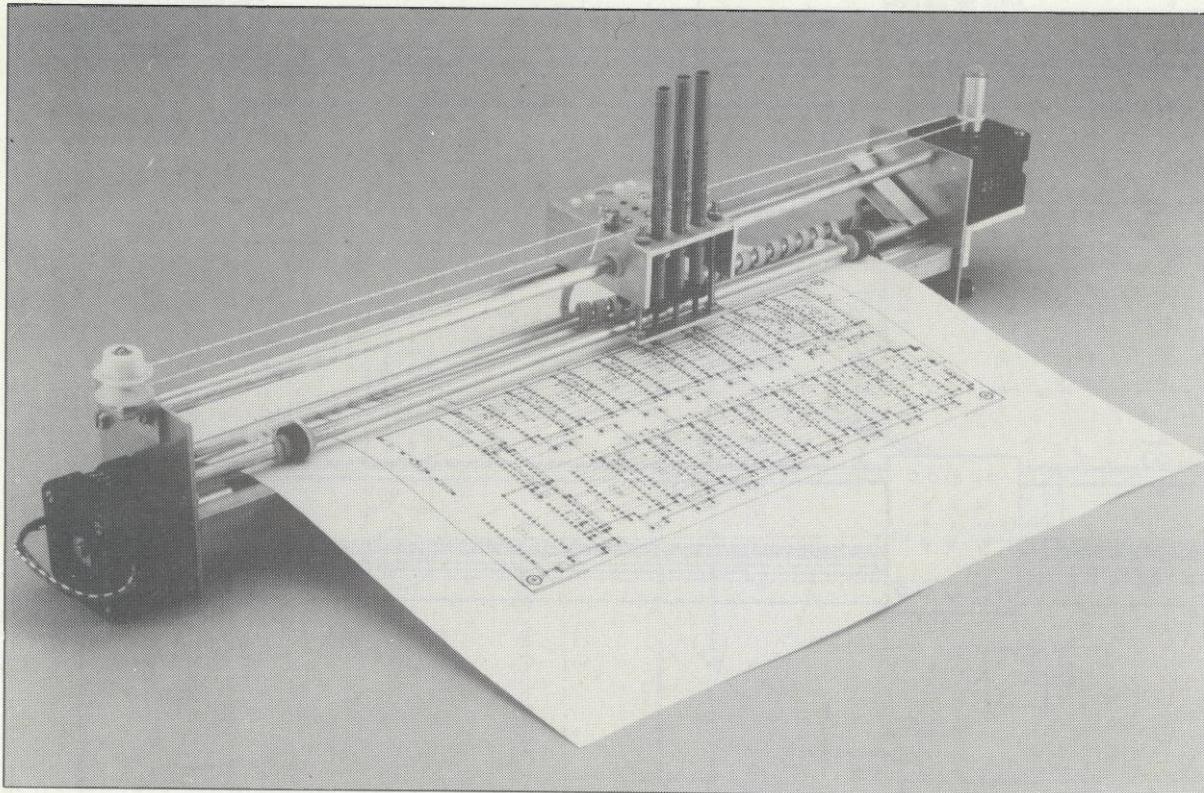


# Selbstbauplotter MONDRIAN



**"Gerät zur automatischen graphischen Darstellung bestimmter Linien, Zeichen, Diagramme o.ä., häufig als Zusatzgerät einer Datenverarbeitungsanlage." So wird das Wort "Plotter" im DUDEN-Fremdwörterbuch definiert. Was wir daraus gemacht haben, finden Sie im folgenden Artikel.**

Wer sich in der Malerei auskennt, wird MONDRIAN mit dem gleichnamigen holländischen Maler in Verbindung bringen. Das ist natürlich kein Zufall: Die Mechanik für diesen Plotter wurde nämlich von Herrn Arkema, einem Niederländer, entwickelt, und der beschloß, diese Schöpfung seinem Landsmann Mondrian zu widmen. Vielleicht in der Hoffnung, daß die Programmierer, die diesen Plotter verwenden, etwas von der Kreativität Mondrians haben könnten.

## Beschreibung

Der Plotter MONDRIAN ist kein sogenannter XY-Plotter, bei dem die Farbstifte in X- und Y-Richtung bewegt werden. Stattdessen ist das Gerät wie ein Drucker aufgebaut, bei dem ein Wagen mit drei Stiften

die Bewegung in X-Richtung ausführt und eine Walze das Papier in Y-Richtung verschiebt. Diese Konstruktion läßt sich relativ einfach im Selbstbau verwirklichen, und man kann dabei das Papierformat beliebig wählen.

Die Walze wird direkt von einem Schrittmotor angetrieben, und den Stiftwagen bewegt ein zweiter Schrittmotor über eine Schnur. Man kann einwenden, daß dieses System anfällig ist für mechanische Fehler, beispielsweise Papierrutschen oder Schnurspiel. In der Praxis traten jedoch keine Fehler auf, solange der Plotter nicht erschüttert und die Bewegungen von Papier und Wagen nicht behindert wurden.

Relais heben die Farbstifte vom Papier. Die Stifte sind Nachfüllminen für sogenannte Feinschreiber, die im Schreibwarenhandel erhältlich

sind.

