

Einführung

Große, weithin leicht ablesbare Demonstrationsvielfachgeräte sind für den Physikunterricht unentbehrlich. Derartige Instrumente sind jedoch relativ teuer. Vergleicht man die Fähigkeiten solcher Geräte mit jenen kleiner Digitalmultimeter, wie sie heute im Elektronikhandel erstaunlich preiswert angeboten werden, so kommt einem unwillkürlich der Gedanke: Wie schön wäre es doch, wenn es einen Trick gäbe, solche Instrumente durchsichtig zu machen, so daß man sie einfach auf den Overheadprojektor legen könnte, um die Anzeige im Großformat darzustellen.

Wir sind diesem Gedanken nachgegangen und untersuchten die LCD-Anzeige einiger preiswerter Digitalmultimeter daraufhin genauer. Meistens ist die Rückseite einer LCD-Anzeige mit einer spiegelnden Metallfolie beklebt, die sich mit etwas Vorsicht abziehen läßt, so daß das Display durchsichtig wird. Einer Projektion der Anzeige ist aber dann immer noch das Unterteil des Instrumentengehäuses im Wege, in das man leider kein passendes Loch schneiden kann, da sich unter dem Display meistens noch Bauteile befinden. Man muß daher die LCD-Anzeige aus dem Gehäuse heraus nach außen verlegen. Dies ist schwierig, da ein solches Display je nach Ausführung 40 bis 80, meistens nicht

Ein projizierbares Digitalmeßgerät für vielerlei Zwecke

Zum Selbstbau

Helmut Dittmann; Jürgen Kretschmann; Werner B. Schneider

lötbare Kontakte besitzt. Die Kontakte sind dabei auf das Deckglas aufgedampft, wobei die Verbindung mit der Ansteuerelektronik durch aufgedrückte, leitfähige Gummistücke hergestellt wird.

Geeigneter ist ein im Elektronikversandhandel /1/ preisgünstig angebotenes 3 1/2-stelliges Digitalvoltmeter (Panelmeter), bei dem die Ansteuerelektronik und das Display zusammen mit einigen passiven Bauelementen auf einer kleinen Platine (68 mm x 50 mm) aufgebaut sind. Das Display sitzt in einem Sockel über der Ansteuerelektronik. Es ist mit 2 x 20 lötbaren Steckkontakten versehen und läßt sich leicht aus der Fassung hebeln, so daß die Reflexfolie zugänglich ist und vorsichtig entfernt werden

kann. Das Display ist auch einzeln erhältlich /1/. In einem Vorversuch wurde das Display über Drahtbrücken mit der Mutterplatine verbunden und mit einem Overheadprojektor projiziert und damit gleichzeitig einem Wärmetest ausgesetzt. Dabei zeigte sich, daß dieses Gerät die gewünschten Bedingungen erfüllt. Zur besseren Handhabung wurden allerdings noch einige Modifikationen durchgeführt, die im folgenden beschrieben werden. Außerdem werden noch charakteristische Anwendungsbeispiele angegeben, welche die Brauchbarkeit und Vielseitigkeit des entwickelten Projektionsdigitalmultimeters belegen.

Grundgerät

Mechanischer Aufbau

Als erstes ist es notwendig, das Display neben dem Panelmeter mechanisch stabil anzuordnen. Hierzu entwickelten wir eine Platine im Euro-Format (160 mm x 100 mm, s. Bild 1 und 5), auf der die notwendigen Leiterbahnen und die Aussparungen für das Display und für die Meßbereichsanzeige vorgesehen sind. Um die sonst notwendigen 80 Bohrungen zu vermeiden wurden die elektrischen Verbindungen in einer der SMD-Technik (Oberflächenmontage) nachempfundenen Weise hergestellt. Dazu sind die Leiterbahnen entsprechend breit ausgelegt. Zum Auflöten wird das Display vorsichtig aus dem Sockel gehoben, die Beinchen werden um 90° nach außen gebogen, das Display wird auf die zugehörigen Leiterbahnen gesetzt und so angelötet, daß die Schrift des Displays entgegengesetzt zu der auf der Platine orientiert ist (s. Bild 1). In den nun leeren Sockel des Panelmeters werden 2 x 20 gewinkelte Pfosten-

