

## Ergänzung zum Beitrag in FA 10/16, S. 930 f. „Hochohmiger Tastkopf für Voltmeter und Oszilloskop“

Die Doppeldiode VD1 in SMD-Bauform wird als einziges Bauelement auf der Leiterseite eingelötet. Das Gehäuse des Tastkopfs ist aus passend zugeschnittenen Stücken FR4-Leiterplattenmaterial zusammengelötet, siehe Bild 5. Bild 6 zeigt, dass später alle sechs Gehäuseseiten elektrisch miteinander und mit Masse verbun-

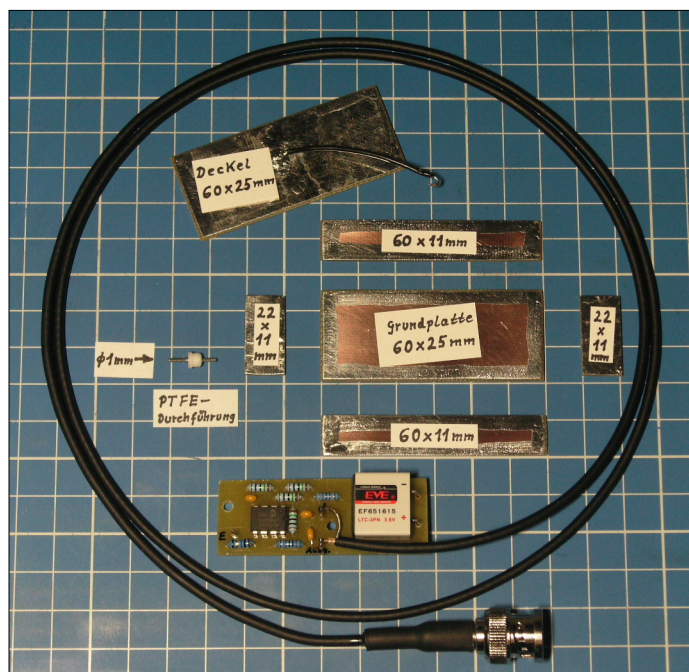
genschreiber-Spiralfeder sowie eine PTFE-Hülse samt Scheibe Verwendung.

### ■ Versuche mit Silizium-Fotodioden

Für die folgenden Messungen wurden eine 20 mm × 20 mm große Solarzelle von [www.hupra.com](http://www.hupra.com) sowie eine Fotodiode

Für deren rückwirkungs- und damit fehlerfreie Messung ist der im Beitrag beschriebene sehr hochohmige Tastkopf notwendig.

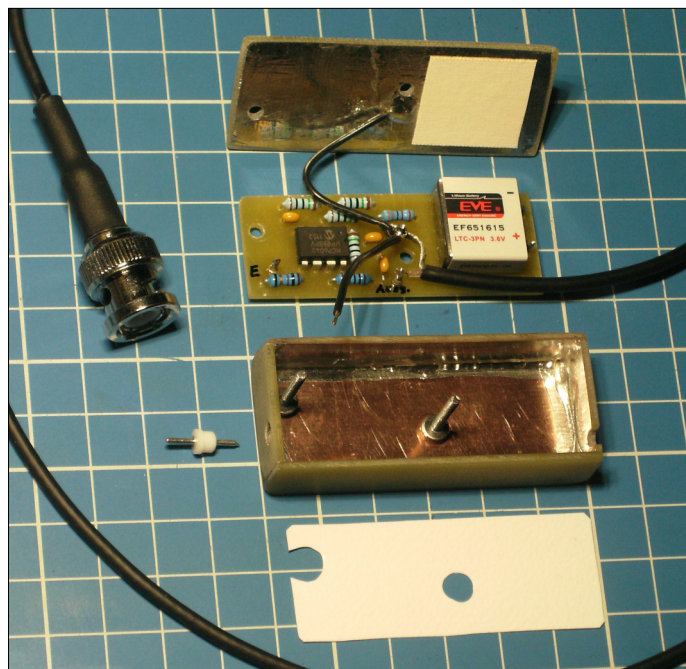
Eine kleine 12-V-Glühlampe mit 5 W beleuchtete die nacheinander an den Tastkopfeingang angeklebten Testobjekte. Ein Multimeter diente zur Messung der Ausgangsspannung. Um 50-Hz-Brummeinstreuungen zu dämpfen, lag unter dem Versuchsaufbau eine mit Masse verbundene Metallplatte. Es ergaben sich die Messwerte in Tabelle 3.



