

Dieser Artikel wurde heruntergeladen von

Fingers elektrischer Welt

<http://www.fingers-welt.de>

Der Artikel wurde mit freundlicher Genehmigung des
Verlages zur Verfügung gestellt.

Stichwort:

Dimmer

- Die Pulsweitenmodulation gehört zur Leistungssteuerung; Stichwort 'Dimmer' im **E•A•C** (vgl. Seite 69).

lesen & löten: DC-Leistungssteuerung (1)

Diese Elektronik hat Gleichstrommotoren bis 3 kW voll im Griff:

Dauer-Power



- Für die Segelwinde beim Hochstart
- Aber auch für den Fahrrad-Hilfsmotor
- Leistungsdosierung durch Stückelung
- Pulsweitenmodulation heißt das Motto
- Kaum glaublich, was diese MOSFETs können

Steckbrief: Erfahrung erforderlich (wg. der Riesenströme)

Funktion:	Leistungssteuerung für Gleichstrommotoren
Prinzip:	Pulsweitenmodulation
Einstellbereich:	0...100%
On-Widerstand:	< 7 mΩ
Stromversorgung:	10...12...15 V
Schaltvermögen:	max. 220 A Dauerstrom
Wirkungsgrad:	bis 93%
Abmessungen:	145 x 74 x 35 mm (Steuerelektronik) 200 x 75 x 40 mm (Kühlkörper)
Bausatzpreis:	ca. 249,- DM (inkl. Kühlkörper und Stromschienen)
Fertigbaustein:	ca. 274,- DM (inkl. Kühlkörper und Stromschienen)

Die Leistungssteuerung ist bei Wechselspannungen relativ einfach, weil man auf diverse ICs zur Phasenanschnittsteuerung zurückgreifen kann. Bei Gleichspannung muß man da schon einige Klimmzüge machen und den Strom häppchenweise zuführen. Dazu benötigt man Halbleiter-Schalter mit exzellentem Schaltvermögen, d.h. geringem On-Widerstand und kleiner Restspannung. Die hier eingesetzten Power-MOSFETs sind ein eindrucksvolles Anwendungsbeispiel unserer FET-Grundlagen. Sie schaffen Spitzenströme bis zu 26000 Ampera (kein Druckfehler)!

Leistungsgerechte Wünsche

Im Zusammenhang mit der Leistungssteuerung für Gleichstrommotoren wird immer wieder der Wunsch an uns herangetragen, auch eine Elektronik für dicke Maschinen zu entwerfen. Die 20 A des Flugschalters aus **E-A-M** 7/92 reichen manchem ebenso wenig aus wie die 40 A, die unser Fahrtregler aus Heft 1/89 verkraftet. Sicher gibt es dafür eine Reihe plausibler Anwendungen, denkt man nur an Elektroantriebe im **Rollstuhl** oder **Solarmobil**. Aber auch Modellbauer benötigen gelegentlich solche Höchstleistungen; Modellflieger, die ihre Segler per Hochstart in die Lüfte bringen, müssen die dazu geeignete **Windensteuerung** stets voll im Griff haben und dazu derart große Leistungen steuern können.

Für diese Beläge haben wir eine Steuerung für 12-V-Gleichstrommotoren bis über 2 kW Nennleistung entwickelt. Wir unterteilen die Baugruppe in die eigentliche **Steuerelektronik**, deren Bauanleitung Sie im vorliegenden ersten Teil finden. Teil 2 im nächsten Heft beschäftigt sich dann mit dem stromstarken **Leistungsteil**, der Dauerströme bis über 200 A verarbeitet. Diese Riesenströme werfen Probleme ganz eigener Art auf, die uns „Schwachstrom-Elektrikern“ normalerweise fremd sind.

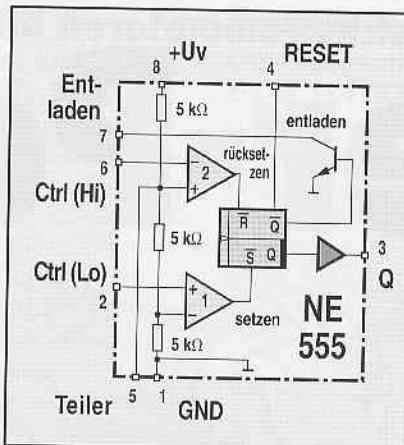


Bild 1: Dieser Universal-Zeitgeber erzeugt die Ausgangsfrequenz, die in gewissen Grenzen einstellbar ist.

Bitte bedenken Sie folgendes: Ein Kupferkabel mit $0,75 \text{ mm}^2$ Querschnitt (Haushaltsinstallation) hat pro Meter einen ohmschen Widerstand von $23 \text{ m}\Omega$. Würde so eine Leitung von einem Strom von 200 A durchflossen (z.B. bei einem Kurzschluß), dann würde das dicke Kupferkabel mit ca. 1 kW belastet und innerhalb von Sekundenbruchteilen wegschmoren (vorausgesetzt, dem Strom geht nicht die Luft aus, d.h. die 200 A fließen konstant weiter)! Sie sehen also, womit wir es hier zu tun haben. **Auch der Umgang mit ungefährlichen Kleinspannungen hat seine Tücken!**

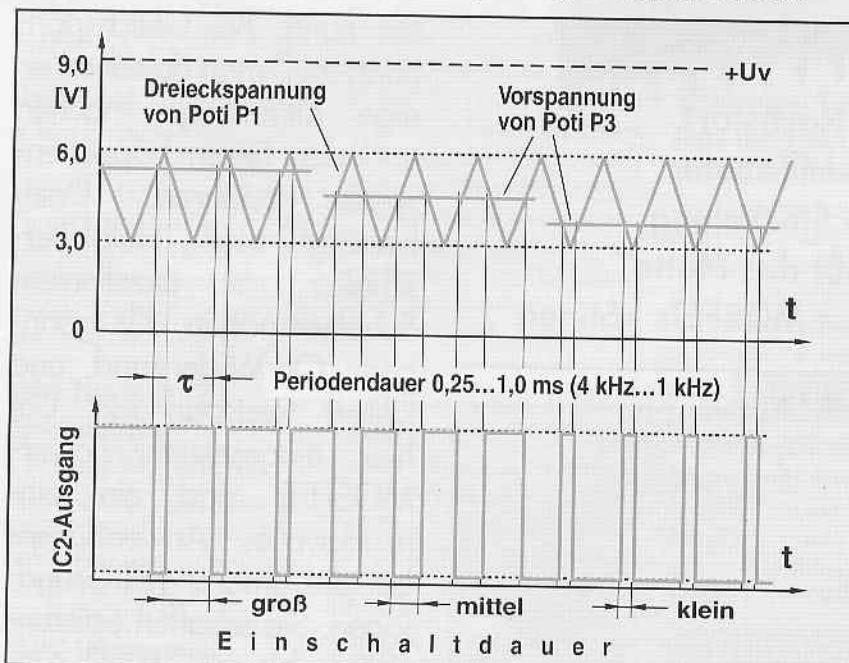


Bild 3: Wenn man die Dreieckspannung in unterschiedlicher Höhe „anschneidet“ bleibt die Periodendauer zwar konstant, aber die Einschaltdauer verändert sich.

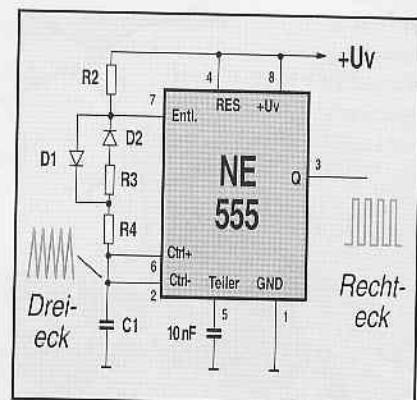


Bild 2: Die Spannung am Kondensator C1 hat durch Auf- und Entladung einen annähernd dreieckförmigen Verlauf.

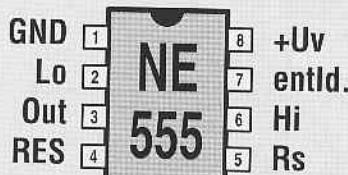
Dieses Pulsen kann sehr schnell gehen (im Kiloherz-Bereich, also mit 1000 Ein/Aus-Zyklen pro Sekunde). Der Name **Pulsweitenmodulation** (abgek. PWM) drückt aus, daß die Leistungsdosierung durch Änderung der Ein/Ausschalt-Zeiten erfolgt (Änderung des *Tastverhältnisses*).

Drei Dinge sind dazu erforderlich: Erstens benötigt man einen Oszillator, der die Zerhacker-Frequenz erzeugt; das ist das geringste Problem, denn ein Wald- und Wiesen-Zeitgeber **NE555** (IC1) löst diese Aufgabe für ein paar Groschen (**Bild 1**; vgl. **E+A+M** 7/90).

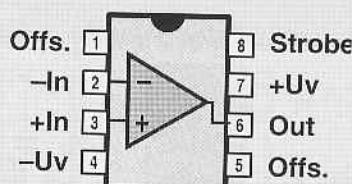
Das dritte Problem besteht darin, die dicken Ströme möglichst verlustlos und schnell genug ein- und ausschalten. Daran haben wir noch einiges zu knacken und heben es uns daher für das nächste Heft auf.