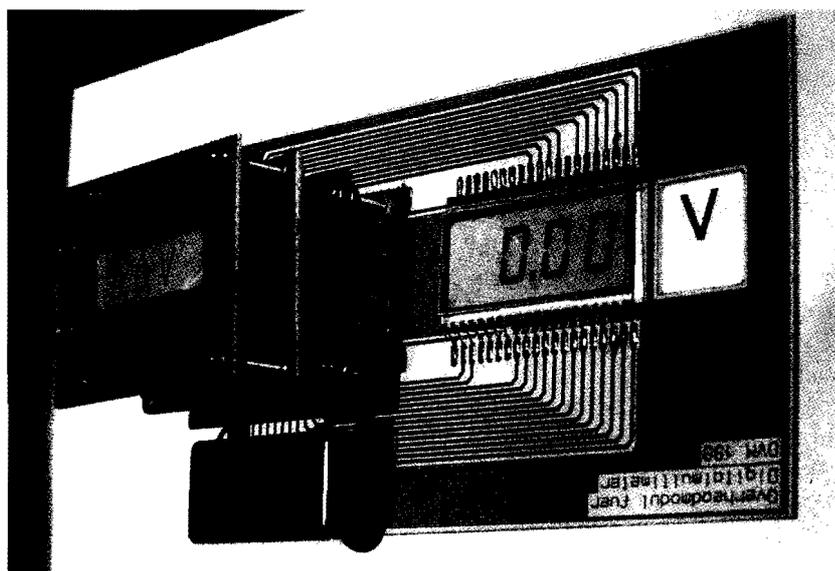


Bild 1 Foto des Grundgerätes mit aufgesetztem 20V-Meßmodul.

Die Platine des Panelmeters ist durch eine kupferkaschierte Deckplatte abgeschirmt, die eine 9polige Sub-D-Buchse trägt (Beschaltung s. Bild 3a) in die der Sub-D-Stecker des Moduls eingesteckt ist. Das Fenster neben dem Display dient zur Projektion der entsprechenden Einheit, die auf Folie geschrieben hier eingelegt wird. Die Unterseite der Platine ist mit 4 Gummifüßen bzw 4 Flecken aus Antirutschfolie versehen, damit die Projektionsfläche aus Glas nicht verkratzt wird und das Gerät fest aufsitzt.

verbinder eingesteckt, die es erlauben, dieses umgekehrt auf die entsprechenden Leiterbahnen der Platine zu löten (Orientierung: (M+), (M-) auf der Seite des Displays). Um das Panelmeter für die im folgenden beschriebenen Erweiterungen vorzubereiten und gleichzeitig eine Abschirmung zu erreichen, wird eine einseitig kupferkaschierte Epoxidharzplatte entsprechender Größe 68 mm x 50 mm im Abstand von ca. 15mm parallel zur Platine des Panelmeters mit der kaschierten Seite nach unten angebracht. Hierzu werden 4 Schrauben (M3 x 20) verwendet, für die im Panelmeter bereits Bohrungen vorgesehen sind. In diese Deckplatte ist eine 9polige Sub-D-Steckbuchse eingebaut, die mit den Anschlüssen des Panelmeters geeignet verbunden ist und diese für vielerlei Anwendungen von außen bequem zugänglich macht (Beschaltung siehe Bild 3a). Die kaschierte Seite ist mit dem (M-) Meßeingang verbunden. Auf diese Weise erhält man ein Grundgerät (s. Bild 1), dessen Anzeige projizierbar ist und das für Gleichspannungen bis 200 mV geeignet ist. Es läßt sich durch Aufsetzen geeigneter Module leicht für die im Unterricht erforderlichen Meßaufgaben erweitern.

Elektrische Eigenschaften

Aus dem Datenblatt zum Panelmeter entnimmt man folgende elektrische Eigenschaften: Die Analog-Digitalwandlung und die Steuerung des LCD-Displays werden von dem oft auch in preisgünstigen Digitalmultimetern verwendeten Baustein ICL 7106 durchgeführt. Der Anzeigebereich beträgt $\pm 199,9$ mV mit einer Auflösung von 0,1 mV und einer Meßgenauigkeit von 0,05%, die einer Abweichung von ± 1 Digit entspricht. Der Innenwiderstand ist größer als $1 \text{ G}\Omega$, die Abtastung erfolgt etwa dreimal pro Sekunde. Insgesamt verhält sich das Panelmeter wie ein Elektrometer, das für niedrige Spannungen geeignet ist. Der Eingang ist gegen Überspannungen bis ca. 30 V geschützt. Die Spannungsversorgung erfolgt mit einer 9 V Batterie, die Stromaufnahme beträgt ca. 2 mA. Über Drahtbrücken kann der Dezimalpunkt von außen definiert eingestellt werden.

Vor dem Eingang des Analog-Digital-Wandlers ist ein Tiefpaß nach Bild 2 geschaltet, der verhindert, daß kurze, die Grenzspannung überschreitende Spannungsimpulse an den Eingang gelangen.

Der hohe Eingangswiderstand des Analog-Digitalwandlers erfordert gegebenenfalls Maßnahmen gegen elektromagnetische Einstreuungen von außen. Sollten solche Störungen auftreten, so hilft meistens die Verwendung eines abgeschirmten Kabels, bei dem die Abschirmung mit dem (M-) Meßeingang verbunden ist. Die kupferkaschierte Schutzplatte über den Leiterbahnen des

Panelmeters ist ebenfalls mit (M-) verbunden und stellt bereits eine effektive Abschirmung dar, die vor allem bei Ladungsmessungen notwendig ist. In den Fällen, in denen Sensoren oder Quellen mit niedrigem Innenwiderstand R_{is} ($R_{is} \ll 1 \text{ G}\Omega$) verwendet werden, ist die Abschirmung in der Regel nicht notwendig.