**Bild 5:**  
Gehäusewände  
vor dem  
Zusammenlöten

den sind. Vor dem Einsetzen und Anschrauben der Platine ist die Isolierfolie unterzulegen. Der kleine PTFE-isolierte 1-mm-Kontakt wird danach durch das Loch an der linken Stirnseite gesteckt und an den Lötangel *Eingang* der Platine gelötet, wodurch er in axialer Richtung fixiert ist. Eine der beiden M2-Schrauben, die über die Zahnscheiben Kontakt zur Massefläche haben, dient nach dem Aufsetzen des Deckels auch als Basis zur Befestigung der in Bild 2 des Beitrags sichtbaren Masseleitung.

Die in Bild 7 erkennbaren 1-mm-Buchsen sind passend zum PTFE-isolierten Kontakt des Tastkopfs ausgewählt. Durch einen angelöteten 1-M $\Omega$ -Widerstand mit vorn zugespitztem Drahtende entsteht nach dem Überziehen mit Schrumpfschlauch eine Messspitze. Diese Messspitze isoliert die Eingangskapazität der Schaltung von sensiblen Messpunkten in schwinganfälligen HF-Schaltungen, wie schon im Beitrag ausgeführt. Für die Klemmprüfspitze in Bild 7 fanden zusätzlich eine M3-Unterlegscheibe, eine Ku-



**Bild 6:**  
Teile vor der  
Montage

BPW34 mit 2,71 mm × 2,71 mm aktiver Fläche getestet. Selbstverständlich kann die Solarzelle mit ihrer über 50-fach größeren Fläche bei hellem Licht auch etwa 50-mal mehr Strom generieren, sei es im Kurzschlussbetrieb (für Messzwecke üblich) oder bei etwa 0,45 V Arbeitspunkt (Photovoltaik-Anwendung). Aufschlussreich ist aber auch die Höhe der Leerlaufspannung bei stark variierender Helligkeit.

**Tabelle 3:**  
Messwerte des Versuchsaufbaus

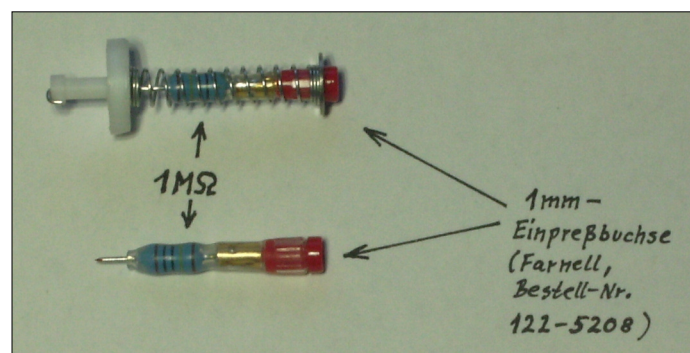
Abstand <sup>1)</sup>	Leerlaufspannungen der Solarzelle	der Fotodiode
2 cm	500 mV	520 mV
10 cm	380 mV	370 mV
20 cm	180 mV	320 mV
40 cm	44 mV	280 mV
80 cm	11,5 mV	250 mV
160 cm	2,4 mV	210 mV

<sup>1)</sup> zwischen Glühfaden und Testobjekt

Bei großer Helligkeit sind die Spannungen ungefähr gleich groß. Die Abstandsverdoppelungsschritte, die die Beleuchtungsstärke jeweils um den Faktor 4 reduzieren, lassen bei der Solarzelle alsbald eine Spannungsverringern in Schritten von ebenfalls etwa 4:1 erkennen. Der ungefähr lineare Zusammenhang entspricht einem Ersatzschaltbild aus idealer Fotodiode mit parallelem Shunt. Dieser ist im Idealfall unendlich groß, bei realen Solarzellen technologiebedingt aber leider oft recht gering. Die daraus aufgebauten Photovoltaik-Paneele verfügen dann ebenfalls (herstellerabhängig) über eine unterschiedliche sogenannte Schwachlichttauglichkeit. Ein diesbezüglich schlechtes Modul mag dann zwar unter der Sonne Spaniens einen ausgezeichneten Ertrag bringen, hat bei dem hiesigen oft wolkigen Himmel aber nur einen geringen Wirkungsgrad – das

wenige Licht wird auch noch schlecht genutzt.

