



# Akku-Kapazitäts-Meßgerät AKM 7000

*Ein besonders günstig aufzubauendes Kapazitäts-Meßgerät sowohl für NC- als auch für Bleiakkus bei komfortabler Bedienung stellen wir in diesem Artikel vor.*

## Allgemeines

Die Leistungsfähigkeit von Akkus, egal, ob es sich hierbei um Blei- oder NC-Akkus handelt, ist nicht durch Messen der Spannung zu bestimmen. Deshalb kommt einem Kapazitäts-Meßgerät für diesen speziellen Anwendungsfall große Bedeutung zu, denn auch für Akkupacks gilt die allgemein bekannte Tatsache: „Eine Kette ist nur so stark wie ihr schwächstes Glied“.

Mit dem hier vorgestellten Akku-Kapazitäts-Meßgerät AKM 7000 kann auf einfache Weise die genaue Kapazität einer jeden Zelle bestimmt und so eine optimale Zusammenstellung von Akkupacks vorgenommen werden. Hierdurch wird unter anderem die Betriebssicherheit der zu speisenden Geräte wesentlich mitbestimmt. So kann ein vorzeitig seinen Dienst versagendes Funkgerät oder ein unvermittelt ausfallender Fernsteuersender größeren Schaden anrichten, was wiederum durch einwandfreie Akkus zumindest in punkto Stromversorgung vermeidbar ist.

Im Verlauf eines Akkulebens können sich speziell bei NC-Akkus sogenannte Grenzschichten bilden, die unter anderem durch Teilentladung und vorzeitiges Wiederaufladen entstehen können. Auch hier gibt das AKM 7000 Auskunft über die tatsächlich noch vorhandene Kapazität. Wird der betreffende Akku wieder geladen und

ein erneuter Test zeigt ein Ansteigen der Kapazität, kann durch Wiederholung des Lade-/Entladevorgangs zum Teil eine deutliche Regeneration erreicht werden. Auf diese „Wiederbelebung“ von NC-Akkus gehen wir im weiteren Verlauf dieses Artikels noch näher ein.

## Grundlagen

Die Akku-Kapazität wird in „Ah“ (Ampere-Stunden) angegeben. Hierbei bezieht man sich im allgemeinen auf eine Entladedauer von 10 h, bei einem Entladestrom I/10, d. h. der fließende Strom beträgt 10 % der Nennkapazität.

Die von einem Akku speicherbare Ladung hängt neben den grundsätzlichen physikalisch/baulichen Gegebenheiten unter anderem von der Temperatur und der tatsächlich fließenden Stromstärke ab. Hierbei gilt vereinfacht folgende Tendenz:

1. Je niedriger die Temperatur, desto geringer die entnehmbare Ladung, wobei auch sehr hohe Temperaturen die Kapazität mindern.
2. Je größer der Belastungsstrom, desto geringer die entnehmbare Ladung.

Basierend auf den beiden vorstehenden Punkten ist es leicht verständlich, daß an kalten Wintertagen die Ladung eines ansonsten leistungsfähigen Bleiakkus beim Startvorgang schnell erschöpft ist, da sowohl die Temperatur als auch der extrem hohe Anlasserstrom die tatsächlich

vorhandene Kapazität ganz entscheidend reduzieren.

Bleiben wir an dieser Stelle gleich bei den Bleiakkus und deren Behandlung. Bleiakkus, mit einer Nenn-Zellenspannung von 2,0 V, werden wegen ihres günstigen Preis-Leistungs-Verhältnisses nach wie vor für unterschiedlichste Zwecke gerne eingesetzt, so im Videobereich bei zahlreichen Camcordern oder auch im Modellbau zum Antrieb der E-Motore von Schiffsmotoren o.ä.

Damit Bleiakkus über viele Jahre ihren Dienst tun können, ist es jedoch erforderlich, daß einige Grundregeln in deren Umgang beachtet werden: Zum einen sollten Bleiakkus niemals tiefentladen werden, d. h. der Zusammenbruch der Zellenspannung ist unbedingt zu vermeiden. Sobald nämlich die Ladung vollkommen erschöpft ist, beginnt unmittelbar ein rasch fortschreitender Zerfallsprozeß im Inneren des Akkus, was bei sogenannten Starterbatterien bereits nach wenigen Stunden zur völligen Zerstörung führen kann. Ein weitgehend entladener Akku muß daher unmittelbar wieder geladen werden. Günstig ist es, wenn Bleiakkus eine gewisse Restladung behalten und anschließend gleich wieder voll geladen werden. Dies wird z. B. im Camcorderbereich zumeist recht treffend dadurch realisiert, daß die Camcorder beim Erreichen einer bestimmten Entladeschlussspannung automatisch abschalten. Bleiakkus sollten dann allerdings umgehend wieder

voll aufgeladen werden.

Ein weiterer Punkt im Umgang mit Bleiakkus stellt die Plattenverhärtung dar. Je nach Akkutyp und Bauform kann es beim längeren Lagern zu einer Plattenverhärtung und Passivierung kommen, selbst wenn der betreffende Akku immer wieder nachgeladen oder mit einer Erhaltungsladung beaufschlagt wird. Hier empfiehlt es sich, in einem Zyklus von einem Monat auch bei nicht benutzten Akkus einen vollständigen Entlade-/Ladezyklus zu durchführen, wodurch die Kapazität erhalten bleibt.

NC-Akkus mit einer Nenn-Zellenspannung von 1,2 V zeichnen sich unter anderem durch einen sehr geringen Innenwiderstand aus und sind vergleichsweise robust und recht unempfindlich gegen unterschiedlichste Beanspruchungen. So können diese Zellen langfristig gelagert werden - egal, ob sie vollgeladen oder entladen sind.

Knopfzellen aus denen auch die 7zellig 9 V-Blockakkus aufgebaut sind, zeichnen sich unter anderem durch eine vergleichsweise geringe Eigenentladung aus, die bei ca. 50 % pro Jahr liegt (nach 2 Jahren stehen somit immer noch 25 % Ladung zur Verfügung). Im Gegensatz dazu liegt die Selbstentladung der allgemein bekannten Rundzellen (Mono, Baby, Mignon...) bedeutend höher. Diese Zellen sind nach rund 43 Monaten auch ohne Benutzung nahezu leer. Dieses geänderte Verhalten beruht auf dem unterschiedlichen inneren Aufbau.

Werden NC-Akkus nach längerer Pause aufgeladen, so kann zunächst die maximal entnehmbare Ladung beträchtlich unter der Nennkapazität liegen. Nach Durchlaufen einiger Entlade-/Ladezyklen steht jedoch alsbald wieder die ursprüngliche Kapazität zur Verfügung.

Damit man stets die optimale Akkukapazität bei NC-Akkus zur Verfügung hat, ist zudem der sogenannte Grenzschichteneffekt zu berücksichtigen. Je nach Akkutyp kann sich nämlich eine kapazitätsmindernde Grenzschicht bilden, wenn ein NC-

Akku nur teilentladen und anschließend wieder voll aufgeladen wird. Wird bei diesen Akkutypen des öfteren so verfahren, d. h. der Akku nicht ganz entladen, kann sich der Grenzschichteneffekt so ausprägen, daß der Akku unbrauchbar wird. Durch mehrmaliges definiertes Entladen unter Nennbedingungen und anschließendes Wiederaufladen können die Grenzschichten zum Teil wieder recht gut abgebaut werden, wodurch sich die Kapazität nennenswert in Richtung ursprünglicher Werte steigern läßt. Hierauf gehen wir unter dem Kapitel „Akku-Regeneration“ noch näher ein.

