

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

# BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

## Wege in der Physikdidaktik

Band 4

ISBN 3 - 7896 - 0588 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 1998

### Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.  
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle  
genutzt werden. Auf der Homepage

[www.solstice.de](http://www.solstice.de)

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

S. Thienel

## Sensoren - klein, billig und für Schüler verfügbar

### 1 Vorbemerkung

Der Computer kann zur Unterstützung von Meßaufgaben im experimentellen Physikunterricht nur dann eingesetzt werden, wenn durch ein geeignetes Interface die Verbindung zwischen Experiment und Computer hergestellt wird. Normalerweise wird man das Interface von einer Lehrmittelfirma beziehen. Neben der Notwendigkeit der Begründung des Computereinsatzes an sich stellt die Verwendung eines Interfaces eine zusätzliche Erschwernis dar. Um diese Hemmschwellen abzubauen, wurde von uns ein Verfahren erprobt, bei dem der Computer ohne zusätzlich zu erwerbendes Interface als Meßwerterfassungsgerät verwendet wird, so daß Schüler auch ihren eigenen Computer verwenden können und mit einigen wenigen zusätzlichen, sehr kostengünstigen Bauteilen gefahrlos zu Hause interessante Experimente durchführen können. Der Grundgedanke ist hierbei die Verwendung des Game-Ports als Schnittstelle zu Sensoren.

### 2 Game-Port

Der Game-Port des Computers dient in der Regel zum Anschluß des sogenannten Joysticks, der eine interaktive Steuerung von Computerspielen ermöglicht. Man kann mit Hilfe der eingebauten Drehknöpfe den Cursor über den Bildschirm bewegen und zusätzlich über die eingebauten Schalter ("Feuerknöpfe") an bestimmten Stellen oder zu bestimmten Zeiten bestimmte Reaktionen hervorrufen. Damit der Computer zusammen mit dem Joystick diese interaktiven Steuerungsaufgaben erfüllen kann, sind die verschiedenen Anschlüsse des Game-Ports über die in Abb. 1 schematisch dargestellte Schaltung mit der Computerhardware (hier Adresse 201h) verbunden, die es gestattet:

- vier Widerstände zwischen 0 und ca. 100 kOhm zu messen und
- vier Schaltkontakte zu überwachen.

Diese Eingänge lassen sich "zweckentfremden" und für physikalische Meß- und Steueraufgaben verwenden, wie im Folgenden gezeigt werden soll.

#### 2.1 Funktion der Game-Portanschlüsse

Die Verbindung der Anschlüsse des Game-Ports mit der Hardware des Computers erfolgt über die in Abb. 1 schematisch angegebene Schaltung, deren Funktion mit Hilfe einiger Grundkenntnisse aus dem Bereich der Digitalelektronik verstanden werden kann. Anhand des Schemas erkennt man, daß ein Schreibzugriff auf die Adresse 201h beliebigen Inhalts die eingezeichneten Impulsgeber dadurch triggert, daß die Kondensatoren an den Eingängen sehr schnell entladen werden. Die Ausgänge der Impulsgeber nehmen dabei den Wert 'logisch 1' an. Der Ladevorgang geschieht über je einen 2,2-kOhm-Widerstand und die

externen, im Joystick eingebauten Drehpotentiometer. Die Ladezeit eines Kanals hängt somit von der Größe des jeweiligen externen Widerstandes (Stellung des Drehknopfs am Joystick) ab. Steigt die Spannung am Kondensator über einen bestimmten Vergleichswert (etwa 2,5V), so fällt die Kippstufe im Impulsgeber auf 'logisch 0' zurück. Ein Lese-Zugriff auf die Speicherzelle 201h liefert den momentanen Zustand der Impulsgeber und auch den der vier Schalter. Die Verbindung zum Systembus geschieht über Bustreiber, die normalerweise im Tristate-Zustand sind. Das bedeutet, sie sind weder im Zustand 'logisch 1' noch im Zustand 'logisch 0', sondern elektrisch vom Bus getrennt, bis über einen Dekoder die Adresse 201h erkannt wird. Erst dann wird der Zustand am Eingang der Treiber zum Bus durchgeschaltet. Von der Software aus erscheint also der Gameport als eine einzige 8-Bit-Speicherzelle und die Messung der Impulslänge des durch Zugriff ausgelösten Impulses erfordert in der Regel ein kleines Programm. Analysiert man die Schaltung, so ergibt sich nach [1] für die Ladezeit der Zusammenhang: Ladezeit  $t_L = 24,2\mu\text{s} + 1\mu\text{s} \cdot R / k\Omega$ .

Damit wird der Widerstandswert in eine Zeitdauer umgewandelt, die mit dem Computer weiterverarbeitet werden kann.

Der Zusammenhang zwischen Ladezeit und Widerstand liefert für die Praxis leider oft nur sehr ungenaue Werte, da die angegebenen Bauteile, besonders die des Kondensators, von Rechner zu Rechner, ja sogar von einer Kippstufe zur anderen zum Teil erheblich schwanken. Ein Kalibriervorgang ist also immer notwendig, der natürlich auch für den Unterricht von Interesse sein kann.

**Anmerkung:** Abb. 1 zeigt u. a. auch die Belegung der Game-Port-Buchse. Die beiden Anschlüsse MIDI IN und MIDI OUT sind nur nutzbar, wenn der Game-Port zu einer Sound-Karte gehört. Die Game-Ports auf einer sog. Multi-I/O-Karte oder direkt auf dem Motherboard unterstützen diese beiden Leitungen in der Regel nicht.

## 2.2 Software

Von der Genauigkeit der Zeitmessung hängt die Auflösung der gewünschten Analog-Digital-Wandlung ab. Für hohe Auflösungen muß man evtl. sogar in die Interruptverwaltung des Rechners eingreifen. Eine Lösung ist z.B. in [2] beschrieben. Für die hier angestrebten Anwendungen genügt eine Auflösung von 256 Schritten, die z. B. über die mit MS-DOS verfügbare Programmiersprache QBASIC sehr einfach möglich ist. Die folgende Zusammenstellung entstammt fast wörtlich dem INDEX der HELP-Funktion in QBASIC. Sie beschreibt die von QBASIC aus verfügbaren Anweisungen zum Ansprechen des Game-Ports.