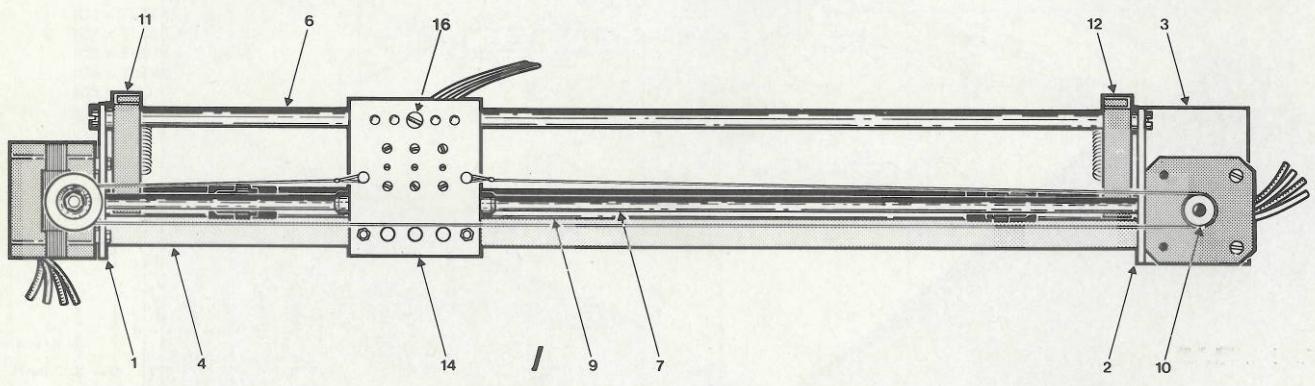
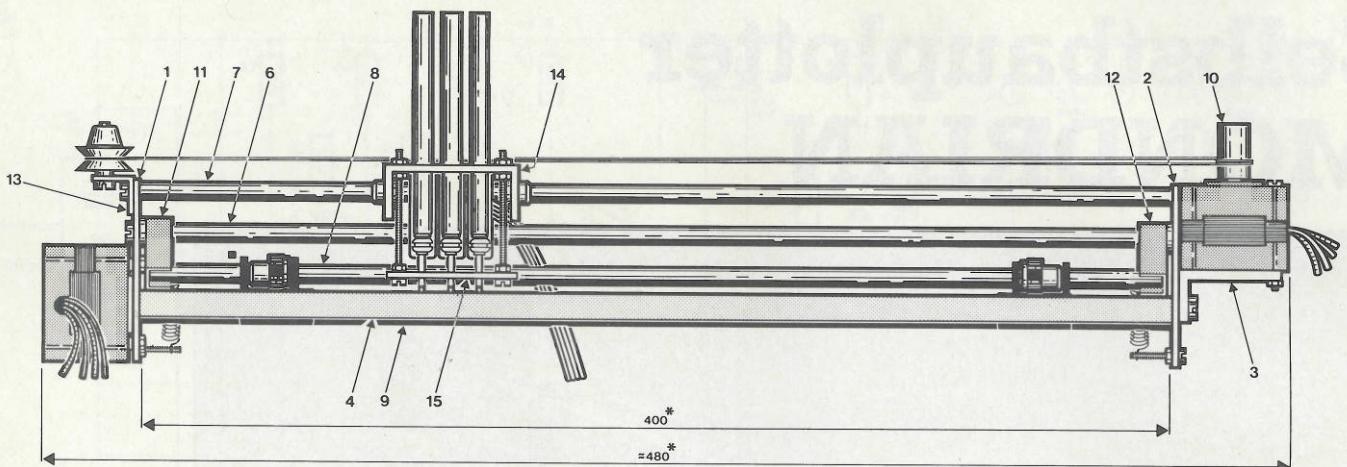
Die drei Stifte des Plotters werden mit zwei Bits gesteuert. So braucht man insgesamt 8 bit, die normalerweise an jedem Computer-Ausgangs-Port zur Verfügung stehen. Wir haben darüber hinaus die Steuer-Bits am Ausgang so angeordnet, daß man die Elektronik mit einem Flachbandkabel mit dem Drucker-Anschluß des Computers (im allgemeinen eine Centronics-Schnittstelle) verbinden kann.

Die Schrittmotoren und die Relais werden stromsparend aus einem Netzteil auf der Platine versorgt. So entsteht eine kompakte Schaltung.

## Mechanik

Der Plotter ist quaderförmig. Zwei Aluminium-Platten bilden die Träger für die gesamte Mechanik. An die-

1a



87167-1a

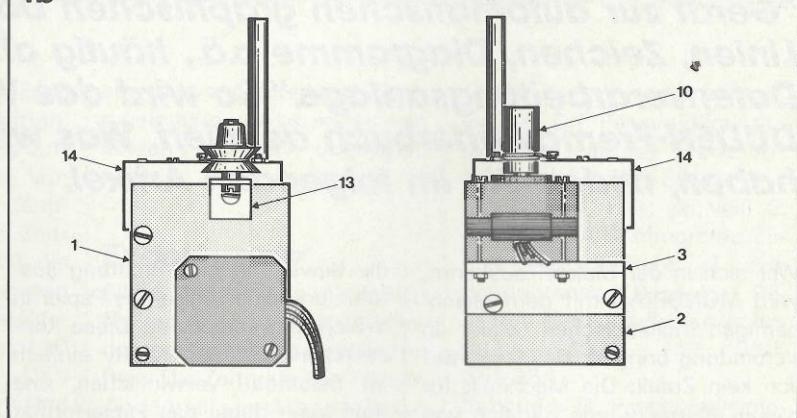
**Bild 1.** Bauzeichnung des Plotters von vorne (1a), von oben (darunter) und von beiden Seiten (1b). Außerdem sind in 1c die Einzelteile skizziert, die man selbst herstellen muß.

sen Platten sind die beiden Schrittmotoren befestigt. Die Platten werden mit drei runden Stäben und einem Vierkantstab miteinander verbunden. Die Länge der Stäbe kann an die gewünschte Papierbreite angepaßt werden. Bei 50 cm Länge paßt sogar Papier in DIN-A2-Größe!