Im Gegensatz zur Solarzelle weist die Fotodiode einen etwa logarithmischen Zusammenhang zwischen Lichtleistung und Leerlaufspannung auf, in Übereinstimmung mit dem theoretischen Modell. Die Schwachlichttauglichkeit ist sehr gut. Für Zwecke der Energiegewinnung in Räumen (engl. *indoor energy harvesting*) sind



Fotodioden also durchaus geeignet. Um die Grenzen der BPW34 auszuloten, habe ich diese mittig auf dem Boden einer mit schwarzem Velourspapier ausgekleideten und mit Masse verbundenen Metalldose mit 50 mm Durchmesser und 50 mm Höhe platziert. Eine nächtliche Messung bei klarem Sternenhimmel (nebst dem am Stadtrand unvermeidlichen Streulicht) ergab immerhin noch 50 mV Leerlaufspannung, die nach dem Abdecken der Dose mit schwarzer Pappe auf 0,8 mV zurückgingen.

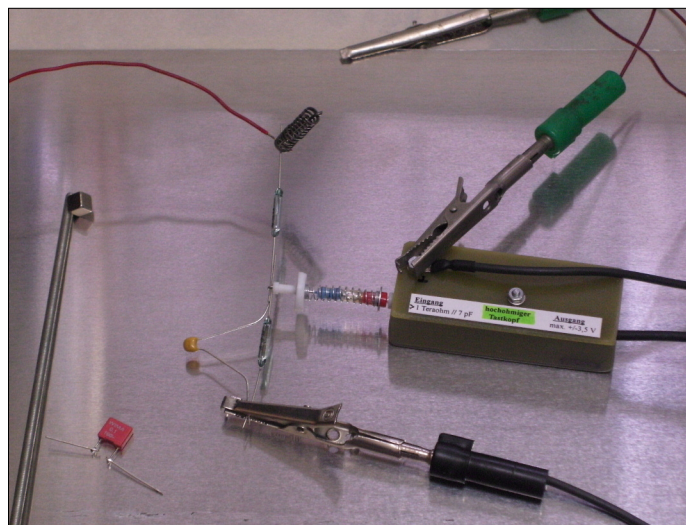
Die Möglichkeit, mit einer Silizium-Fotodiode im Leerlauf äußerst geringe Lichtleistungen registrieren zu können, findet im Amateurbereich mitunter zur optischen Signalübertragung Verwendung, wie in [5] instruktiv und ausführlich beschrieben wird.

## ■ Messungen zur dielektrischen Nachwirkung

In einem geladenen Kondensator orientieren sich die Moleküle des Dielektrikums dipolartig in Feldrichtung und speichern Energie. Nach dem Entladen sollte diese Orientierung im Mittel wieder zu Null werden. Leider tut sie dies, je nach Material, nicht vollständig. Das Entladen des Kondensators stellt dann keinen kompletten Rücksetzvorgang dar, sondern die „Vorgeschichte“ bleibt noch eine Zeitlang erhalten. Bei HF-Abblockkondensatoren ist das egal; bei Abtast-Halteschaltungen (engl. *sample-and-hold*), Integratoren oder Tieffrequenz-Filtern stört der Effekt der dielektrischen Nachwirkung (engl. *dielectric absorption*) aber oft gravierend. Seine Messung erfolgt nach der Norm EN 60384-1: Nennspannung für 1 h an Kondensator anlegen, dann 10 s lang kurzschlie-

ßen. Nach 15 min Wartezeit messen, auf welchen Prozentsatz der Spannung eine selbständige Wiederaufladung erfolgt. Alternativ ist die *alternate production test method* aus der MIL-PRF-19978 nutzbar, mit Zeiten von 5 min, 5 sec und 1 min. Um solche Messungen auch an kleinen Kondensatoren im Nanofarad-Bereich durchführen zu können, müssen sie sehr hochohmig erfolgen. In Bild 8 ist der ver-