Problem Nummer 2 ist mittelschwer: Hier geht es darum, aus der Grundfrequenz des Oszillators ein PWM-Signal mit veränderlichem Tastverhältnis zu erzeugen, also das eigentliche Ansteuersignal für den Leistungsteil

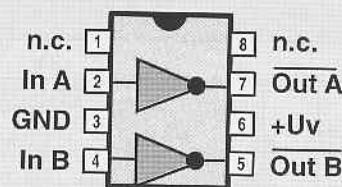
lesen & löten: DC-Leistungssteuerung (1)



Timer NE 555



OpAmp CA 3140



Treiber ICL 7667

Die Hackerei beginnt

Bei diesem Zerhacken kommt uns der NE555 entgegen; wenn der wie im Bild 2 als astabiler Multivibrator betrieben wird, entsteht am Kondensator C1 eine Dreieckspannung, deren Spitzen sich ziemlich genau zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ der Versorgungsspannung bewegen. Bei Speisung mit 9 V entsteht also ein Zickzack, der oben an 6 V und unten an 3 V anstößt (Bild 3 oben).

In diesen Verlauf ist ein konstanter Gleichpegel eingetragen (waagerechte Striche, „Vorspannung von Poti P3“). Wenn man den Gleichpegel an *einen* und den Zickzack an den anderen Eingang eines Operationsverstärkers

Bild 4: Anschlußbelegung der drei aktiven Schaltkreise IC1, IC2 und IC4.

führt, entsteht an dessen Ausgang das PWM-Signal (Bild 3 unten). Je nach Einstellung der P3-Vorspannung variiert die Einschaltzeitdauer bzw. die Impulsbreite, so daß man in diesem Zusammenhang auch von **Impulsbreitensteuerung** spricht.

Den Gefallen des Zerhackens tut uns ein OpAmp vom Typ CA3140 (IC2; Bild 4). Der hat besonders hochohmige Eingänge, so daß er weder die Dreieckspannung am Kondensator noch die Poti-Vorspannung belastet. Je nach den Verhältnissen an seinen Eingängen schaltet der Ausgang um:

Der Pegel am invertierenden Eingang **-In** wird mit dem Drehzahl-Poti P3 vorgegeben, und am nichtinvertierenden Eingang **+In** liegt die Zickzack-Spannung. Sind deren Spitzen größer als der Gleichpegel, geht der OpAmp-Ausgang auf HIGH, und sobald die Spitzen unter den P3-Pegel tauchen, schaltet der Ausgang um nach Masse.

Sofern die Dreieckspannung den Gleichpegel nie erreicht, bleibt der Ausgang dauernd auf Masse (LOW) oder auf Plus (HIGH); dies sind die Zustände der minimalen bzw. maximalen Leistungszufuhr (Stillstand bzw. Höchstdrehzahl des Motors). Bezuglich der OpAmp-Grundlagen verweisen wir auf unser Sonderheft Nr. 3.

DC-Leistungssteuerung (Steuerelektronik)

Platine:

--- 1 Segelwindensteuerung HB 176.1
Dr 1 Drahtbrücke

Halbleiter:

IC1	1	Universal-Zeitgeber	NE 555
IC2	1	OpAmp	CA 3140
IC3	1	9-V-Festspannungsregler	78L09
IC4	1	MOSFET-Treiber	ICL 7667
D1,2	2	Silizium-Universaldiode	1N4148
D3,4	2	Z-Diode 16 V	ZPD 16V0
D6,7	2	Silizium-Universaldiode	1N4148
D3,4	2	Z-Diode 16 V	ZPD 16V0
LD1	1	Leuchtdiode, grün	Ø 5 mm

Kohleschichtwiderstände: (250 mW / 5 %)

R1	1	470 R	(gelb - violett - braun - gold)
R2,3	2	4 k 7	(gelb - violett - rot - gold)
R4	1	15 k 0	(braun - grün - orange - gold)
R5	1	47 k 0	(gelb - violett - orange - gold)
R6,7	2	3 k 9	(orange - weiß - rot - gold)
R8,9	2	1 R 0	(braun - schwarz - gold - gold)

Potentiometer:

P1	1	Trimm-Poti, liegend	50 kΩ
P2	1	Trimm-Poti, liegend	4.7 kΩ
P3	1	Dreh-Poti (6 mm)	100 kΩ

Festinduktivität:

L1	1	Drossel	100 µH
----	---	---------	--------

Kondensatoren:

C1	1	keramischer Kondensator	10 nF
C2	1	keramischer Kondensator	10 nF
C3	1	keramischer Kondensator	100 nF
C4	1	Mini-Elektrolytkondensator	1 µF / 63 V
C5	1	Mini-Elektrolytkondensator	4.7 µF / 50 V
C6	1	Elektrolytkondensator	100 µF / 20 V
C7	1	keramischer Kondensator	100 nF
C8	1	Elektrolytkondensator	100 µF / 20 V
C9	1	keramischer Kondensator	100 nF
C10	1	keramischer Kondensator	100 nF
C11	1	Elektrolytkondensator	4700 µF / 35 V
C12	1	Mini-Elektrolytkondensator	10 µF / 50 V
C13	1	Elektrolytkondensator	4700 µF / 35 V

Mechanisches Zubehör:

(ICs)	3	Fassung	8polig
(P3)	1	Schraubklemme	3polig
(+12)	1	Schraubklemme	1polig

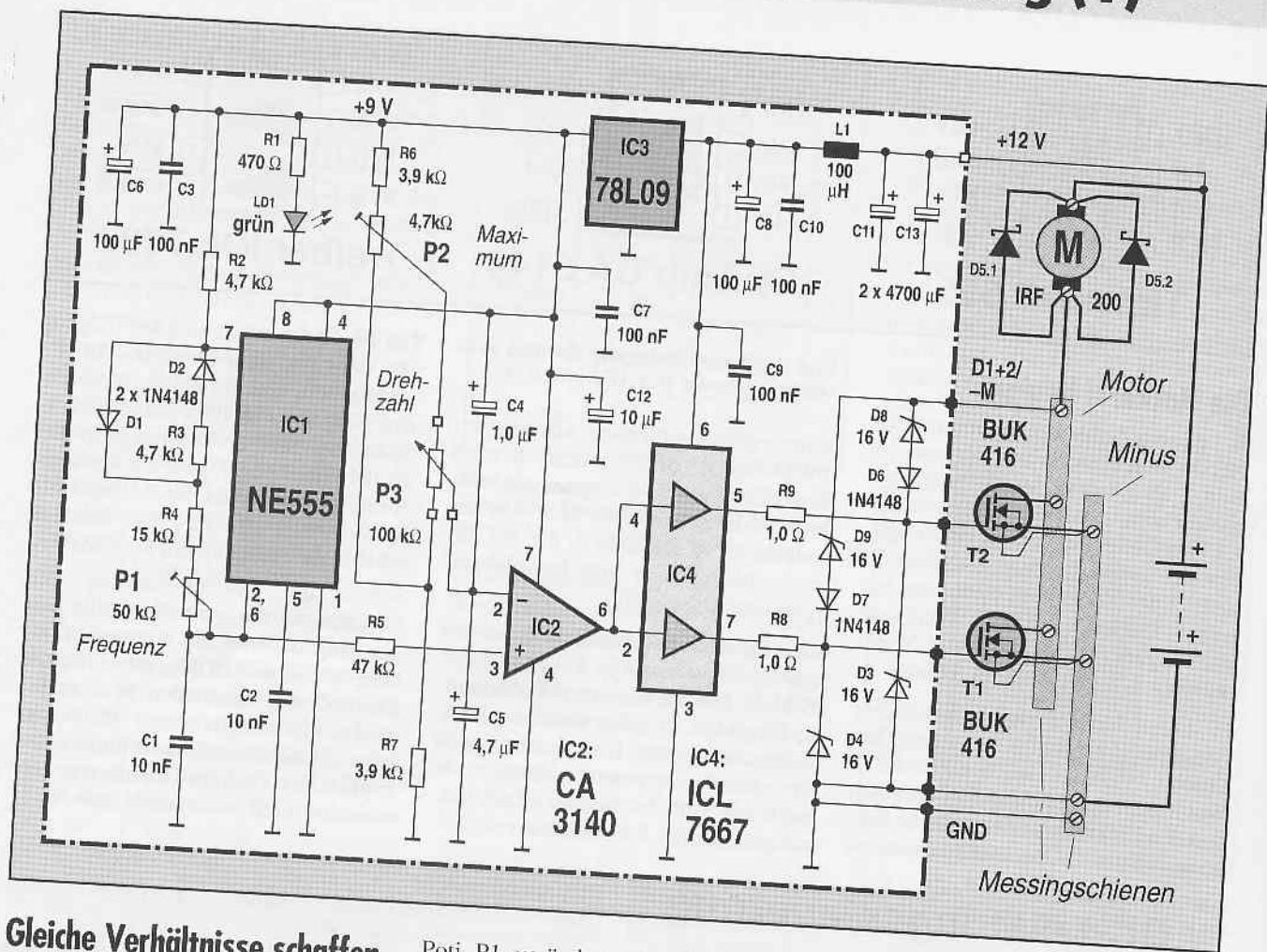
Zubehörteile Leistungsteil:

--- div. Leistungshalbleiter (T1, T2, D5),
Kühlkörper, Stromschienen,
div. Montagematerial
siehe Teil 2 der Bauanleitung

Die hier aufgeführten Bauteile sind einschließlich der Zubehörteile für den Leistungsteil als kompletter Bausatz für ca. 249,- DM im Versandhandel erhältlich (davon Platine: ca. 7,50 DM).

Der bestückte, fertig montierte und geprüfte Fertigbaustein kostet ca. 274,- DM.

lesen & löten: DC-Leistungssteuerung (1)



Gleiche Verhältnisse schaffen

Auf dem Schaltbild finden Sie die bisher erwähnten Schaltkreise IC1 und IC2 problemlos wieder (Bild 5). Daß sich am linken Rand des NE555 noch zwei Dioden eingemogelt haben, hat folgenden Grund (vgl. Bild 1): Beim Aufladen des Kondensators C1 fließt der Strom von +9 V über R2, D1 und R4+P1; der Zweig D2/R3 ist unwirksam, weil D2 während dieser Phase sperrt. Beim Entladen von C1, das über Pin 7 nach Masse erfolgt, fließt der Strom über P1+R4, D2 und R3, weil diesmal D2 in Durchlaßrichtung gepolt ist.