Abschließend noch kurz einige Worte zur Akku-Kapazität selbst. Wie eingangs bereits erwähnt, spielt der Entladestrom hierbei eine wesentliche Rolle. Wird ein 4 Ah-Akku mit 0,4 A entladen kann dieser Strom 10 h fließen, bis die Ladung erschöpft ist ( $0,4 \text{ A} \times 10 \text{ h} = 4,0 \text{ Ah}$ ). Läßt man hingegen einen Entladestrom von 4 A fließen, müßte theoretisch eine Zeitspanne von 1 h überbrückbar sein ( $4 \text{ A} \times 1 \text{ h} = 4 \text{ Ah}$ ). Dies ist in der Praxis jedoch nicht der Fall, sondern die entnehmbare Ladung sinkt bei einem entsprechend großen Stromfluß ganz erheblich ab (ca. um 20 % bis 50 %). Bei besonders hohen Strömen, die den Akku innerhalb von wenigen Minuten entleeren, ist teilweise sogar weniger als 20 % der Nennladung entnehmbar.

Andererseits steigt die entnehmbare Ladung bei geringeren Entladeströmen. Auf unser Beispiel des 4 Ah-Akkus bezogen würde eine 20stündige Entladung einen Strom von 200 mA bedeuten ( $0,2 \text{ A} \times 20 \text{ h} = 4 \text{ Ah}$ ). Praktisch jedoch wird ein Entladestrom von 200 mA länger als 20 h fließen können (21 h, vielleicht sogar 22 h), da die verfügbare Kapazität bei diesen Strömen größer ist. Dies gilt für NC- und Bleiakkus gleichermaßen.

Seit einigen Jahren wird der vorstehend beschriebene Umstand werbetechnisch von der Industrie geschickt genutzt, indem vielfach die Kapazität von Starterbatterien nicht mehr wie früher üblich auf eine 10stündige Entladung, sondern auf eine

20stündige Entladung bezogen wird. Trug ein 12 V-Autoakku früher die Bezeichnung „12 V/44 Ah“, kann sich auf wunderbare Weise bei exakt dem gleichen Typ die Bezeichnung in „12 V/48 Ah“ geändert haben. Die Angabe ist durchaus korrekt - allerdings nur durch die Tatsache, daß dieser Kapazität eine 20stündige und nicht wie vormals eine 10stündige Entladung zugrundegelegt ist. Größere Werte lassen sich eben besser verkaufen. Wie sonst ist es auch zu erklären, daß im Kfz-Bereich die Umstellung von PS auf KW manchem Hersteller so schwerfällt („100 PS“ klingt eben besser als „74 KW“).

Von einigen (werbetechnischen) Sonderfällen einmal abgesehen, werden bei der Angabe von Akku-Kapazitätswerten jedoch üblicherweise (und auch sinnvollerweise) Entladungszeiten von 10 h zugrundegelegt. Hierauf ist auch das ELV-Akku-Kapazitäts-Meßgerät AKM 7000 ausgelegt.

## Bedienung und Funktion

Das AKM 7000 ist für die Messung der meisten handelsüblichen NC- und Bleiakkus ausgelegt, deren Kapazitäten sich im Bereich zwischen 0,11 Ah (z. B. 9 V-Blockakku) und 4,0 Ah (Monozelle) bewegen. Es sind sowohl einzelne Zellen als auch Akkupacks anschließbar. Die kleinste Spannung stellt somit eine einzelne NC-Zelle mit 1,2 V bereit, während die größte vom AKM 7000 zu verarbeitende Spannung einem 12zelligen Bleiakku mit rund 24 V ( $12 \times 2 \text{ V} = 24 \text{ V}$ ) entspricht. Kommen wir nachfolgend zur genauen Beschreibung eines Testablaufes.

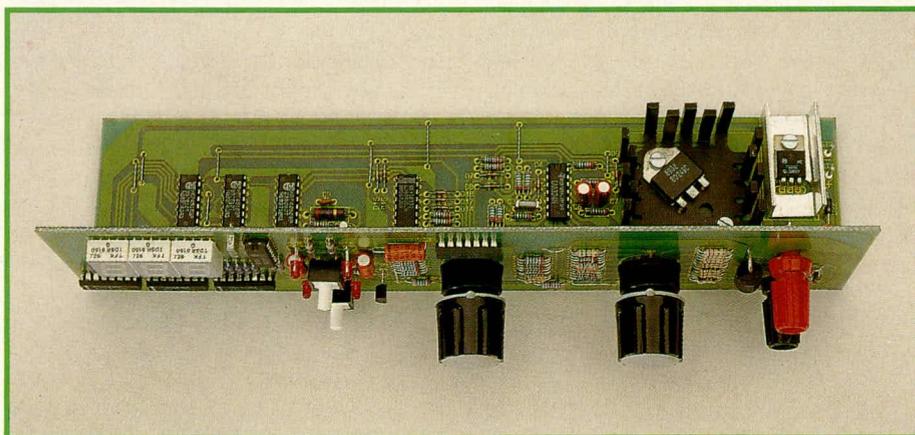
## Stromversorgung des AKM 7000

Bevor ein zu testender Akku angeschlossen wird, muß das AKM 7000 mit seiner Betriebsspannung versorgt werden. Hierzu dient ein 12 V /300 mA-Steckernetzteil, dessen 3,5 mm-Klinkenstecker in die zugehörige Buchse auf der Geräterückseite einzustecken ist. Bei dieser Versorgungsspannung kann es sich um eine unstabilierte Gleichspannung im Bereich zwischen 12 V und 15 V handeln, die mit 0,3 A belastbar ist.

## Vorwahl der Zellenzahl

In der Frontplattenmitte befindet sich ein 12stelliger Drehschalter, mit dessen Hilfe die Zellenzahl des angeschlossenen Akkupacks vorzuwählen ist. Handelt es sich bei dem zu testenden Akku um eine einzelne Zelle, ist der Drehschalter an den linken Anschlag (entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht) zu bringen (Position 1). Bei mehreren Zellen ist die entsprechende Zellenzahl (bis zu 12 Zellen möglich) einzustellen.

Ist die Zellenzahl eines Akkupacks nicht



Innenansicht des Akku-Kapazitäts-Meßgerätes

bekannt, kann sie durch eine einfache Spannungsmessung leicht bestimmt werden. Eine voll aufgeladene NC-Zelle, die mit einem Zehntel ihres Nennstromes belastet wird, gibt eine Spannung von ca. 1,22 V ab. Ein Bleiakku stellt unter gleichen Bedingungen pro Zelle eine Spannung von 2,0 V bereit. Die so gemessene Akkuspannung wird bei NC-Akkus durch 1,22 und bei Bleiakkus durch 2,0 geteilt, wodurch sich die Zellenanzahl ergibt. Nachfolgendes Beispiel soll diesen Vorgang verdeutlichen:

Ein vollgeladenes Akkupack mit einer Kapazität von 2,0 Ah wird mit ca. 200 mA belastet, wobei sich eine Spannung von 9,76 V einstellt. Daraus ergibt sich eine Zellenanzahl von 8. Wird hingegen lediglich eine Spannung von 9,5 V gemessen, ergibt sich für die Zellenanzahl ein nicht gradzahliger Wert von 7,79 (9,5 V : 1,22 V = 7,79). Da es sich bei der Zellenanzahl selbstverständlich nur um einen ganzzahligen Wert handeln kann, ist hier zu runden und auf 8 Zellen zu schließen.

## Einstellung der Nennkapazität

Mit dem Drehschalter „Nennkapazität (Ah)“ können in 12 Stufen die Kapazitätswerte der meisten gebräuchlichen NC- und Bleiakkus vorgewählt werden. Bei allen Akkus ist üblicherweise die Nenn-Kapazität aufgedruckt, die bei den sehr kleinen 9 V-Blockakkus nur 110 mAh beträgt und bei den leistungsstarken NC-Monozellen immerhin bei 4 Ah liegt. Alle gebräuchlichen Zwischenwerte sind mit diesem 12stufigen Drehschalter einstellbar.