Die Walze besteht aus einem 12-mm-Aluminiumrundstab, der direkt hinter dem Vierkantstab sitzt. Damit die Walze gut greift, wird sie an zwei Stellen auf etwa 3 cm Länge abgedreht und spiralförmig mit feinem Schmirgelpapier umwickelt. Das Schmirgelpapier muß bündig mit dem Außendurchmesser des Rundstabes abschließen.

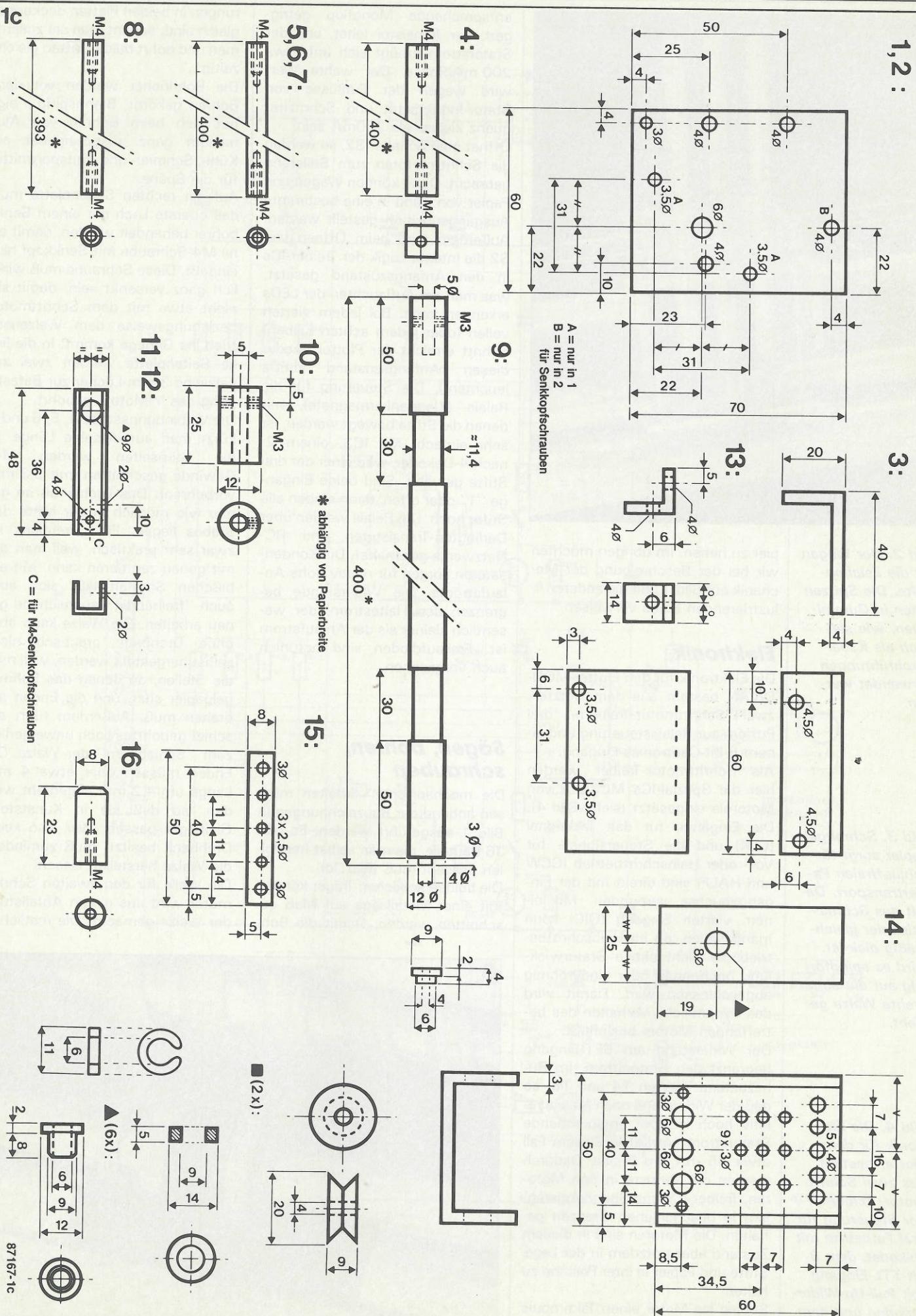
Auf dem Schmirgelpapier ruhen normalerweise zwei Papier-Andruckrollen, die auf einem beweglichen Aluminium-Rundstab sitzen. Der Rundstab ist an beiden Seiten an kleinen U-Profilen befestigt, die beim Papiereinlegen hochkippen. Wird der Rundstab losgelassen, dann drücken die Andruckrollen fest auf die Walze, weil die Profile von Federn zurückgezogen werden. Die Walze wird von einem Schrittmotor angetrieben, der bei einer Umdrehung 200 Schritte ausführt. Bei dem gewählten Durchmesser