**Die STICK-Funktion** gibt die Koordinaten eines Joysticks zurück.

Aufruf: STICK(n%)

n% wählt die zurückgegebenen Koordinaten aus:

Die STRIG-Funktion gibt den Status des Joystick-Schalters zurück.

Aufruf: STRIG(n%)



n%	Rückgabe	Anmerkung:
0	x-Koordinate von Joystick A	Sie müssen STICK(0) aufrufen, bevor Sie
1	y-Koordinate von Joystick A	STICK(1), STICK (2) oder STICK(3) aufrufen können. STICK(0) speichert alle gegenwärtigen Koordinaten.
2	x-Koordinate von Joystick B	Beispiel: Temp% = STICK(0)
3	y-Koordinate von Joystick B	PRINT STICK(2), STICK(3)

Die STRIG-Funktion gibt den Status des Joystick-Schalters zurück.

Aufruf: STRIG(n%)

n% wählt die Statusbedingung des Joysticks aus:

n% wählt die Statusbedingung des Joysticks aus:

n% Bedingung

- 0 Unterer Schalter von Joystick A wurde seit letztem STRIG(0) gedrückt.
- 1 Unterer Schalter von Joystick A wird gerade gedrückt.
- 2 Unterer Schalter von Joystick B wurde seit letztem STRIG(2) gedrückt
- 3 Unterer Schalter von Joystick B wird gerade gedrückt.
- 4 Oberer Schalter von Joystick A wurde seit letztem STRIG(4) gedrückt.
- 5 Oberer Schalter von Joystick A wird gerade gedrückt.
- 6 Oberer Schalter von Joystick B wurde seit letztem STRIG(6) gedrückt.
- 7 Oberer Schalter von Joystick A wird gerade gedrückt.

Anmerkung: STRIG gibt -1 zurück falls die Bedingung wahr ist, ansonsten 0.

**Die STRIG-Anweisung** aktiviert, deaktiviert oder unterbricht die Ereignisverfolgung des Joysticks. Ist die Ereignisverfolgung aktiviert, verzweigt ON STRIG ZEILE zu einem Unterprogramm immer dann wenn der angegebene Schalter des Joysticks gedrückt ist. ZEILE ist dabei die Marke oder Nummer der ersten Zeile des Unterprogramms der Ereignisverfolgung.

Aufrufmöglichkeiten:

STRIG(n%) ON

Aktiviert die Ereignisverfolgung für den Joystick.

STRIG(n%) OFF

Deaktiviert die Ereignisverfolgung für den Joystick.

STRIG(n%) STOP

Unterbricht die Ereignisverfolgung für den Joystick. Ereignisse werden ausgeführt, sobald die Ereignisverfolgung mit STRIG ON aktiviert ist.

n% wählt dabei einen der vier Schalter des Joysticks wie folgt aus:

*Anmerkungen:*

Ist der externe Widerstand so groß (150kOhm oder mehr), daß bei der Zeitmessung der Zähler überläuft (wrap-around), so meldet die STICK(-)Funktion Werte, die wieder bei Null beginnen. Eine Messung der Analogwerte über die beschrie-

n%	Schalter	Beispiel:
0	Unterer Schalter, Joystick A	'Dieses Beispiel erfordert einen Joystick. ON STRIG(0) GOSUB Handler
2	Unterer Schalter, Joystick B	STRIG(0) ON
4	Oberer Schalter, Joystick A	PRINT „ESC für Abbruch“
6	Oberer Schalter, Joystick B	DO UNTIL INKEY\$ = CHR\$(27): LOOP END
		Handler:
		PRINT „Schalter am Joystick gedrückt.“
		RETURN

benen QBASIC-Befehle hat den Nachteil, daß immer wieder Ausreißer entstehen, weil das Beobachten der Kippstufe kurzzeitig evtl. von anderen aktiven Programmen unterbrochen werden kann. Durch Mehrfachmessungen und Bildung von Mittelwerten erreicht man jedoch ausreichend genaue, reproduzierbare Meßergebnisse.

### 3 Sensoren

Nutzt man den Joystick, so wird laufend der Widerstand der “Joystick-Potentiometer” gemessen und es werden die Schalterstellungen der sogenannten “Feuerknöpfe” abgefragt. Diese Funktionen lassen sich nun für einfache Meßaufgaben ausnutzen. Dazu ersetzt man z.B. die Potentiometer durch einfache Sensoren, die ihren elektrischen Widerstand abhängig von der zu messenden Größe ändern (der Widerstand des Sensors sollte 100kOhm nicht überschreiten). Auf diese Weise kann man bis zu vier analoge Größen unabhängig voneinander registrieren.

Sehr kostengünstig sind z. B. folgende Sensoren:

- 100-kOhm-Potentiometer gibt es in vielen Ausführungen (Dreh-, Schiebe-, Zehngang- oder Spindel-Potentiometer). Sie können zur Messung von Winkeln und Längen eingesetzt werden.
- Kreuzpotentiometer werden als Steuerknüppel-Einheit in Joysticks eingebaut und eignen sich besonders für die Aufnahme zweidimensionaler Größen. Sie bestehen aus zwei um 90° versetzten Drehpotentiometern und einem Hebel, der in zwei Dimensionen beweglich ist und auf beide Potentiometer gleichermaßen wirkt.
- Heißleiter mit einem Widerstand von ca. 80 kOhm bei Zimmertemperatur eignen sich meist problemlos für einen Temperaturbereich von unter 0°C bis über 100°C.
- Fotowiderstände mit einem Dunkelwiderstandswert um ca. 100kOhm. Sie überdecken einen weiten Helligkeitsbereich.
- Reflex- bzw. Gabel-Lichtschranken werden über eine Pegelwandlerstufe und einen Inverter an die Schalteingänge angeschlossen. Abb. 2 zeigt eine Möglichkeit, die Leuchtdiode aus dem Game-Port mit Strom zu versorgen. Der

Ausgang ist als ‘open collector’ ausgelegt und kann deswegen parallel zu anderen Ausgängen geschaltet werden.