**Bild 7:**  
kapazitätsarme  
Messspitzen



**Bild 8:**  
Aufbau zur  
Messung der  
dielektrischen  
Nachwirkung  
Fotos: Franke

wendete Aufbau erkennbar. Der zu testende Kondensator ist zwischen Eingang und Masse des Tastkopfs angeschlossen. Ein paralleler Reedkontakt dient zur Entladung, ein zweiter Kontakt zur Aufladung. An dem roten Draht liegen 3 V. Die Betätigung der Kontakte erfolgt durch Annähern eines Neodymmagneten, links im Bild 8 sichtbar.

Die untergelegte und mit Masse verbundene Metallplatte bewirkt wieder eine gewisse Abschirmung von 50-Hz-Brumm aus der Umgebung. Das Tastkopf-Ausgangssignal wird ständig mittels Oszilloskop erfasst. Weil einige Messwerte nur

wenige Millivolt betragen, wurde der Tastkopffoffset (siehe Tabellenkalkulationsdatei in der Ergänzung) von allen Werten subtrahiert. Die in Tabelle 4 beschriebene Tests bieten einen ersten Überblick über das Verhalten von Kondensatoren mit unterschiedlichem Dielektrikum.

Die Ergebnisse stimmen mit der Faustregel überein, dass NP0-Keramik-kondensatoren und Polypropylen-Ausführungen bezüglich geringer dielektrischer Absorption sehr gut abschneiden und daher für Abtast-Halteschaltungen und vergleichbare Prä-

zisionsanwendungen zu bevorzugen sind. Als zum Teil noch besser gilt das Dielektrikum PTFE. Für Glimmer lassen sich unterschiedliche Angaben finden. Es lohnt sich also, bei der Entwicklung anspruchsvoller Schaltungen auch die Kondensatoren sorgfältig auszuwählen und gegebenenfalls vorher entsprechende Messungen anzustellen, wozu ein sehr hochohmiger Tastkopf, wie der im Beitrag vorgestellte, geeignet ist.

## Literatur

[5] Yurek, J., K3KQV: A Low Noise PIN diode Laser Receiver; [www.k3pgp.org/frontend1.htm](http://www.k3pgp.org/frontend1.htm)

**Tabelle 4: Testreihen**

Test	Kondensator	Testdurchführung, Resultat
1	1 nF Keramik, NPO	30 s an 3 V gelegt, dann 30 s Ruhezeit (beide Reedkontakte offen), 1 s lang kurzgeschlossen. Nach 1 min haben sich 1 mV neu aufgebaut, der Wert steigt aber in Folge kaum noch an.
2	1 nF Polyester, MKT	wieder 30 s laden, 30 s Ruhe, 1 s Kurzschluss. 2 min danach sind 5,8 mV messbar.
2a	1 nF Polyester, MKT	wie Test 2, jedoch 30 s Kurzschlussdauer, Ergebnis: Keine erkennbare Wiederaufladung.
3	10 nF Keramik, X7R (?)	mit 1 s Kurzschlussdauer erfolgt Wiederaufladung auf 243 mV nach 2 min
3a	10 nF Keramik, X7R (?)	wie Test 3, jedoch 30 s Kurzschluss; Ergebnis: noch 85 mV innerhalb der folgenden 2 min erreicht.
4	10 nF Polyester (MKT)	mit 1 s Kurzschluss 7,9 mV nach 2 min
4a	10 nF Polyester (MKT)	wie Test 4, jedoch 30 s Kurzschluss, Ergebnis: noch 2,7 mV
5	10 nF Polycarbonat	mit 1 s Kurzschluss 4 mV nach 2 min
5a	10 nF Polycarbonat	wie Test 5, jedoch 30 s Kurzschluss, Ergebnis: noch 1 mV
6	10 nF Polypropylen	mit 1 s Kurzschluss 0,9 mV nach 2 min
6a	10 nF Polypropylen	wie Test 6, jedoch 30 s Kurzschluss, Ergebnis: nichts mehr messbar