**1b**

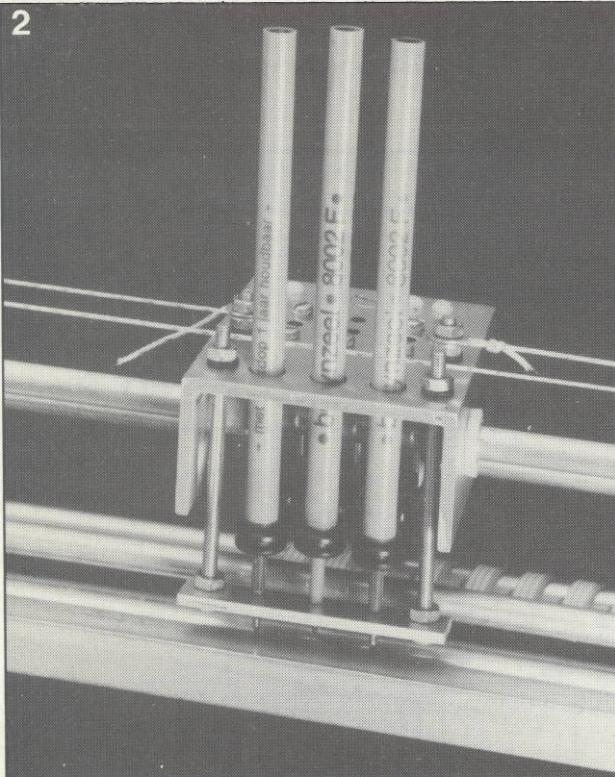


von 12 mm beträgt die Auflösung also 0,19 mm pro Schritt. Da auch ein Halbschrittbetrieb möglich ist, ist die maximale Auflösung etwas besser als 0,1 mm. Der Wagen, in dem die drei Farbstifte ruhen, besteht aus einem Stück Aluminium-U-Profil. Der Führungsstab für den Wagen geht durch zwei Löcher in den Schenkeln des U. In den Löchern sitzen zwei Kunststoff-Gleitlager. Die Rückseite des Wagens ruht auf dem Rundstab, der der feste Teil der Kippvorrichtung der Papierhalterung ist. Der Wagen wird mit einer Schnur bewegt, die

anderthalbmal um eine Welle gewickelt wird. Diese Welle sitzt auf der Achse des zweiten Schrittmotors. Die Welle und der Wagen müssen exakt den gleichen Durchmesser haben, damit die Stifte sozusagen schrittsynchron in X- und Y-Richtung bewegt werden. Die Farbstifte befinden sich in Löchern auf dem U-Profil. Sie werden mit einer Trägerplatte über dem Papier gehalten. Das Vierkant-Aluminium-Profil vor dem Wagen ist die feste Unterlage beim Zeichnen. Drei Relais haben die Aufgabe, die gerade nicht gebrauchten Stifte vom Pa-



2



**Bild 2.** Der Wagen für die Zeichenstifte. Die Spitzen ruhen in Gummityllen, wie sie auch als Kabeldurchführungen verwendet werden.

pier zu heben. Im übrigen möchten wir bei der Beschreibung der Mechanik auf Bild 1 und die anderen illustrierenden Fotos verweisen.

### **Elektronik**

Die Elektronik für den Plotter MONDRIAN besteht aus dem Netzteil, zwei Schrittmotor-Treibern, drei Puffern zur Relaissteuerung und einem 8-bit-Centronics-Eingang. Als Schrittmotor-Treiber werden hier die Spezial-ICs MC3479 von Motorola eingesetzt (siehe Bild 4). Die Eingänge für das Taktsignal (CLK) und die Steuersignale für Voll- oder Halbschrittbetrieb (CCW und HALF) sind direkt mit der Eingangsbuchse verbunden. Mit einem vierten Eingang (OIC) kann man wählen, ob im Halbschrittbetrieb die nicht aktive Statorwicklung hochohmig oder niederohmig abgeschlossen wird. Damit wird das dynamische Verhalten des betreffenden Motors beeinflußt.

Der Widerstand am SET-Eingang begrenzt den Statorstrom. Im Ruhezustand sperren T4 und T5, so daß der Widerstand nach Masse relativ hoch ist. Der entsprechende Statorstrom beträgt in diesem Fall etwa 65 mA pro Phase. Dadurch werden die Verluste in den Motoren, Treiber-ICs und Spannungsreglern in bescheidenen Grenzen gehalten. Die Motoren sind in diesem Zustand aber trotzdem in der Lage, Stifte und Papier in ihrer Position zu halten.