- f) Reed-Kontakte reagieren auf die Annäherung eines Magneten mit Schließen oder Öffnen eines Kontaktes und können als Annäherungssensor dienen.
- g) Neigungs-Schalter nutzen zum Kontaktgeben einen beweglichen Quecksilbertropfen, der je nach Neigung einen Kontakt öffnet oder schließt.

#### 4 Vertrauensbildende Experimente

Die Verwendung einer Black-Box sollte immer von einem gewissen Mißtrauen begleitet werden. Der Computer ist sicher das komplexeste System, das im Unterricht als Black-Box eingesetzt wird. Einfache, überschaubare Versuche, die

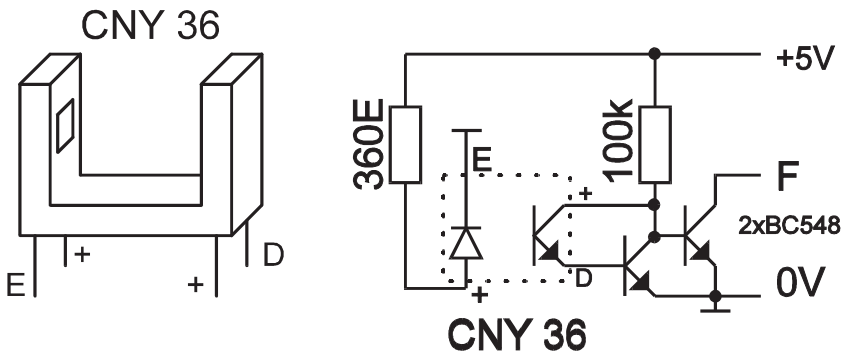


Abb. 2: Anschluss einer handelsüblichen Gabellichtschranke CNY 36 an den Game-Port. Die zweite Transistorstufe dient als Inverter und sorgt dafür, daß der Port-Eingang bei einer Lichtwegunterbrechung aktiv wird.

das Verständnis der jeweiligen Funktion im konkreten Einsatz verdeutlichen, sind deshalb besonders wichtig. Hier soll in einem Experiment das im Zusammenhang mit dem Game-Port verwendete Wandlungsverfahren verdeutlicht werden. Die anschließende Beschreibung eines Kalibriervorgangs hat mehrere Funktionen. Einerseits kann nachvollzogen werden, wie eine Kalibrierkurve zustande kommt, andererseits können auch die Voraussetzungen wie Monotonie, Reproduzierbarkeit, sowie die Qualitäten Stabilität, Auflösung und Linearität besprochen werden.

##### 4.1 Analog-Digital-Wandlung

Auf den meisten Game-Port-Karten findet ein integrierter Schaltkreis Verwendung, der mit NE 558 bezeichnet wird und vier etwas ‘abgespeckte’ Versionen des sehr häufig anzutreffenden Timers NE 555 enthält. Jeder Kanal besteht im Wesentlichen aus einer Kippstufe, einem Komparator mit einer eigenen Refe-

renzspannung und einem Transistor zum Entladen des extern anzuschließenden Kondensators. Der hier gezeigte Versuchsaufbau entspricht der Schaltung auf der Game-Port-Karte. Allerdings ist der Kondensator deutlich größer gewählt, so daß bei Verwendung der beschriebenen Sensoren Ladezeiten im Sekunden-

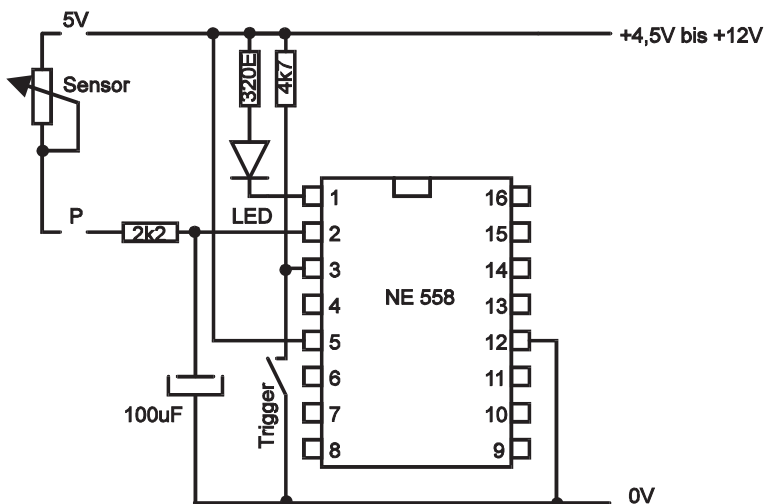


Abb. 3: Versuchsaufbau für die Überprüfung der Funktion eines Analog-/Digitalwandlers wie im Game-Port. Ein vergrößerter Kondensator erlaubt Zeiten im Sekundenbereich.

bereich entstehen, die mit der Stoppuhr oder wenigstens mit bloßem Auge erfasst werden können. Auch die Spannung am Kondensator läßt sich mit einem sehr hochohmigen Messgerät verfolgen, so daß Lade- und Entladevorgang nachvollziehbar sind. Eine Messung muß jeweils durch Schließen und nachfolgendes Öffnen des Schalters 'Trigger' ausgelöst werden. Der Zustand der Kippstufe ist an einer Leuchtdiode zu erkennen. Die Leuchtdauer ist ein Maß für den extern angeschlossenen Widerstand.

#### 4.2 Kalibrierung eines Winkelaufnehmers

Kopiert man zwei Geodreiecke, die mit ihrer längsten Seite aneinander liegen, so erhält man eine sehr genaue Winkelskala für  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ . Eine Kopie davon klebt man auf den Deckel einer Schuhschachtel und befestigt im Zentrum ein kostengünstiges 100kOhm-Drehpotentiometer, am besten ein Exemplar mit 6 mm-Kunststoff-Achse. Durch die Achse läßt sich leicht ein Loch bohren, in das ein etwas stabilerer Draht oder besser eine geeignete Stricknadel als Zeiger gesteckt wird. So können Winkel in einem Bereich von  $0^\circ$  bis ca.  $270^\circ$  über den Game-Port gemessen werden. Weiter läßt sich die Achse des Potentiometers



meist nicht verdrehen. Den Vollkreis zu überstreichen ist mit einem Zehngang-Potentiometer möglich. Da hierbei nur eine der zehn möglichen Umdrehungen genutzt wird, kann der Gesamtwiderstandswert des Potentiometers ohne weiteres bis 1MOhm betragen. Der Kalibriervorgang kann zum Vergleich auch mit einem logarithmischen Potentiometer, wie sie für Lautstärkeregler üblich sind, wiederholt werden

Zur Meßwertaufnahme dient das folgende, sehr kurze QBASIC-Programm, das solange alle vier Analogwerte nebeneinander auf dem Bildschirm darstellt, bis eine beliebige Taste gedrückt wird.