Module zur Erweiterung des Anwendungsbereichs

Das beschriebene Grundgerät ist – bedingt durch den einzigen Meßbereich von 200 mV des Grundgeräts – im Unterricht nur begrenzt einsetzbar. Man muß daher Erweiterungen vorsehen, die eine Anpassung an die jeweilige Meßaufgabe ermöglichen. Auf der Suche nach nützlichen Erweiterungen sind wir die typisch im Physikunterricht anfallenden Meßaufgaben durchgegangen und haben festgestellt, daß man aufgrund der großen Genauigkeit, der hohen Auflösung und der eindeutigen Anzeige des Panelmeters bereits mit 6 charakteristischen Meßbereichserweiterungen auskommt. Es sind dies die Meßbereiche Spannungsmessung bis 20 V, Strommessung 2 nA und 2 A, Elektrometer, Thermometer und Wärmemeter.

Um den Aufbau der Meßbereichserweiterungen möglichst einfach zu halten, haben wir die zur jeweiligen Erweiterung notwendigen Beschaltungen des Grundgeräts in Modulen untergebracht, deren mechanischer Aufbau jeweils gleich ist und die mit Sub-D-Steckern auf die entsprechende Buchse des Grundgerätes aufgesetzt werden. Ein solches Modul besteht aus zwei kupferkaschierten Epoxidharzplatten, die in ihrer Größe der Deckplatte des Panelmeters entsprechen (68mm x 50mm x 2mm) und durch 4 Schrauben (M3 x 30) auf ca. 25 mm Distanz gehalten werden, so daß ein ausreichender Zwischenraum zur Aufnahme der Beschaltung zur Verfügung steht. Die untere Deckplatte enthält die Aussparung für den 9poligen Sub-D-Stecker. Die innen liegende Kupferschicht wird wieder mit dem (M-) Eingang bzw. dem Gehäuse der äußeren Abschirmung des Steckers verbunden. Die Meßeingänge, meistens genügen 4mm Einbaubuchsen, sind in die obere Deckplatte des Moduls montiert. Die Beschaltung der einzel-

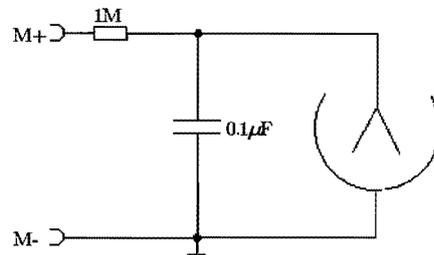


Bild 2 Äußere Beschaltung des Analog-Digital-Wandlereingangs (Wandler und Ansteuer Elektronik für die LCD-Anzeige befinden sich im Baustein ICL 7106) ($R = 1 \text{ M}\Omega$, $C = 0,1 \text{ mF}$, $R_i > 1 \text{ G}\Omega$)

nen Meßmodule zeigt schematisch Bild 3. Da das Display des Panelmeters keine Anzeige von Einheiten vorsieht, ist in der Grundplatine ein Fenster zur Projektion der jeweiligen Einheit frei gelassen, die auf Folie geschrieben hier eingefügt werden kann. Folgende Meßmodule haben wir bisher im Unterricht erprobt.

Hochempfindlicher Ladungsmesser und Elektrometermodul

Das Elektrometermodul stellt den direkten Zugang zum Panelmeter her. Es besitzt zwei 4 mm Eingangsbuchsen, die Brücke für den Dezimalpunkt des Grundmeßbereichs $\pm 199,9$ mV und die Brücke zum Einschalten des Panelmeters. Eine erste Erweiterung stellt das Modul zur Ladungsmessung dar (s. Bild 3b). Hier ist zusätzlich ein Taster eingebaut, über den der Kondensator C parallel zum Meßeingang kurzgeschlossen und entladen werden kann.

Durch eine Umkalibrierung wird das Elektrometer zum hochempfindlichen Ladungsmesser. Bringt man eine Ladung von 1 nAs auf den Kondensator C , so führt dies zu einer Spannung

$$U = Q/C = 10^{-9} \text{ As} / 10^{-7} \text{ F} = 10 \text{ mV},$$

die 100 Einheiten der Anzeige entspricht. Es bietet sich an, den Dezimalpunkt im Display so einzustellen, daß die Einheit 1 nAs auf 2 Stellen nach dem Punkt angezeigt wird. Bei dieser Kalibrierung können Ladungen im Bereich $\pm 19,99$ nAs bei einer Auflösung von 10 pAs gemessen werden. Diese hohe Auflösung entspricht weitgehend derjenigen von schulüblichen Geräten.