In beiden Richtungen ist durch diesen Dioden-Trick derselbe Lade- bzw. Entladewiderstand wirksam, so daß auch beide Zeitabschnitte gleich lang sind – es entsteht auf diese Weise ein symmetrisches Dreieck-Signal. Ganz genau genommen sind die Flanken nicht linear, sondern sie sind ein Teil aus der exponentiell verlaufenden RC-Lade- bzw. Entladekurve, allerdings aus dem annähernd geradlinigen Verlauf.

Poti P1 verändert den C1-Strom in beiden Richtungen gleich; hierüber kann man die Grundfrequenz des Oszillators verstehen.

Wie beschrieben bekommt der OpAmp sowohl das Dreieck (über R5) wie auch eine konstante Vorspannung zugeführt (von P3). In dieser Schaltung arbeitet das IC als Komparator, weil sich die Differenz der Eingangsspannungen mit der vollen Verstärkung multipliziert am Ausgang auswirkt. Anders ausgedrückt: Je nach dem, an welchem Eingang Übergewicht herrscht, schlägt der Ausgang voll in die eine oder andere Richtung aus. Dieses Rechtecksignal gelangt in die beiden Treiber von IC4, die speziell zur Ansteuerung von Power-MOSFETs konzipiert wurden; doch dazu später mehr.

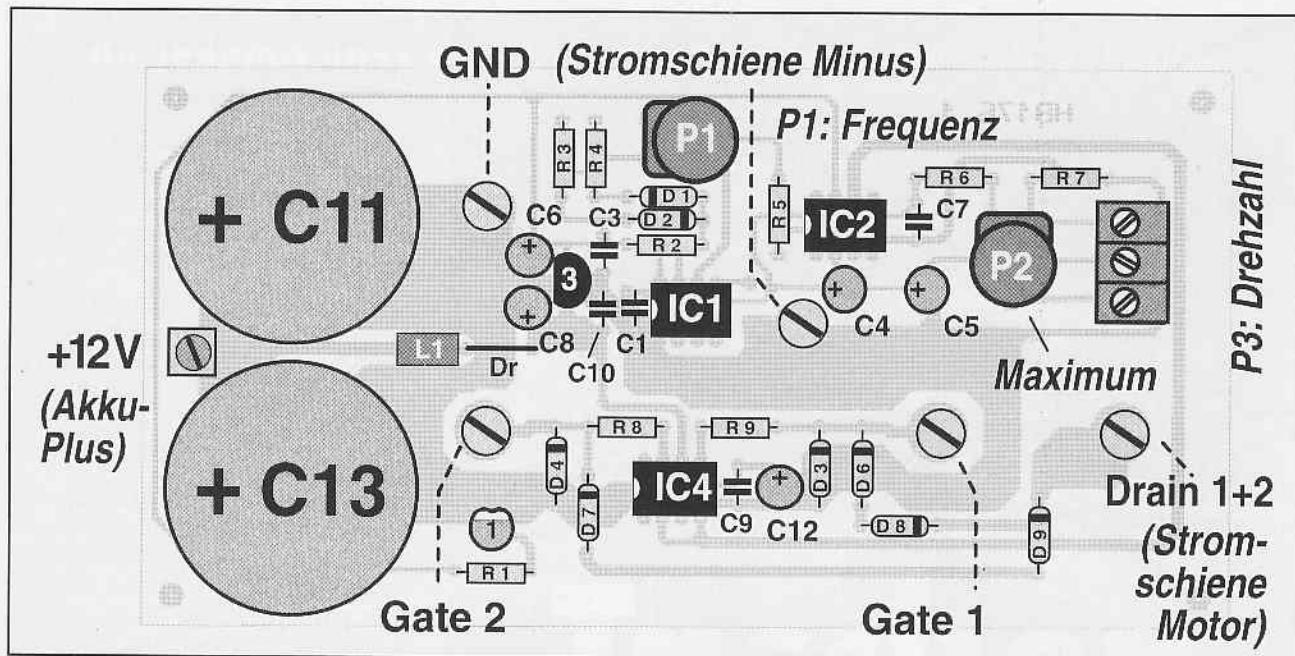
Wie Sie sehen, hängt das Drehzahl-Poti P3 nicht direkt an der stabilisierten 9-V-Spannung; sein Einstellbereich ist nach oben und unten durch R6 und R7 eingegrenzt, und Poti P2 schafft noch eine weitere Einengung (d.h. Begrenzung) nach oben.

Bild 5: Nur die eingeraumten und weiß hinterlegten Bauteile befinden sich auf der Steuerplatine, die Transistoren werden mit den Stromschienen direkt auf dem Kühlkörper montiert.

Damit ist es möglich, den maximalen P3-Pegel noch unterhalb der Dreieck-Spitzen anzusiedeln und damit die Höchstdrehzahl zu beschränken. Das kann bei bestimmten Motortypen nicht nur wünschenswert, sondern u.U. sogar dringend erforderlich sein. Denn wenn Sie beispielsweise einen ausgedienten Anlasser aus dem Auto nehmen, dann haben Sie einen lupenreinen Reihenschlußmotor vor sich; und wenn der im Leerlauf betrieben wird, verhält er sich wie ein wildgewordenes Pferd: Er neigt zum Durchgehen, was sich in immer höherer Drehzahl und explosionsartigem Auseinanderfliegen äußert. Aber auch dagegen werden wir uns zu schützen wissen.

Die Frequenzerzeugung ist über den Stabi IC3 strikt vom Leistungsteil getrennt, um von dort kommende Störungen konsequent abzublocken.

Lesen & löten: DC-Leistungssteuerung (1)



Die Oberspannung für diesen Stabi wird von den beiden dicken Elkos C11&C13 gestützt, damit die Elektronik auch bei Spannungseinbrüchen unter Vollast noch weiterversorgt wird (Bild 6). Diese beiden Hilfsversorger sitzen räumlich direkt an der 12-V-Einspeisung, und weiter entfernt davon sind überall noch weitere Stütz- und Entstörkondensatoren verteilt (C8&C10, C3&C6, C7&C12, C9).

Die beiden Elkos C4 und C6 haben eine ganz andere Funktion; Sie federn gewissermaßen die Gleichspannung am Minus-Eingang des OpAmps ab. Verstellungen am Poti werden dadurch nicht ruckartig wirksam, sondern ein bisschen verzögert; das ergibt ein „weiches“ Verhalten des Motors.

n-Power-MOSFET (selbstsperrend)



BUK416-100AE

Bild 7: Diese Daten von 110 A Dauerstrom und über 300 W Verlustleistung traut man einem MOSFET gar nicht zu.

Auf daß die Richtung stimmt

Vor dem eigentlichen Nachbau müssen Sie die Drahtbrücke Dr einsetzen, durch die eine unterbrechungsfreie Masseführung möglich wird.

Nehmen Sie sich dann die zahlreichen Dioden vor, die Sie in zwei Gruppen einteilen: Vier davon sind Wald- und Wiesentypen (1N4148 o.ä.), und die übrigen vier sind 16-V-Z-Dioden. Bei deren Bestückung kommt es nicht nur auf die richtige Ausrichtung an (Lage des schwarzen Katodenrings), sondern es muß auch der richtige Typ am richtigen Platz sitzen. Bedenken Sie, daß dies Schutzdiode für die beiden Transistoren sind; diese MOSFETs können strommäßig zwar ein halbes E-Werk verschlingen, sind spannungsmäßig aber sehr sensibel! Eine Falschbestückung könnte also dazu führen, daß die zuhauft auftretenden Induktions spitzen vom Motor zur Zerstörung der teuren Transistoren führen!

Im Vorgriff auf Teil 2 wollen wir hier schon einmal einen verstohlenen Blick auf diese Exoten werfen. Es handelt sich dabei um n-Kanal-„Super“-Power-MOSFETs, die sage und schreibe 110 A Dauerstrom verkraften (Bild 7). Die Bauform läßt alles andere vermuten als einen Transistor, denn Anschlußbeine im herkömmlichen Sinne gibt es nicht mehr; hier werden die Zuführungen verschraubt (Bild 8).

Bild 6: Die Platine ruht auf fünf Abstandsbolzen, die auch gleichzeitig zur Kontaktierung dienen (GND [2x], Gate 1, Gate 2, Drain 1+2/Motor-).

Bei der Bestückung geht es mit den Widerständen weiter, gefolgt von den drei Fassungen für die ICs. Das dürfte ebenso wenig Probleme aufwerfen wie das Einsetzen der Potis und der kleinen Kondensatoren. Nur bei den Elkos kommt es wieder darauf an, daß die Richtung stimmt; der Pluspol ist derjenige Anschluß mit dem längeren Draht! Komplettieren Sie dann die Platine durch Einlöten von IC3, der Festinduktivität L1 (hält Störspitzen fern) und der Anschlußklemmen. Zum Schluß folgen die dicken Elkos, aber die drei ICs bleiben noch draußen.