‘ Darstellung der vier Analogwerte nebeneinander

CLS

DO WHILE INKEY\$ = ""

PRINT STICK(0), STICK(1), STICK(2), STICK(3)

LOOP

END

Auf die Darstellung eines Diagramms wird hier bewußt verzichtet.

## 5 Experimente für Schülerübungen und als Hausaufgabe

Die im Folgenden beschriebenen Versuche sind in mehreren Grundkursen Physik/Informatik gründlich ausprobiert. Es handelt sich meist um das Ergebnis kleiner Projekte, die jeweils von zwei bis drei Schülern durchgeführt wurden. Neben diesen Beispielen sind sehr viele andere Anwendungen von Sensoren am Game-Port denkbar.

### 5.1 Strahlungsdiagramme

Lampenfabrikanten und Antennenhersteller interessieren sich gleichermaßen dafür, wieviel Energie ihre Erzeugnisse in welche Raumrichtung abstrahlen. Je nach Anforderung ergibt sich ein ganz charakteristisches Strahlungsdiagramm. Hier soll nachvollzogen werden, wie sich ein Strahlungsdiagramm einer Leuchtdiode (LED) aufnehmen läßt. Dazu wird mit Hilfe eines Fotowiderstandes (LDR) die Helligkeit in Abhängigkeit von der Winkelstellung gemessen, die wiederum mit einem Potentiometer als Winkelgeber über den Computer bestimmt wird. Abb. 4 zeigt den Versuchsaufbau. Die Stromversorgung für die LED wird über einen Widerstand von ca. 100Ohm dem Game-Port entnommen. Das Potentiometer, an dessen Achse die LED befestigt ist, wird am besten so justiert, daß die Messung der Hauptstrahlrichtung mit der Mittenstellung zusammenfällt. Wenn die Innenwand der Schachtel reflektiert, kommt es zu Verfälschungen des Diagramms, die man aber anhand der Geometrie sehr wohl diskutieren kann. Ein Vergleich ist gut möglich, wenn viele Versuchsexemplare mit identischen Leuchtdioden, aber verschiedenfarbigen Schachteln aufgebaut werden können. Auch der Vergleich mit der Leuchtfarbe ist interessant.

Als Erfassungsprogramm dienen die folgenden Programmzeilen. Es ist so aus-

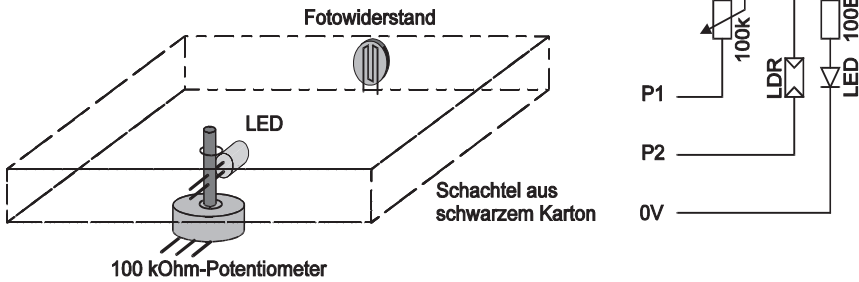


Abb. 4: Versuchsaufbau zur Messung des Strahlungsdiagramms einer LED. Der Fotowiderstand liefert die Helligkeit, das Potentiometer den Winkel (100E entspricht 100Ohm)

gelegt, daß die zeitlich äquidistant gemessenen Wertepaare in der Datei LED.DAT abgespeichert werden. Das Komma zwischen den Werten entspricht einem TAB und soll die Übernahme durch EXCEL erleichtern. Die Durchführung des Versuches beschränkt sich damit auf langsames Drehen des Potentiometers mit der LED von einem Anschlag bis zum anderen. Eine beliebige Taste beendet die Messung.

Die Messwerte-Datei kann in EXCEL weiterbearbeitet werden. Die Winkelangaben sind meist so gut linear, daß sie sehr einfach umgerechnet werden können. Auch Helligkeitswerte können als relative Angaben einfach übernommen werden.

#### ‘ Aufnahme des Strahlungsdiagramms einer LED

OPEN „LED.DAT“ FOR OUTPUT AS #1: ‘legt die Datei LED.DAT an  
 PRINT #1, „Winkel“, „Intensitaet“: ‘und löscht eine bestehende  
 CLOSE

ON TIMER(2) GOSUB Messung: ‘Timersteuerung auf 2 Sek.

#### TIMER ON

DO WHILE INKEY\$ = „“: LOOP: ‘bel. Taste bricht ab  
 END

#### Messung:

OPEN „LED.DAT“ FOR APPEND AS #1: ‘Datei öffnen  
 PRINT #1, STICK(0), STICK(1): ‘Werte anhängen  
 PRINT STICK(0), STICK(1): ‘auf Bildschirm ausgeben  
 BEEP ‘akustisch melden  
 CLOSE ‘Datei wieder schließen  
 RETURN

Abb. 5 zeigt ein Muster-Diagramm, bei dem eine Schachtel mit einer hellen und einer dunklen Innenseite benutzt worden ist. Deutlich ist ein zweiter Peak zu sehen, der von einer Reflexion stammt.