Der aufgrund dieser Einstellung vom AKM 7000 vorgenommene Entladestrom beträgt per Definition 10 % der Nennkapazität entsprechend I/10. Bei einer Einstellung auf 0,11 Ah fließen somit 11 mA, und bei 4,0 Ah fließen 400 mA, sobald ein entsprechender Akku angeschlossen wurde.

Für den Sonderfall, daß einmal ein Akkutyp getestet werden soll, dessen Nenn-Kapazität nicht exakt mit den vom AKM 7000 verfügbaren und einstellbaren Werten übereinstimmt, ist diejenige Einstellung zu wählen, die dem zu testendem Akku am nächsten kommt. Bei einer Nenn-Kapazität von 1,1 Ah wird z. B. 1,0 Ah am AKM 7000 angewählt. Dies bedeutet nun, daß der zu testende Akku nicht mit 110 mA, sondern lediglich mit 100 mA entladen wird. Vorausgesetzt, der zu testende Akku hat exakt 100 % seiner Nennkapazität, müßte auf der Anzeige nun nicht „100 %“, sondern „110 %“ erscheinen, da die eingestellten 100 mA nicht 10 h, sondern 11 h fließen können. Das Anzeigergebnis ist deshalb um genau den Faktor zu korrigieren, um den die eingestellte Nennkapazität von der tatsächlichen Nennkapazität des zu testenden Akkus abweicht. Die Korrek-

tur läuft nach folgender Formel ab:

$$KM = \frac{EN \cdot AW}{AN}$$

hierin bedeutet:

KM: korrigierter Meßwert

EN: eingestellte Nennkapazität am AKM 7000

AN: Akku-Nennkapazität

AW: angezeigter Meßwert.

Setzen wir auf unser Beispiel bezogen die entsprechenden Werte in die Formel ein, ergibt sich folgendes Bild:

$$KM = \frac{1,0 \text{ Ah} \cdot 110 \%}{1,1 \text{ Ah}} = 100 \%$$

Auf diese Weise lassen sich auch seltene Akkutypen zuverlässig mit dem AKM 7000 testen.

Der Vollständigkeit halber sei in diesem Zusammenhang noch angemerkt, daß z. B. ein Akku mit einer Kapazität von 2,0 Ah auch mit dem doppelten Entlade-Nennstrom, entsprechend einer Einstellung auf 4,0 Ah, getestet werden kann. In diesem Fall wird die Entladezeit ca. 5 h benötigen und die Anzeige bei 100 % Kapazität lediglich 50 % zeigen. Genaugenommen wird bei einem Akku, der exakt 100 % Kapazität besitzt, bei einem entsprechend höheren Entladestrom die Anzeige weniger als 50 % ausweisen, da, wie eingangs bereits erwähnt, die Kapazität bei größeren Strömen abnimmt.

Das theoretisch möglich maximale Anzeigergebnis liegt bei 999 %, entsprechend 99,9-stündiger Entladedauer. Dies entspricht dem 10fachen der normalerweise zu erwartenden Entladedauer. Nach dieser Zeit würde die Zählung von vorne beginnen.

## Einstellung des Akkutyps

Das AKM 7000 ist für den Test sowohl von NC- als auch von Bleiakkus ausgelegt. Mit dem Taster „Akku-Typ“ kann zwischen diesen beiden Typen gewählt werden. Durch jede Betätigung dieses Tasters wechselt die Anzeige von NC auf Blei oder umgekehrt. Diese Einstellung ist wichtig, da hierdurch, in Verbindung mit der eingestellten Zellenzahl, die korrekte Abschaltspannung dem AKM 7000 vorgegeben und dadurch eine genaue Kapazitätsmessung ermöglicht wird.

## Anschluß des Test-Akkus

Rechts auf der Frontplatte sind 2 Polklemmen zum Anschluß des Test-Akkus angeordnet. Es können sowohl 4 mm-Standard-Bananenstecker eingesetzt werden als auch durch Lösen der Schraub-Klemm-Verbindung blanke Drähte untergelegt und festgeklemmt werden.

An die obere, rote Buchse wird der positive Anschluß des zu testenden Akkus und an die untere, schwarze Buchse der ne-

gative Anschluß des betreffenden Akkus angelegt. Auf eine sichere Kontaktierung ist hierbei Wert zu legen.

Sollte der Akku verpolt sein, ertönt ein Warn-Ton, und der Akku ist sofort wieder abzunehmen und korrekt anzuschließen. Eine Schutzdiode im Gerät schließt hierbei den Akku kurz und sorgt für einen Schutz der Schaltung des AKM 7000. Eine entsprechende Verpolung darf allenfalls nur sehr kurzzeitig erfolgen, da sonst Schäden zu erwarten sind.

### Wichtig:

Ganz wesentlich ist es in diesem Zusammenhang, darauf zu achten, daß ein zu testender Akku zuvor voll aufgeladen wurde, da es sich beim AKM 7000 um ein Meßgerät zur Bestimmung der Kapazität und nicht um ein Ladegerät handelt.

## Start der Messung

Für den Start der Messung und zum Rücksetzen der 3stelligen Digitalanzeige wird der rechts neben der Anzeige angeordnete Taster „Start“ betätigt. Unmittelbar darauf leuchtet die LED „Check“ auf. Je nach prozentualer Nennkapazität des angeschlossenen zu testenden Akkus wird die Messung rund 10 h dauern. Ist die tatsächliche Kapazität des angeschlossenen Akkus z. B. 20 % höher als die Nenn-Kapazität, wird die Messung 12 h benötigen. Liegt die tatsächliche Kapazität hingegen nur noch bei 50 %, beträgt auch die Meßzeit nur 5 h.

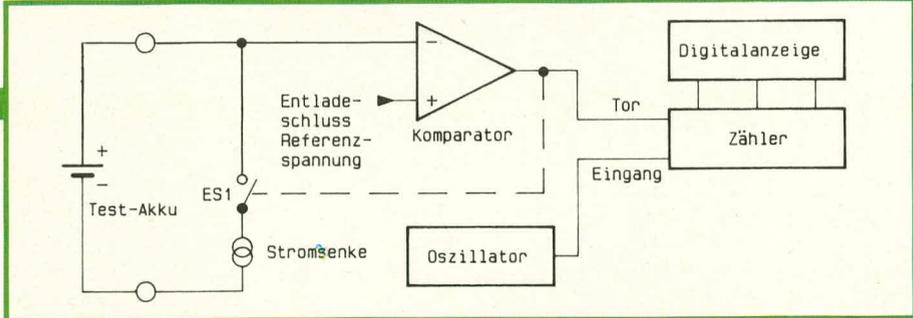
Sobald die Entladeschlußspannung erreicht ist, wechselt die Anzeige von „Check“ auf „Ready“ zur Kennzeichnung, daß jetzt das angezeigte Ergebnis der prozentualen Akku-Kapazität entspricht.

Ist z. B. ein Akku mit einer Kapazität von 1,4 Ah angeschlossen und die Anzeige zeigt „100 %“, so sind bei 10stündiger Entladung insgesamt 1,4 Ah entnehmbar. Zeigt die Anzeige hingegen „80 %“, sind nur noch 1,4 Ah x 0,8 = 1,12 Ah verfügbar.