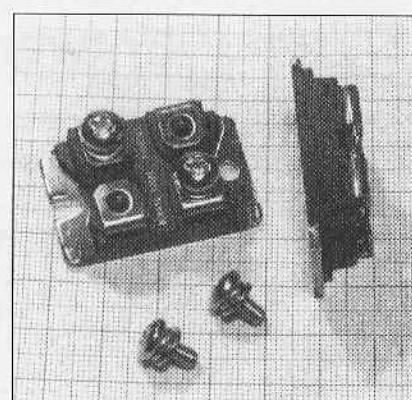
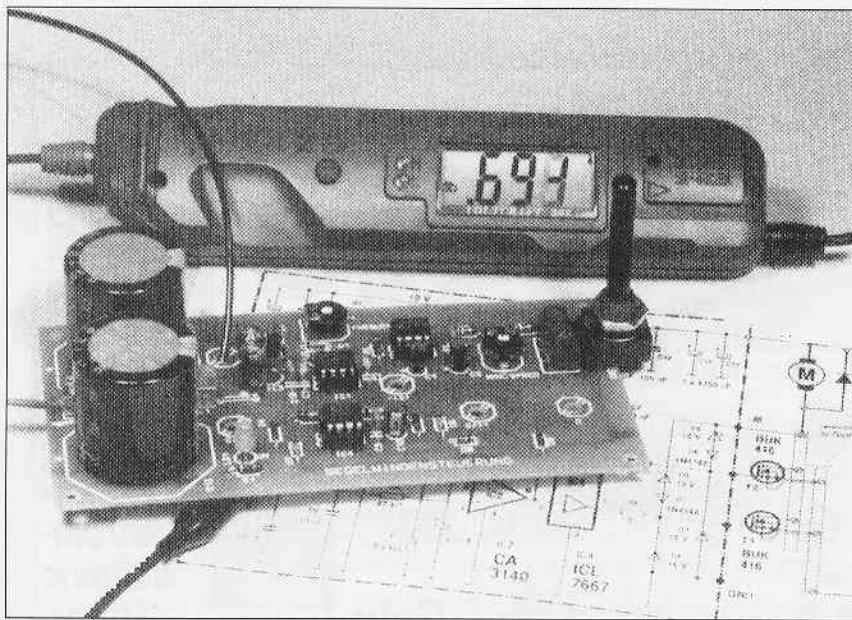


Bild 8: Mit Löten spielt sich hier nichts mehr ab; die Anschlüsse werden mit M4-Schraubverbindungen hergestellt.

lesen & löten: DC-Leistungssteuerung (1)



Gleich fünfmal auf Stütze

Wo im Bestückungsplan fünf Schraubenköpfe zu erkennen sind, sitzt die Platine später auf M4-Abstandsbolzen (vgl. Foto auf Seite 7); diese Punkte werden im Augenblick noch nicht verdrahtet. Vergewissern Sie sich stattdessen, daß alles richtig bestückt ist und keine Flüchtigkeitsfehler beim Löten passiert sind (kalte Lötstellen oder versehentliche Lötbrücken).

Erst wenn alles seine Richtigkeit hat, geht es an die Inbetriebnahme der Steuerelektronik. Dazu sind die dicken MOSFETs nicht erforderlich; die und D5 kommen erst dann an die Reihe, wenn die Ansteuerschaltung einwandfrei funktioniert!

ANZEIGE

Diese Funktionsprüfung führen Sie schrittweise wie folgt durch (Bild 9):

Löten Sie an den Minuspol von C11 oder C13 ein provisorisches Massekabel an (auf der Platinen-Unterseite) und führen Sie darüber und über die 12-V-Klemme eine externe Hilfsspannung von ca. 12 V zu.

Die grüne LED muß sofort erstrahlen, weil sie erstmals Saft bekommt. Messen Sie nach (*und zwar direkt an den entsprechenden Pins der IC-Fassung!*), ob die von IC3 erzeugten +9 V vorhanden sind und überall ankommen.

Ist dies der Fall, setzen Sie IC1 (*mit der Markierungskerbe nach links!*) in seine Fassung ein. An den Pins 2&6 muß nun eine Frequenz im Kilohertz-

Bereich zu messen sein (mit 9 V Amplitude). Das können Sie mit einem Oszilloskop oder Zähler testen oder Sie nehmen hilfsweise einen Logikprüfstift in Stellung 'CMOS'.

Setzen Sie dann IC2 ein (bei abgeschalteter Spannung) und kontrollieren Sie, ob sich beim Verstellen des extern angeschraubten Potis P3 die Spannung am Pin 2 verstetzen läßt (2,7...6,3 V; P2 auf Rechtsanschlag).

Am IC-Ausgang (Pin 6) muß nun das pulsweitenmodulierte Rechtecksignal anliegen, das Sie am einfachsten (und anschaulichsten) mit einem Oszilloskop verfolgen können. Hier aber läßt sich auch ein Logikprüfstift verwenden, der eine grobe Anzeige des Tastverhältnisses ermöglicht: Je nach P3-Stellung muß die entsprechende LED des Prüfstifts heller oder dunkler werden; in den Poti-Endstellungen muß sie dauernd leuchten bzw. ganz ausgehen. Dies ist das Zeichen, daß die PWM-Erzeugung funktioniert!

Nach dem Einsetzen von IC4 überzeugen Sie sich, daß an dessen Ausgängen dasselbe Verhalten wie eben zu beobachten ist, nur mit umgekehrten Vorzeichen: Die Treiber im IC invertieren das Signal nämlich, so daß die Prüfstift-LED jetzt dunkel ist, wo sie vorher hell war und umgekehrt.

Wenn Sie so weit sind, atmen Sie tief durch; im nächsten Heft geht es weiter!

Entwerfen Sie Ihre Leiterplatten noch so?

dann ist es höchste Zeit für den **DRAFTSMAN-EE**

Ein professionelles CAD-Programm vom Stromlaufplan bis zur Leiterplatte mit Autoplacer und 100%-Autorouter

Sie meinen, das kommt viel zu teuer? Eben nicht!

für DM 198,- (- DM 15,- Versand + MwSt) erhalten Sie:

Jetzt mit noch mehr Programmen und Bibliothekselementen

Die Einsteigerversion DC/CAD2500 = Editor für Stromlaufpläne und Leiterplatten, Netzlistengenerator, automatische Bauteileplazierung, Giummibandgenerierung, RipUp und Retry, 100% Autorouter und Design-Rule-Checker. Ca. 7 MB Daten und Programme. Mit über 350 Seiten Trainingshandbuch in besten Deutsch. Voll ausgabe- und speicherfähig, ohne Kopierschutz. Gegenüber der Grundversion auf die Verwendung von maximal 2500 grafischen Elementen eingeschränkt.

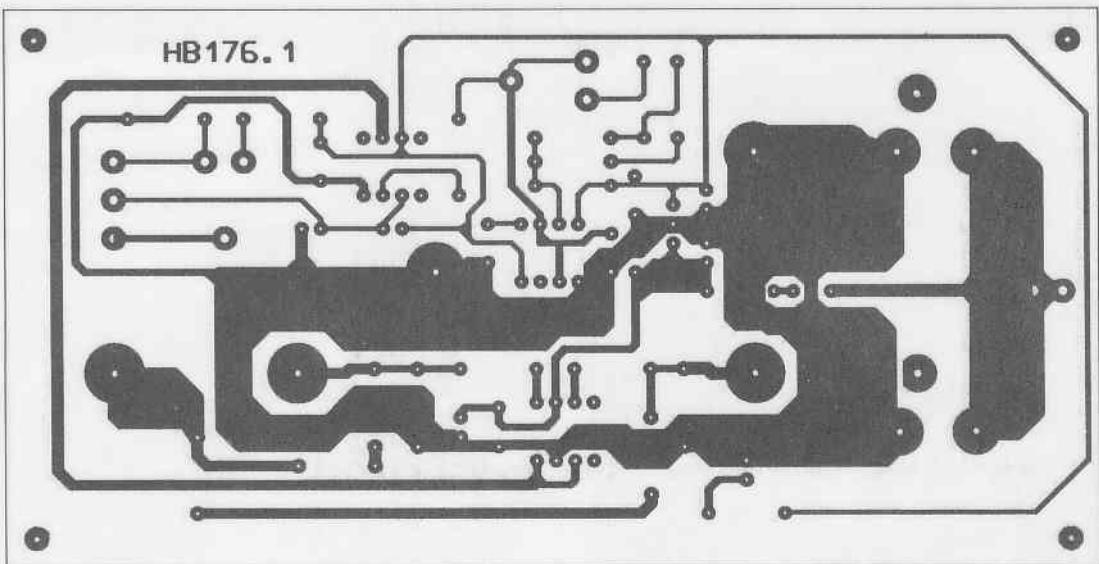
Das reicht für das Design einer Europa-Karte in üblicher, nicht all zu dichter, Bestückung. Profi-Software mit 1 mm Auflösung (fast metrisch umschalbar). Menü-, tastatur-, maus-, tabletteit-bedeckbar. Von 1- bis 40-Leiterbahnen auf maximal 80 x 80 cm Arbeitsfläche. Voll SMD-fähig, auch beidseitige und überlappende Bestückung. Beliebige Leiterbahnbreite, Lötstangenform- und Abmessung. Ausgabe auf Matrix und Laserdrucker, Stift- und Fotoplotter, Excel- und Word- und PostScript. Daten und befehlskompatibel von der Einsteigerlösung bis zur schnellen 386er Version. Die Grundversion (ohne Elemente-Beschränkung) kostet netto ohne Autorouter 1.591,- DM, mit Autorouter 2.303,- DM

WALTER ELECTRONIC

73340 Amstetten Schwalbenweg 13
Telefon: 07331/71396 Telefax: 07331/71397

■ DC-Leistungssteuerung

HB 176.1; ab Seite 7 (145 x 74 mm)



Stichwort:

Dimmer

- Die Pulsweitenmodulation gehört zur Leistungssteuerung; Stichwort 'Dimmer' im **E•A•C** (vgl. Seite 69).

lesen & löten: DC-Leistungssteuerung (2)

Diese Elektronik hat Gleichstrommotoren bis 3 kW voll im Griff:

Dauer-Power



DC-Leistungssteuerung (Leistungsteil)

Halbleiter:

T1,2	2	Power-MOSFET 310 W	BUK 416
D5	1	Schottky-Leistungsdiode 200 A	IRF 200-CNO

Mechanisches Zubehör:

(T1,2)	1	Kühlkörper SK47 (0,7 kW)	75 x 200 x 40
---	1	Messingschiene, gebohrt (Minus)	
---	1	Messingschiene, gebohrt (Motor)	
---	2	Abstandsbolzen M4 x 15 (Innen- u. Außengew.)	
---	3	Abstandsbolzen M4 x 10 (Innen- u. Außengew.)	
(T1,2)	4	Messing-Abstandsröhrchen 5 mm	
---	4	Innensechskant-Schraube M4x16	
(T1,2)	4	Innensechskant-Schraube M4x10	
---	5	Zylinderkopfschraube M4x6	
---	9	Mutter M4	
---	2	Schrumpfschlauch Ø9,5 mm x 15 mm	

Die hier aufgeführten Bauteile gehören zur Segelwindensteuerung, die als kompletter Bausatz für ca. 249,- DM im Versandhandel erhältlich ist. Der bestückte, fertig montierte und geprüfte Fertigbaustein kostet ca. 274,- DM.