### Strahlungsdiagramm einer LED

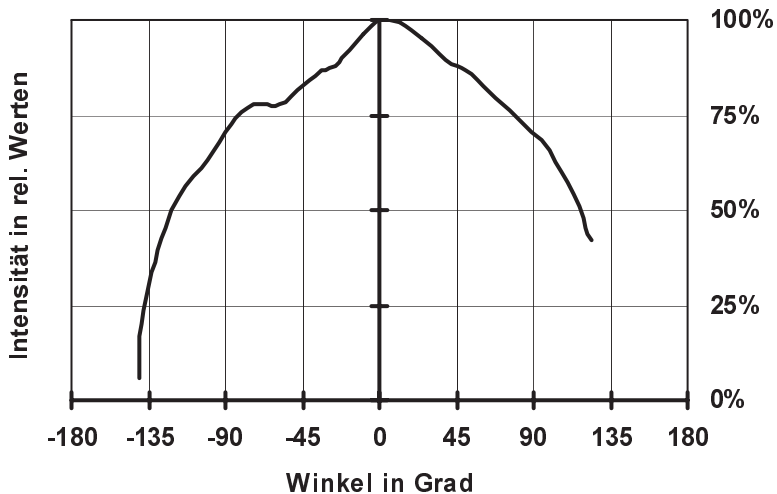


Abb. 5: Das Strahlungsdiagramm einer LED

### 5.2 Energieverbrauch bei Kühlschrank oder Gefriertruhe

Ein Kühlschrank bzw. eine Gefriertruhe sind so konstruiert, daß im Innenraum die Temperatur niedriger gehalten wird als in der Umgebung. Solange die Türe geschlossen bleibt, hängt der Energieverbrauch im Wesentlichen von der Umgebungstemperatur ab. Hier soll versucht werden, nachzuweisen, daß das Einbringen eines "warmen" Gegenstandes den Energieverbrauch deutlich steigert. Drei Sensoren sind dazu notwendig. Die Innentemperatur wird über einen Heißleiter gemessen, der in unmittelbarer Nähe des eingebrachten warmen Gegenstandes angebracht ist. Die Entfernung zu dem Wärmetauscher ist sehr viel größer. Der Öffnungszustand der Tür wird mit einem Photowiderstand (LDR) überwacht, da der Innenraum hell ist, wenn die Türe offensteht. An der Hinterwand der Gefriertruhe befindet sich eine Kühlfläche, meist ein Rost, der die aus dem Innenraum "abgepumpte" Wärme an die Umgebung abgibt. Dort entsteht nur dann eine erhöhte Temperatur, wenn das Aggregat in Betrieb ist. Über dessen Temperatur, kann der Schaltzustand des Kühlaggregats registriert werden. Die Anforderungen an die zur Versuchsdurchführung notwendige Software sind ähnlich wie bei 5.1. Das Programm kann übernommen werden. Lediglich die

Prozedur MESSUNG muß präzisiert werden. Es werden zunächst fünf Messwerte gemittelt und in die Datei KALT.DAT geschrieben. Es sind drei Parameter zu beachten. Der zeitliche Abstand zwischen zwei Messungen kann auf etwa 30 Sekunden erhöht werden, da sich die beobachteten Parameter nicht schnell ändern. Beim Öffnen der Türe sollte man darauf achten, daß auch eine Messung während dieser Zeit stattfindet. Ein BEEP informiert darüber, wann gerade gemessen wird. Das Programm hat folgende Form:

‘ Überwachung eines Gefrierschranks

```
OPEN „KALT.DAT“ FOR OUTPUT AS #1: ‘legt die Datei KALT.DAT an
PRINT #1, „Tür“, „T_in“, „T_out“: ‘ und löscht eine bestehende
CLOSE
ON TIMER(30) GOSUB Messung: ‘Timersteuerung auf 30 Sek.
TIMER ON
DO WHILE INKEY$ = „“: ‘bel. Taste bricht ab
LOOP
END
```

Messung:

```
t% = 0: i% = 0: h% = 0
FOR j% = 1 TO 5
t% = t% + STICK(0): ‘Helligkeit im Innenraum
i% = i% + STICK(1): ‘Innentemperatur
h% = h% + STICK(2): ‘Aussentemperatur
BEEP
NEXT j%
t% = t% / 5: i% = i% / 5: h% = h% / 5
OPEN „KALT.DAT“ FOR APPEND AS #1: ‘Datei öffnen
PRINT #1, t%, i%, h%: ‘Werte anhängen
PRINT t%, i%, h%: ‘und auf Bildschirm ausgeben
CLOSE : ‘Datei wieder schließen
BEEP: ‘akustisch melden
RETURN
```

Es sind u. a. folgende Aussagen möglich:

- Wenn die Innentemperatur über einen bestimmten Schwellwert ansteigt, startet das Kühlaggregat.
- Das Kühlaggregat läuft im Normalfall etwa 30 Minuten und ist etwa 20 Minuten aus.
- Wenn die Türe geöffnet wird (einzelner Peak) und ein warmer Gegenstand (hier: nasses Küchentuch) eingebracht wird, läuft das Aggregat einmalig deutlich länger.
- Zwischen dem Einsetzen der Kühlung und der Reaktion der gemessenen Innentemperatur liegt eine bestimmte Zeitspanne. (Diese Verzögerung hängt von der Entfernung des Sensors von den Kühlflächen ab.)

- Ein eingebrachter Gegenstand läßt die Innentemperatur kurzfristig höher ansteigen als normal.

Es ist möglich, den Computer so zu konfigurieren, daß er ohne Tastatur und Bildschirm startet und das obige Programm ausführt. Dies ist bei Fernüberwachungen von Vorteil. Es genügt den Rechner zusammen mit den angeschlossenen Sensoren in die Nähe des zu überwachenden Geräts zu stellen.

Diese Konfiguration geschieht bei MS-DOS-Rechnern in den folgenden drei Schritten.

1. Stellen Sie sicher, daß im SETUP der HALT ON KEYBOARD ERROR abgeschaltet ist (disabled), damit der Rechner ohne Tastatur überhaupt hochfährt.
2. Machen Sie in der AUTOEXEC.BAT den Start von WINDOWS unwirksam. (Zeile WIN mit REM versehen!)
3. Ergänzen Sie in der AUTOEXEC.BAT eine Zeile, die QBASIC aufruft und dabei Namen und Pfad des Messprogramms als Parameter übergibt. Beispiel: `C:\DOS\QBASIC /RUN C:\DOS\KALT.BAS` (QBASIC und KALT.BAS müssen hier beide im Ordner DOS sein. Andernfalls sind die Pfade entsprechend zu ändern)

WINDOWS 95-Besitzer können sich z. B. eine MS-DOS-Startdiskette mit einer entsprechenden Lösung anfertigen.