Ein Vorteil der hohen Empfindlichkeit ist, daß die in der Elektrostatik üblichen Ladungsmessungen bei Spannungen im V-Bereich durchgeführt werden können. Entladungen durch Kriechströme sind bei diesen kleinen Spannungen zu vernach-

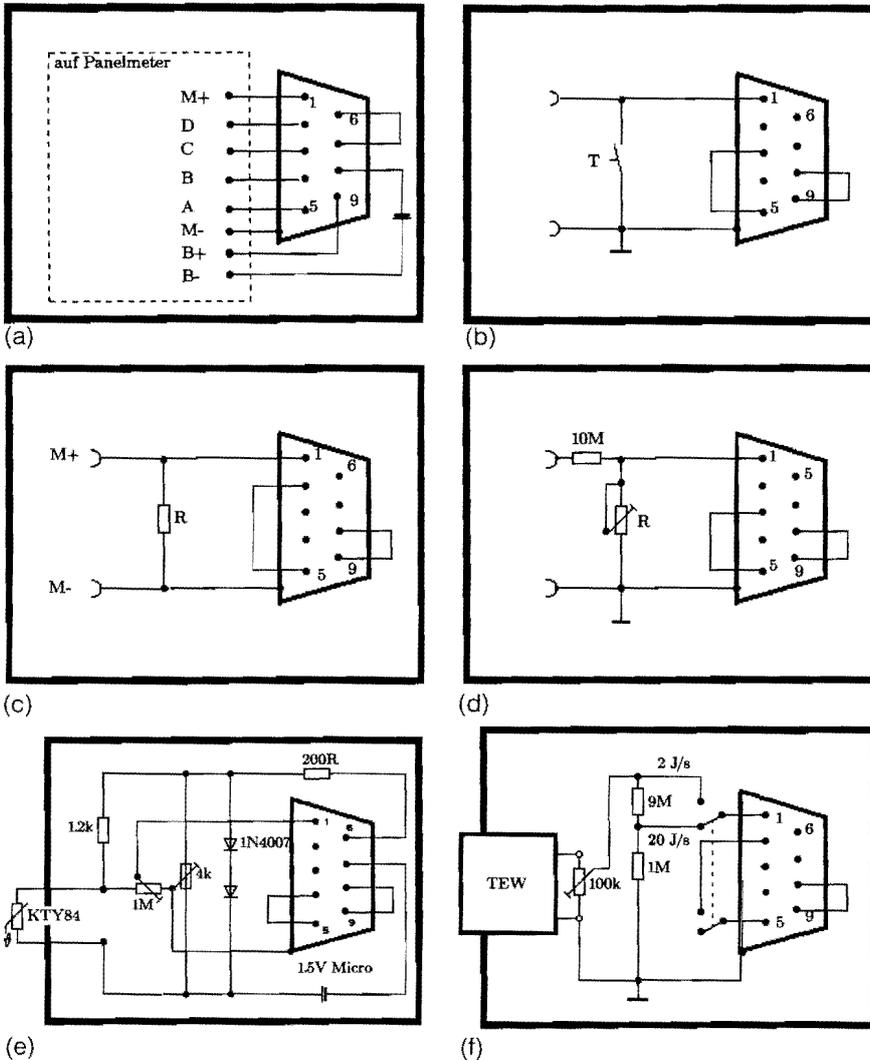


Bild 3 Zusammenstellung der im Text beschriebenen Erweiterungen

Der Rahmen deutet die Begrenzung der beiden kupferkaschierten Platten (68mm x 50mm x 2 mm) an, zwischen denen die elektronischen Bauteile der einzelnen Schaltungen angeordnet werden. Die in den Platten eingebauten Stecker oder Buchsen sind wie die elektronischen Bauelemente nur symbolisch angegeben.

(a) **Deckplatte des Panelmeters mit den an die Sub-D-Buchse geführten Anschlüssen des Panelmeters**

Der Meßeingang (M+) ist mit dem Pin Nr.1 verbunden, (M-) mit dem Gehäuse der Buchse (Bezugsmasse, Abschirmung!). Die Anschlüsse für die Dezimalpunktfestlegung (A bis D) sind an die Pins 5 bis 2 gelegt. Über die Brücke (Pin 6 und 7) kann ein aufgesteckter Meßmodul, der eine Spannungsversorgung benötigt, beim Aufsetzen eingeschaltet werden. Der gleiche Trick wird zum Einschalten des Panelmeters verwendet. Erst beim Aufsetzen eines mit einer Brücke zwischen Pin 9 und 8 versehenen Meßmoduls (Sub-D-Steckers) wird der Stromkreis zur Versorgung des Panelmeters geschlossen.

(b) **Meßmodul für das Nanocoulombmeter**

Es werden 4mm Einbaubuchsen für die Meßeingänge verwendet. Der Taster T parallel zu den Meßeingängen dient zum Entladen des Eingangskondensators im Panelmeter. Er ist ebenso wie die Buchsen in die Deckplatte eingebaut.

(c) **Strommeßmodul**

Der Shuntwiderstand beträgt beim Nanoamperemeter 10M Ω und beim 2A-Modul 0,1 Ω . Beim nA-Modul ist der Dezimalpunkt durch die Brücke (5-3) und beim 2A-Modul durch die Brücke (5 - 2) festgelegt. Für die Meßeingänge werden Telefonbuchsen verwendet.

(d) **Spannungsmeßmodul**

Um einmal den Vorteil des hohen Eingangswiderstandes (Panelmeter) auszunutzen und zum anderen die Empfindlichkeit gegen Einstreuungen klein zu halten, hat sich als Kompromiß ein Vorwiderstand von 10 M Ω als günstig erwiesen. Die eigentliche Meßspannung fällt am Widerstand R ab, der als Spindeltrimmer ausgelegt ist, so daß die Kalibrierung entsprechend einfach wird. Für den 20V Bereich ist R = 200 k Ω gewählt, der auf ca. 100 k Ω eingestellt wird.