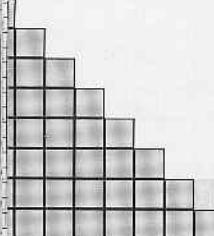
Unbedingt benötigtes Zubehör:

(gehört nicht zum Lieferumfang des Bausatzes)

---	1	Batterie-Trennschalter	ca. 29,80
-----	---	------------------------	-----------

Die Leistungssteuerung ist bei Wechselspannungen relativ einfach, weil man auf diverse ICs zur Phasenabschnittsteuerung zurückgreifen kann. Bei Gleichspannung muß man da schon einige Klimmzüge machen und den Strom häppchenweise zuführen. Dazu benötigt man Halbleiterschalter mit exzellentem Schaltvermögen, d.h. geringem On-Widerstand und kleiner Restspannung. Die hier eingesetzten Power-MOSFETs sind ein eindrucksvolles Anwendungsbeispiel dafür.

Teil 1 im vorigen Heft befaßte sich mit der Steuerelektronik; hier kommt nun der Leistungsteil an die Reihe, der für uns „Schwachstrom-Elektriker“ eine Herausforderung besonderer Art bedeutet. Schließlich haben wir es nicht jeden Tag mit Strömen von mehreren 100 A zu tun!



lesen & löten: DC-Leistungssteuerung (2)

Vorsicht vor rohen Kräften!

Machen Sie sich bitte klar, daß es hier um Leistungen im Kilowatt-Bereich geht (in alten Einheiten sind das 3...4 PS!). Der Motor entwickelt Kräfte, die bei unsachgemäßer Handhabung sehr schnell außer Kontrolle geraten können. Es ist völlig unmöglich, so einen Antrieb etwa von Hand bremsen zu wollen.

Halten Sie sich deshalb sklavisch an unsere Angaben, die Sie in diesem Fall bitte nicht als Anleitung, sondern als bindende Vorschrift ansehen wollen; haken Sie darum jeden einzelnen Schritt sorgfältig ab!

Zwei Stromschienen stellen gewissermaßen das Bindeglied zwischen Steuerelektronik und dem Laststromkreis dar (Bild 10).

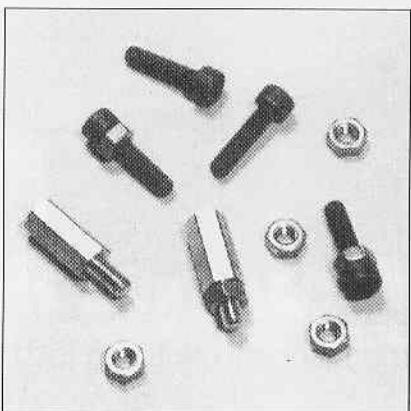


Bild 11: Bei vier Inbusschrauben und zwei Abstandsbolzen wird die Gewindelänge durch eine Mutter verkürzt.

Sobald die beiden Leistungstransistoren durchschalten, wird der Stromfluß zwischen diesen beiden Massivleitern hergestellt. Wir unterscheiden die (obere) **Minus**-Schiene, die an den Minuspol des Akkus führt und die (untere) **Motor**-Schiene, an die der Antrieb angeschlossen wird (vgl. Bild 17). In sämtlichen Darstellungen haben wir die oben gezeigte Lage dieser beiden Stromschienen beibehalten, um Ihnen die Orientierung zu erleichtern.

Zunächst schrauben Sie auf die vier 16 mm langen Innensechkantschrauben (Inbus®) und auf die 15-mm-Abstandsbolzen je eine M4-Mutter (Bild 11).

Bild 12: Damit geht es los: Zuerst schrauben Sie die drei 10 mm langen Abstandsbolzen in die Schienen ein.

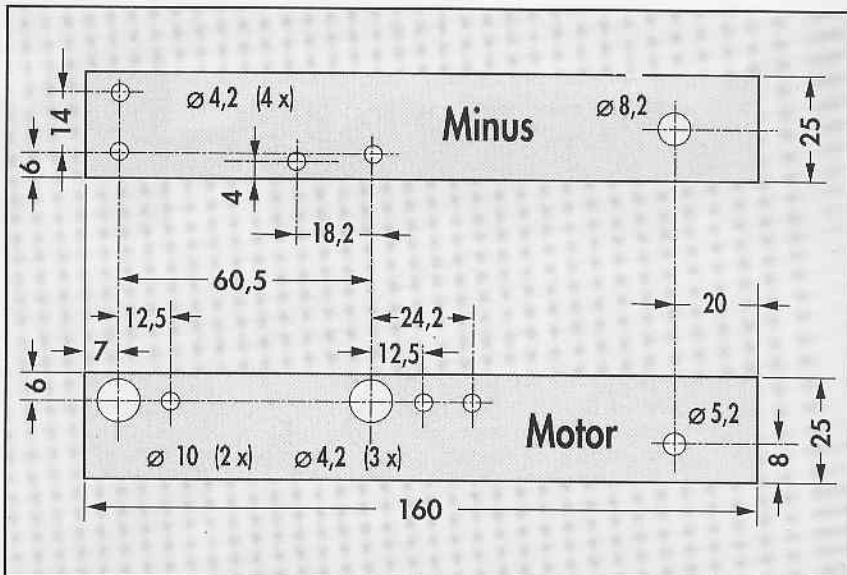


Bild 10: Die beiden Stromschienen werden aus 3 mm dickem Messingblech hergestellt; sie sind fertig gebohrt im Bausatz enthalten.

Die drei 10-mm-Abstandsbolzen werden so mit den Stromschienen verschraubt, wie es Bild 12 zeigt. Dies sind drei der insgesamt fünf Widerläger, auf denen später die Platine festgeschraubt wird (vgl. den Beleuchtungsplan Bild 6 im ersten Teil). Bei der Selbstherstellung der Stromschienen müssen Sie die Bohrungen natürlich sauber entgraten; jeder Span könnte später einen Kurzschluß mit üblichen Folgen verursachen!

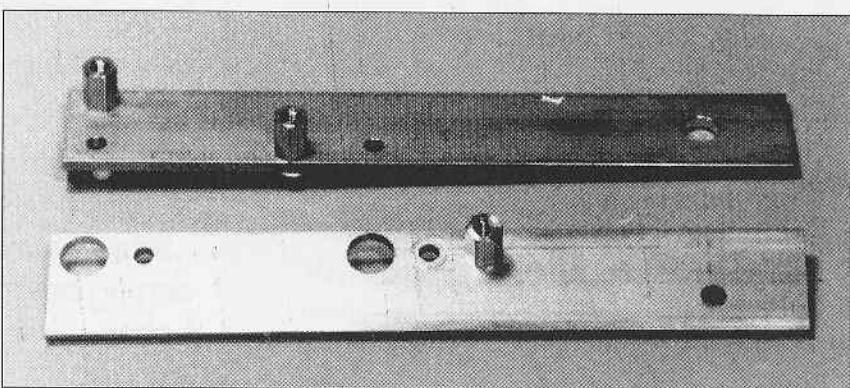
Achten Sie außerdem auf festen Sitz aller Verschraubungen! Die Muttern müssen kräftig gekontert werden, damit hier keine Wackelkontakte entstehen können. Bedenken Sie, daß die mechanischen Verbindungen gleichzeitig auch Strompfade sind!

Von den mechanischen Kleinteilen sind nun schon alle neun M4-Muttern und die drei 10-mm-Abstandsbolzen „verbraten“ (vgl. Stückliste auf S. 63).

Vor der Montage der beiden Leistungstransistoren müssen Sie zunächst die vier Schrauben herausdrehen, die herstellerseitig zur Kontaktierung vorgesehen sind; wir gehen diesbezüglich andere Wege.

Die Montagebohrungen im Kühlkörper sind zwar symmetrisch, aber an einer Längsseite sind zusätzlich zwei M4-Gewindelöcher eingelassen (bei dem im Bausatz mitgelieferten Exemplar; vgl. Bild 15). Legen Sie den Kühlkörper so hin, daß diese beiden Bohrungen oben sind; Sie haben dann später eine recht einfache Befestigungsmöglichkeit für die gesamte Steuerelektronik (vgl. Bild 21).

Beim Einbau der Transistoren kann man sich sehr leicht versehen, weil man sie auch um 180° verdreht montieren kann. Bitte beachten Sie die richtige Lage der Bohrung und des unten offenen Flansches (Bild 13)!



lesen & löten: DC-Leistungssteuerung (2)

Eine Verpolung dieser Leistungs- halbleiter hätte fatale Folgen; denn er- stens würden die MOSFETs dann durchschlagen und einen Kurzschluß verursachen, durch den der Motor außer Kontrolle gerät. Und zweitens bedeutet eine Zerstörung der nicht ge- rade billigen Teile einen herben finan- ziellen Verlust. Darum heißt es hier doppelt aufpassen!