Sobald ein Motor einen Taktimpuls erhält (positive Flanke), wird das

entsprechende Monoflop getriggert, der Transistor leitet, und der Statorstrom erhöht sich auf etwa 200 mA/Phase. Der wahre Wert wird wegen der Einflüsse von Stator-Induktivität und Schrittfrequenz kleiner als 200mA sein. Öffnet man Schalter S2, so werden die Schrittmotoren zum Stillstand gebracht. Dann können Wagen und Papier von Hand in eine bestimmte Ausgangsposition gestellt werden. Außerdem wird beim Öffnen von S2 die interne Logik der Treiber-ICs in den Anfangszustand gesetzt, was man am Aufleuchten der LEDs erkennen kann. Bei jedem vierten vollen (oder jedem achten halben) Schritt erreicht der Plotter wieder diesen Anfangszustand (LEDs leuchten!). Die Steuerung für die Relais (Klappankermagnete), mit denen die Stifte bewegt werden, ist sehr einfach. Mit IC3, einem 2-nach-4-Dekoder, wird einer der drei Stifte gewählt. Sind beide Eingänge "1" oder offen, dann stehen alle Stifte hoch. Die Relais werden über Darlington-Transistoren und RC-Netzwerke geschaltet. Die Kondensatoren sorgen für relativ hohe Anlaufströme. Die Widerstände begrenzen den Haltestrom, der wesentlich kleiner als der Anlaufstrom ist. Freilaufdioden sind natürlich auch vorgesehen.

### **Sägen, bohren, schrauben**

Die mechanischen Arbeiten müssen anhand der Bauzeichnungen in Bild 1 ausgeführt werden. Es gibt 16 Bauteile, die man selbst herstellen (lassen) muß (Bild 1c). Die beiden seitlichen Träger können mit einer Metallsäge auf Maß geschnitten werden. Damit die Boh-

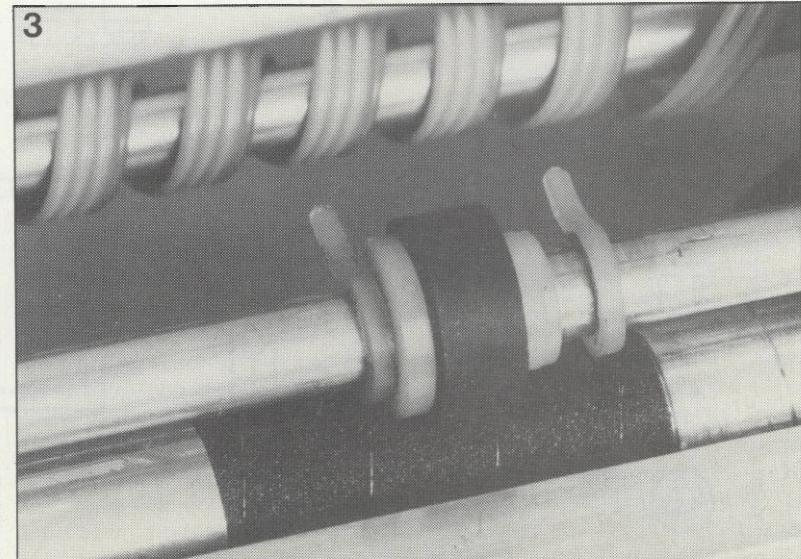
rungen in beiden Platten deckungsgleich sind, spannt man sie zusammen und bohrt beide Platten gleichzeitig.

Die Bohrlöcher werden vor dem Bohren gekörnt. Brennspiritus eignet sich beim Bohren von Aluminium ganz ausgezeichnet als Kühl-, Schmier- und Transportmittel für die Späne.

Auf der rechten Seitenplatte muß das oberste Loch mit einem Senkbohrer behandelt werden, damit eine M4-Schraube mit Senkkopf hineinpaßt. Diese Schraube muß wirklich ganz versenkt sein, damit sie nicht etwa mit dem Schrittmotor beziehungsweise dem Walzenantrieb ins Gehege kommt. In die linke Seitenplatte werden zwei zusätzliche 3-mm-Löcher zur Befestigung des Y-Motors gebohrt.