(e) **Thermometermeßmodul**

Der Temperatursensor KTY 84 bildet zusammen mit dem Widerstand zur optimalen Linearisierung (1,2 k Ω) einen Ast einer Brückenschaltung. Der andere besteht aus einem verstellbaren Spannungsteiler (Spindeltrimmer 4 k Ω). Als Brückenwiderstand dient ein Spindeltrimmer (1M Ω) an dem die Meßspannung passend abgegriffen wird. Die Brücke wird über eine durch zwei Si-Dioden (1N4007) auf 1,2V stabilisierte Spannung versorgt. Zur Kalibrierung wird der Spannungsteiler 4k Ω bei einer mittleren Stellung des Brückenwiderstandes so eingestellt, daß bei 0°C die Meßspannung 0V beträgt. Bei der Temperatur 100°C soll die Anzeige dann 100,0 betragen, was durch den 1M Ω -Spindeltrimmer eingestellt wird. Danach muß die 0°C Einstellung noch einmal nachjustiert werden usw. Nach ca. 2 bis 3 Justierungen hat man eine optimale Einstellung erreicht.

(f) **Wärmemetermodul**

Die vom Peltierelement (TEW (thermoelektrischer Wandler)) gelieferte Spannung gelangt an die Meßeingänge über einen der Kalibrierung dienenden, verstellbaren Spannungsteiler (Spindeltrimmer, 100 k Ω) und über einen festen Spannungsteiler (9 M Ω und 1 M Ω), der eine Meßbereichumschaltung (2J/s bzw. 20 J/s) ermöglicht. Das Peltierelement ist über Telefonbuchsen angeschlossen.

lässigen. Allerdings hat die geringe Spannung den Nachteil, daß jetzt die zu messenden Ladungen so klein sind, daß sie bereits bei Berühren z.B. einer Kondensatorplatte mit einem Isolator durch Reibungselektrizität entscheidend verfälscht werden können. In dieser Hinsicht muß man also bei der Messung sorgfältig vorgehen. Auch müssen statische Störfelder, wie sie der Experimentator oft selbst verursacht, durch geeignete Erdungsmaßnahmen vermieden werden.

Die besonderen Eigenschaften dieses Elektrometers lassen sich z.B. anhand der Messung der Ladungen eines Plattenkondensators demonstrieren. Die Experimente dazu sind auch direkt auf dem Overheadprojektor durchführbar. Als Spannungsquelle genügt bereits eine Flachbatterie mit ca. 4,5 V, die zusammen mit dem Kondensator und dem Meßgerät auf die Projektionsfläche gestellt werden kann. Es empfiehlt sich, die eine Kondensatorplatte zu erden und mit dem (M-)Meßeingang zu verbinden. Wir haben die Platten übereinandergelagt und den Abstand über geeignete Kunststoffscheibchen eingestellt. Die Ergebnisse der Ladungsmessung bestätigten die vorausgerechneten Werte mit einem Fehler von weniger als 10%.

Grundsätzlich sind mit diesem Elektrometer und Nanocoulombmeter alle schulrelevanten Versuche zur Elektrostatik durchführbar.

Hochempfindliches Amperemeter

Bei diesem Modul (s. Bild 3c) wird der zu messende Strom, wie bei Strommessungen üblich, durch einen Shunt R geschickt, an dem die zur Stromstärke I proportionale Spannung U abfällt. Da die Spannungsmessung hier nahezu statisch geschieht, fließt der zu messende Strom praktisch vollständig durch den Shunt, auch wenn dessen Widerstandswert sehr groß gewählt wird, z.B. R = 10 M Ω .

Ein Strom von 1 nA ergibt dann an R die Spannung

$$U = 10^7 \Omega \cdot 10^{-9} A = 10mV,$$

also eine Anzeige von 100 Einheiten. Zum Umkalibrieren wird daher der Dezimalpunkt so eingestellt (Brücke: 5 - 7), daß die Einheit 1 nA auf zwei Stellen nach dem Punkt angegeben wird. Damit lassen sich bei dieser Kalibrierung Ströme im Bereich $\pm 19,99$ nA mit einer Auflösung von 10 pA messen.

Zu dem Nanoamperemetermodul sei ein einfacher Versuch beschrieben:

Aus zwei Blechstücken (Größe ca. 50 mm x 50 mm), die auf Isolatoren in 1 cm Abstand aufgestellt sind, wird eine einfache „Ionisationskammer“ aufgebaut. Der dann von einer Kerzenflamme hervorgerufene Ionisationsstrom kann leicht demonstriert werden, selbst wenn man als Spannungsquelle nur eine Flachbatterie (4,5 V) verwendet. Die gesamte Versuchsanordnung findet auf dem Overheadprojektor genügend Platz.