Zur professionellen Montage dienen wieder Innensechskantschrauben, und zwar die vier kurzen (M4 x 10). Zum Festziehen benötigen Sie einen 3-mm- Sechskantschlüssel, der als *Inbus- schlüssel* im Handel geläufig ist. Tra- gen Sie vor dem Anschrauben unbedingt Wärmeleitpaste auf (Bild 14).

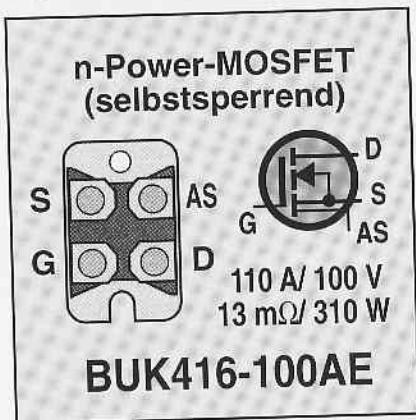
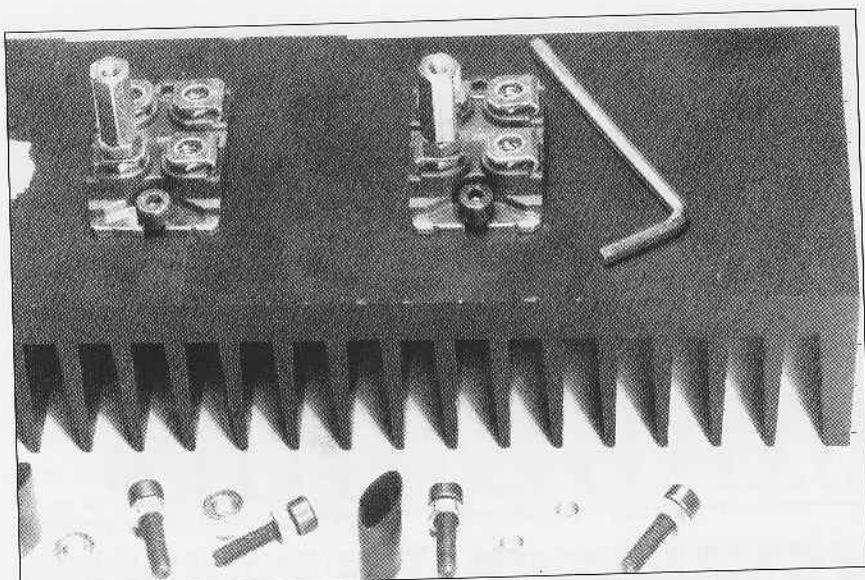


Bild 13: Achtung, zum polungsrichtigen Einbau muß die Bohrung nach oben zeigen und der offene Flansch nach unten!

Daß diese Maßnahme alles andere ist als reine Zugabe, macht folgende Überlegung deutlich: Angenommen, durch so einen Transistor fließt ein Drainstrom von $I_D = 100$ A, und der On-Widerstand R_{on} liegt bei den angegebenen 13 mΩ. Dann beträgt die Verlustleistung $P_V = I_D^2 \cdot R_{on}$, was sage und schreibe 130 W ergibt!

Das liegt durchaus noch im „grünen“ Bereich, weil der BUK416 maximal 310 W verträgt; aber loswerden muß er diese Leistung, die als Verlustwärme abzuführen ist. Das gelingt nur, wenn der thermische Widerstand zum Kühlkörper (und von dort zur umge- benden Luft) so gering wie irgend möglich gehalten wird. Entlastend wirkt sich lediglich der Kurzzeitbe- trieb aus.

Bild 15: Aus dieser Zusammenbau- zeichnung geht die Lage der Einzelteile noch einmal detailliert hervor.

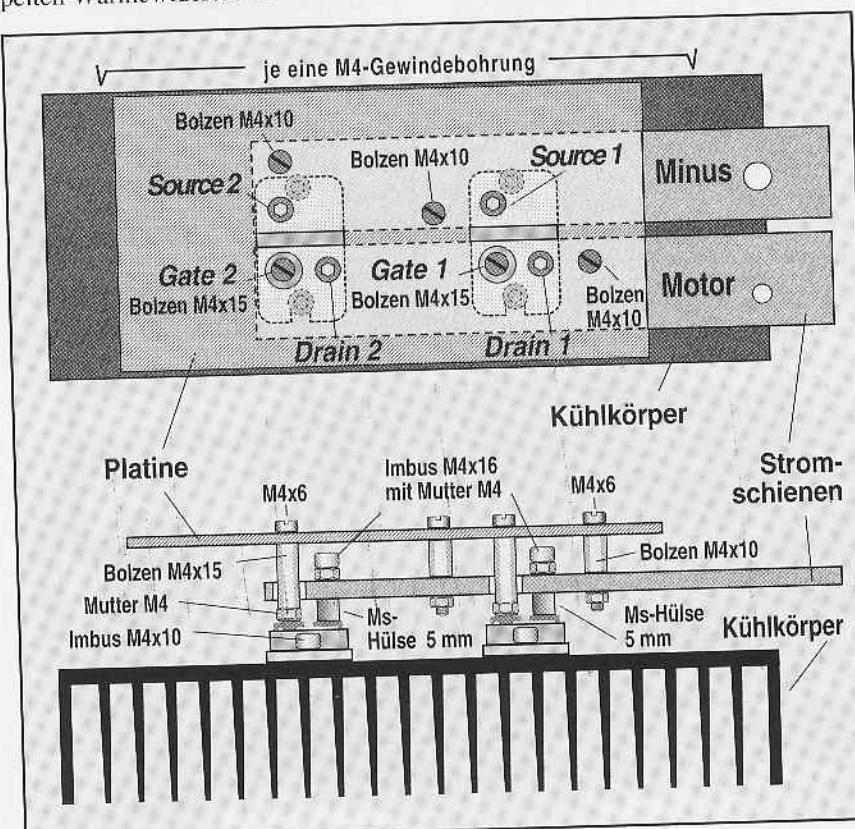


Wenn Sie die Grundlagen über Ver- lustwärme und Kühlung nachlesen wollen, finden Sie im *E+M* 6/92 alles Wissenswerte darüber. Der BUK416 hat übrigens zwischen Sperr- schicht und Montageflansch einen thermischen Widerstand von nur 0,4 K/W (Kelvin pro Watt; nicht ‚Grad Kelvin‘!). Zum Vergleich: Das TO-3-Metallgehäuse (z.B. 2N3055) hat mit ca. 1 K/W mehr als den doppelten Wärmewiderstand.

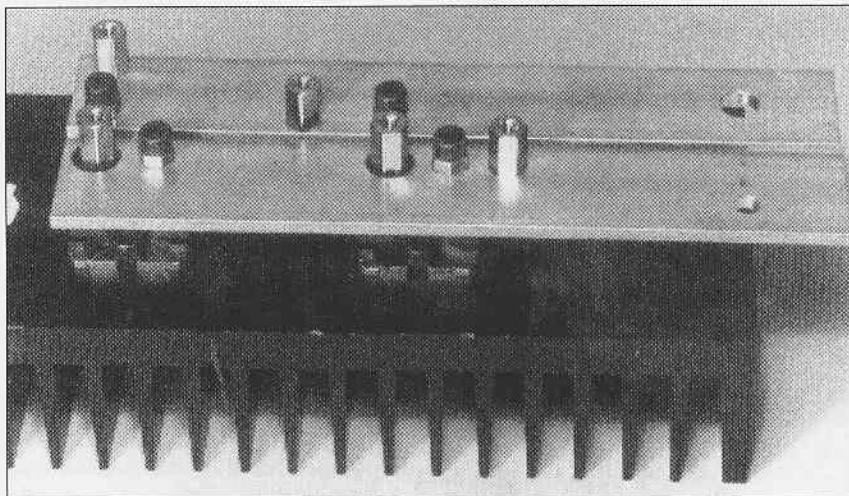
Bild 14: Streichen Sie die beiden Leis- tungstransistoren vor dem Anschrau- ben unbedingt mit Wärmeleitpaste ein!

Um Ihnen die Montage und den Nach- bau zu erleichtern, finden Sie hier unten noch einmal eine detaillierte Zu- sammenbauzeichnung (Bild 15).

Die Draufsicht erfolgt gewisser- maßen mit Röntgenblick, bei dem Sie durch die Platine und die Stromschie- nen hindurchsehen.



lesen & löten: DC-Leistungssteuerung (2)



Wie Sie auf Bild 14 erkennen, werden nun die 15-mm-Abstandsbolzen (die mit dem verkürzten Gewinde) in die Gates der Leistungstransistoren eingeschraubt. Über diese Bolzen streifen Sie sicherheitshalber noch ein Stückchen Schrumpfschlauch, um die Gefahr eines Kontakts zur Motor-Schiene auszuschließen. Diese Isolierhüllen sehen Sie auf dem Foto von Bild 14 im Vordergrund.

Nachdem Sie alles noch einmal kontrolliert haben, geht es an die eigentliche Montage der beiden Stromschienen (Bild 16). Sehr viel Auswahl haben Sie bei den Kleinteilen nicht mehr, denn außer den fünf Zylinderkopfschrauben M4 x 6 sind nur noch vier Inbus-Schrauben (die mit dem verkürzten Gewinde) und vier Metallhülsen übrig. Und genau diese Teile greifen Sie nun und bauen die Stromschienen wie folgt an:

Auf die Source-Anschlüsse der Transistoren (die befinden sich oben links, vgl. Bild 13) legen Sie je eine 5-mm-Metallhülse, stecken zwei der M4-Inbusschrauben durch die freien Bohrungen der Minus-Schiene (das ist die obere) und schrauben diese fest.