Es empfiehlt sich, den betreffenden Akku unmittelbar nach abgeschlossenem Entladevorgang gleich wieder aufzuladen. Wird dies nicht sofort durchgeführt, nehmen angeschlossene Akkus normalerweise keinen Schaden, da der Entladevorgang beim Erreichen der Entladeschlußspannung unverzüglich vom AKM 7000 unterbrochen wird. Trotzdem sollte dann bald eine Neuaufladung erfolgen.

## Akku-Regeneration

Sowohl Bleiakkus als auch in verstärktem Maße NC-Akkus können unter bestimmten Voraussetzungen vorzeitig ihre Speichereigenschaften verlieren, d. h. die entnehmbare Ladung sinkt. Dies ist z. B. bei einigen NC-Akkus besonders deutlich zu beobachten, wenn ständig nur Teilladungen bei anschließender Wiederauf-



**Blockschaltbild des Akku-Kapazitäts-Meßgerätes**

dung erfolgen.

Zeigt in solchen Fällen das AKM 7000 eine stark verminderte Kapazität an (z. B. 30 %), empfiehlt es sich, den Akku sofort wieder zu laden und den Test mit dem AKM 7000 zu wiederholen. Bringt jetzt das Ergebnis einen gestiegenen Meßwert (z. B. 35 %), so sollten die Lade-/Meßzyklen so oft wiederholt werden, bis sich keine wesentliche Steigerung von einem zum nächsten Zyklus ergibt. Auf diese Weise ist es möglich, selbst einen Akku, dessen Kapazität auf weniger als 30 % zusammengebrochen ist, wieder zu einem nützlichen Mitglied der Akku-Gemeinschaft werden zu lassen, d. h. die Kapazität auf 50 % je nach Art der ursprünglichen Schädigung vielleicht sogar wieder in Richtung 100 % anzuheben.

Nachdem wir uns ausführlich mit den Fakten rund um NC- und Bleiakkus sowie mit der Bedienung des AKM 7000 befaßt haben, kommen wir als nächstes zur Beschreibung der Geräte-Hardware.

### Das Blockschaltbild

Abbildung 1 zeigt in übersichtlicher Form das Blockschaltbild des Akku-Kapazitäts-Meßgerätes AKM 7000.

Der zu testende Akku wird über den elektronischen Schalter ES 1 mit der Stromsenke verbunden, die einen konstanten Entladestrom aus dem Akku entnimmt. Die Bezeichnung „Stromsenke“ stellt hierbei nichts Besonderes dar. Schaltungstechnisch handelt es sich hierbei um eine Stromquelle, die jedoch nicht als Quelle, sondern als Belastung (Senke) arbeitet; daher die Bezeichnung „Stromsenke“.

Gleichzeitig mit dem Starten des Entladevorgangs wird das Tor des Digitalzählers freigegeben, und die vom Quarzoszillator kommenden Impulse (10 Impulse pro Stunde) werden vom Zähler aufsummiert.

Besitzt der Akku nun beispielsweise nur noch 80 % seiner Nennkapazität wird ein Strom, welcher 10 % des Zahlenwertes der Nennkapazität entspricht, nur 8 h fließen können bis zum Erreichen der Entladeschlussspannung. In diesem Moment wird von dem nachgeschalteten Komparator das Tor des Zählers gesperrt, und weitere vom Quarzoszillator kommende Impulse können nicht aufsummiert werden. Ein 8stündiger Zählvorgang bei 10 Impulsen pro Stunde hat den Zähler einen Stand von 80 erreichen lassen, entsprechend einer Digitalanzeige von „080 %“.

Soll ein weiterer Test erfolgen, wird ein wiederum voll aufgeladener Test-Akku angeschlossen und die Start-Taste am AKM 7000 betätigt. Hierdurch werden Zähler und Digitalanzeige zurückgesetzt und der neue Entladevorgang gestartet.

### Zur Schaltung

In Abbildung 2 ist das komplette Schaltbild des Akku-Kapazitäts-Meßgerätes AKM 7000 dargestellt. Die unstabilisierte 12 V-Betriebsspannung wird von der 3,5 mm-Klinkenbuchse kommend an den Platinenanschlußpunkten ST 1 und ST 2 eingespeist. Von dort wird diese Spannung über die Verpolungsschutzdiode D 22 dem Festspannungsregler IC 1 des Typs 7808 zugeführt, der eine stabilisierte 8 V-Betriebsspannung für die Schaltung bereitstellt. C 1 und C 2 dienen der Pufferung und Schwingneigungsunterdrückung.

Der Test-Akku liegt über 2 Polklemmen an den Platinenanschlußpunkten ST 3 (Pluspol) und ST 4 (Minuspol). Die Schutzdiode D 1 schließt die Akku-Spannung kurz, sofern dieser mit falscher Polarität angeschaltet wird. Gleichzeitig schaltet im Verpolungsfall der Komparator IC 2 A seinen Ausgang von High nach Low und gibt damit über D 4 den Oszillator IC 2 B mit Zusatzbeschaltung frei, so daß der Sound-Transducer STR 1 einen Signalton abgibt. Bei korrekt anliegender Polarität sperrt der Komparator IC 2 A über D 4 den Signaloszillator. D 1 wird dann in Sperrichtung betrieben.

Nachdem wir den hoffentlich nicht auftretenden Störfall einer vertauschten Polarität besprochen haben, kommen wir als nächstes zur Beschreibung des wesentlichen Teiles der Schaltung, nämlich der Entladestromsenke. Dieser mit dem IC 2 C und Zusatzbeschaltung aufgebaute Schaltungsteil sorgt für einen konstanten Entladestrom über T 1, S 2 sowie die Widerstände R 14 bis R 38 (je nach Stellung von S 2). Im einzelnen läuft die Funktion wie folgt ab:

Am nicht invertierenden (+)-Eingang (Pin 10) des IC 2 C steht über den Spannungsteiler R 12, R 68 eine Referenzspannung von genau 0,2 V an. C 5 dient der Rauschunterdrückung. Der Ausgang (Pin 8) dieses Operationsverstärkers steuert über R 9 die Basis des nachfolgenden Leistungs-Transistors an, wobei der durch diesen Transistor fließende Akku-Entladestrom einen Spannungsabfall an den Emitterwiderständen (R 14 bis R 38) hervorruft. Dieser wird

über R 11 auf den invertierenden (-)-Eingang (Pin 9) des IC 2 C gegeben und so ausgeregelt, daß er der Referenzspannung exakt entspricht. Dies bedeutet nichts anderes, als daß an beiden Eingängen des IC 2 C genau gleiche Potentiale anstehen müssen.

Nachfolgendes Beispiel soll die Regelcharakteristik verdeutlichen:

Wir nehmen hierzu an, daß sich S 2 in der eingezeichneten Stellung befindet und der Sollstrom von 11 mA unterschritten wurde, d. h. wir nehmen einen Stromfluß von nur 10 mA an. Diese 10 mA verursachen an der Parallelschaltung von R 14, R 15 einen Spannungsabfall von 175 mV, der über S 2 und R 11 an Pin 9 des IC 2 C ansteht. Da die Spannung an Pin 10 dieses ICs 200 mV beträgt, wird der Ausgang (Pin 8) in Richtung positiverer Werte streben und T 1 weiter durchsteuern. Hierdurch erhöht sich der Stromfluß, und der Spannungsabfall an R 14, R 15 steigt soweit an, daß sich das Potential von Pin 9 des IC 2 C auf den gleichen Wert einstellt, welcher der Spannung an Pin 10 entspricht. Im vorliegenden Fall bedeutet dies einen Stromfluß von ca. 11 mA.

In der Schalterstellung 2 beträgt der Stromfluß 25 mA, in der Schalterstellung 3 50 mA, bis hin zur Schalterstellung 12, bei der ein Entladestrom von ca. 400 mA fließt.

