

und liefert am Ausgang ein exakt gleiches Signal, wenn die Verstärkung mit R26 entsprechend eingestellt ist. IC6 arbeitet mit nur einer Betriebsspannung. Die beiden in der Schaltung unterschiedlich gekennzeichneten Masseanschlüsse dürfen nicht miteinander verbunden sein! U_2 kann eine beliebige Spannung von 5 bis 9 V sein, wobei im Gegensatz zu U_1 auch eine Versorgung aus Netzgeräten zulässig ist.

■ Aufbau und Abgleich

Auf der Leiterkarte sollte man zuerst den Trennverstärker aufbauen. Zum Abgleich bietet sich das folgende vereinfachte Verfahren an: Auf den linken Anschluß von R16 wird nach dem Anschluß der beiden Betriebsspannungen (für diesen Test kann die Batterie durch eine Stromversorgung ersetzt werden) eine einstellbare Spannung von -2 V bis +2 V gelegt (aus einem zwischen $-U_1$ und $+U_1$ als Spannungsteiler geschalteten Potentiometer) und mit R21 ein Wert eingestellt, der bei 0 V etwa die halbe Betriebsspannung am Ausgang A und bei einer Einstellung zwischen -2 V und +2 V nach beiden Richtungen gleichgroße Änderungen am Ausgang ergibt. Mit R26 stellt man dann die Verstärkung so ein, daß bei einer Änderung um ± 1 V bzw. 2 V eine gleichgroße Änderung (um die als virtuellen Nullpunkt gewählte halbe Betriebsspannung) am Ausgang A auftritt. Nach dem Aufbau der gesamten Baugruppe können auch andere Werte eingestellt werden, die z. B. für nachfolgende A/D-Wandler günstigere Signalpegel ergeben.

Funktioniert der Trennverstärker, so kann man stufenweise („von hinten nach vorn“) den Rest aufbauen, wobei nach Fertigstellung jeder Stufe ein Test sinnvoll ist (frei nach Murphy: Was verstärken soll, schwingt meistens). So lassen sich Fehler frühzeitig erkennen. Bei einer vollständig aufgebauten Schaltung kann man Verursacher wilder Schwingungen mit Amateurmitteln nämlich kaum noch lokalisieren.

Übrigens täuschen auch offene Eingänge Schwingungen vor. Die Eingänge der Baugruppe sind so hochohmig und empfindlich, daß Netzspannung und Rundfunksender trotz des Filters auch als Ausgangssignale meßbar sind (Netzfrequenzeinstrahlungen führen zu „schönen“ Rechtecken).

Für die Leitungen zu den Elektroden E1 und E2 ist abgeschirmtes Kabel notwendig. Der Schirm beider Leitungen wird an der Baugruppe mit EM verbunden und muß an den Elektrodenenden offen bleiben (um eine Masseschleife zu verhindern!). Für die EM-Leitung genügt beliebige Litze. Für einen einfachen Aufbau kann das Leiterkartenlayout in Bild 3 verwendet werden. Bild 4 zeigt den zugehörigen Bestückungsplan. Da es hier um extrem geringe Span-

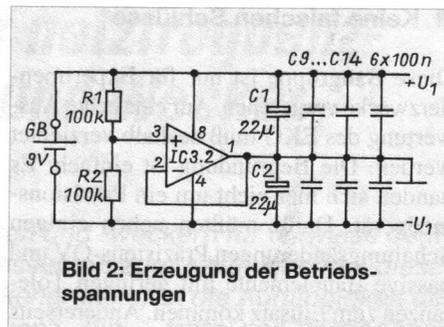


Bild 2: Erzeugung der Betriebsspannungen

nungsänderungen geht, kamen für die Einstellregler die etwas teureren Spindeltrimmer (würfelförmige Bauform) zum Einsatz. Obwohl die Baugruppe sehr empfindlich ist, ist unter normalen Umgebungsbedingungen kein abgeschirmtes Gehäuse notwendig, da die Eingänge symmetrisch sind und auf beide Eingänge gleichzeitig wirkende Störspannungen unterdrückt werden.