Anschließend legen Sie die beiden verbliebenen Metallhülsen auf die Drain-Anschlüsse der Transistoren (die befinden sich unten rechts, vgl. Bild 13), positionieren darauf die Motor-Schiene (das ist die untere) und verschrauben diese mit den restlichen beiden Inbusschrauben. Bei beiden Transistoren bleibt der Anschluß AS (Auxiliary Source, oben rechts) unbeschaltet; er wird nicht benötigt.

Was nun übrigbleibt ist die Endmontage der Platine. Nachdem Sie sämtliche Verschraubungen nochmals auf festen Sitz überprüft haben, befestigen Sie die Elektronik mit den fünf Zylinderkopfschrauben; die entsprechenden Bohrungen fluchten genau mit dem Innengewinde der fünf Abstandsbolzen (vgl. Foto auf Seite 63).

An die dreipolige Schraubklemme auf der Platine wird nun das 100-k Ω -Poti P3 angeschlossen, dessen Zuleitungen durchaus 0,3...0,5 m lang sein können (P3 auf *Linksanschlag* bringen).

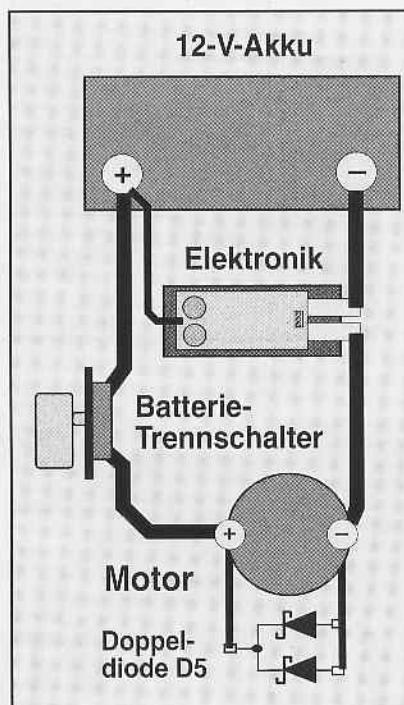


Bild 17: Der Trennschalter ist eine absolute Notwendigkeit; im Notfall trennt er Akku und Motor voneinander.

Bild 16: Zwischen den Stromschienen und den Transistoren liegen vier 5-mm-Messing-Abstandshülsen.

Der Minuspol der Elektronik hat über die beiden Abstandsbolzen bereits Kontakt zur Masse (Minus-Stromschiene); die Plus-Zuleitung müssen Sie getrennt herstellen, indem Sie ein Kabel mit 4 mm² Querschnitt zum Pluspol des Akkus bzw. zur Stromversorgung legen (Bild 17).

Zum Funktionstest schließen Sie als provisorische Last eine 12-V-Glühbirne an (keinen Motor, weil die Freilaufdiode D5 noch fehlt). Die beiden Trimmotis P1 und P2 bringen Sie zunächst auf *Rechtsanschlag*. Versorgen Sie die Baugruppe nun mit 12 V (Akku oder Netzteil) und verdrehen Poti P3 langsam nach rechts. Die Glühbirne muß nun langsam heller werden, was bis zum Maximum stufenlos vor sich geht.

Sollte das nicht der Fall sein, haben Sie mit Sicherheit einen Fehler gemacht! Noch ist Zeit genug, um ihn ohne nachteilige Folgen aufzuspüren und beheben zu können! Kritische Punkte bei der Platinenbestückung sind neben der richtigen Elko-Polung die vielen Dioden. Bitte überprüfen Sie zunächst, ob D3 und D4 sowie D8 und D9 wie angegeben die Z-Dioden sind; allzu leicht kann man sie wegen des gleichen Gehäuses mit den Universaldioden verwechseln!

Vergewissern Sie sich dann weiter, daß sämtliche Dioden auch richtig gepolt eingelötet wurden; andernfalls können sie ihre Schutzfunktion nicht übernehmen und es besteht die Gefahr, daß die dicken (und teuren) Transistoren zerstört werden!

Gehen Sie also die Dioden der Reihe nach durch und kontrollieren die Lage des Katodenrings: Er muß

- bei D1 zum Elko C11 hin zeigen,
- bei D2 zu R5 (47 k Ω),
- bei D3 zu IC2 (CA 3140),
- bei D4 zu IC3 (78L09),
- bei D6 zu IC2 (CA 3140),
- bei D7 zu IC3 (78L09),
- bei D8 zu D9 (16-V-Z-Diode) und
- bei D9 zu Poti P2.

lesen & löten: DC-Leistungssteuerung (2)

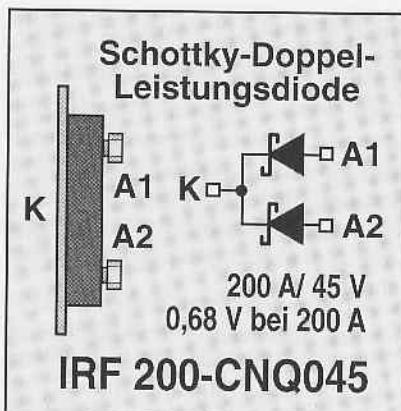


Bild 18: Sie haben richtig gelesen, diese Doppel-Diode hat bei 200 A eine Durchlaßspannung von nur 0,68 V!

Wie bereits erwähnt, wurde die Schaltung zum Einbau in eine Hochstart-Winde für Segelflugmodelle konzipiert. Sie läßt sich natürlich auch in anderen Elektroantrieben einsetzen, wobei jedoch die Dimensionierung des Kühlkörpers zu überprüfen ist. Auf jeden Fall berücksichtigen Sie bitte folgende Hinweise:

Die Stromversorgung wird bei den extrem hohen Spitzentströmen wohl ausschließlich aus einem Akku erfolgen (Kfz-Starterbatterie); ein geeignetes Netzteil dürfte schon vom Trafo her untragbar sein, und das im wahrsten Wortsinn. Zur Deckung der Stromspitzen sollte der Akku bei kleineren Motoren eine Kapazität von mindestens 63 Ah besitzen. Bei größeren Motoren (ab 700 W) sollte man einen 88-Ah-Typ einsetzen.

Als Verbindungsleitung kommen nur dicke Kupferleitungen in Frage, wie sie u.a. in der Solartechnik üblich sind. Beim 63-Ah-Akku soll der Querschnitt mindestens 35 mm^2 betragen, und bei größeren Antrieben müssen Sie schon 50 mm^2 -Kabel verwenden (bzw. ein Masseband aus Kupfer, wie es auch im Auto eingesetzt wird).

Halten Sie die Zuleitungen so kurz wie möglich! Erstens verringern Sie dadurch die Verluste, die trotz des geringen Kupferwiderstands unvermeidlich sind; zweitens sparen Sie natürlich auch unnötige Kosten ein, denn Kupfer ist nicht gerade billig.

Bild 21: Die Steuereinheit ist hier über den Kühlkörper und zwei Gummipuffer mit dem Bodenblech verschraubt.

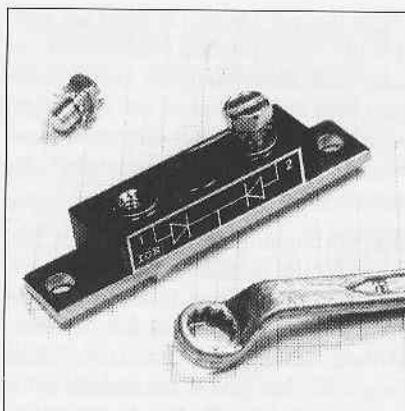


Bild 19: Mit dünnen Anschlußdrähten ist es hier nicht mehr getan; zum Anschluß muß ein 11er-Schlüssel her.

Drittens aber, und das ist ganz entscheidend, hat jedes Kabel auch eine induktive Komponente, die mit zunehmender Länge und Verwindung ansteigt. Und so eine Induktivität erzeugt beim Schalten bekanntermaßen Spannungsspitzen, die man schon durch geeignete Verdrahtung in Grenzen halten kann.

Dennoch haben wir es hier mit Induktivitäten zu tun, und zwar mit ganz beträchtlichen; denn die Motorwicklungen sind ja Spulen in Reinkultur, so daß beim gepulsten Betrieb hohe Induktionsspitzen entstehen. Damit unsere wertvollen Transistoren davon nicht zerschossen werden, müssen wir parallel zu den Motor-Anschlußklemmen eine geeignete Freilaufdiode legen (vgl. Bild 17). Geeignet heißt, daß sie die auftretenden Spitzentströme verkraften kann.