Die Werte der strombestimmenden Widerstände R 14 bis R 38 sind unter Berücksichtigung der Leiterbahnwiderstände sowie des Schalter-Übergangswiderstandes bemessen. Eventuelle Abweichungen werden sich im Bereich von ca. 2 % bewegen. Ein Abgleich der Schaltung ist deshalb nicht erforderlich.

Für den Entlade-Längstransistor T 1 wurde ein verhältnismäßig leistungsfähiger Endstufentransistor des Typs BD 249 gewählt, der auch bei dem größten fließenden Entladestrom von 400 mA einen hinreichend geringen Kollektor-Emitter-Spannungsabfall aufweist, wodurch auch einzelne NC-Akkus mit einer Entladeschlussspannung von nur rund 0,9 V zuverlässig entladen und damit getestet werden können. Darüber hinaus reicht für diesen Transistor bei der maximal auftretenden Verlustleistung von rund 10 W ein mittelgroßer Fingerkühlkörper zur Wärmeabfuhr aus, der bei Maximalbelastung allerdings recht heiß wird (bei einem 12zelligem Bleiakku mit einer Nennspannung von 24 V und einem Entladestrom von 0,4 A sind rund 10 W Verlustleistung abzuführen). In den normalerweise auftretenden Testfällen, bei den üblicherweise Spannungen bis 12 V auftreten, wird sich dieser Transistor je nach fließendem Strom nur leicht erwärmen.

Nachdem wir den wichtigen Teil der Akku-Entladung ausführlich besprochen haben, wenden wir uns der Einstellung und

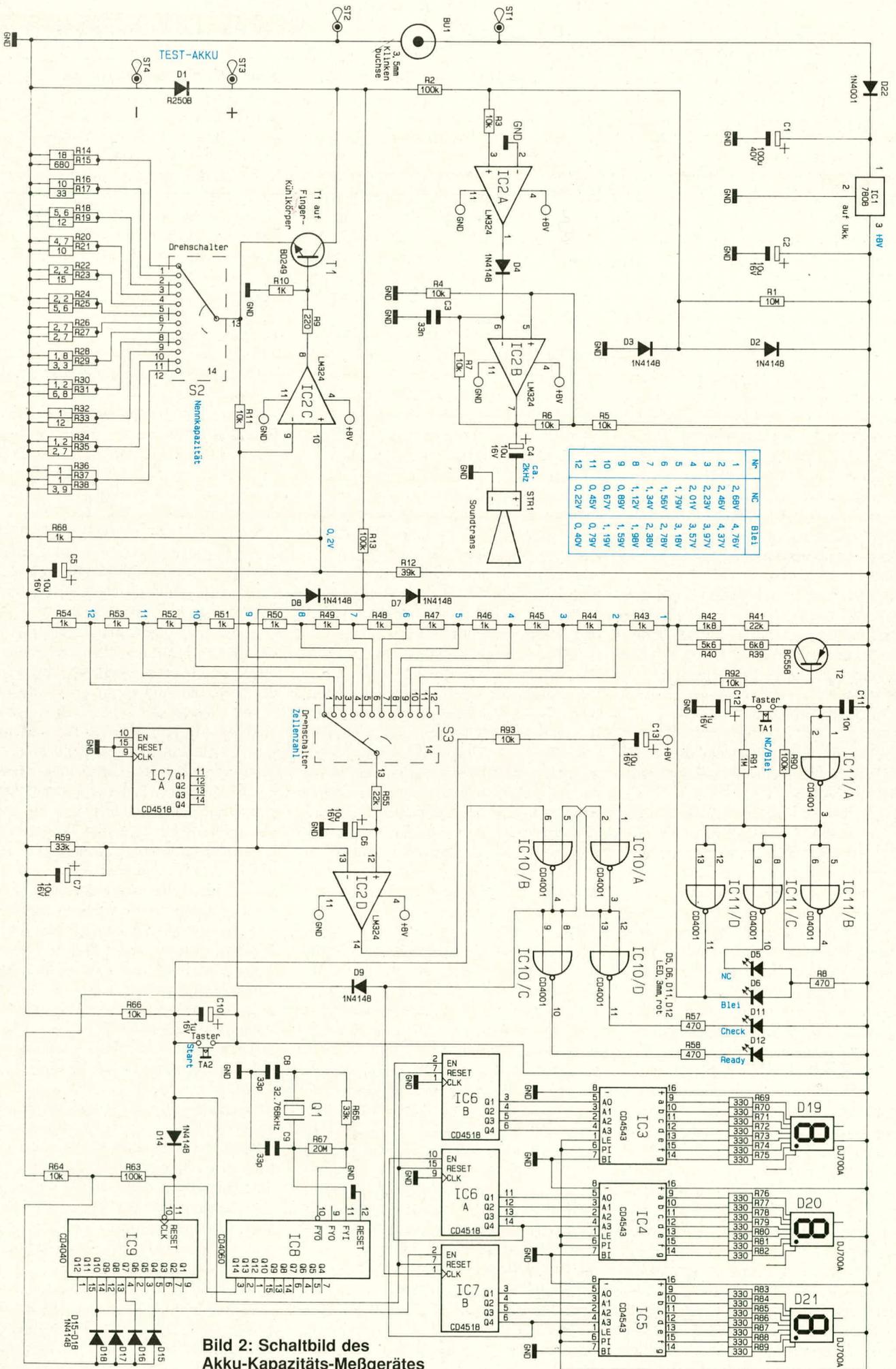


Bild 2: Schaltbild des Akku-Kapazitäts-Meßgerätes

Erkennung der Entladeschlußspannung zu. Mit der Spannungsteilerkette, bestehend aus R 39 bis R 54, werden die verschiedenen Referenzspannungen für unterschiedliche Zellenzahlen der zu testenden Akkupacks erzeugt. Je nach Stellung des Drehschalters S 3 kann die Entladeschluß-Referenzspannung für eine Zelle (Stellung 1, d. h. Abgriff über R 54) eingestellt werden oder ein Vielfaches davon, d. h. bis hin zu 12 Zellen.

Die so gewonnene Referenzspannung gelangt über R 55 auf den nicht invertierenden (+)-Eingang (Pin 12) des als Komparator arbeitenden Operationsverstärkers IC 2 D. An seinem zweiten Eingang (Pin 13) wird diesem OP die vom Akku kommende positive Spannung über R 13 zugeführt. In Verbindung mit R 59 erfolgt hier eine Spannungsteilung, damit der zulässige Eingangsspannungsbereich der Schaltung selbst dann nicht überschritten wird, wenn das angeschlossene Akkupack bis zu 24 V abgibt. C 6 und C 7 dienen zur Störunterdrückung, während D 7 und D 8 die Schaltung vor unzulässig hohen Eingangsspannungen schützt.

Unterschreitet die Akkuspannung einen mit S 3 voreingestellten Wert, d. h. erreicht das angeschlossene Akkupack die betreffende Entladeschlußspannung, so sinkt als Folge die Spannung an Pin 13 des IC 2 D unter den Wert der Referenzspannung an Pin 12. Daraufhin wechselt der Ausgang (Pin 14) dieses OPs von vormals Low- nun auf High-Potential, und das Speicher-Flip-Flop IC 10 A, B wird über R 93 gesetzt.

Der Ausgang Pin 3 dieses Flip-Flops nimmt somit Low-Potential an, und der Ausgang Pin 4 wechselt auf High. Durch die nachfolgende Invertierung wird nun die Leuchtdiode D 12 („Ready“) über R 58 angesteuert, während D 11 „Check“ erlischt.