Amperemeter bis 2 A und Voltmeter bis 20 V

Es hat sich gezeigt, daß bei den typischerweise im Physikunterricht anfallenden Strom- oder Spannungsmessungen die Bereiche 2 A bzw. 20 V bereits ausreichen. Es wurden daher zunächst nur diese beiden Module aufgebaut, deren Schaltungen in Bild 3c und 3d angegeben sind. Im 2A-Strommeßmodul (Bild 3c) hat der Shunt den Wert $R = 0,1 \Omega$, und der Dezimalpunkt ist über die entsprechende Brücke auf drei Stellen nach dem Punkt eingestellt, so daß die Auflösung 1 mA beträgt. Das 20V-Spannungsmeßmodul (Bild 3d) besitzt am Eingang einen hochohmigen Spannungsteiler. Die zu messende Teilspannung wird an einem einstellbaren Widerstand zur einfacheren Kalibrierung abgegriffen. Der Dezimalpunkt ist so gesetzt, daß zwei Stellen nach dem Punkt angezeigt werden. Die Auflösung beträgt 10 mV.

Sollten diese beiden Meßbereiche dem jeweiligen Anwender nicht genügen, so lassen sich entsprechend auch andere Meßbereichserweiterungen vorsehen. Denkbar ist auch der Aufbau eines Multimodulmoduls bestehend aus geeignetem Spannungsteiler, Shuntwiderständen und einem Mehrebenenumschalter. Hinweise dazu findet man in der Beschreibung zum Panelmeter. In diesem Fall ist jedoch zu empfehlen, das Modul nicht direkt aufzusetzen, sondern über eine abgeschirmte Leitung mit dem Grundgerät zu verbinden, damit der Aufbau, an dem gemessen werden soll, nicht unmittelbar neben dem Overheadprojektor stehen muß.

Einfacher ist es, das Netzwerk und den Umschalter eines preiswerten Digitalmultimeters zu verwenden. Diese Multimeter sind meistens auch mit dem Baustein ICL 7106 ausgestattet, so daß man nur von den jeweiligen Eingängen des Multime-

ters die Verbindung zu den entsprechenden Eingängen des Projektionsgrundgeräts über ein abgeschirmtes Kabel herstellen muß.

Ein weiterer Vorzug des modularen Ausbaus besteht darin, daß auf diese Weise das Grundgerät an verschiedene Sensoren angepaßt werden kann. Durch geeignete Spannungsteiler kann die Kalibrierung so eingestellt werden, daß lästige Umrechnungen mit Proportionalitätsfaktoren entfallen. Hierzu werden im folgenden zwei Beispiele angegeben.

Elektrisches Thermometer

Das leidige Problem der Temperaturmessung im Demonstrationsunterricht ist ausreichend bekannt. Ein Quecksilberthermometer kann jeweils nur von einer einzelnen Person abgelesen werden, so daß es für Demonstrationen nur bedingt tauglich ist. Hier erweist sich das Grundgerät als nützlich, wenn man ein Meßmodul aufsteckt, das die Temperatur in einen Spannungswert umsetzt und die Kalibrierung $1 \text{ K} \approx 1 \text{ mV}$ verwendet. Wir haben dazu eine Schaltung erprobt, in der der preisgünstige Temperatursensor *KTY 84* (s. /1/) verwendet wird. Sein Widerstand nimmt mit wachsender Temperatur ab. Bei 100°C beträgt er etwa $1 \text{ k}\Omega$, bei 0°C etwa $0,5 \text{ k}\Omega$. Leider hängt der Widerstand nicht genau linear von der Temperatur ab. Es läßt sich jedoch durch eine einfache Beschaltung (z.B. in /2/) eine ausreichende Linearisierung erreichen, so daß die Abweichungen über den Bereich von 100 K höchstens $\pm 0,5 \text{ K}$ betragen, was für den Unterricht erträglich ist, insbesondere da es meist nur auf die Messung von Temperaturdifferenzen ankommt, wobei der Fehler noch viel kleiner wird. Bild 3e zeigt die von uns erprobte Schaltung.

Der ausgewählte Temperatursensor zeichnet sich durch eine geringe Wärmekapazität und Unempfindlichkeit gegenüber Stößen aus. Auch dazu ein einfacher Versuch, der die Umwandlung von Lageenergie in innere Energie zeigt.

Der Temperatursensor wird dazu in einen Kloß aus Knetgummi ($m \approx 100 \text{ g}$) eingebettet. Man wartet, bis die Temperatur konstant ist und läßt dann aus ca. 30 cm Höhe einen schweren Klotz, z. B. ein 5 kg-Stück, auf den Kloß fallen. Die angezeigte Temperatur steigt innerhalb ei-

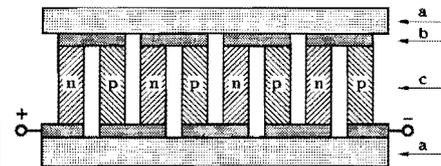


Bild 4 Querschnitt durch ein Peltiermodul (schematisch, nicht maßstabsgetreu). Gezeigt ist nur eine Lage der Thermoelemente aus p- bzw. n-dotierten Wismut-Tellurid-Stäben (c) und den Kontaktbrücken aus Kupfer (b). Die Kupferstäbe sind mit der dünnen ($d \approx 0,4 \text{ mm}$), elektrisch isolierenden, aber thermisch gut leitenden Keramikplatte (a) verbunden. Bei der eingezeichneten Polung hat die untere Keramikplatte eine höhere Temperatur als die obere. Die im Text erwähnten Zahlenwerte beziehen sich auf den Typ Cp 1.0-127-05L der Firma Melcor /4/ mit 127 Thermoelementpaaren und den Abmessungen $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$, der sich für die beschriebenen Experimente besonders eignet.

niger Sekunden um 0,2 bis 0,3 K. Mit einem Quecksilberthermometer kann dieser Versuch nicht durchgeführt werden.