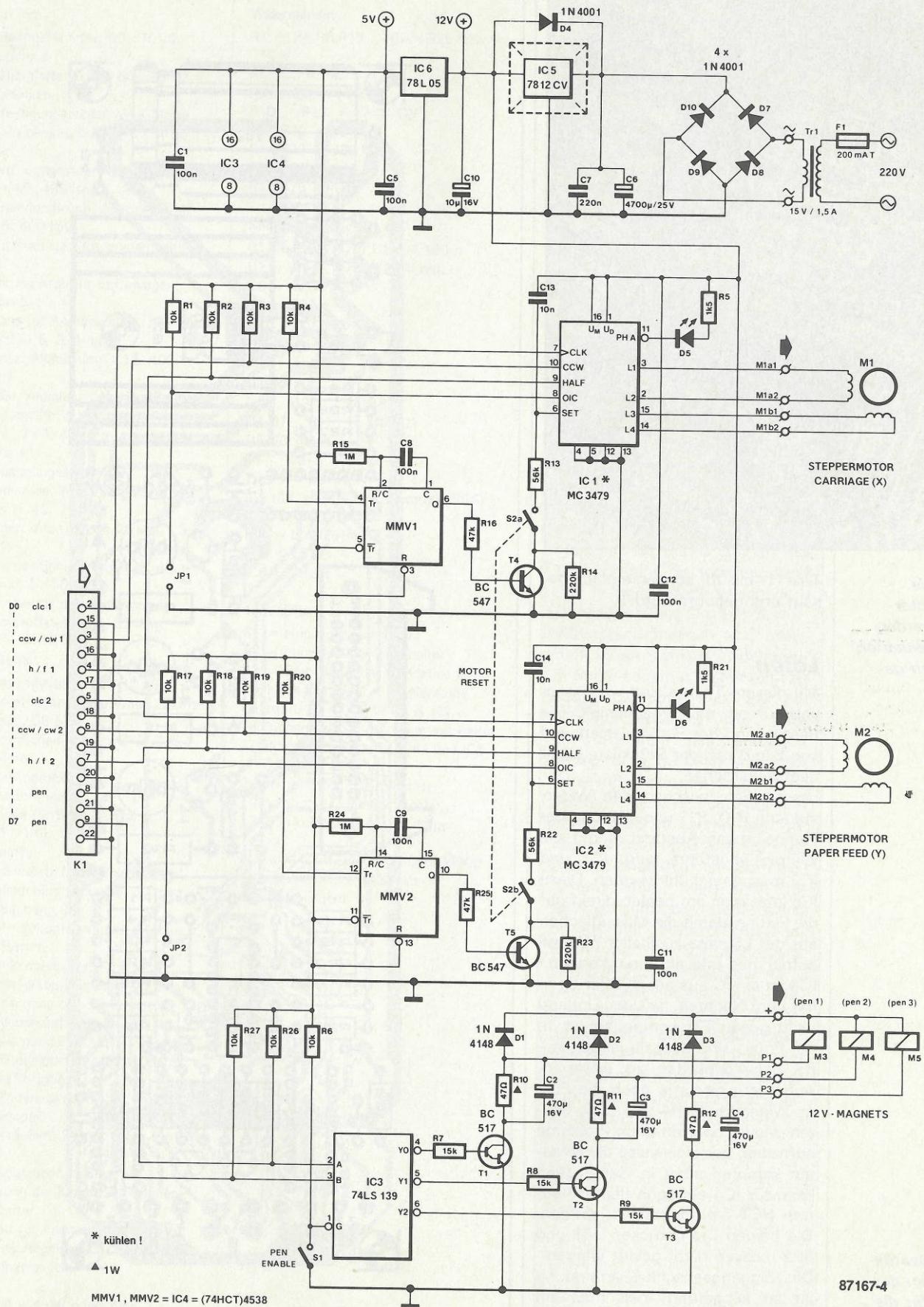
Die Verbindungsstäbe 4, 5, 6 und 7 kürzt man auf dieselbe Länge. In die Stirnseiten werden M4-Gewinde geschnitten (mit 3,3 mm vorbohren). Das Loch muß so genau wie möglich in der Mitte des Stabes liegen. Eine Drehbank ist zwar sehr praktisch, weil man damit genau zentrieren kann. Mit ein bißchen Sorgfalt läßt sich aber auch "freihändig" ausreichend genau arbeiten. Die Walze kann aber ohne Drehbank praktisch nicht selbst hergestellt werden, weil man die Stellen, an denen das Schmirgelpapier sitzt, und die Enden abdrehen muß. Außerdem führt ein schief gebohrtes Loch unweigerlich zum "Schlabbern" der Walze. Die Enden müssen über etwa 4 mm Länge um 4,2 mm abgedreht werden, so daß sie in Kunststoff-Gleitlager passen. Wer also keine Drehbank besitzt, muß zumindest die Walze herstellen lassen!

Die Welle für den zweiten Schrittmotor wird aus einem Abfallstück der Walze gemacht. Die restlichen



**Bild 4.** Die Elektronik für den Plotter besteht aus zwei Schrittmotor-Treibern, der Steuerung für drei Farbstifte mit Dekoder, dem 8-bit-TTL-Eingang mit Pull-Up-Widerständen und dem Netzteil.

4

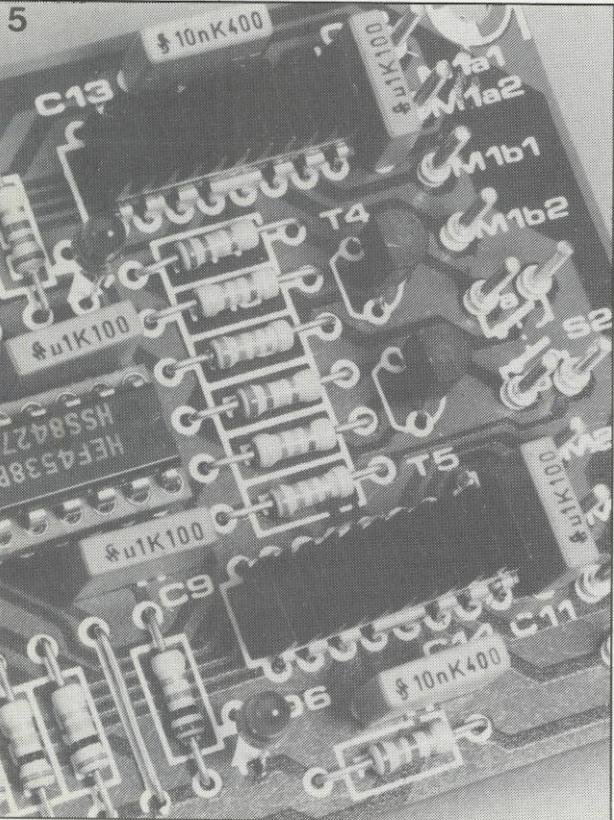


\* kijhlen

▲ 1W

MMV1, MMV2 = IC4 = (74HCT)4538

87167-4



**Bild 5.** Die Schrittmotor-Treiber werden von aufgeklebten Kühlrippen gekühlt.

Teile (11 bis 16) können einfach gesägt und gebohrt werden.

