=ex
  @tr(5)
  FOR n=1 TO 5
    @ex
    EXIT IF ex<l
    @tl(10)
    @ex
    EXIT IF ex<l
    @tr(10)
  NEXT n
  erfolgreich=(n<5)
RETURN
```

Der Schleifenzähler n zählt die Suchvorgänge nach Licht. War die Suche in beiden Richtungen fünfmal erfolglos, wird die Variable erfolgreich auf logisch "falsch" gesetzt. Auch wenn die Schildkröte bei der Vorwärtsfahrt anstieß, wird erfolgreich auf logisch "falsch" gesetzt. Das Programm endet in diesen Fällen (UNTIL-Anweisung). Wir haben in diesem Kapitel gesehen, wie die Schildkröte mit Hilfe des Lichtsensors gesteuert werden kann. Er läßt sich natürlich noch weit vielfältiger einsetzen. Das kommt in den nächsten Abschnitten.

10.5 Suchen nach Licht: Augen auf!

Im letzten Kapitel haben wir gesehen, wie man den optischen Sensor zur Steuerung der Schildkröte benutzen kann. Mit einem einfachen Programm war es bereits möglich, daß die Schildkröte einer beweglichen Lichtquelle folgt. Dabei wurde nur zwischen Hell und Dunkel unterschieden.
Wir wollen jetzt die Lichtmessung exakter durchführen und die Schildkröte nach Licht suchen lassen. Sie soll sich ein Abbild der Helligkeitsverteilung in ihrer Umgebung machen und dabei die hellste Lichtquelle finden und anfahren können. Bild 10.15 zeigt den Ablauf.
Zunächst lassen wir die Schildkröte ihre Umgebungshelligkeit messen. Sie soll sich um 360° drehen und nach jedem Drehschritt die Helligkeit messen und ausdrukken. Geben Sie folgendes ein:

```
@in
@ti
h=1000
r=0
FOR w=0 TO 355 STEP 5
  @ex
  IF ex<h THEN
    h=ex
    r=w
  ENDIF
  PRINT "Winkel ";w;" : Hellig
     keit";ex
  @tr(5)
NEXT w
END
```

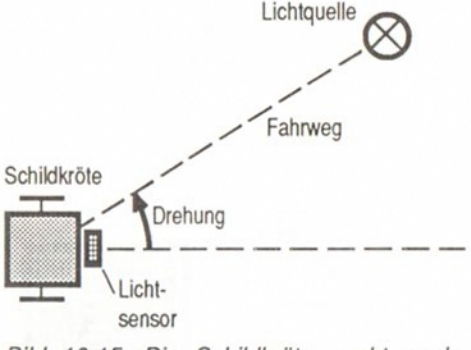


Bild 10.15: Die Schildkröte sucht nach Licht.

Die Winkelrichtung der Schildkröte mit der bislang größten Helligkeit wird in der Variablen r festgehalten, der Meßwert für die Lichtstärke in h.
Starten Sie nun das Programm mit **Run**. Die Schildkröte dreht sich rechts herum und mißt bei jedem Drehschritt die Lichtstärke. Außerdem werden Winkelrichtung w und der Wert ex auf dem Bildschirm angezeigt Hat die Schildkröte sich um 360° gedreht, ist das Programm zu Ende.
Jetzt haben wir ein "Lichtbild" der Schildkrötenumgebung. Die kleinsten Zahlenwerte entsprechen den größten Lichtstärken. Die Richtung mit der größten Lichtintensität steht in der Variablen r. Fügen Sie vor der END-Anweisung die folgende Zeile hinzu:

```
PRINT "Größte Helligkeit in
     Richtung ";r
```

In diese Richtung soll die Schildkröte nun fahren. Dafür drehen wir sie zunächst wie-

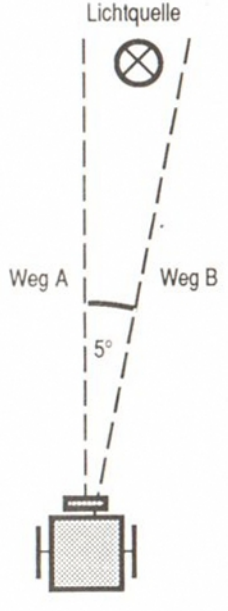


Bild 10.16: Winkelauflösung beim Messen.

der in die Anfangsstellung (Bild 10.15) zurück. Anschließend drehen wir die Schildkröte in die ermittelte Richtung. Beides läßt sich vereinen mit der Anweisung:

```
@tl(360-r)
```

So findet die Schildkröte die richtige Richtung schneller. Wie im Kapitel 9 bereits gesagt wurde, versteht die Schildkröte keinen Drehwinkel von 360°. Deshalb wird obige Anweisung noch in eine IF-Abfrage gepackt und ebenfalls vor der END-Anweisung eingebaut.

```
IF r>0 THEN
  @tl(360-r)
ENDIF
@tv(200)
```

Das letzte Kommando läßt die Schildkröte zur Lichtquelle fahren.
Wenn Sie den Versuch auf Ihrem Tisch zu Hause ausführen, werden Sie feststellen, daß sich die Schildkröte immer zum Fenster dreht, weil dort (am Tage) das meiste Licht ist. Dabei ist es übrigens unerheblich, in welche Richtung die Schildkröte vor dem Programmstart zeigt.
Leuchten Sie mit einer Taschenlampe aus kurzer Entfernung auf die Schildkröte und starten das Programm. Sie wird darauf zufahren. Anhalten läßt sie sich mit der ASC-Taste oder durch Antippen der Stoßstange.
Wie wir in einem früheren Kapitel gelernt haben, ist der kleinste Drehschritt der Schildkröte 5°. Wenn sich die Lichtquelle in einiger Entfernung zur Schildkröte befindet, kann es sein, daß sie mit unserem Programm daran vorbeifährt. Die Auflösung ist zu grob, wie Bild 10.16 verdeutlicht: Auf beiden Wegen (A und B) kann sie die Lichtquelle nicht erreichen. Wir müssen also eine oder mehrere Richtungskorrekturen auf dem Weg zur Lichtquelle durchführen. Die Schildkröte fährt dann jeweils ein Stück vor, ermittelt in einem bestimmten Winkel erneut die Richtung mit der größten Helligkeit und setzt ihren Weg dorthin fort. Bild 10.17 zeigt diesen Vorgang.
Erweitern wir das Programm. Das letzte Kommando, @tv(200), wird durch folgendes Programmstück ersetzt:

```
DO
  @tv(20)
  @tl(15)
  h=1000
```

Bild 10.17: Richtungskorrektur bei der Anfahrt auf die Lichtquelle.

```
  r=0
  FOR w=0 TO 30 STEP 5
    @ex
    IF ex<h THEN
      h=ex
      r=w
    ENDIF
    @tr(5)
  NEXT w
  @tl(30-r)
LOOP
```

Nach **Run** wird die Schildkröte jetzt die Kurskorrektur in Richtung Lampe vornehmen. Die Einzelschritte sind in Bild 10.18 dargestellt:

1: 20 Schritte vor,
2: 15° nach links drehen (Meßanfang),
3: 30° nach rechts drehen und Richtung mit größter Helligkeit merken,
4: In diese Richtung zurückdrehen,
5: Weiterfahren.

Der Merkvorgang für die Richtung mit der größten Helligkeit entspricht dem des ersten Programmstücks.
Richten Sie eine Taschenlampe aus einiger Entfernung auf die Schildkröte und setzen diese nicht genau in Richtung Lampe. Sie wird nach einigen Zwischenmessungen und -korrekturen exakt in Richtung Lichtquelle fahren.
Damit die Schildkröte an der Lampe, die auf der Fahrplatte steht, anhält, müssen wir nochmals auf den Sensor "Stoßstange" zurückgreifen. Mit:

```
EXIT IF E5=0
```

nach dem Kommando @tv(20) fährt sie nur noch bis zum "Hindernis" Lampe. Wenn die Stoßstange betätigt wird (E5=0), erfolgt ein Sprung aus der Wiederholschleife und damit ein Stop des Programms.
Damit wollen wir die Programmierung zu diesem Versuch abschließen. Natürlich gibt es noch einige Verbesserungen: man kann den Weg der Schildkröte am Bildschirm anzeigen oder das Helligkeitsbild auf einem Radarschirm darstellen, wie wir es bei einem der ersten Versuche mit dem Fotowiderstand kennengelernt haben.
Zu diesem Versuch gibt es auch wieder ein fertiges Programm auf Diskette. Sein Name ist SUCHER.BAS. Dort wird am Bildschirm Aufbau und Ablauf des Versuchs "Schildkröte sucht nach Licht" demonstriert.

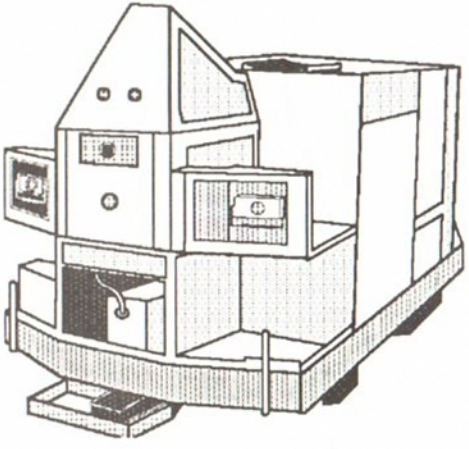


Bild 10.18: Industrieller Fahrroboter mit optischen und Ultraschall-Sensoren. Die Stoßstange und die Verkleidung sind teilweise entfernt. Die Lenkung dient nur dem manuellen Eingriff.

Bisher war der optische Sensor an der Schildkröte so angebracht, daß er Lichtstrahlen von vorn wahrnehmen konnte. Jetzt wird er als Lesekopf benutzt und tastet optisch eine Fläche auf der Fahrbahn vor der Schildkröte ab.

Zunächst bauen wir das entsprechende Modell nach der Bauanleitung um. Die Schildkröte besitzt jetzt keine breite Stoßstange mehr, sondern an der Vorderseite den Lesekopf, in dem sich der Fotowiderstand befindet. Er tastet das reflektierte Licht der Lampe von der Fahrbahn ab. Er sollte mindestens 3 mm Abstand von der Fahrbahn haben, damit das Licht unter den Sensor treffen kann. Justieren Sie den Lesekopf durch Verschieben der Bausteine entsprechend ein. Der Taster, der sich ursprünglich hinter der Stoßstange befunden hatte, ist jetzt an der Vorderfront des Lesekopfes angebracht und kann behelfsmäßig noch Hindernisse erkennen.

Prüfen wir zunächst wieder, ob das Modell richtig funktioniert. Für die folgenden Versuche benötigen wir unbedingt eine weiße Unterlage (z.B. Karton), auf der die Schildkröte fährt. Eine dunkle Fahrbahn reflektiert nicht genügend Licht, und das führt zu Fehlmessungen. Setzen Sie die Schildkröte nun auf die Unterlage und schließen Sie sie am Interface an. Die Lampe des Lesekopfes schließen Sie vorerst noch nicht an der 28-poligen Steckbuchse an. Nehmen Sie vielmehr ein 44 cm langes Kabel, und verbinden Sie die Lampe direkt mit den Steckern des Netzgeräts am Interface (in die Querlöcher einstecken). So leuchtet die Lampe dauernd. Geben Sie ein:

```
@in
@ex
PRINT ex
END
```

Nach Programmstart erscheint eine Zahl, die der Helligkeit der Fahrbahn vor der Schildkröte entspricht. @ex liest den Wert ein, der mit PRINT ex angezeigt wird. Setzen Sie die Schildkröte auf eine dunkle Fläche, so wird nach erneutem Start des Programms der Anzeigewert wesentlich größer sein. Eine helle Fläche ergibt also eine kleinere Zahl als eine dunkle.

Dies wollen wir jetzt für die Steuerung der Schildkröte ausnutzen. Sie soll einer dunklen Spur auf der Fahrbahn folgen. Um besten Kontrast zu erzielen, verwenden Sie mattschwarzen Klebestreifen (z.B. PVC-Isolierband) als dunkle Spur. Damit läßt sich dann ein Weg markieren, den die

Bild 10.19: Fahrspur für die Schildkröte.

Schildkröte fahren muß. Dieses Prinzip finden wir ebenso bei industriellen Fahrrobotern; z.T. wird hier allerdings auch mit Induktionsleitern im Boden gearbeitet; der Fahrroboter wird also gewissermaßen elektromagnetisch gelenkt.
Kleben Sie nun eine gerade Bahn von ca. 20 cm Länge auf die Unterlage. Auf dieser Bahn soll die Schildkröte fahren (Bild 10.19). Das Programm dafür sieht so aus:

```
@in
FOR i=1 TO 200
  @3r
NEXT i
@ti
@ex
h=ex
REPEAT
  @tv(1)
  @ex
UNTIL ex<=h-20
@3a
END
```

Geben Sie die Zeilen ein. Verbinden Sie die Lampe des Lesekopfes nun wieder mit dem Ausgang M3 der 28-poligen Buchse. Setzen Sie die Schildkröte links auf die Bahn, so daß der Lesekopf auf den Klebestreifen zeigt, und starten Sie das Programm mit **Run**.
Die Schildkröte fährt vor, bis der Streifen zu Ende ist. Die Fahrbahnlinie erkennt sie durch laufendes Messen des reflektierten Lichtes vom Boden. Dazu hat sie am Start die Lichtstärke der Bahn gemessen und sich diese gemerkt, also in h abgespeichert. Nun folgt die Wiederholschleife. Nach jedem Vorwärtsschritt wird erneut gemessen. Dieser Wert ex wird mit dem vorherigen in h verglichen. Solange ex nicht kleiner als h ist, befindet sich die Schildkröte noch auf der schwarzen Bahn. Sie fährt weiter vorwärts. Ist der Klebestreifen zu Ende, ist die reflektierte Lichtmenge vom hellen Untergrund größer als vorher - ex wird kleiner als h -, und die Schildkröte stoppt. Auch das Programm ist nun beendet.
Zwischen ex und h besteht ein Toleranzbereich von 20 (h-20), da auch die Meßwerte der Bahn etwas schwanken. ex muß somit erst um 20 kleiner werden als h, bevor die Schildkröte anhält. Ohne diese Sicherheit würde sie auf der Spur dauernd stoppen - probieren Sie's aus!
Wenn die Schildkröte nicht genau geradeaus fährt, kann sie zwischendurch die Bahn

Bild 10.20: Richtungskorrektur auf die Spur.

Bild 10.21: Abbiegung nach links bzw. rechts.

verlassen und stehen bleiben. Damit das nicht passiert, ergänzen wir das Programm um einen Korrekturteil, der die Schildkröte immer wieder auf den richtigen Weg führt. Dieser Teil wird vor dem Programmende, genauer: vor dem Kommando @3a, eingefügt. Geben Sie ein:

```
@tr(5)
@ex
IF ex>h-20 THEN
  GOTO naechster_schritt
ENDIF
@tl(10)
@ex
IF ex>h-20 THEN
  GOTO naechster_schritt
ENDIF
```

Die Sprungmarke "naechster_schritt" befindet sich vor der REPEAT-Anweisung, die die Geradeausfahrt steuert.
Setzen Sie die Schildkröte, wie in Bild 10.20 gezeigt, etwas schräg auf die Spur am Fahrbahnanfang, und starten Sie mit **Run**. Die Schildkröte wird nach kurzer Strecke die Bahn verlassen. Nun dreht sie nach rechts und mißt die Fahrbahnhelligkeit. Ist dieser Wert größer als der vorige - befindet sich dort also die Bahn -, fährt die Schildkröte weiter. Ansonsten dreht sie nach links und prüft mit der gleichen Methode, ob die Bahn dort verläuft. Wenn nicht, ist das Programm zu Ende, da in diesem Fall auch das Ende der Bahn erreicht ist. Sie werden sehen, daß es der Schildkröte mit dieser Programmergänzung immer gelingt, auf der Bahn zu bleiben. Auch leichte Krümmungen in der Spur kann sie erkennen und verfolgen.
Ans Ende der Bahn bauen wir nun eine Abbiegung; der Einfachheit halber zunächst um 90° nach rechts oder links. Die Schildkröte soll auch hier den richtigen Weg finden. Wenn sie über das Ende der Spur hinausfährt, wird sie zunächst annehmen, sie sei vom Weg abgekommen. Die Schildkröte prüft nach rechts und links (je ein Schritt), ob der Weg dort weitergeht. Nach Bild 10.21 befindet sie sich aber an einer Abbiegung.
Die Schildkröte prüft jetzt in beiden Richtungen, wohin die Spur führt. Dazu dreht sie sich wieder in die ursprüngliche Fahrrichtung und fährt zunächst 13 Schritte vor, damit ihre Drehachse über dem Bahnende steht. Dann dreht sie sich um 90° nach rechts und prüft anhand des Helligkeitsunterschieds, ob sich dort die Bahn befindet. Wenn ja, fährt sie weiter vorwärts. Anson-

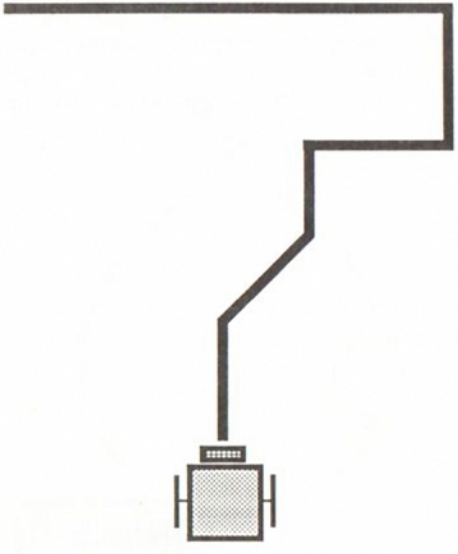


Bild 10.22: Fahrspur mit mehreren Abbiegungen.

sten dreht sie sich in die andere Richtung und testet, ob es dort weitergeht. Wenn sie keinen Weg findet, ist die Bahn zu Ende. Fügen Sie also ein weiteres Programmstück vor dem Kommando @3a ein:

```
@tr(5)
@tv(13)
@tr(90)
@ex
IF ex>h-20 THEN
  GOTO naechster_schritt
ENDIF
@tl(180)
@ex
IF ex>h-20 THEN
  GOTO naechster_schritt
ENDIF
PRINT "Bahnende!"
```

Setzen die Schildkröte wieder an den Bahnanfang und starten mit **Run**. Sie wird die Abbiegung erkennen, egal ob nach links oder rechts. Wenn Sie eine größere Strekke zusammenkleben, achten Sie darauf, daß die Teilstücke zwischen den Abbiegungen mindestens die Länge der Schildkröte haben. Sonst weiß sie nach einer 90°-Drehung nicht weiter.
Natürlich lassen sich auch Abbiegungen mit einem kleineren Winkel erkennen. Die Schildkröte muß dabei nicht nur nach der 90°-Drehung sondern auch bei den Drehschritten dazwischen prüfen, ob sie sich wieder auf der Spur befindet. Ändern Sie das zuletzt eingesetzte Programmstück ab:

```
@tr(5)
@tv(13)
@tr(90)
FOR w=0 TO 180 STEP 5
  @ex
  EXIT IF ex>h-20
  @tl(5)
NEXT w
IF ex>h-20 THEN
  GOTO naechster_schritt
ENDIF
PRINT "Bahnende!"
```

und erstellen eine Bahn nach Bild 10.22 (oder ähnlich).
Nach dem Start muß die Schildkröte die Spur von Anfang bis Ende durchfahren und jede Abbiegung erkennen. Achten Sie darauf, daß immer gleichmäßig helles Licht herrscht. Schon ein Schatten kann die Messung beeinflussen, so daß die Schildkröte vom Weg abkommt.

Bei Volkswagen hat es auch schon Versuche gegeben, ein Fahrzeug mit einer Kamera automatisch fahren zu lassen. Das Bildverarbeitungssystem orientierte sich nur an den Randstreifen und den Mittelstreifen einer Straße. Die Versuche sind tatsächlich gelungen. Das Auto war sogar 120 km/h schnell - unfallfrei. Und Hersteller von Roboterfahrzeugen bieten jetzt schon Seriengeräte für innerbetriebliche Transporte an, das sich ebenfalls an Fahrbahnmarkierungen und Wegbegrenzungen orientieren, wenn sie auch nicht ganz so schnell fahren.

Wegführungen dieser Art werden Sie z.B. bei Flurförderfahrzeugen sehr oft finden. Meist werden sie jedoch wegen der höheren Störsicherheit durch Leitungen im Boden hergestellt. Der Roboter wird dann nicht durch Licht, sondern induktiv über ein im Boden verlegtes Kabel gesteuert.

Programme, die Fahrzeugsteuerungen nach Bildaufzeichnungssystemen ermöglichen, werden auch dem Begriff "Künstliche Intelligenz" zugeordnet. Dieser Begriff verursacht derzeit Aufregung.

Kann der Computer die Rolle des Menschen einnehmen, indem er intelligent reagiert? Sicherlich nicht, denn zum menschlichen Denken gehört viel mehr als nur Intelligenz - Phantasie, Einfühlungsvermögen, Kreativität ... Der Begriff "Künstliche Intelligenz" und seine Bedeutung ist selbst unter Fachleuten umstritten. Wir wollen hier eine ganz praktische Beschreibung geben: Programme nach Methoden der künstlichen Intelligenz können schneller zu Problemlösungen kommen als durch systematisches Ausprobieren, weil sie in ihrem Arbeitsspeicher frühere Erfahrungen abspeichern und diese bei der Problemlösung mitverwenden.

Unserem Bahnverfolgungsprogramm wollen wir jetzt auch einen Hauch von künstlicher Intelligenz verleihen. Bauen Sie zunächst eine Bahn in Form einer Acht auf (Bild 10.23).

Die Schildkröte sollte mit dem vorliegenden Programm sauber auf der Bahn entlanglaufen. Die Kreuzung sollte sie nicht spüren, wenn diese einigermaßen rechtwinklig ist und die Schildkröte im Kreuzungsbereich ausreichend lange gerade Strecken vorfindet. Durch Kurskorrekturen sauber auf die Gerade gebracht, sollte sie diese Strecken in maximaler Geschwindigkeit durchlaufen. Anders in der Rechtskurve, hier sind immer wieder Kurskorrekturschritte notwendig, die die Geschwindigkeit herabsetzen. Noch schlimmer in der Linkskurve. Da die Schildkröte immer zuerst nach rechts sucht, dauert diese Kurve noch viel länger. Ein Umstellen des Programms löst das Problem auch nicht; da würden die gleichen Schwierigkeiten in der Rechtskurve auftauchen.

Hier kommt unsere künstliche Intelligenz ins Spiel. Wir führen eine Gedächtnisvariable "richtung" ein. War die letzte Kurskorrektur nach rechts, so wird richtung=0 gesetzt, bei links richtung=1. Wird wieder eine Kurskorrektur notwendig, soll das Programm bei richtung=0 zuerst rechts, bei richtung=1 zuerst links probieren.

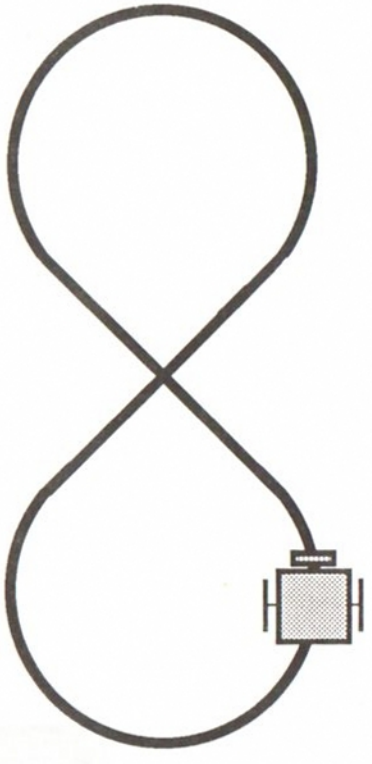


Bild 10.23: Achterschleife für die Schildkröte.

Das Programm ist eine Erweiterung des vorangegangenen Programms; der Übersicht wegen wird aber das ganze Programm abgedruckt:

```
@in
FOR i=1 TO 200
  @3r
NEXT i
@ti
@ex
h=ex
richtung=0
naechster_schritt:
REPEAT
  @tv(1)
  @ex
UNTIL ex<=h-20
IF richtung=0 THEN
  @tr(5)
  @ex
  IF ex>h-20 THEN
    GOTO naechster_schritt
  ENDIF
  @tl(10)
  @ex
  IF ex>h-20 THEN
    richtung=1
    GOTO naechster_schritt
  ENDIF
  @tr(5)
ELSE
  @tl(5)
  @ex
  IF ex>h-20 THEN
    GOTO naechster_schritt
  ENDIF
  @tr(10)
  @ex
  IF ex>h-20 THEN
    richtung=0
    GOTO naechster_schritt
  ENDIF
  @tl(5)
ENDIF
@tv(13)
@tr(90)
FOR w=0 TO 180 STEP 5
  @ex
  EXIT IF ex>h-20
  @tl(5)
NEXT w
IF ex>h-20 THEN
  GOTO naechster_schritt
ENDIF
PRINT "Bahnende!"
@3a
END
```

Setzen Sie die Schildkröte mit dem verbesserten Programm auf die Achterschleife. Sie werden feststellen, daß zwar zu Kurvenbeginn die Kurskorrektur noch mit der falschen Seite beginnt, danach hat aber das Programm die neue Situation gelernt und wird die Schildkröte die Kurve zügig durchfahren lassen.
Selbstverständlich können Sie in das Programm noch andere Erfahrungsregeln einbauen. Um beim Übergang von einer Kurve in die andere nicht nach der falschen Seite zu suchen, bauen Sie etwa folgende Vorschrift ein:
Wurden eine Anzahl von Schritten ohne Kurskorrektur durchgeführt, so wird richtung gerade umgedreht, also

```
richtung=1-richtung
```

Mit dieser Strategie werden die Acht und Wellenlinien noch besser durchlaufen.
Auf Diskette finden Sie wieder ein fertiges Programm, mit dem Sie ausführlich die optische Steuerung der Schildkröte nach einer Fahrbahnlinie üben können. Es heißt BAHN.BAS und beinhaltet eine noch verbesserte Helligkeitsjustierung.

Die Schildkröte wurde im letzten Versuch mit einem Lesekopf ausgestattet, mit dem sie einer Spur auf der Fahrbahn folgen konnte. Der Fotowiderstand als Sensor nahm dabei das von der Fahrbahn reflektierte Lampenlicht auf und konnte so erkennen, ob sich die Schildkröte auf der Spur (dunkel) oder daneben (hell) befand. Je nach Meßwert wurde der Weg der Schildkröte korrigiert.
Neben der Steuerung der Schildkröte wollen wir den Lesekopf nun auch zur Aufnahme von Informationen von der Fahrbahn benutzen. Jeder kennt das Prinzip vom Einkauf: Lebensmittel und andere Waren sind mit Etiketten versehen, auf denen sich eine Anzahl von Strichen nebeneinander befinden. An der Kasse wird mit einem Lesestift dieses Etikett abgetastet, worauf Preis, Bezeichnung der Ware usw. angezeigt werden. Die Informationen sind also in diesen Linien - dem Strichcode oder Produktinformationscode - enthalten.
Für den folgenden Versuch benötigen wir das Schildkrötenmodell mit Lesekopf wie zuvor. Der Lesekopf wird so eingestellt, daß er etwa 3...5 mm Abstand von der Fahrbahn hat. Wenn die Schildkröte mit dem Interface verbunden ist und GFA-BASIC sowie der Interfacetreiber geladen

sind, setzen wir die Schildkröte auf eine weiße Unterlage (Karton). Die Fahrbahn muß hell sein, damit genügend Licht zum Fotowiderstand reflektiert wird.
Ob Lichtstärke, Fahrbahnhelligkeit und Sensorabstand in Ordnung sind, prüfen wir mit folgendem Programm:

```
@in
FOR i=0 TO 200
  @3r
NEXT i
@ex
PRINT ex
@3a
END
```

Auf dem Bildschirm erscheint jetzt eine Zahl, die der Helligkeit der Fahrbahn entspricht. Kleben Sie mit schwarzem PVC-Isolierband ein Stück von ca. 15 mm Länge mitten auf die Fahrbahn und setzen die Schildkröte so hin, daß der Lesekopf auf den Streifen zeigt. Starten Sie das Programm nochmals; jetzt ist die Zahl am Bildschirm wesentlich höher, da die Bahn dunkler ist als der Untergrund.
Damit haben Sie bereits eine Information von der Fahrbahn gelesen: den Zustand "hell" bzw. "dunkel", der als unterschiedlicher Zahlenwert angezeigt wird. Man nennt dies auch eine binäre Information, die nur aus zwei Zuständen besteht. Den beiden Zuständen weisen wir jetzt Zahlen zu: hell = 1, dunkel = 0. Mit diesen Bezeichnungen - auch logische Werte genannt - läßt sich besser weiterarbeiten. Zum Experimentieren geben Sie folgendes Programm ein:

```
@in
FOR i=0 TO 200
  @3r
NEXT i
@ex
hell=ex
DO
  @ex
  IF ex>hell+20 THEN
    z$="binär 0"
  ELSE
    z$="binär 1"
  ENDIF
  PRINT Z$
  REPEAT
    @3r
  UNTIL INKEY$<>""
LOOP
END
```

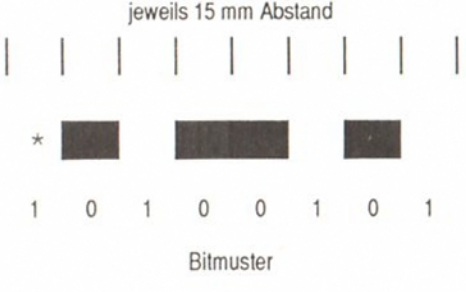


Bild 10.24: Informationscode auf der Fahrspur.

Setzen Sie die Schildkröte mit dem Lesekopf auf eine helle Stelle und klicken Sie **Run** an. Der Meßwert, der einem hellen Untergrund entspricht, wird in der Variablen hell festgehalten. Danach folgt die Wiederholschleife. Befindet sich der Lesekopf mittlerweile auf einer dunklen Fläche, so liegt der Analogwert mindestens um 20 höher als der Wert in hell. Das entspricht dem Zustand "binär 0". Im anderen Fall wird der Zustand "binär 1" angenommen. Mit der PRINT-Anweisung erscheint die Information auf dem Bildschirm. Jetzt wartet das Programm auf einen Tastendruck (REPEAT-Schleife), bevor die nächste Runde der DO-Schleife erfolgt. Setzen Sie die Schildkröte auf verschiedene Stellen und messen Sie den jeweiligen Zustand bzw. den logischen Wert des Meßpunktes.

Wie das Etikett mit dem Strichcode auf der Dosenmilch soll auch unsere Information aus mehreren Stellen hintereinander bestehen. Man nennt jede Stelle ein "Bit". Diese Bits liest die Schildkröte dann nacheinander ein, wenn sie z.B. von links nach rechts darüber fährt.

Bevor wir die Informationsbits auf die Fahrbahn kleben, soll noch etwas zu der Strichbreite gesagt werden. Die Schildkröte kann immer nur eins tun: fahren oder messen. Ein Fahrschritt beträgt 5 mm, wie wir in Kapitel 9 gesehen haben; d.h. die einzelnen Bitpunkte in Form von hellen und dunklen Flächen müssen mindestens 5 mm auseinander liegen. Da der Startpunkt beim Messen ebenfalls um mindestens ±2,5 mm differieren kann, müßten wir eine "Strichbreite" von 10 mm wählen, damit der Fotowiderstand mit Sicherheit auf den Strich zeigt. Zuverlässig in die Mitte des jeweiligen Striches trifft die Schildkröte aber erst bei einer Breite von drei Schildkrötenschritten, also 15 mm. Schneiden Sie also von dem schwarzen Isolierband 15 mm lange Streifen ab, um sie später wie in Bild 10.24 auf die Fahrbahn zu kleben.

Wir verändern unser Programm ein wenig. Der Ausdruck wird verkürzt, und die Tastenabfrage am Ende wird ersetzt. Vergleichen Sie:

```
@in
FOR i=0 TO 200
  @3r
NEXT i
@ex
hell=ex
@ti
PRINT "Bitmuster: ";
DO
```

Eine solche Kennung wird als Startbit bezeichnet. In der Datenübertragung über Telefon oder andere Leitungen wird auch vor jedem Informationsblock ein Startbit gesendet. Dort genügt eines; wir haben aus Gründen der Betriebssicherheit zwei Startbits.
Nach der Informationsübertragung muß eine Weile nichts kommen, bevor es mit der nächsten Übertragung weiter geht. Diese Weile "nichts" nennt man Stoppbit. Wie man sich leicht überzeugen kann, muß das Stoppbit mindestens solange wie ein Bit sein. In der Datenübertragung werden Stoppbits mit einfacher, anderthalbfacher und doppelter Bitbreite verwendet.

```
  @ex
  IF ex>hell+20 THEN
    z$=" 0"
  ELSE
    z$=" 1"
  ENDIF
  PRINT z$;
  @tv(3)
LOOP
END
```

Die Schildkröte steht zunächst mit dem Lesekopf auf der Startposition (in Bild 10.24 durch * gekennzeichnet). Wenn Sie das Programm mit **Run** starten, wird der Binärwert 1 angezeigt: hell. Anschließend fährt die Schildkröte drei Schritte (15 mm) vor und bleibt auf Bit 1 stehen. Hier wird binär 0 angezeigt, da dieses Feld dunkel ist. Danach geht es weiter. Wenn der letzte Streifen passiert wurde, muß auf dem Bildschirm stehen:

Bitmuster 1 0 1 0 0 1 0 .....

Stoppen Sie die Schildkröte mit der ASC-Taste, da sie sonst immer weiter Bits sucht und ausdruckt.
Kleben Sie die Isolierbandstücke in einer anderen Reihenfolge auf und lesen die Information ein. Stimmt sie immer? Wenn nicht, ist die Fahrbahn vielleicht unterschiedlich beleuchtet oder der Lesekopf zu weit davon entfernt.
Nicht befriedigend ist, daß die Schildkröte am Anfang auf der Startposition stehen muß. Sie soll die Information auch bei voller Fahrt lesen können - so wie der Lesestift an der Kasse. Dazu verwenden wir die ersten zwei Streifen, der dunkle gefolgt von einem hellen Streifen als Kennung vor dem Informationsbereich.
Dies wird uns auch erlauben, die Leseempfindlichkeit des Lesekopfes vor jedem Informationsblock, ähnlich einer Aussteuerautomatik beim Kassettenrekorder, für jeden Informationsblock individuell einzustellen.
Erweitern Sie das Programm:

```
@in
FOR i=0 TO 200
  @3r
NEXT i
@ex
hell=ex
mitte=hell+15
@ti
suche_startbit:
REPEAT
  @tv(1)
```

```
  @ex
UNTIL ex>=mitte
dunkel=ex
mitte=(dunkel+hell)/2
REPEAT
  @tv(1)
  @ex
UNTIL ex<mitte
hell=ex
' Startbit identifiziert
@tv(4)
code$=""
FOR i=0 TO 3
  mitte=(dunkel+hell)/2
  @ex
  IF ex<mitte THEN
    code$=code$+" 1"
    hell=ex
  ELSE
    code$=code$+" 0"
    dunkel=ex
  ENDIF
  @tv(3)
NEXT i
PRINT "Code: ";code$
@3a
END
```

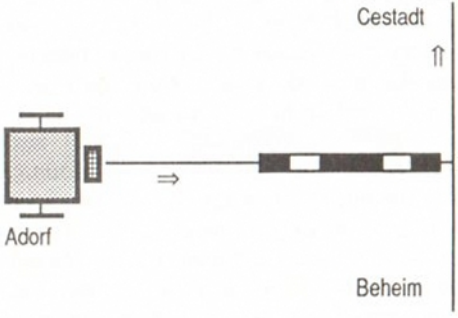


Bild 10.25: Autobahnnetz mit Verkehrsleitsystem.

Das Einlesen der Datenbits erfolgt jetzt in einer FOR...NEXT-Schleife. Jedes der vier Bits wird mit dem Startbit, den Flächen vor Bit 0 verglichen. Setzen Sie die Schildkröte an den Anfang der Bahn, und starten Sie das Programm mit **Run**. Am Ende muß auf dem Bildschirm stehen:

Code: 0 0 1 0

Versuchen Sie auch hier wieder verschiedene Informationscodes. Die Betriebssicherheit sollte durch die zwei Startbits und die Schwellwertautomatik wesentlich verbessert sein.

Was kann man nun mit den eingelesenen Informationen anfangen? Unsere Schildkröte ist ein Fahrroboter, und sie soll deshalb bei ihrer Fahrt mit wichtigen Mitteilungen versorgt werden. Für die Schildkröte wollen wir ein Verkehrsleitsystem einrichten und dafür unsere Datenübertragung von der Fahrbahn zum Lesekopf benutzen. Zunächst bauen wir ein kleines Autobahnnetz nach Bild 10.25 auf.

Die Schildkröte steht in Adorf und will nach Cestadt. Den Weg dorthin kennt sie nicht. Der Verkehrscomputer kennt die Straßenkarte und die Verkehrslage und teilt der Schildkröte vor der nächsten Abzweigung mit, in welche Richtung sie fahren muß. In Wirklichkeit würden die Daten zur Induk-

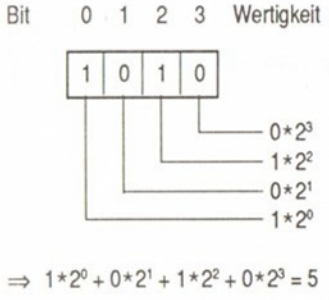


Bild 10.26: Bits im Informationscode.

Solche Systeme nennt man Verkehrslenk- oder -leitsysteme. Darunter versteht man ein Computernetz (z.B. ALI), mit dem man Informationen vom Verkehrsteilnehmer (Startpunkt, Fahrziel usw.) sowie der Fahrstrecke (Verkehrsdichte, Stauungen, Baustellen usw.) sammelt und daraus für den Autofahrer die beste Fahrstrecke ermittelt. Die Verbindung zwischen dem Verkehrscomputer und dem Bordcomputer im Auto wird dabei durch Induktionsschleifen in der Straße und Sensoren im Wagen hergestellt.

tionsschleife in der Straße geschickt - hier übertragen wir sie optisch mit dem Informationsstreifen.

Zunächst wollen wir den Bits im Informationscode eine Bedeutung geben. Bild 10.26 zeigt dies. Mit vier Bits kann man bis 15 zählen. Jede Bitstelle hat eine Wertigkeit. Ist das Bit gesetzt, zählt dieser Wert zur Gesamtsumme. Sind alle Bits gesetzt, erhält man die Zahl 15; ist z.B. nur Bit 2 gesetzt, ergibt das die Zahl 4. Von diesen 16 möglichen Codes belegen wir nur vier:

Bitmuster	Code	Bedeutung
1 0 0 0 0 0	0	geradeaus weiter
1 0 0 0 0 1	1	rechts abbiegen
1 0 0 0 1 0	2	links abbiegen
1 0 0 1 0 0	4	Ende der Fahrt

Wir ergänzen das Programm mit den Fallunterscheidungen für obige vier Codes. Die nachfolgenden Zeilen ersetzen die PRINT-Anweisung am Ende des Programms:

```
IF code$=" 0 0 0 0" THEN
  GOTO suche_startbit
ENDIF
IF code$=" 0 0 0 1" THEN
  @tv(13)
  @tr(90)
  GOTO suche_startbit
ENDIF
IF code$=" 0 0 1 0" THEN
  @tv(13)
  @tl(90)
  GOTO suche_startbit
ENDIF
IF C$<>" 0 1 0 0" THEN
  PRINT "Ungültigen Code
     gefunden."
  GOTO suche_startbit
ENDIF
PRINT "Programmende!"
```

Beim Abbiegen lassen wir die Schildkröte noch ein Stück vorgehen, damit sie hinter dem Codestreifen dreht. Nach der Drehung erfolgt ein Rücksprung an den Programmanfang, so daß sie den nächsten Codestreifen sucht. Bei "geradeaus weiter" wird gleich zurückgesprungen. Der Code für Bahnende führt nach entsprechender Meldung zum Programmende. Alle anderen Codes werden als ungültige Codes am Bildschirm gemeldet, und die Schildkröte setzt ihren Weg geradeaus fort.

Jetzt setzen Sie die Schildkröte an den Streckenanfang "Adorf" und starten das Programm mit **Run**. Sie wird, wenn keine

Bild 10.27: Die Schildkröte sollte auch eine längere Strecke meistern.

Datenübertragungsfehler auftreten, in Cestadt ankommen. Denken Sie wieder an eine gleichmäßige Beleuchtung und den richtigen Abstand des Lesekopfes von der Fahrbahn!
Es steht Ihnen frei, den noch nicht belegten Codes Bedeutungen zuzuweisen. Schreiben Sie eigene Programmstücke. Hier ein paar Anregungen: Erlauben Sie auch andere Abzweigwinkel, z.B. um 45° nach rechts und links. Flankieren Sie die Informationscodes rechts und links mit Codes, die dem Programm signalisieren, daß die Schildkröte von der Bahn abgekommen ist; wird solch ein Code gefunden, kann eine entsprechende Kurskorrektur durchgeführt werden. Sie können auch Ortsschilder codieren:

Bitmuster	Code	Ortsname
1 0 1 0 0 0	8	Adorf
1 0 1 0 0 1	9	Beheim
1 0 1 0 1 0	10	Cestadt
1 0 1 0 1 1	11	Dehausen usw.

Ein ausführliches Programm zum Thema "Informationcodes" finden Sie auf der Diskette unter dem Namen CODE.BAS. Es zeigt Ihnen die Handhabung der Schildkröte beim Lesen und Verarbeiten von Fahrbahndaten, u.a. in Verkehrsleitsystemen.

Jetzt haben Sie unser ganzes Anleitungsbuch durchgearbeitet und eine Vielzahl von spannenden Versuchen gemacht. Ihr fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL ist aber nun keineswegs wertlos - im Gegenteil: Sie wissen jetzt schon soviel über Computing und Robotik, daß Sie ganz alleine Experimente durchführen können. Und Sie werden sehen, mit Erfolg. Ein paar Anregungen geben wir Ihnen gerne mit auf den Weg.

Zunächst einmal können Sie mit dem Taster einen Morsetrainer aufbauen; wenn der dann funktioniert, erweitern Sie ihn mit der Lampe und dem Fotowiderstand zu einer optische Datenübertragung, bei der dann mit dem Taster Morsezeichen gesendet werden.

Bauen Sie mal mit der Lampe und dem Fotowiderstand eine Waage auf. Über eine drehbare Kulissenscheibe kann der Fotowiderstand je nach Gewicht unterschiedlich stark abgedeckt werden.

Mit derselben Einrichtung kann man auch eine Regelung aufbauen, bei der eine Platte bei Bewegung immer in der Waagerechten gehalten wird.

Propeller und Lichtschranke sind die Grundelemente für einen Windmesser. Probieren Sie es einmal, ein solches Gerät zu entwickeln. Der Propeller dreht sich frei und wird vom Wind angetrieben. Auf seiner Achse befindet sich ein Flügel, der die Lichtschranke bei Drehung unterbricht. Die Impulse werden gezählt, und daraus soll der Computer die Windgeschwindigkeit errechnen.

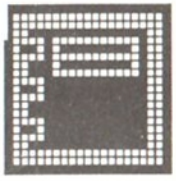
Ebenso lassen sich natürlich auch die vorhandenen Modelle erweitern: So können Sie bei dem Computerauge eine Überkopfbewegung einbauen. Damit läßt sich dann z.B. eine Nachführung für Sonnenkollektoren realisieren.

Dem Roboter könnte man eine dritte Achse spendieren, die den Arm auch nach oben und unten bewegt. Außerdem läßt sich hier ein Greifer durch einen Elektromagneten herstellen.

Zur besseren Hinderniserkennung kann man die Schildkröte mit zusätzlichen seitlichen Fühlern ausrüsten. Wenn man für den optischen Sensor zwei Fotowiderstände nebeneinander benutzt, die an die Eingänge EX und EY angeschlossen werden, lassen sich Richtungsabweichungen durch Differenzmessung besser und schneller erkennen.

Auch die Schildkröte kann mit einem Transportarm ausgerüstet werden. Mit einem Schreibstift versehen, könnte sie sogar Zeichnungen erstellen. Das Auf und Ab des Schreibstiftes könnte man mit einem Elektromagneten steuern. So entspricht die Schildkröte dann ganz und gar ihrem Bildschirm-Pendant.

Sie sehen, Ihr fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL bietet Ihnen fast unbegrenzte Möglichkeiten für viele weitere hochinteressante Experimente.



Dieses Kapitel soll Ihnen in erster Linie helfen, die Programme aus den vorangegangen Kapiteln oder von der Diskette nach Ihren eigenen Wünschen zu verändern und auszugestalten. Dazu werden wir eine Reihe von Hinweisen und technischen Detailinformationen geben. Wir erheben damit keinen Anspruch auf Vollständigkeit; Sie werden sicherlich noch eine Menge mehr nützlicher Kniffe entdecken, wenn Sie sich mit Ihrem fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL intensiv mit Themen wie Messen, Steuern, Regeln, Robotik, Bildschirmgrafik und Bildverarbeitung befassen.

Andererseits soll dieses Kapitel auch nicht so verstanden werden, daß Sie all diese technischen Details beherrschen müßten, bevor Sie mit dem fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL etwas anfangen können. Dies ist keineswegs so; was in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt wurde reicht vollkommen zur Durchführung der Experimente aus.

Aber vielleicht wollten Sie schon immer wissen wie und warum ...

Anhang 1 Technische Informationen

A1.1 Der Interfacetreiber

Jedes Programm des fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL Baukastens, sei es ein Beispielprogramm der Diskette oder ein Programm aus einem der vorangegangenen Kapitel, besteht aus zwei Teilen:

Dem Hauptteil des Programms; er enthält die gesamte logische Struktur der Aufgabe genau passend zu dem Aufbau des Experiments,

und dem Interfacetreiber; dieser stellt eine Sammlung von Unterprogrammen dar, mit denen die Funktionen des Interface komfortabel aufgerufen werden können. Der Interfacetreiber ist bei allen Programmen identisch.

Was im vorangegangenen Text als Interface-Kommando dargestellt wurde, sind Aufrufe der BASIC-Unterprogramme des Interfacetreibers. Der Interfacetreiber ist zum größten Teil in der Datei EXPER.LST enthalten und wird durch das BASIC-Kommando **Merge** zu dem Hauptprogramm hinzugeladen. Der unmittelbare Datenaustausch mit dem Interface ist aus Gründen höherer Arbeitsgeschwindigkeit in der Maschinensprache des Mikroprozessors M68000 des Atari ST verfaßt. Dieser Teil des Interfacetreibers ist in der Datei INTERFAC.COM enthalten. Wenn Sie den Quelltext des Maschinenprogramms studieren wollen, so schlagen Sie im Kapitel "Funktionsweise des Interface und des Interface-Treiberprogramms" der Interfaceanleitung nach. Die Datei INTERFAC.COM wird bei der ersten Benutzung des Befehls @in von der Diskette geladen.

Da der größte Teil des Interfacetreibers als BASIC-Unterprogramme vorliegt, können erfahrene Programmierer den Interfacetreiber auch in anderer als der hier beschriebenen Weise benutzen oder gar abändern und ihren persönlichen Bedürfnissen anpassen.

Zunächst eine Vorbemerkung zu der Notation. Da BASIC keine flexibel steuerbare Eingrenzung des Gültigkeitsbereichs von Variablen kennt, besteht immer die Gefahr, daß wichtige Daten des Interfacetreibers unabsichtlich durch Verwendung gleichlautender Variablen im Hauptteil des Programms zerstört werden. Um dem vorzubeugen, wurden alle Variablen, die nur innerhalb des Interfacetreibers benutzt werden, durch das Zeichen Unterstrich _ am Ende des Variablennamens gekennzeichnet, z.B. init_. Vermeiden Sie also generell die Verwendung des Unterstrichs am Ende des Variablennamens im Hauptteil des Programms.

Wollen Sie dagegen Modifikationen des Interfacetreibers vornehmen, so halten Sie sich ebenfalls an diese Regel und versehen Variablen des erweiterten Interfacetreibers ebenfalls mit einem Unterstrich am Namensende.
Ähnliches gilt für die Namensgebung der inneren Unterprogramme des Interfacetreibers.
Einige dieser inneren Unterprogramme können eventuell für Ihre Programmierarbeiten nutzbringend eingesetzt werden. Hier eine kurze Beschreibung der wichtigsten Unterprogramme:
Alle Interfacekommandos, die in der Interfaceanleitung beschrieben sind, sind auch in dem Interfacetreiber enthalten, nachdem der Aufruf @in ausgeführt wurde. Es wurden lediglich die Namen mit dem Unterstrich erweitert:

```
CALL init_                (Initialisieren des
                           Interface)

VOID C:m1_(ein_)          (Steuerung der
VOID C:m1_(aus_)           Motoren)
VOID C:m1_(re_)
VOID C:m1_(li_)
usw. bis
VOID C:m4_(li_)

a=C:in_(e1_)              (Abfrage der
usw. bis                   Eingänge)
a=C:in_(e8_)
a=C:in_(ex_)
a=C:in_(ey_)
```

Werden obige Interface-Kommandos benutzt, ohne daß der Aufruf @in ausgeführt wurde, so stürzt der Computer ab. Es empfiehlt sich daher, die Variable inflg_ zu testen. Ist inflg_=0, so wurde INTERFAC .COM noch nicht geladen und die Interface-Kommandos können nicht benutzt werden. Ist inflg_=1, können die Interface-Kommandos benutzt werden.
Weiterhin bestehen zwei verallgemeinerte Schrittkommandos, die erlauben, die Motornummer zu errechnen oder aber die Zuordnung zwischen Motor und Taster frei zu gestalten:

```
GOSUB vor_(<Motornummer>,<Taster>)
GOSUB rueck_(<Motornummer>,<Taster>)
```

Dabei ist <Motornummer> eine der Variablen m1_ bis m4_ und <Taster> eine der Variablen e1_ bis e8_ (nicht die Zahlenwerte 1 bis 4 bzw. 1 bis 8!)

Damit vergleichbar ist der verallgemeinerte Aufruf der Schildkrötenbewegung:

GOSUB tugo_(<Schrittzahl>,<Drehrichtung rechter Motor>,<Drehrichtung linker Motor>)

Dabei ist <Drehrichtung> entweder die Variable re_ oder die Variable li_.
<Schrittzahl> ist die Anzahl der auszuführenden Schritte. Das Unterprogramm führt keine Bilanz über die Position und den Kurs der Schildkröte (Variablen tx, ty und tk); dies muß getrennt programmiert werden.

Weitere nützliche Systemvariablen und -funktionen:

res_ Bildschirmauflösung: 1 = mittlere Auflösung, 2 = hohe Auflösung.
rad_ π/180 zur Umrechnung Grad ↔ Bogenmaß.
tflg_ 0 = Schildkröte nicht initialisiert.
1 = Schildkröte initialisiert mit @ti.
gflg_ 0 = Grafik noch nicht benutzt.
1 = Grafik bereits benutzt jedoch derzeit mit @ga ausgeschaltet.
2 = Grafik eingeschaltet mit @ge.
ox(x) Umrechnung des Schildkröten-Koordinatensystems in Bildschirmkoordinaten.
oy(y)

Die Bildschirmdarstellung des Atari ST kann in drei Betriebsarten geschaltet werden. Die Betriebsart "hohe Auflösung" ist gekoppelt mit der Verwendung eines hochauflösenden Monochrommonitors wie dem SM124 oder kompatiblen. Die Verwendung eines solchen Monitors wird durch eine Signalleitung vom Monitor zum Computer angezeigt. Wenn das Signal beim Einschalten des Computers vorliegt, wird automatisch die Betriebsart "hohe Auflösung" gewählt; die anderen Betriebsarten sind nicht möglich. Die Betriebsart "hohe Auflösung" erlaubt die Darstellung von 25 Zeilen zu 80 Zeichen bzw. die Ansteuerung von 640 x 400 Bildelementen (schwarz oder weiß). Farbmonitore oder Farbfernsehgeräte erzeugen das Steuersignal nicht. Liegt daher das Signal beim Einschalten des Computers nicht vor, schaltet der Computer in die Betriebsart "niedrige Auflösung". Diese Betriebsart erlaubt die Darstellung von 25 Zeilen zu 40 Zeichen bzw. die Darstellung von 320 x 200 Bildelementen in je 16 Farben. Diese Betriebsart ist für fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL nicht geeignet. Es muß deshalb in die Betriebsart "mittlere Auflösung" umgeschaltet werden. In dieser Auflösung werden 25 Zeilen mit je 80 Zeichen dargestellt (wie bei der hohen

Auflösung). Es werden jedoch nur 640 x 200 Bildelemente angesteuert, diese jedoch jeweils in vier wählbaren Farben.
Wie aus dieser Gegenüberstellung hervorgeht, gibt es in der Textdarstellung keinen Unterschied zwischen Farb- und Monochrombildschirm, wohl aber in der grafischen Darstellung. Die Unterprogramme der Schildkrötengrafik nehmen jedoch die geeignete Umrechnung der Bildschirmkoordinaten, die Umschaltung der Farbsteuerung usw. selbsttätig vor. Allerdings sind Bildschirmgrafiken, die unter der Betriebsart "mittlere Auflösung" erzeugt wurden, ganz anders strukturiert als Bildschirmgrafiken unter der "hohen Auflösung". Beim Speichern der Grafiken wird deshalb in der Dateiartbezeichnung die Betriebsart festgehalten. In Übereinstimmung mit verschiedenen Grafikprogrammen erhalten die Bilder hoher Auflösung die Dateiartbezeichnung .PI3, die mittlerer Auflösung die Dateiartbezeichnung .PI2. Die Bilder sind nicht austauschbar.
Zwischen der Größe der Schildkrötenschritte und den Bildpunkten besteht bei hoher Auflösung der Zusammenhang:
1 Schildkrötenschritt = 1,5 Bildpunkte
Bei mittlerer Auflösung wird die Schrittweite in senkrechter Richtung halbiert.

Ebenso können Hintergrundgrafiken mit Hilfe der Grafikanweisungen von GFA-BASIC erzeugt werden. In diesem Fall gehen Sie ähnlich vor.
Studieren Sie das Programm FISCHER.BAS als Beispiel; dort werden die Hintergrundgrafiken ebenfalls durch GFA-BASIC-Routinen erzeugt.

A 1.3 Gestaltung eigener Hintergrundgrafiken

Wenn Sie eigene Experimente mit fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL durchführen wollen, so werden Sie vielleicht den Wunsch haben, diese Experimente mit passend dazu gestalteten Hintergrundgrafiken zu hinterlegen. Um solche Hintergrundgrafiken zu erzeugen, wird die Grafik-Schildkröte nicht immer das passende Hilfsmittel sein. Sie werden sich vielleicht leistungsfähiger interaktiver Grafikprogramme bedienen wollen.
Die meisten Grafikprogramme geben Hinweise darüber, wie erzeugte Bilder im Rahmen von BASIC-Programmen geladen werden können. Geben Sie unter GFA-BASIC die entsprechenden Zeilen ein. Fügen Sie am Ende des BASIC-Programms mit Merge den Interfacetreiber hinzu. Fügen Sie dem Hauptprogramm an der Stelle, wo das Bild bereits auf dem Bildschirm dargestellt ist, folgende Anweisungen hinzu:

```
@in
@gsave("BEISPIEL")
```

Der Dateiname "BEISPIEL" kann natürlich frei gewählt werden.

Das wichtigste Stück Software der Diskette ist der Interfacetreiber. Er besteht aus der Datei EXPER.LST (BASIC-Unterprogramme) und der Datei INTERFAC.COM (Maschinenprogramm).
Die Datei LIESMICH.DOC ist eine Textdatei, die eine kurze Zusammenfassung der Installation der Software und der Experimente enthält. Außerdem kann diese Datei wichtige aktuelle Informationen enthalten, die in dem vorliegenden Experimentierhandbuch noch nicht aufgenommen werden konnten. Das Programm FISCHER.LST ist ein BASIC-Programm und enthält die gleichen Informationen. Zusätzlich erzeugt es die Hintergrundgrafiken für die Experimente passend zu dem verwendeten Bildschirm.
Nach Durchlauf des Programms enthält die Diskette zusätzlich die Bilddateien, die mit der Dateiartbezeichnung .PI2 (für Farbmonitor) oder .PI3 (für Monochrommonitor) gekennzeichnet sind.
Die restlichen Programme mit der Dateiartbezeichnung .BAS sind BASIC-Dateien. Sie enthalten jeweils den Hauptteil der Beispielprogramme. Die Programme werden mit dem Kommando **Load** geladen und der Interfacetreiber EXPER.LST mit dem Kommando **Merge** hinzugefügt.
Die derart zusammengefügten Programme sollten Sie auf Arbeitsdisketten abspeichern, die mindestens noch die Datei INTERFAC.COM enthalten. Gegebenenfalls kopieren Sie die benötigten Hintergrundbilder noch auf die Arbeitsdiskette.
Auf der Arbeitsdiskette können Dateien mit der Namenserweiterung ".DAT" erscheinen. Diese Dateien enthalten Schildkröten-Routen, die von den Programmen ROUTEACH.BAS oder ROUTEDIT.BAS erzeugt wurden.

A 1.5 Benutzung anderer Versionen von GFA-BASIC

Die BASIC-Dateien der verschiedenen Versionen von GFA-BASIC sind nicht identisch. Die BASIC-Dateien der fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL-Diskette können nur von GFA-BASIC1 und 2 gelesen werden. Wenn Sie nicht das beigefügte GFA-BASIC 2.02 benutzen wollen, weil Sie vielleicht ein GFA-BASIC der Version 3 besitzen, müssen Sie die BASIC-Programme umwandeln:

- Starten Sie das beigefügte GFA-BASIC V2.02.
- Laden Sie das BASIC-Programm von der fischertechnik Diskette mit **Load**.
- Setzen Sie die Eingabemarke an das Ende des Programms (Control-Z).
- Fügen Sie den Interfacetreiber EXPER.LST mit **Merge** hinzu.
- Entfernen Sie die fischertechnik-Diskette und legen Sie eine Diskette zur Zwischenspeicherung ein.
- Speichern Sie das Programm als Textdatei mit dem Menüpunkt **Save,A (nicht Save!)**.
- Verlassen Sie GFA-BASIC und starten Sie das GFA-BASIC der Version 3.
- Laden Sie die zwischengespeicherte Textdatei mit **Merge**.
- Führen Sie einen Probelauf durch. Wenn allles in Ordnung ist, speichern Sie das Programm auf der endgültigen Diskette ab. Diesmal benutzen Sie den Menüpunkt **Save**, d.h. das Programm wird im BASIC-Code abgespeichert.
- Verfahren Sie so für alle umzuwandelnden Dateien.

Sie können natürlich bei mehreren Dateien erst alle zwischenspeichern, um so Zeit zu sparen.

Die fischertechnik COMPUTING EXPERIMENTAL-Software wurde auf allen Versionen von GFA-BASIC getestet, die zum Zeitpunkt der Drucklegung vorlagen. Die Umsetzung dürfte demnach keine Probleme bereiten.

@1a Motor 1 ausschalten
Das Kommando schaltet Motor 1 ab. Es entspricht dem Kommando VOID C:M1(aus) der Interface-Anleitung.

@1l Motor 1 Linkslauf
Das Kommando schaltet Motor 1 in Linkslauf. Es entspricht dem Kommando VOID C:M1(links) der Interface-Anleitung.

@1r Motor 1 Rechtslauf
Das Kommando schaltet Motor 1 in Rechtslauf. Es entspricht dem Kommando VOID C:M1(rechts) der Interface-Anleitung.

@1v Motor 1 vorwärts
Das Kommando startet Motor 1 in Linkslauf. Anschließend prüft das Kommando, ob Eingang E2 freigegeben (0) und anschließend wieder betätigt (1) wurde. Der Motor wird dann abgeschaltet.

@1z Motor 1 zurück
Das Kommando startet Motor 1 in Rechtslauf. Anschließend prüft das Kommando, ob Eingang E2 freigegeben (0) und anschließend wieder betätigt (1) wurde. Der Motor wird dann abgeschaltet.

@2a Motor 2 ausschalten
Das Kommando schaltet Motor 2 ab. Es entspricht dem Kommando VOID C:M2(aus) der Interface-Anleitung.

@2l Motor 2 Linkslauf
Das Kommando schaltet Motor 2 in Linkslauf. Es entspricht dem Kommando VOID C:M2(links) der Interface-Anleitung.

@2r Motor 2 Rechtslauf
Das Kommando schaltet Motor 2 in Rechtslauf. Es entspricht dem Kommando VOID C:M2(rechts) der Interface-Anleitung.

@2v Motor 2 vorwärts
Das Kommando startet Motor 2 in Linkslauf. Anschließend prüft das Kommando, ob Eingang E4 freigegeben (0) und anschließend wieder betätigt (1) wurde. Der Motor wird dann abgeschaltet.

@2z Motor 2 zurück
Das Kommando startet Motor 2 in Rechtslauf. Anschließend prüft das Kommando, ob Eingang E4 freigegeben (0) und anschließend wieder betätigt (1) wurde. Der Motor wird dann abgeschaltet.

@3a **Motor 3 ausschalten**
Das Kommando schaltet Motor 3 ab. Es entspricht dem Kommando VOID C:M3(aus) der Interface-Anleitung.

@3l **Motor 3 Linkslauf**
Das Kommando schaltet Motor 3 in Linkslauf. Es entspricht dem Kommando VOID C:M3(links) der Interface-Anleitung.

@3r **Motor 3 Rechtslauf**
Das Kommando schaltet Motor 3 in Rechtslauf. Es entspricht dem Kommando VOID C:M3(rechts) der Interface-Anleitung.

@3v **Motor 3 vorwärts**
Das Kommando startet Motor 3 in Linkslauf. Anschließend prüft das Kommando, ob Eingang E6 freigegeben (0) und anschließend wieder betätigt (1) wurde. Der Motor wird dann abgeschaltet.

@3z **Motor 3 zurück**
Das Kommando startet Motor 3 in Rechtslauf. Anschließend prüft das Kommando, ob Eingang E6 freigegeben (0) und anschließend wieder betätigt (1) wurde. Der Motor wird dann abgeschaltet.

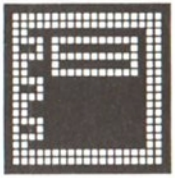
@4a **Motor 4 ausschalten**
Das Kommando schaltet Motor 4 ab. Es entspricht dem Kommando VOID C:M4(aus) der Interface-Anleitung.

@4l **Motor 4 Linkslauf**
Das Kommando schaltet Motor 4 in Linkslauf. Es entspricht dem Kommando VOID C:M4(links) der Interface-Anleitung.

@4r **Motor 4 Rechtslauf**
Das Kommando schaltet Motor 4 in Rechtslauf. Es entspricht dem Kommando VOID C:M4(rechts) der Interface-Anleitung.

@4v **Motor 4 vorwärts**
Das Kommando startet Motor 4 in Linkslauf. Anschließend prüft das Kommando, ob Eingang E8 freigegeben (0) und anschließend wieder betätigt (1) wurde. Der Motor wird dann abgeschaltet.

@4z **Motor 4 zurück**
Das Kommando startet Motor 4 in Rechtslauf. Anschließend prüft das Kommando, ob Eingang E8 freigegeben (0) und anschließend wieder betätigt (1) wurde. Der Motor wird dann abgeschaltet.



@de **Digital-Eingabe**
Das Kommando liest die digitalen Eingänge E1 bis E8 ein. Der Zahlenwert (0 für offen, 1 für mit +5V verbunden) wird in den Variablen E1 bis E8 abgelegt.

@ex **Analog-Eingabe EX**
Das Kommando ermittelt den Widerstandswert, der an dem Eingang EX angeschlossen ist. Ein Widerstandswert von 0 Ω (direkt mit +5V verbunden) ergibt einen kleinen Zahlenwert (ca. 20), ein Widerstandswert von 5 kΩ einen großen Zahlenwert (ca. 200). Bei Widerstandswerten über 5 kΩ kann die Wandlungsdauer so lang werden, daß spürbare Verzögerungen des Programmablaufs auftreten und evt. sogar die Schutzschaltung aktiv wird. Der Zahlenwert wird in der Variablen ex abgelegt.

@ey **Analog-Eingabe EY**
Das Kommando ermittelt den Widerstandswert, der an dem Eingang EX angeschlossen ist, siehe auch Kommando @ex. Der Zahlenwert wird in der Variablen ey abgelegt.

@g0 **Grafikstift aus**
Das Kommando schaltet den Stift der Grafik-Schildkröte ab. Bei den folgenden Kommandos @gv oder @gz wird keine Linie gezeichnet.

@g1 **Grafikstift ein**
Das Kommando schaltet den Stift der Grafik-Schildkröte ein. Bei den folgenden Kommandos @gv oder @gz wird eine Linie in der gewählten Stiftfarbe gezeichnet. Dies ist der Anfangszustand nach dem ersten Kommando @ge.

@ga **Grafik aus**
Das Kommando schaltet die Schildkrötengrafik ab.

@gc **Grafik kopieren**
Das Kommando kopiert das Bild des unsichtbaren Grafikschirms in den sichtbaren Grafikschirm. Der unsichtbare Grafikschirm ist entweder gelöscht (Hintergrundfarbe 0) oder durch das Kommando @gload mit einem Bild von der Diskette vorbesetzt. Auf diese Weise kann immer wieder ein "sauberer" Hintergrund erzeugt werden. Das Kommando setzt die Grafik-Schildkröte auf ihren Startpunkt; der Zustand des Grafikstiftes wird nicht verändert.