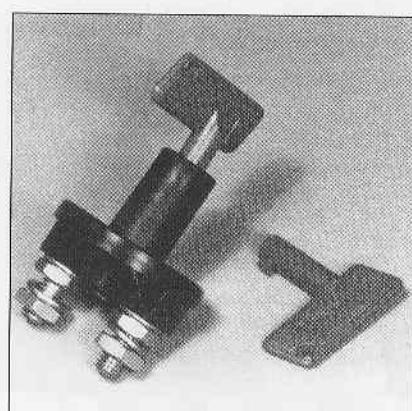
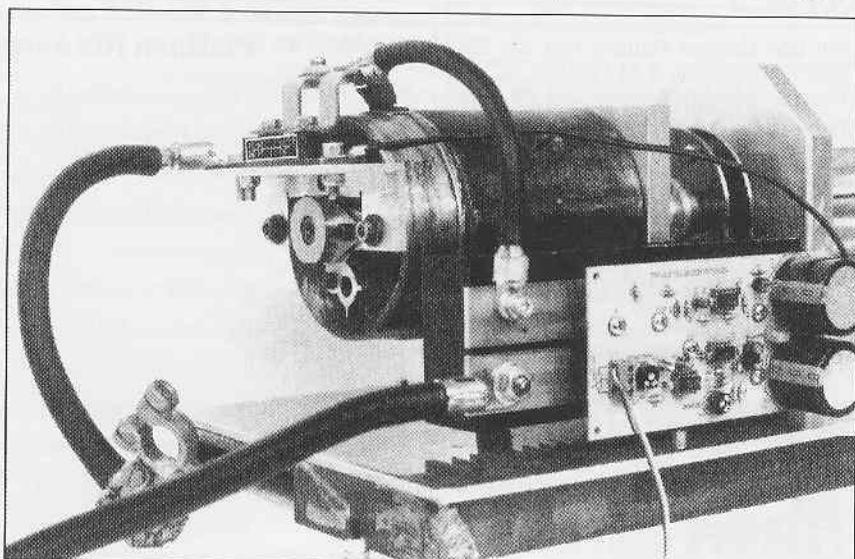
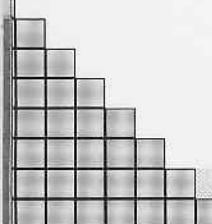


Bild 20: Damit der Motor niemals außer Kontrolle gerät, läßt er sich mit so einem Schalter vom Akku trennen.

Bei den Leistungsdioden der Baureihe 200-CNQ von *International Rectifier* ist das der Fall (Bild 18). Das sind Hochstrom-Typen, die in einem Gehäuse zwei Schottky-Dioden beherbergen und die mühelos 200 A Dauerstrom vertragen. Dabei haben Sie eine Durchlaßspannung von typisch 0,68 V, was einer normalen Siliziumdiode bei einem Tausendstel dieses Stroms entspricht (Bild 19)!

Legen Sie in den Hauptstromkreis unbedingt einen *Batterie-Trennschalter*, mit dem Sie im Notfall den Strom sofort unterbrechen können (Bild 20). Das kann schon dann erforderlich sein, wenn Sie (wie unten gezeigt) einen Anlasser als Antrieb verwenden (Bild 21). So ein *Reihenschlußmotor* neigt im Leerlauf nämlich zum Durchdrehen, und dann hält ihn nichts mehr davon ab, sich regelrecht selbst zu zerlegen.





Lesen & Löten: DC-Leistungssteuerung (2)

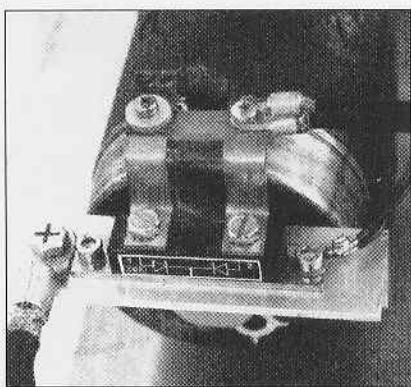


Bild 22: Das Katodenblech der Schottky-Leistungsdioden muß mit der Plusseite des Motors verbunden werden.

Auf Bild 21 ist eine Befestigungsmöglichkeit für die gesamte Baugruppe zu erkennen. Hier erfolgt die Montage über zwei Gummiblöcke, die in die seitlichen Kühlkörper-Bohrungen eingeschraubt wurden (vgl. Bild 15). Eine solche mechanische Pufferung ist schon deshalb erforderlich, weil sich die Schraubverbindungen durch Vibrationen des Motors lockern können.

Wie Sie die Doppeldiode am besten montieren, zeigt Ihnen **Bild 22**. Darauf erkennen Sie den Winkel, der mit dem Plus-Anschluß des Motors verbunden ist und auf den das Katodenblech der Doppeldiode geschraubt wurde. Die beiden Anoden liegen parallel geschaltet am Minus-Anschluß des Motors (vgl. Bild 17).

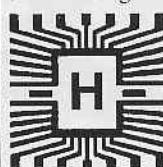
Bild 23: Fertig für den Hochstart; ein Anlasser aus dem Auto treibt hier die Winde für Modell-Segelflugzeuge an.

ANZEIGE

Mit den **Original-Platinen** fällt der Nachbau leichter. Wir liefern Original-E-A-M-Platinen in Glasfaser-Epoxydharz-Gewebe, gebohrt, verzinkt und mit Bestückungsaufdruck.

Den errechneten Platinenpreis (Gesamtbetrag zuzüglich eines Kostenanteils von DM 4,- für Porto und Verpackung) überwiesen Sie bitte auf das **Konto Nr. 33105-851 beim Postgiroamt Nürnberg (BLZ 760 100 85)**. Schicken Sie uns parallel dazu Ihre schriftliche Bestellung mit den Platinen-Nummern und Ihrem vollständigen Absender (Postkarte, Fax oder die im **Heft vorbereitete Bestellkarte**). Oder Sie bestellen per Nachnahme und zahlen bei Erhalt der Sendung (DM 9,50 *Mehrkosten*).

Aufgrund des Datenträger-Austauschs können Ihre Bestelldaten und die Anschrift leider nicht mehr vollständig auf dem Überweisungsformular übermittelt werden!



HÄRTL
Elektronik

CAD-Layout Entwicklungsbüro
Postfach 11 50, 92238 Hirschau
Telefax: (0 96 22) 54 54

Diese Doppel-Diode D5 wird am meisten im Teillastbetrieb beansprucht; sie kann sich dabei ziemlich stark erwärmen, was bei den hohen Strömen nicht verwunderlich ist. Bei längerem Dauerbetrieb müssen Sie hier ebenfalls für ausreichende Kühlung sorgen.

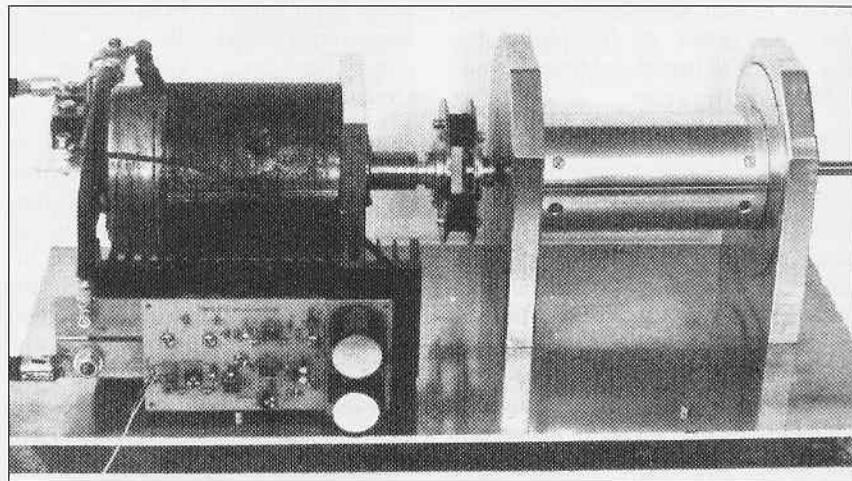
Die Verbindung zwischen Motor und Winde sollte nicht starr, sondern kraftschlüssig über eine Klauenkupplung hergestellt werden (**Bild 23**). Mit den Mitteln des Hobbyisten ist es kaum möglich, eine genau fluchtende Linie zwischen beiden Wellen herzustellen, so daß die Kupplung hier ausgleicht.

Auf jeden Fall müssen Sie die gesamte Einheit fest im Boden verankern und dabei sicherstellen, daß die Winde niemals blockieren kann. Dann könnten nämlich Spitzenströme bis 1000 A fließen, die die Transistoren und den Akku beschädigen!

Für einen optimalen Betrieb besitzt die Steuerelektronik noch eine Feinheit, die Sie folgendermaßen nutzen können: Damit der Motor auch im unteren Drehzahlbereich einen kraftvollen Lauf besitzt, läßt sich mit P1 die Frequenz des PWM-Signals verstetigen. Dazu stellen Sie P1 bei geringer Drehzahl so ein, daß der Motor am schnellsten läuft.

Um die Höchstdrehzahl begrenzen zu können, läßt Poti P2 die Einstellung des Steuerspannungs-Maximums zu. Das ist beispielsweise dann sinnvoll, wenn es um das Hochschleppen kleinerer Modelle geht, die nicht unbedingt die volle Power benötigen.

Damit sind Sie nun in der Lage, einen Hochleistungs-Gleichstrommotor stufenlos zwischen Stillstand und Maximum zu steuern, und zwar sehr feinfühlig über das winzige Poti P3! ■



Platinen für ausgewählte Bauanleitungen:

Video-Umschalter (Basis)	HB 421	(# 9 91 95)	12,50 DM
Video-Umschalter (Bedienung)	HB 421-A	(# 9 92 09)	9,50 DM
Reaktionstester	HB 413	(# 9 40 96)	3,- DM
Kalk- und Korrosionsschutz	HB 411	(# 9 41 85)	4,- DM
Signalverfolger	HB 410	(# 9 41 77)	1,50 DM
Weichen-Folgeschaltung	HB 408	(# 9 41 42)	5,50 DM
Einzelstasten-Weichensteuerung	HB 407	(# 9 41 34)	5,50 DM
Halogenlampen-Dimmer (Aufputz)	HB 406	(# 9 41 26)	3,50 DM
Auto-HiFi-Einschaltverzögerung	HB 403	(# 9 40 61)	4,- DM
Phasenanschnittsteuerung 2 kVA	HB 402	(# 9 40 53)	9,- DM
Segelwindensteuerung	HB 176.1	(# 9 57 50)	7,50 DM
Wasserstandsmelder	HB 32	(# 9 03 17)	1,50 DM