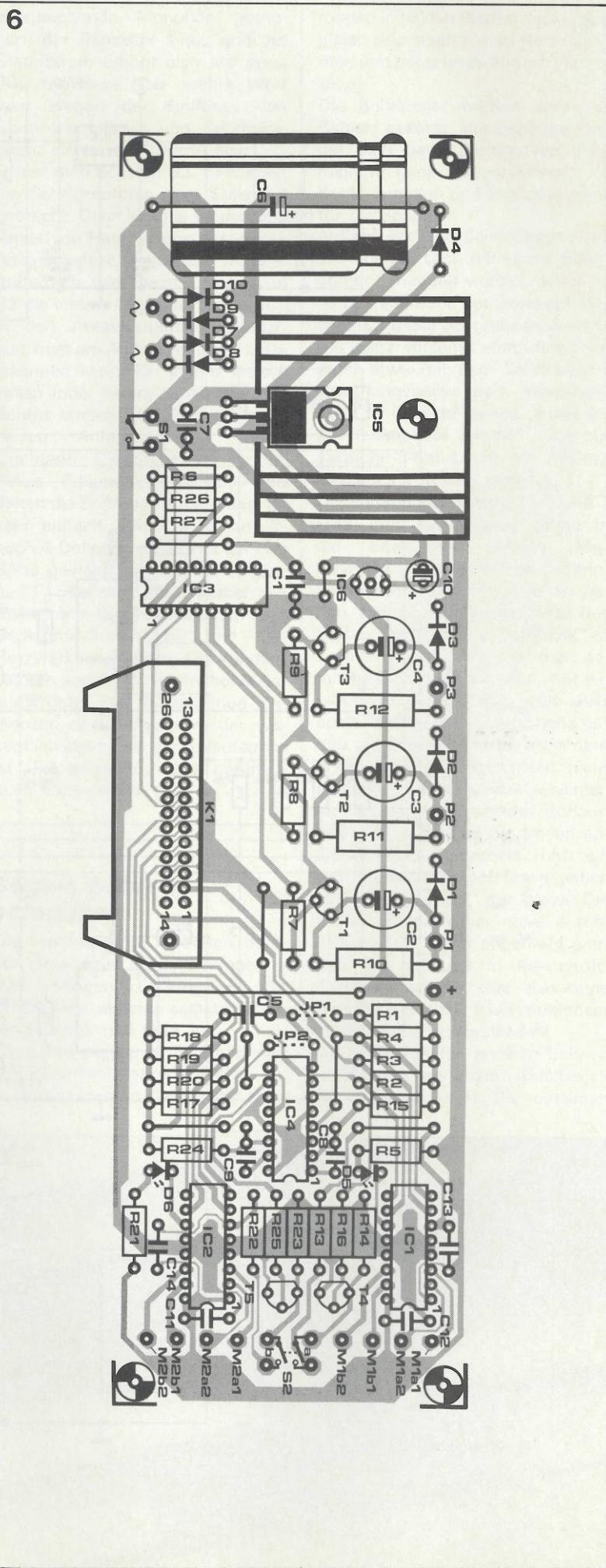
### Löten

Mit diesem Thema sind wir besser vertraut als mit "Mechanik". Die Bestückung der Platine ist anhand von Bild 6 und der Stückliste leicht nachzuvollziehen.

Lassen Sie zwischen den Widerständen R10, R11 und R12 und der Platine etwas Abstand, damit die Wärme abgeführt wird. IC1 und IC2 müssen gekühlt werden. Diese ICs lötet man am besten direkt auf die Platine, damit die Masseflächen auf der Lötseite zusätzlich Wärme aufnehmen und abführen können. IC4 ist ein IC aus der 4000er Serie mit dem Nachteil, daß der Eingang nicht genau TTL-kompatibel ist. In der Praxis sind deshalb jedoch keine Schwierigkeiten zu erwarten. Außerdem gibt's ja noch die Pull-up-Widerstände R4 und R20. Sollten wider Erwarten doch Probleme auftreten, beispielsweise die Motoren kommen nicht in Gang, dann kann für IC4 ein äquivalenter (teurer) HCT-Typ eingesetzt werden. Die beiden Drahtbrücken JP1 und JP2 müssen nicht gelegt werden. Die Eingangsanschluß-Verbindung ist so ausgeführt, daß man ein Flachbandkabel mit einem Centronics-Ausgang verbinden kann. Die Handshake-Leitungen werden nicht gebraucht.

Im nächsten Heft geht's weiter mit der Programmier-Anleitung.

**Bild 6.** Bestückungsplan der Platine für die Steuerelektronik. Achten Sie bitte darauf, daß außer IC5 auch die ICs 1 und 2 gekühlt werden müssen.