@ge **Grafik einschalten**
Das Kommando teilt den Bildschirm in ei-

nen Grafikbereich und einen Textbereich ein. Beide Schirme werden gelöscht. Beim ersten Aufruf erhält der Grafikbereich die Hintergrundfarbe 0 und der Grafikstift die Farbe 1; der Grafikstift wird eingeschaltet. Die Grafik-Schildkröte wird auf Ihren Startpunkt gesetzt. Jeder nachfolgende Aufruf von @ge ohne ein dazwischenliegendes Kommando @ga löscht den Grafikbereich mit der ggf. zuvor gewählten Hintergrundfarbe. Der Grafikstift behält seinen zuvor gewählten Zustand (ein/aus, Farbe).
Alle weiteren Grafikkommandos (mit Ausnahme @gload, @gsave und @gprint) erfordern, daß zuvor das Kommando @ge gegeben wurde.

@gh(f) Grafik-Hintergrund
Das Kommando setzt die Hintergrundfarbe f des Grafikschirms. Die Variable f muß ganzahlig sein und im Bereich 0 bis 3 liegen. Die neue Hintergrundfarbe wird aber erst mit dem nächsten Kommando @ge wirksam.
Für den Grafikhintergrund des Monochromschirms gelten die "Farb"auszeichnungen:
0 = Weiß (Standardwert),
1 = Schwarz,
2 = fein gerastertes Graumuster,
3 = grob gerastertes Graumuster.
Auf dem Farbschirm werden folgende Farben verwendet:
0 = Weiß, 1 = Schwarz, 2 = Rot, 3= Grün.

@gk Grafik-Kurs
Das Kommando @gk ermittelt den derzeitigen Kurs der Grafik-Schildkröte und legt ihn in der Variablen gk ab. Der Kurs ist 0° bei Blickrichtung nach oben, 90° bei Blikkrichtung nach rechts, 180° bei Blickrichtung nach unten und 270° bei Blickrichtung nach links.

@gl(d) Grafik-Schildkröte links
Das Kommando dreht die Grafik-Schildkröte um d Grad nach links. Die Variable d muß ganzzahlig sein und im Bereich 0 bis 359 liegen.

@gload(f$) Grafik laden
Das Kommando lädt den Grafik-Hintergrundschirm von der Diskette. Das Bild ist mit dem in f$ enthaltenen Dateinamen abgespeichert. Bei Verwendung des Monochromschirms lautet die Dateiartkennzeichnung ".PI3", sonst ".PI2". Die Dateiartkennzeichnung darf in der Variablen bzw. dem Ausdruck f$ nicht enthalten sein.

@gr(d) Grafik-Schildkröte rechts
Das Kommando dreht die Grafik-Schildkröte um d Grad nach rechts. Die Variable d muß ganzzahlig sein und im Bereich 0 bis 359 liegen.

@gs(f) Grafikstift
Das Kommando wählt die Stiftfarbe der Grafik-Schildkröte. Die Variable f muß ganzahlig sein und die Werte 0, 1, 2 oder 3 annehmen.
Auf dem Monochromschirm werden folgende "Farb"auszeichnungen für den Grafikstift verwendet:
0 = dünner weißer Strich,
1 = dünner schwarzer Strich (Standard),
2 = dicker Strich komplentär zum Hintergrund,
3 = punktierter Strich.
Auf dem Farbschirm werden folgende Farben verwendet:
0 = Weiß, 1 = Schwarz, 2 = Rot, 3= Grün.

@gsave(f$) Grafik speichern
Das Kommando schreibt den sichtbaren Grafikschirm auf die Diskette. Das Bild wird mit dem in f$ enthaltenen Dateinamen abgespeichert. Bei Verwendung des Monochromschirms lautet die Dateitypkennzeichnung ".PI3", sonst ".PI2". Die Dateiartkennzeichnung darf in der Variablen bzw. dem Ausdruck f$ nicht enthalten sein.

@gv(s) Grafik-Schildkröte vorwärts
Das Kommando bewegt die Grafik-Schildkröte um s Schritte vorwärts. Die Variable s muß ganzahlig sein und im Wertebereich 0 bis 32767 liegen. Schritte, die größer als ca. 100 sind, lassen die Schildkröte meist vom Bildschirm verschwinden. Dennoch ist sie nicht verloren, die Position wird weiter berechnet, und durch geeignete Kommandos kann sie auch wieder auf den Schirm gebracht werden.
Wenn der Grafikstift eingeschaltet war, wird von der bisherigen Position zur Zielposition eine Linie in der eingestellten Farbe (s. Kommandos @ge und @gs) gezeichnet.

@gx Grafik-Schildkröte X-Position
Das Kommando ermittelt die X-Position der Grafik-Schildkröte und legt sie in der Variablen gx ab. Die Koordinate X ist 0 im Startpunkt der Grafik-Schildkröte, nach rechts positiv und nach links negativ.

@gy Grafik-Schildkröte Y-Position
Das Kommando ermittelt die Y-Position der Grafik-Schildkröte und legt sie in der Varia-

blen gy ab. Die Koordinate Y ist 0 im Startpunkt der Grafik-Schildkröte, nach oben positiv und nach unten negativ.

@gz(s) Grafik-Schildkröte zurück
Das Kommando bewegt die Grafik-Schildkröte um s Schritte zurück. Weitere Details s. Kommando @gv.

@in Initialisierung
Das Kommando initialisiert das Interface. Alle anderen Kommandos erfordern, daß zuvor das @in-Kommando gegeben wurde, weil das Kommando @in Systemgrößen ermittelt, Variablen einrichtet, das Maschinenprogramm INTERFAC.COM lädt und dergleichen Vorbereitungsarbeiten durchführt.

@tb(b) Schildkrötenbremse
Das Kommando @tb beeinflußt die Gegenstrombremse. Bei allen Schritt- und Schildkrötenkommandos @1v, @1z,...,@tv, @tz, @tr, @tl wird nach Beendigen des Schritts der Strom durch den Motor noch einmal kurz umgedreht und dann abgeschaltet. Dadurch bleibt der Motor schlagartig stehen. Die Dauer des Gegenstromimpulses wird durch das Kommando @tb eingestellt. Die Variable b ist ganzzahlig und liegt im Wertebereich1 bis 255. Das Kommando @tb werden Sie normalerweise nicht benötigen, da der Fehlwert bereits optimal eingestellt wurde.

@ti Schildkröteninitialisierung
Das Kommando @ti ist vor dem Gebrauch weiterer Schildkrötenkommandos notwendig. Es legt den derzeitigen Standort und Kurs der Schildkröte (X- und Y-Position, Kurs) mit 0 fest. Das Kommando ist jederzeit später auch verwendbar, um einen neuen Standort als Ausgangspunkt festzulegen.

@tk Schildkrötenkurs
Das Kommando @tk ermittelt den derzeitigen Kurs der Schildkröte und legt ihn in der Variablen tk ab. Der Kurs ist 0° bei Blickrichtung in Startrichtung, 90° bei Blickrichtung nach rechts, 180° bei Blickrichtung gegen die Startrichtung und 270° bei Blickrichtung nach links.

@tl(d) Schildkröte links
Das Kommando dreht die Schildkröte um d Grad nach links. Die Variable d muß ganzzahlig und durch fünf teilbar sein und im Bereich 0 bis 355 liegen. Das Kommando

setzt die Zahl der durchgeführten Schritte (nicht Winkelgrade!) in die Variable ts. Der Eingang E5 wird - im Gegensatz zu dem Kommando @tv - nicht geprüft.

@tr(d) Schildkröte rechts
Das Kommando dreht die Schildkröte um d Grad nach rechts. Die Variable d muß ganzzahlig und durch fünf teilbar sein und im Bereich 0 bis 355 liegen. Das Kommando setzt die Zahl der durchgeführten Schritte (nicht Winkelgrade!) in die Variable ts. Der Eingang E5 wird - im Gegensatz zu dem Kommando @tv - nicht geprüft.

@tv(s) Schildkröte vorwärts
Das Kommando bewegt die Schildkröte um s Schritte vorwärts. Ein Schritt ist 5 mm lang. Die Variable s muß ganzzahlig sein und im Wertebereich 0 bis 32767 liegen. Das Kommando @tv prüft den Eingang E5 (bei der Schildkröte die Stoßstange). Ist E5 geöffnet (0), wird das Kommando abgebrochen. Bei Beendigung des Kommandos werden die Variablen e5 und ts gesetzt. Die Variable e5 enthält den Zustand des Eingangs E5, die Variable ts die Anzahl der erfolgreich ausgeführten Schritte. Die Zahl in ts kann kleiner als s sein, wenn E5 vor Bahnende geöffnet wurde. Durch Kontrolle von e5 und ts kann also ermittelt werden, ob und wann eine Kollision stattgefunden hat.

@tx Schildkröte X-Position
Das Kommando ermittelt die X-Position der Schildkröte und legt sie in der Variablen tx ab. Die Koordinate X ist 0 im Startpunkt der Schildkröte, nach rechts positiv und nach links negativ.

@ty Schildkröte Y-Position
Das Kommando ermittelt die Y-Position der Schildkröte und legt sie in der Variablen ty ab. Die Koordinate Y ist 0 im Startpunkt der Schildkröte, in Startrichtung positiv und gegen die Startrichtung negativ.

@tz(s) Schildkröte zurück
Das Kommando bewegt die Schildkröte um s Schritte zurück. Das Kommando setzt die Zahl der durchgeführten Schritte in die Variable ts. Der Eingang E5 wird - im Gegensatz zu dem Kommando @tv - nicht geprüft.

Bildnachweis

Folgenden Firmen danken wir für die Bereitstellung von Bildmaterial zur Gestaltung dieses Experimentierhandbuchs:

Bleichert Förderanlagen GmbH, Osterburken, S. 77 und 89

Valvo Unternehmensbereich Bauelemente der Philips GmbH, Hamburg, S. 40

Wagner Fördertechnik GmbH&Co. KG, Reutlingen, S. 105

Art.-Nr: 39511 · 0789 · Printed in Germany · Technische Änderungen vorbehalten · RS