In Abb. 6 ist das Ergebnis einer zweieinhalbstündigen Messung wiedergegeben. Die Hochwerte stellen jeweils die Innen- (obere Kurve) und die Kühlrippentemperatur (untere Kurve) in einer willkürlichen Einheit (es geht nur um den zeitlichen Verlauf) dar. Die Kurven sind soweit gegeneinander verschoben, daß sie nicht ineinander verlaufen.

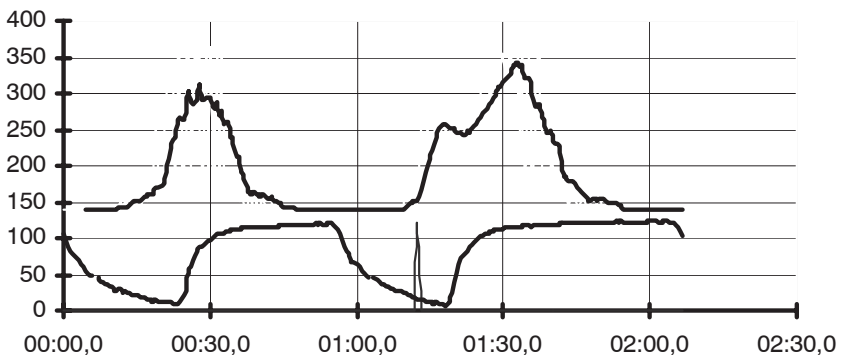


Abb. 6: Zeitlicher Verlauf in Stunden der Innentemperatur (oben), der Kühlrippentemperatur (unten) und der Helligkeit der Innenbeleuchtung (einzelner Peak) einer Gefriertruhe (in willkürlichen Einheiten).

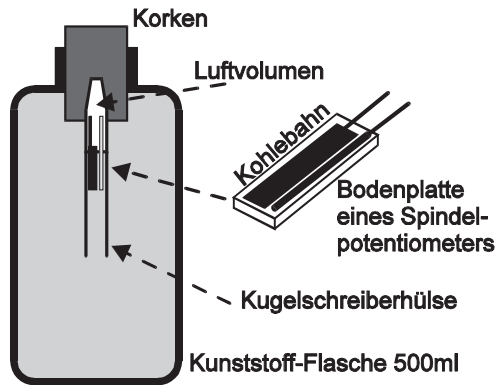
### 5.3 Anomalie des Wassers - Füllstandsmessungen

In der Gefriertruhe läßt sich eine weitere Beobachtung machen. Wasser zieht sich bekanntlich bei sinkender Temperatur zusammen. Aber nur bis ca. 4°C, dann dehnt es sich wieder aus. Diese Anomalie des Wassers lässt sich auf folgende Weise nachweisen:

An einer mit Wasser gefüllten und mit einem Korken dicht verschlossenen Kunststoff-Flasche wird ein Heissleiter als Temperatursensor angebracht. Der Druck in der Flasche ist ein Maß für die Dichte des Wassers. Er wird über die Höhe des Wasserspiegels in einem kleinen Luftvolumen, z.B. in einer umgedrehten Kugelschreiberhülse, mit Hilfe der Bodenplatte eines Spindelpotentiometers gemessen. Abb. 7 zeigt einen möglichen Aufbau dieses Dichtemessers. Die Flasche wird in die Gefriertruhe gestellt und die Werte der Sensoren werden mit dem unter 5.2 beschriebenen Programm alle 30 Sekunden abgefragt und abgespeichert. Eine typische Messkurve ist in Abb. 7 zu sehen.

Man erkennt deutlich, wie die Flaschentemperatur (untere Kurve) sinkt und dabei die Dichte (obere Kurve) erst zunimmt, um dann wieder leicht abzunehmen. In der praktischen Durchführung dieses Versuches ist es vorteilhaft, wenn sowohl Flasche als auch Kugelschreiberhülse durchsichtig sind. Dann kann durch

Abb. 7: Aufbau des Dichtemessers in der Wasserflasche. Die Höhe des Wasserspiegels bestimmt den wirksamen Widerstand der Kohlebahn.



leichtes Eindrücken des Korken der Wasserspiegel im Dichtemesser so justiert werden, daß bei Raumtemperatur die Oberkante des Spindelpotentiometers gerade mit Wasser bedeckt ist.

Bei sinkender Temperatur nimmt die Dichte zu bzw. das Volumen und damit der Druck ab. Der Füllstand wird also ebenfalls zurückgehen. Weil dann ein Teil der Kohleschicht des Potentiometers nicht mehr mit Wasser bedeckt ist, steigt der Widerstand. Es gilt also der naheliegende Zusammenhang: Je größer die Dichte im Wasser, desto größer ist der Wert am Game-Port

Die Länge des Spindelpotentiometers und der Durchmesser der Kugelschreiber-

hülle legen ein Flaschenvolumen von 500 ml nahe. Die Idee, zur Kontrolle beim Auftauen und Erwärmen die zeitlich umgekehrte Kurve messen zu wollen, scheiterte bisher immer daran, daß durch Eisbildung und die damit zusammenhängenden Kräfte der Korken leicht aus der Flasche gedrückt wurde. Damit ist mindestens der Dichtemesser so dejustiert, daß nichts Sinnvolles mehr gemessen wird. Meistens sind zusätzlich noch Undichtigkeiten aufgetreten, die zu leichtem Wasserverlust führten und die Dejustierung noch verstärkten.