In dem Moment, in dem der Ausgang Pin 4 des Flip-Flops IC 10 A, B auf High-Potential wechselt, wird der Tor-Eingang des Zählers IC 7 (Pin 1) direkt gesperrt und gleichzeitig über D 9 die Stromsenke deaktiviert, indem der invertierende (-)-Eingang (Pin 9) des IC 2 C auf High-Potential angehoben wird. Der Ladevorgang ist beendet und die Digitalanzeige „eingefroren“.

Bevor wir zur weiteren Erläuterung des digitalen Anzeigeteiles kommen, soll noch die elektronische Umschaltung von NC-auf Bleiakkus erläutert werden. Diese Umschaltung erfolgt über den Taster TA 1 in Verbindung mit IC 11. Hierbei sind die Gatter IC 11 A, B in Verbindung mit R 90, 91 sowie C 12 als Wechsler geschaltet, d. h. bei jeder Tastenbetätigung erfolgt ein Pegelwechsel.

Führt der Ausgang Pin 3 z. B. High-Potential und Pin 4 Low, so liegt über R 90 auch an den Eingängen Pin 1, 2 Low-Potential. Die Schaltung ist in sich stabil. Der

Kondensator C 12 wird über R 91 auf High-Potential aufgeladen. Durch Schließen der Kontakte des Tasters TA 1 wird nun dieses Potential auf die Eingänge Pin 1, 2 gegeben und der Ausgang Pin 3 wechselt auf Low, Pin 4 auf High, wobei die Selbsthaltung über R 90 bewirkt, daß dieser neue Zustand erhalten bleibt.

Wichtig ist für die einwandfreie Funktion, daß R 91 wesentlich größer als R 90 gewählt wird, damit die Schaltung auch bei längerer Betätigung des Tasters einwandfrei arbeiten kann.

C 11 sorgt dafür, daß beim Anlegen der Versorgungsspannung immer ein definierter Zustand eintritt, d. h. der Ausgang Pin 3 führt Low-Potential, und die LED „NC“ leuchtet auf. Wird der Taster TA 1 betätigt, erfolgt ein Wechsel und die LED „NC“ erlischt, während die LED „Blei“ aufleuchtet.

Gleichzeitig mit der Ansteuerung von D 6 durch das Gatter IC 11 D wird auch der Transistor T 2 über den Widerstand R 92 durchgesteuert. Hierdurch liegen nun die Widerstände R 39, R 40 parallel zu den Widerständen R 41, R 42, d. h. die Spannung am Referenzspannungsteiler steigt an, und zwar genau so weit, daß die jetzt einstellbaren Entladeschluß-Spannungen für Bleiakkus ausgelegt sind.

Kommen wir als nächstes zur Beschreibung der digitalen Anzeigeeinheit mit vorgeschalteter Zählerkette. Durch Betätigung des Tasters TA 2 werden die Zähler IC 6, 7 sowie der Teiler IC 9 (über D 14) zurückgesetzt, d. h. auf der Digitalanzeige erscheint der Wert „000“. Gleichzeitig wird durch Betätigen des Tasters TA 2 das Flip-Flop IC 10 A, B (an Pin 6) gesetzt. Der Ausgang (Pin 4) wechselt auf Low-Potential, und der Tor-Eingang (Pin 1) des IC 7 ist freigegeben. Über D 9 wird die Sperrung der Stromsenke aufgehoben, d. h. der Entladevorgang beginnt.

Mit IC 8 und Zusatzbeschaltung ist ein quartzgesteuerter Oszillator aufgebaut, an dessen Ausgang (Q 14, Pin 3) eine Frequenz von exakt 2 Hz ansteht. Diese Frequenz gelangt auf den Eingang (Pin 10) des nachgeschalteten Teilers IC 9. Dieser bewirkt mit seiner Zusatzbeschaltung (D 15 bis D 18 sowie R 63, 64) eine Teilung durch 720, d. h. am Ausgang (Q 10/Pin 14) erscheint alle 6 min. ein Impuls (10 Impulse/Stunde). Diese Impulse gelangen auf den Eingang (Pin 2) des Zählers IC 7. Wäre das Tor (Pin 1) für 10 h freigegeben, würde die Zählerkette (IC 6, 7) insgesamt 100 Impulse aufsummieren, entsprechend einer Anzeige von „100 %“. In jedem Zähler-IC des Typs CD 4518 sind 2 Dekadenzähler enthalten, so daß bei einer 3stufigen Zählerkette eine Dekade unbenutzt übrigbleibt (IC 7 A).

Zur Ansteuerung der drei 7-Segment-Anzeigen sind Decoder/Treiber-ICs des Typs

CD 4543 eingesetzt (IC 3, 4, 5), die über die Strombegrenzungswiderstände R 69 bis R 89 die 7-Segment-Anzeigen direkt treiben. Sobald die Entladeschluß-Spannung des Test-Akkus erreicht wird, schaltet der Komparator IC 2 D und setzt das Flip-Flop IC 10 A, B. Hierdurch wird der Tor-Eingang Pin 1 des IC 7 gesperrt, und es können keine weiteren Zählimpulse aufsummiert werden, d. h. die Anzeige bleibt gespeichert, und die LED „Ready“ signalisiert die Beendigung des Testvorgangs.

## Zum Nachbau

Der Aufbau der Schaltung erfolgt auf 2 übersichtlich gestalteten einseitigen Leiterplatten. Besonders angenehm ist auch die Tatsache, daß keinerlei Abgleichpunkte in der Schaltung vorhanden sind.

Die Platinen werden in gewohnter Weise bestückt. Zunächst werden die Brücken eingesetzt, gefolgt von den Widerständen, Dioden usw., worauf diese Bauteile auf der Leiterbahnseite zu verlöten sind. Im Anschluß an die niedrigen Bauelemente folgt das Einsetzen der größeren und höheren Bauelemente. Auf folgende Besonderheiten ist bei der Bestückung der Platinen zu achten:

Die 4 Leuchtdioden auf der Anzeigenplatte sind so einzulöten, daß sich ein Abstand von Diodenspitze zur Platinenoberseite von ca. 9 mm (maximal 10 mm) ergibt.

Da die beiden Drehschalter S 2, S 3 einen Mindestabstand zwischen Frontplatte und Frontplatte von 10 mm erfordern, sollten die drei 7-Segment-Anzeigen nicht ganz bis zum Anschlag auf die Platine gesetzt werden, sondern etwas hervorstehen, damit sie später nicht zu weit hinter der Frontplatte liegen. Aufgrund der Anschlußstiftlänge dieser Digitalanzeigen können ca. 2 mm Abstand zwischen Platinenfrontseite und Digitalanzeigen-Rückseite eingehalten werden, wobei die Anschlußstifte auf der Leiterbahnseite nur gerade eben hervorstehen. Der Abstand zwischen Frontplatteninnenseite und Frontfläche der Digitalanzeigen beträgt dann später nur rund 2 mm.