Wärmemeter

Wärmeströme sind schwierig zu erfassen und zu messen. Geeignete Hilfsmittel stehen im Physikunterricht kaum zur Verfügung. Ein Peltierelement, das als thermoelektrischer Wandler (TEW) dient und über das wir bereits in /3/ berichtet haben, kann hier als Sensor Abhilfe schaffen. Im Elektronikfachhandel wird dieses Bauteil für die gezielte Kühlung elektronischer Bauteile angeboten (s. z. B. /4/). Darüber hinaus wandelt der thermoelektrische Wandler (TEW) Temperaturdifferenzen in Spannungen um. Diese Eigenschaft wird im folgenden bei der Messung von Wärmeströmen verwendet. Das gewählte Peltierelement (Bezugsquelle s. /4/) hat die Abmessungen $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ und ist im Querschnitt schematisch in Bild 4 dargestellt. Zwischen zwei dünnen Keramikplatten ($d \approx 0,4 \text{ mm}$) sind 127 elektrisch hintereinander, thermisch aber parallel geschaltete Thermoelementpaare untergebracht, so daß die einen Lötstellen mit der oberen Platte Kontakt haben, die anderen mit der unteren.

Die einzelnen Thermoelemente bestehen aus einem Halbleitermaterial, bei dem sich eine besonders große Seebeckkonstante ergibt. Wenn zwischen den beiden Keramikplatten eine Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ besteht, so ist bei dem in Bild 4 angegebenen Typ die resultierende Thermospannung /3/ $\Delta U = 48 \text{ mV/K} \Delta\vartheta$.

Eine Temperaturdifferenz von $1/100 \text{ K}$ zwischen beiden Platten des Wandlers führt also bereits zu einer Spannung von

0,48 mV, die mit dem Elektrometereinsatz zum Grundgerät leicht nachweisbar ist. Eine Differenz in dieser Größenordnung entsteht z.B. schon, wenn man über den thermoelektrischen Wandler, der mit Wärmeleitpaste z.B. auf ein Transistorkühlblech geklebt wurde, die warme Hand in 30 cm Abstand hält. Nachdem sich thermisches Gleichgewicht eingestellt hat, wird der Wandler ständig von einem in das Kühlblech hinein gerichteten Wärmestrom durchflossen. Die Temperaturdifferenz zwischen beiden Platten des Wandlers und damit auch die von ihm abgegebene Thermospannung ist gemäß der Wärmeleitungsgleichung proportional zu dem durchfließenden Wärmestrom. Die Thermospannung kann also als Maß für den Wärmestrom verwendet werden, der den Wandler durchfließt. Durch einen verhältnismäßig einfachen, auch für die Sekundarstufe I verständlichen Versuch kann man zeigen, daß bei dem ausgewählten Peltiermodul eine Spannung von 1 mV zu einem Wärmestrom von 8 mJ/s gehört (s. z. B. /3/). Die Umrechnung der Thermospannung in den entsprechenden Wärmestrom entfällt, wenn man einen geeignet eingestellten Spannungsteiler verwendet, so daß die Anzeige direkt in J/s erfolgt. Dieser Spannungsteiler wird zusammen mit den noch notwendigen Beschaltungen (s. Bild 3f) in einem Meßmodul untergebracht. Das Grundgerät wird dann in Verbindung mit dem thermoelektrischen Wandler und dem aufgesteckten Modul zu einem Meßgerät für Wärmeströme – sprich Wärmemeter. Auch dazu eine einfache Anwendung.

Wir stellten die Aufgabe, den Wärmestrom zu bestimmen, der durch die gesamte Fensterfront (Isolierglas) eines Klassenraums nach außen floß. Hierzu wurde das Peltiermodul mit Wärmeleitpaste an ein Fenster geklebt. Bei einer Außentemperatur, die 20 K unter der Innentemperatur lag, wurde ein Wärmestrom von 50 mJ/s angezeigt, der durch die 9 cm² große Fläche des Thermomoduls den Klassenraum verließ. Hieraus konnte zusammen mit der vorher abgeschätzten Fläche der Fensterfront der durch die gesamte Fensterfront entweichende Wärmestrom berechnet werden. Der Wärmewiderstand des Thermomoduls wurde dabei nicht berücksichtigt, da er gegenüber dem der Isolierverglasung vernachlässigbar klein ist.