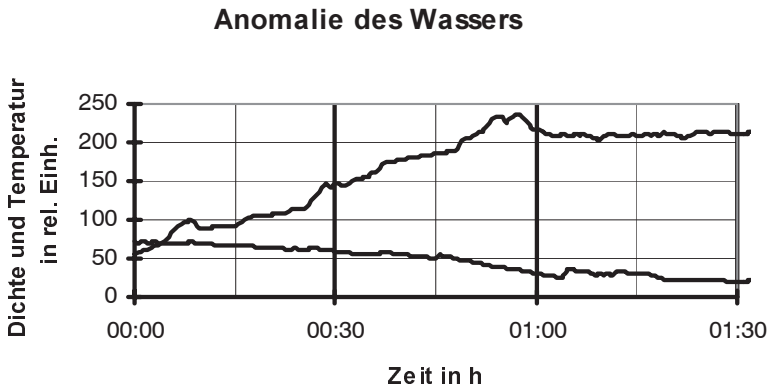


Abb. 8: Typische Dichte-Kurve (oben) beim Abkühlen einer Wasserflasche. Zum Vergleich ist auch die Temperaturkurve (unten) aufgenommen.

#### 5.4 Regensmengen-Messer

In [6] ist ein Regensmengen-Messer nach dem Kipplöffelpinzipp beschrieben, der aus Demonstrationsgründen relativ aufwendig gestaltet worden ist. Wenn nicht energiesparender Dauerbetrieb angestrebt wird, sind Messungen auch direkt am Game-Port möglich, so daß auf die beschriebene Elektronik verzichtet werden kann.

Das Funktionsprinzip ist in Abb. 9 zu erkennen. Ein Löffel mit einem Magneten am Stiel ist so gelagert, daß er im leeren Zustand auf der Magnetseite etwas schwerer ist und am Reedkontakt haftet. Füllt sich der Löffel, so nimmt das Gewicht auf der anderen Seite solange zu, bis der Magnet am Reedkontakt nachgibt. Der Löffel kippt dann relativ schnell, öffnet den Kontakt und entleert sich. Danach fällt er zurück und bleibt wieder am Reedkontakt hängen. Die Wassermenge für einen Kippvorgang ist z. B. mit einer Einmal-Spritze sehr genau bestimmbar und liegt, je nach Gewichtsverhältnissen und Stärke des Magneten zwischen 0,5 und 2ml. Für Absolutmessungen ist der Querschnitt des Regeneinlasses ausschlaggebend. Das folgende Programm speichert den Zeitpunkt eines jeden Kipp-Ereignisses in der Datei "REGEN.DAT".

' Regenmengen-Messer

CLS

OPEN „REGEN.DAT“ FOR OUTPUT AS #1: 'REGEN.DAT anlegen

PRINT #1, „Zeitpunkt“

CLOSE

DO WHILE INKEY\$ = „“: 'bel. Taste bricht ab

*Abbildung 1: Ein Regenmengen-Messer nach dem Kipplöffelprinzip*

IF STRIG(1) = 0 THEN

GOSUB Messung

DO WHILE STRIG(1) = 0

LOOP

END IF

LOOP

END

Messung:

OPEN „REGEN.DAT“ FOR APPEND AS #1: 'Datei öffnen

PRINT #1, TIME\$: 'Werte anhängen

PRINT TIME\$: 'auf Bildschirm ausgeben

CLOSE : 'Datei wieder schließen

BEEP: 'akustisch melden

RETURN

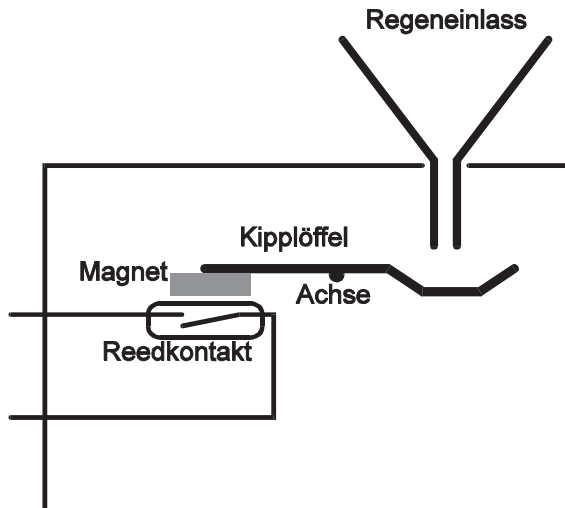


Abb. 9: Regenmengenmesser nach dem Kipplöffelprinzip



## 5.5 Überwachung der Spannung einer Solarzelle

Zur Überwachung der Spannung z. B. einer Solarzelle dient die in Abb. 10 gezeigte Schaltung. Sie besteht aus einem Widerstand von 100kOhm und einer Diode. Letztere ist unbedingt notwendig. Sie schützt den Eingang der Kippstufe, wenn sich der interne Kondensator auf Spannungen aufladen würde, die höher sind als die eigene Betriebsspannung und deswegen zur Zerstörung der integrierten Schaltkreise führen können. Die zu messende Spannung darf theoretisch bis auf fast 2,5 V absinken. Doch dann ergeben sich wegen der zu flach verlaufenden Eichkurve nur unbefriedigende Genauigkeiten. Die Obergrenze könnte ebenfalls ausgedehnt werden, aber Spannungen größer als 24 V sollen nicht von Schülern angewendet werden.

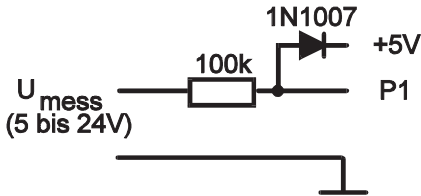


Abb. 10: Mit einem Festwiderstand lassen sich auch Spannungen zwischen 5V und 24V messen. Die Diode schützt den Eingang am Computer vor Überspannung.

**Achtung:** Bei der Messung von Spannungen, die sich nicht auf die Computer-masse beziehen, kann es zu Zerstörungen kommen. Problemlos lassen sich Batterie-, Akku- und Solarzellenspannungen im angesprochenen Bereich von 5 bis 24 V überwachen.