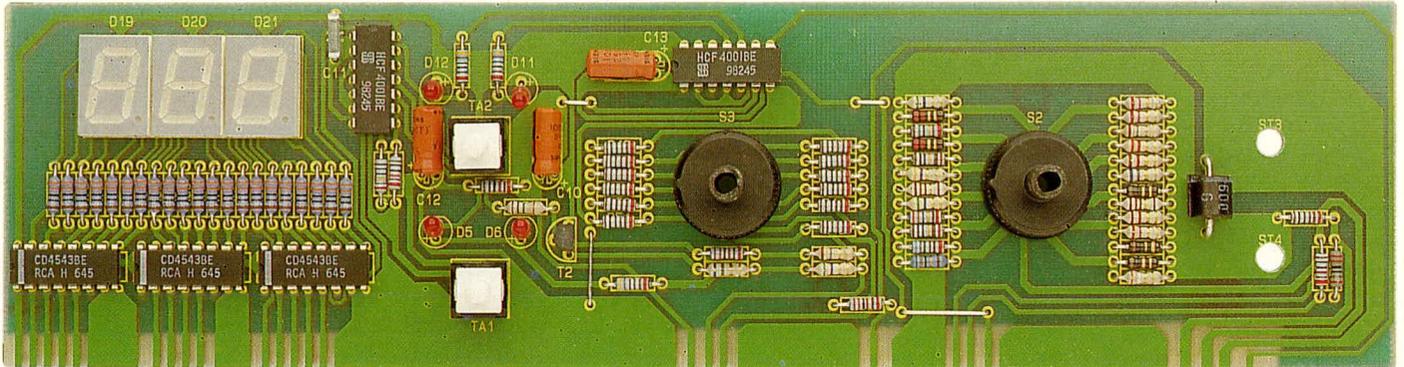
Für den Festspannungsregler IC 1 des Typs 7808 ist ein U-Kühlkörper vorgesehen. Die Beinchen dieses ICs werden ca. 3 mm vom Gehäuseaustritt entfernt im rechten Winkel abgebogen, durch das Langloch des U-Kühlkörpers gesteckt, und die gesamte Konstruktion wird auf die Basisplatte gesetzt. Die 3 IC-Beinchen werden in die zugehörigen Platinenbohrungen gesteckt, von der Leiterbahnseite aus wird eine Schraube M 3 x 10 mm durch die Platine, den Kühlkörper sowie die IC-Befestigungsbohrung geführt und auf der Oberseite mit einer Mutter M 3 fest verschraubt. Erst

jetzt erfolgt das Verlöten und anschließende Kürzen der IC-Anschlußbeinchen auf der Leiterbahnseite.

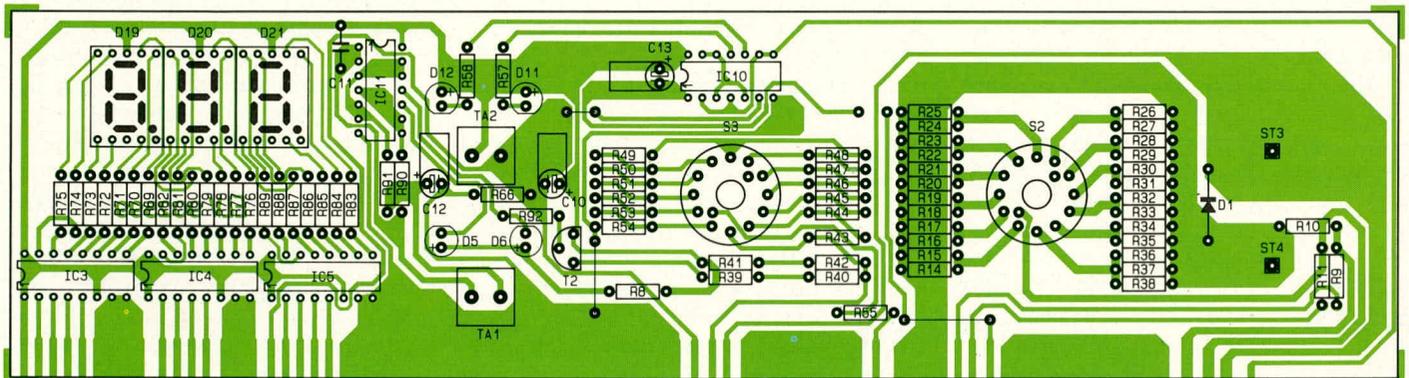
Bei der Montage des Leistungs-Endstufentransistors T 1 geht man in ähnlicher

Weise vor. Hier sind jedoch nur die beiden äußeren Anschlüsse abzuwinkeln und durch die Bohrungen des Fingerkühlkörpers zu stecken. Der mittlere Transistoranschluß (Kollektor) wird kurz abgekniffen, da die

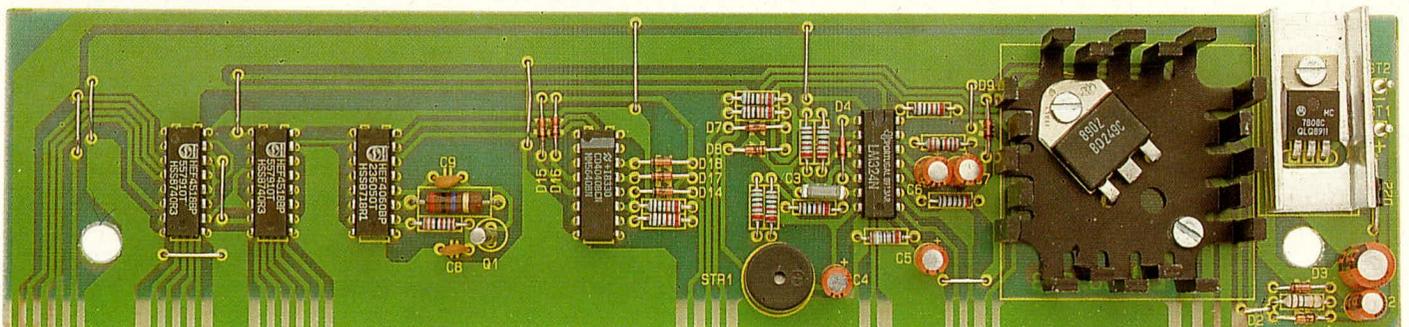
se Kontaktierung über die Metallanschlußfahne und die Befestigungsschraube zur betreffenden Leiterbahn erfolgt. Die Konstruktion Transistor/Kühlkörper wird auf die Platine gesetzt, wobei die Anschluß-



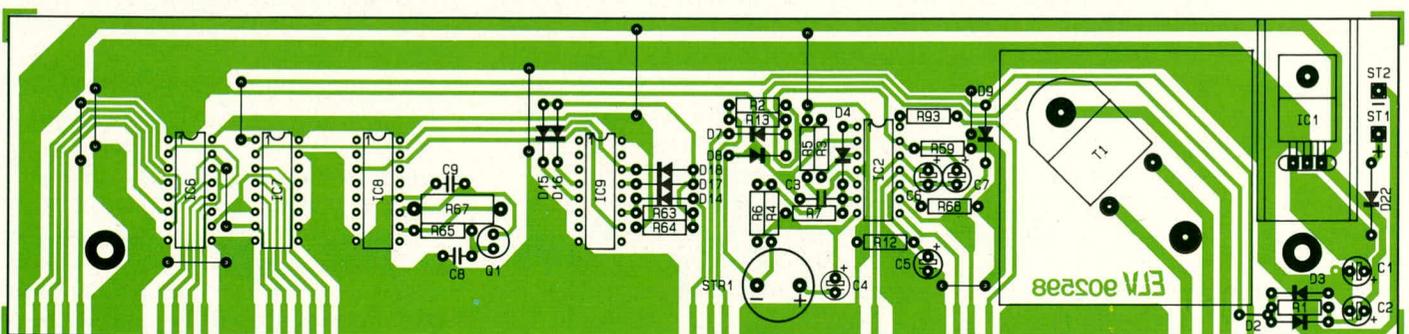
Ansicht der fertig bestückten Anzeigenplatine des Akku-Kapazitäts-Meßgerätes (Originalgröße 245 x 65 mm)



Bestückungsplan der Anzeigenplatine des Akku-Kapazitäts-Meßgerätes AKM 7000



Ansicht der fertig bestückten Basisplatine des Akku-Kapazitäts-Meßgerätes (Originalgröße 245 x 57 mm)



Bestückungsplan der Basisplatine des Akku-Kapazitäts-Meßgerätes AKM 7000

beinchen durch die zugehörigen Bohrungen zu führen sind. Etwas Wärmeleitpaste zwischen Kühlkörper und Transistor kann hierbei nicht schaden. Von der Platinenunterseite aus werden nun 2 Schrauben M 3 x 10 mm durch die Befestigungsbohrungen des Kühlkörpers gesteckt, von denen eine Schraube mit Zahnscheibe zusätzlich durch die Metallfahne des Transistors zu führen ist. Auf der Oberseite erfolgt das feste Verschrauben mit je einer Mutter M 3.