■ Elektroden

Ein besonderes Problem stellen die Elektroden dar. Um galvanische Elemente (und damit Fehlerspannungen) zu vermeiden, benutzt man in kommerziellen Systemen Silber Elektroden. Für einen guten Kontakt wird spezielle Elektrolytcreme auf Basis eines Silbersalzes verwendet. Für unsere Anwendungen erfüllen Edelstahlplättchen, versilberte Kupferplättchen (entgra-

tetes Leiterkartenmaterial) oder ähnliches den gleichen Zweck. Wichtig ist guter Kontakt, und den erreichen wir durch kleine zwischen Elektrode und Haut gepreßte Schwämmchen. Die Schwämmchen taucht man vorher in eine Kochsalzlösung und drückt sie etwas aus. Die Elektroden können mit Heftpflaster am Körper befestigt werden

■ Inbetriebnahme

War bis dahin alles in Ordnung, kommt der heiße Test. Also Hemd auf, Batterie, Stromversorgung und Elektroden anschließen: Auf dem Oszilloskop muß nun das EKG sichtbar sein.

Aus medizinischer Sicht gibt es unterschiedliche meßtechnische Möglichkeiten. Die Baugruppe mißt Differenzspannungen. Man kann also die Elektroden E1 am rechten und E2 am linken Handgelenk anschließen. Die Masselektrode EM wird am Unterschenkel befestigt. Bei anderen Anordnungen wird die Masselektrode z. B. in der Mitte des Brustkorbes befestigt und die Elektroden E1 und E2 in etwas Abstand rechts und links daneben. Es muß dann eine der in Bild 5 dargestellten Kurven zu sehen sein.

Es sind sicher noch mehr Elektrodenanordnungen denkbar. Um Muskelspannungen zu messen, läßt sich beispielsweise

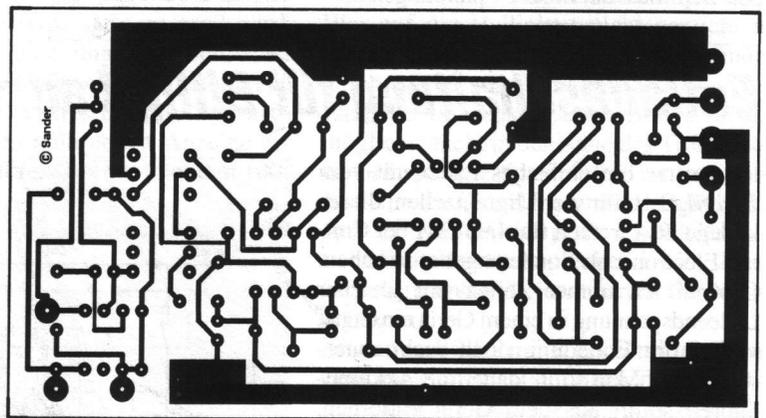


Bild 3: Das einseitige Platinenlayout

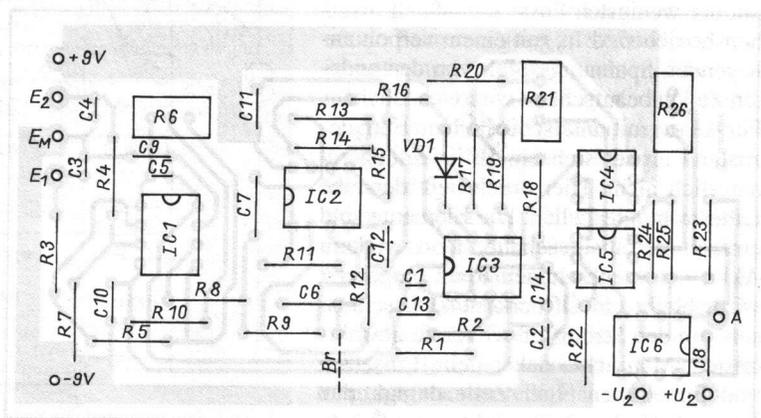


Bild 4: Bei der Bestückung darf die Brücke BR nicht vergessen werden.