## 6 Technische Hinweise und Tips

### 6.1 Sensoren mit kleineren Innenwiderstandswerten

Nicht alle Sensoren sind mit Widerstandswerten um 100 kOhm zu bekommen. Kleinere Widerstände nutzen aber die Spanne von 256 Schritten nicht. Falls die geringere Auflösung nicht ausreichen sollte, kann sie mit einem zusätzliche Kondensator, wie in Abb. 11 gezeigt, erhöht werden. Er vergrößert die zu ladende Kapazität und verlängert dadurch die Ladezeit. So kann der Einfluss eines zu kleinen Widerstandes teilweise ausgeglichen werden. Wenn allerdings der externe Kondensator zu groß gewählt wird, reicht die kurze Entladezeit zu Beginn eines Messvorgangs wegen des Widerstandes von 2,2kOhm nicht zur vollständigen Entladung. Das kann die Qualität der Kalibrierkurve stark beeinträchtigen. In solchen Fällen ist es oft besser, auf der Softwareseite einen erhöhten Aufwand zu treiben.

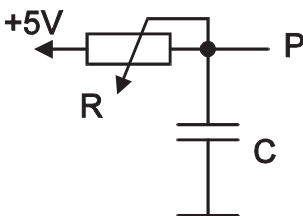


Abb. 11: (siehe Text)

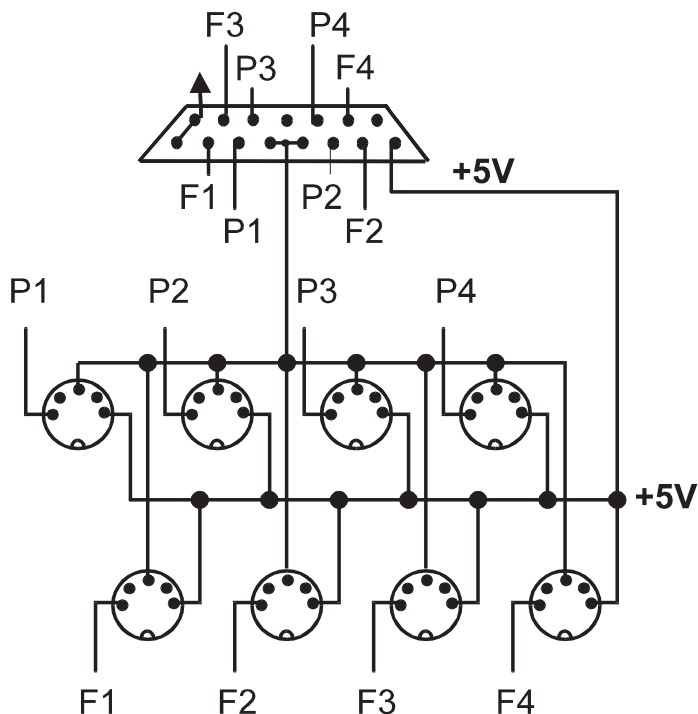


Abb. 12: Verdrahtung der Meßbox

## 6.2 Eine Messbox mit je vier Eingängen für Schalter und Potentiometer

Der Game-Port-Anschluss befindet sich in der Regel auf der Rückseite des Computers und ist deswegen relativ schlecht zugänglich. Ausserdem sind alle Anschlüsse für die Sensoren und Schalter über einen einzigen Stecker geführt. Jede spezielle Kombination verschiedener Sensoren muss also neu verlötet werden. Eine Messbox löst beide Probleme. Sie besteht aus einem Gehäuse, das auf der einen Seite mit einem 15-poligen D-Sub-Stecker versehen ist. Hier kann über ein handelsübliches Game-Port-Verlängerungskabel die Verbindung zur Rechner-Rückseite hergestellt werden. Auf der anderen Seite befinden sich die einzelnen Anschlüsse für die Sensoren und Schalter. Sie werden auf insgesamt acht Diodenbuchsen gelegt. Abb. 12 zeigt einen Verdrahtungsvorschlag. Die 5V-Leitung sollte auch an die Schalter-Buchsen gelegt werden, damit man, wie oben beschrieben, Gabellichtschranken oder Ähnliches anschließen kann. Jeder Sensor bekommt jetzt einen eigenen Diodenstecker und kann mit jedem anderen ohne löten zu müssen kombiniert werden.

Die Kosten für die Box liegen zwischen 15 und 20 DM, die für einen Sensor mit Kabel und Stecker um 5 DM. Für ca. 50 DM läßt sich die Messbox mit einem Satz unterschiedlicher Sensoren für die Physiksammlung herstellen. Alle verwendeten Bauteile sind handelsüblich und in Elektronikfachgeschäften oder über den Versandhandel erhältlich.

**Anmerkungen:**

- Das Experimentieren mit dem Game-Port ist für den Experimentator ungefährlich, da die Spannungen 5V nicht übersteigen. Der Computer kann dagegen beschädigt werden, wenn zwischen dem 5V-Anschluß und der Masse ein Kurzschluß entsteht oder wenn nicht erdfreie Spannungsquellen verwendet werden. Entsprechende Vorsicht ist daher geboten.
- Alle hier wiedergegebenen Schaltungen sind nach bestem Wissen ausgetestet. Trotzdem könnten Fehler in der Wiedergabe enthalten sein. Der Autor haftet nicht für Schäden, die aus einem Nachbau entstehen. Sollten sich beim Nachbau Probleme ergeben, so bietet der Autor seine Unterstützung zur Behebung der Probleme an.

**7 Literatur**

- [1] Messmer, H.-P.: PC-Hardwarebuch, Addison-Wesley (Deutschland) GmbH, S. 676 ff.
- [2] Köhler, A.: Kurzzeitmessungen mit dem PC-Gameport, FUNKAMATEUR, Theubeger-Verlag Berlin 1995, Heft 6, S. 1182 ff
- [3] ELEKTOR-Halbleiterheft 1995, Elektor-Verlag GmbH Aachen, S. 110 f.
- [4] Althaus, M., PC Profibuch, SYBEX-Verlag Düsseldorf 1990, S. 534 ff.
- [5] Tischer: PC intern 3.0, DATA BECKER GmbH Düsseldorf 1992, S. 631 ff
- [6] Wendt, A.: Computerunterstützte Wetterstation zum Selbstbau, Praxisheft 3 für Amateurfunk und Elektronik in Schule und Freizeit; Herausgeber: Arbeitskreis Amateurfunk und Telekommunikation in der Schule, Wolfgang Lipps, Sedanstraße 24, 31177 Harsum