Die zur Stromversorgung dienende 3,5 mm-Klinkenbuchse ist in die betreffende Bohrung der Gehäuserückwand einzusetzen und von außen mit einer Rändelmutter zu verschrauben. Die Verbindung dieser Buchse erfolgt über eine 2adrige flexible, isolierte Leitung (Querschnitt mindestens 0,4 mm<sup>2</sup>) mit der Basisplatine. Der Buchsenhals (vorderer/mittlerer Kontakt) ist hierbei mit dem Platinenanschlußpunkt ST 2 zu verbinden (Schaltungsmasse), und der rechte Buchsenkontakt (von

der Rückseite aus gesehen) wird an den Platinenanschlußpunkt ST 1 (+12 V) gelötet. Die Leitungslänge beträgt ca. 110 mm. Die soweit vorbereiteten, bestückten und nochmals sorgfältig kontrollierten Leiterplatten werden nun im rechten Winkel miteinander verbunden. Hierzu wird die Frontplatine vor die Basisplatine gesetzt, und zwar so, daß die Unterkante der Frontplatine ca. 2 mm unterhalb der Leiterbahnseite der Basisplatine hervorsteht. An 2 Eckpunkten werden nun die beiden Platinen zunächst provisorisch angelötet. Nötigenfalls sind jetzt noch leichte Korrekturen durch wechselseitiges Erhitzen dieser beiden Lötstellen möglich. Als dann werden sämtliche Lötverbindungen unter Zugabe von ausreichend Lötzinn miteinander verbunden. Es ist darauf zu achten, daß sich zwischen benachbarten Leiterbahnen keine Lötzinnbrücken bilden.

Die beiden Polklemmen zum Anschluß eines Test-Akkus werden in die zugehöri-

gen Bohrungen rechts auf der Frontplatte gesetzt und auf der Innenseite verschraubt. An jede Polklemme wird auf der Innenseite ein ca. 10 mm langes Silberdrahtstück angelötet. Während die Frontplatte vor die Frontplatine gesetzt wird, sind diese Silberdrahtabschnitte durch die unmittelbar hinter den Buchsen angeordneten Bohrungen der Frontplatine zu stecken. Anschließend werden sie mit den direkt an den Bohrungen angeordneten Kupferflächen unter Zugabe von reichlich Lötzinn verlötet.

Die so vorbereitete Konstruktion kann nun in die untere Gehäusehalbschale eingesetzt werden. Das Lüftungsgitter weist hierbei zur Gehäusefrontseite. Befinden sich die Front- und Rückplatte in ihren zugehörigen Nuten in korrekter Position, kann von der Gehäuseunterseite aus durch jede der 4 Befestigungsbohrungen eine Schraube M 4 x 70 mm gesteckt werden. Die beiden vorderen Schrauben führen dabei gleichzeitig durch die Basisplatine. Auf der Gehäuseinnenseite erfolgt das Aufsetzen von insgesamt 6 Futterscheiben 1,5 x 10 mm. Je eine wird über die beiden vorderen Schrauben und jeweils 2 werden über die im Rückbereich liegenden Befestigungsschrauben gesteckt, worauf jeweils ein 60 mm langes Abstandsrollchen folgt.

Zur Erleichterung der weiteren Montage empfiehlt es sich, die Gehäuseunterhalbschale ca. 5 - 10 mm anzuheben und durch Unterlegen von 2 Bleistiften, einem gefalteten Taschentuch o. ä. in dieser Position zu belassen, damit die Köpfe der 4 Befestigungsschrauben um diesen Betrag nach unten heraus schauen können. Wird jetzt die Gehäuseoberhalbschale dicht über die untere Halbschale gehalten (Lüftungsgitter weist nach hinten), können Hilfs-Drahtstifte oder überzählige Schrauben von außen durch die Befestigungsbohrungen gesteckt und oben in die Abstandsrollchen geführt werden, da die von unten kommenden Befestigungsschrauben darin versenkt sind. Nun wird die Gehäuseoberhalbschale langsam abgesenkt, bis sie ihre endgültige Position einnimmt. Das Gehäuse wird vorsichtig über die Tischkante gezogen, damit die erste Montageschraube nach oben durchgedrückt werden kann, wobei der Hilfsstift herausfällt. Durch diesen Hilfsstift wird das Treffen der oberen Bohrung quasi automatisiert. Eine Mutter M 4 wird eingesetzt und festgezogen. In gleicher Weise folgt das Verschrauben der übrigen Befestigungen, danach das Einsetzen von Abdeck- und Fußmodulen (mit Gummifüßen) sowie der beiden Abdeckzylinder.

Zu guter Letzt sind die Achsen der beiden Drehschalter soweit zu kürzen, daß sie ca. 10 mm aus der Frontplatte hervorstehen, woraufhin die Drehknöpfe in korrekter Position aufzusetzen und festzuziehen sind.

### Stückliste: Akku-Kapazitäts-Meßgerät AKM 7000

#### Widerstände:

1Ω	R 32, R 36, R 37
1,2Ω	R 30, R 34
1,8Ω	R 28
2,2Ω	R 22, R 24
2,7Ω	R 26, R 27, R 35
3,3Ω	R 29
3,9Ω	R 38
4,7Ω	R 20
5,6Ω	R 18, R 25
6,8Ω	R 31
10Ω	R 16, R 21
12Ω	R 19, R 33
15Ω	R 23
18Ω	R 14
33Ω	R 17
220Ω	R 9
330Ω	R 69-R 89
470Ω	R 8, R 57, R 58
680Ω	R 15
1kΩ	R 10, R 43-R 54, R 68
1,8kΩ	R 42
5,6kΩ	R 40
6,8kΩ	R 39
10kΩ	R 3-R 7, R 11, R 64, R 66, R 92, R 93
22kΩ	R 41, R 55
33kΩ	R 59, R 65
39kΩ	R 12
100kΩ	R 2, R 13, R 63, R 90
1MΩ	R 91
10MΩ	R 1
20MΩ	R 67

#### Kondensatoren:

33pF	C 8, C 9
10nF	C 11

33nF	C 3
1µF/16V	C 10, C 12
10µF/16V	C 2, C 4-C 7, C 13
100µF/40V	C 1

#### Halbleiter:

CD4001	IC 10, IC 11
CD4040	IC 9
CD4060	IC 8
CD4518	IC 6, IC 7
CD4543	IC 3-IC 5
LM324	IC 2
7808	IC 1
BD249	T 1
BC558	T 2
R250B	D 1
1N4001	D 22
1N4148	D 2-D 4, D 7-D 9, D 14-D 18
DJ700A	D 19-D 21
LED, 3 mm, rot.	D 5, D 6, D 11, D 12

#### Sonstiges:

Quarz, 32.768 kHz	Q 1
Drehschalter, 12 x 1	S 2, S 3
Sound-Transducer	STR 1
Taster, steh., print.	TA 1, TA 2
1 Fingerkühlkörper	
1 Kühlkörper SK 13	
3 Schrauben M 3 x 10	
3 Muttern M 3	
2 Lötstifte, 1,3 mm	
110 mm, 2adrig, flexible Leitung, mind. 0,4 mm <sup>2</sup>	
250 mm Silberdraht	
1 Zahnscheibe	