Gerade zu Wärmeleitung und Wärmestrahlung lassen sich mit der einfa-

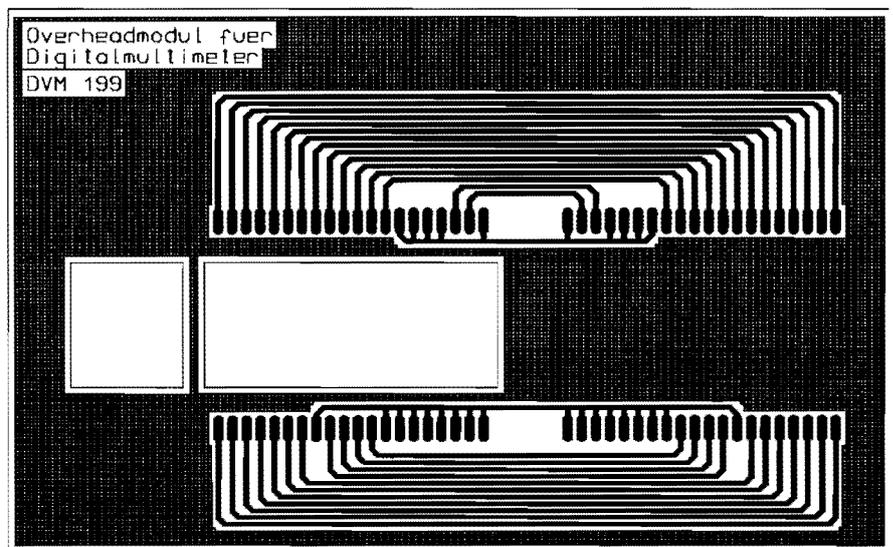


Bild 5 Platinenlayout

(Euroformat 100mm x 160mm, Rastermaß 2,54mm)

Bei einer eventuell notwendigen Rückvergrößerung muß man so weit vergrößern bis die angegebenen Maße erreicht werden. Das Layout kann auch unter der unten angegebenen Adresse als Kopie vom Original angefordert werden. (Achtung beim Zusammenbau: die Schrift des Displays ist entgegengesetzt zu der der Platine orientiert, wie in Bild 1 zu erkennen ist).

chen und preiswerten Anordnung viele interessante Versuche durchführen, die das sonst oft etwas trockene Gebiet der Wärmelehre mehr in die Nähe des Alltags bringen können. Beispiele dazu findet man in /3/.

Zusammenfassung

Das hier vorgestellte projizierbare Digitalvoltmeter ist im Physikunterricht vielseitig einsetzbar. Schon das Grundgerät allein kann als Elektrometer und als Nanocoulombmeter wichtige Meßaufgaben erfüllen. Es kann über die beschriebenen Anwendungsbeispiele hinaus noch im Zusammenhang mit dem Einsatz weiterer Sensoren wie Hall-Sonde, Dehnungsmeßstreifen, Piezoelement, Druck- oder Gassensor usw. (Bezugsquellen siehe z.B. /1/) wertvolle Hilfe leisten.

Der Aufbau des Grundgerätes ist mit Hilfe eines im Elektronikhandel erhältlichen Panelmeters und der von uns entwickelten Platine auch für Ungerübte leicht durchzuführen. Ein entsprechender Bausatz ist, solange der Vorrat reicht, unter der angegebenen Adresse zum Selbstkostenpreis (ca. 60 DM) erhältlich. Für diejenigen, die sich die Platine selber herstellen möchten ist das Layout in Bild 5 angegeben.

Die hier vorgeschlagene Lösung für ein projizierbares Digitalvoltmeters stellt einen praktikablen Weg dar.

Wir sind jedoch sicher, daß auch noch andere Lösungen für die Gestaltung des Grundgeräts bzw. der Meßmodule möglich sind. Unter diesen Gesichtspunkten ist der beschriebene Weg nur als Anregung für eigenes Tun oder auch für Facharbeiten oder Arbeitsgemeinschaften zu verstehen.

So ist auch der Vorschlag eines Kollegen zu verstehen, die Spannungsversorgung mit Hilfe von Solarmodulen zu bewerkstelligen, die auf der Rückseite der Platine angebracht werden.

Literatur

- /1/ Conrad Electronic, Klaus-Conrad-Str. 1, 92240 Hirschau, (Katalog für 1995). – LCD-Panelmeter 199. – Best. Nr. 19 66 90-33 (ca. 30 DM). – LCD-Anzeige (Ersatz) Best. Nr. 185663-33 (ca. 10 DM). – KTY 84 Best. Nr. 183458-33 (ca. 3 DM)
- /2/ Tietze-Schenk: Halbleiterschaltungstechnik. – Springer Verlag. – Heidelberg, 1991
- /3/ Dittmann, H.; Schneider, W. B.: Der Wärme auf der Spur – Ein Beitrag zur Wärmelehre in der Sekundarstufe I. – In: MNU 45 (1993)6. – S. 397 – 403
- /4/ Bezugsquelle für das Peltierelement Typ Melcor Cp 1.0-127-05L: Firma AMS Electronic GmbH, Albrechtstraße 14, 80636 München

Dr. Helmut Dittmann,
Jürgen Kretschmann,
Prof. Dr. Werner B. Schneider
Universität Erlangen-Nürnberg
Physikalisches Institut, Didaktik der Physik
Staudtstr. 7, 91058 Erlangen