**Stückliste 1 (siehe Bild 1)**

Maße in mm

- 1) Trägerplatte links,  $60 \times 70 \times 2$ , Aluminium
- 2) Trägerplatte rechts,  $60 \times 70 \times 2$ , Aluminium
- 3) Befestigungswinkel für X-Motor, Alu-Winkelprofil  $20 \times 40 \times 4$ , 60 lang
- 7) Verbindungsstab, Alu-Vierkant  $10 \times 10$ , 400 lang\*
- 5) Verbindungsstab, Alu oder Stahl Ø 6, 400 lang\*
- 6) Stützstab für Stiftewagen, siehe 5)
- 7) Führungsstab für Stiftewagen, siehe 5)
- 8) Achse für Andruckrollen, Alu oder Stahl Ø 6, 394 lang
- 9) Walze, Aluminium Ø 12, 400 lang\*
- 10) Welle, Aluminium Ø 12, 25 lang
- 11) Kipparm für Walze, Alu-U-Profil  $10 \times 10 \times 1$ , 48 lang
- 12) siehe 11)
- 13) Befestigungswinkel für Schnurrolle, Alu-Winkelprofil,  $15 \times 15 \times 2$ , 15 lang
- 14) Wagen, Alu-U-Profil,  $25 \times 50 \times 3$ , 60 lang
- 15) Stiftpositionierungsplatte, Aluminium  $8 \times 50 \times 2$
- 16) Auflager für den Stiftewagen, Kunststoffstab Ø 8, 23 lang

**Kleinmaterial:**

- 6 Kunststoffgleitlager, Skiffy 08-6
- 1 Kunststofflager für die Walze, Skiffy 08-4 (evtl. 08-6)
- 2 Abstandsscheibe Innen-Ø 3, 2 dick, für Y-Motor
- 2 Gummi-Andruckrolle (z.B. Kabeldurchführung)
- 4 Fixierringe für 6-mm-Achse (z.B. Skiffy 11-1-6)
- 1 Schnurrolle
- 3 M4-Zylinderkopfschraube, 5 lang
- 2 M4-Zylinderkopfschraube, 10 lang, zur Befestigung von 3)
- 1 M4-Zylinderkopfschraube, 20 lang, mit 3 Muttern
- 5 M4-Senkkopfschrauben, 5 lang
- 4 M3-Zylinderkopfschraube, 40 lang, zur Befestigung der Schrittmotoren
- 2 M3-Zylinderkopfschraube, 50 lang, zur Befestigung von 15)
- 2 M3-Zylinderkopfschraube, 10 lang, Schnurbefestigung
- 2 M3-Zylinderkopfschraube, 15 lang, Zugfederlager
- 4 M3-Schrauben, 3 lang, Lager für 9 und 10)
- 6 M2,6-Schrauben, 5 lang, zur Befestigung der Klappankermagnete
- 16 M3-Mutter
- 2 Zugfeder für Andruckrolle
- geflochtene Angelschnur, 1100 lang\*
- Schmirgelpapier fein

\* abhängig von der gewählten Papierbreite

Bezugsquelle für Skiffy-Kunststoffteile:  
Ettinger, München 70

**Stückliste 2 (siehe Bild 6)****Widerstände:**

- R1...R4,R6,R17...R20, R26,R27 = 10 k  
 R5,R21 = 1k5  
 R7...R9 = 15 k  
 R10...R12 = 47 Ω/ 1W  
 R13,R22 = 56 k  
 R14,R23 = 220 k  
 R15,R24 = 1 M  
 R16,R25 = 47 k

**Kondensatoren:**

- C1,C5,C8,C9,C11,C12 = 100 n  
 C2...C4 = 470 μ/ 16 V rad.  
 C6 = 4700 μ/25 V  
 C7 = 220 n  
 C10 = 10 μ/16 V  
 C13,C14 = 10 n

**Halbleiter:**

- D1...D3 = 1N4148  
 D4,D7...D10 = 1N4001  
 D5,D6 = LED, rot  
 T1...T3 = BC 517  
 T4,T5 = BC 547  
 IC1,IC2 = MC3479 (Motorola, SGS)  
 IC3 = 74LS139  
 IC4 = (74HCT)4538  
 IC5 = 7812  
 IC6 = 78L05

**außerdem:**

- S1 = einpoliger Einschalter  
 S2 = doppelpoliger Einschalter  
 K1 = Steckverbinder für Platine im 0,1-Zoll-Raster, 2 × 13 Kontakte  
 Netztrafo 12...15 V/1,5 A sek.  
 Feinsicherung 200 mA träge mit Halter  
 Kühlkörper für IC1, IC2 (DIL) und IC5 (TO220)  
 2 Schrittmotore, 200 Schritte/Umdrehung, 2 Phasen bipolar, 200 mA/Phase (z.B. von Berger, Lahr)  
 3 Klappankermagnete 40 081-09B00 (Binder Magnete, Villingen-Schwenningen)

**Schrittmotoren**

Mit der Elektronik für den Selbstbauplotter MONDRIAN können zwei bipolare Zweiphasen-Schrittmotoren gesteuert werden (einer für die X-, der andere für die Y-Richtung). Man kann Schrittmotoren einsetzen, wie sie oft in Diskettenlaufwerken zu finden sind. Die Daten:

- 200 oder 100 Schritte pro Umdrehung (1,8° oder 3,6° pro Schritt)
- 200 mA/Phase Statorstrom
- Widerstand pro Phase 30 bis 40 Ohm

Die meisten Motoren aus Diskettenlaufwerken haben diese Daten. Es gibt jedoch auch Typen mit einem sehr geringen Statorwiderstand (zum Beispiel 1,33 Ohm), die man mit einem Strom steuern muß. Nun haben die Treiber-ICs in der Plotter-Elektronik zwar Stromquellen an den Ausgängen (laut Datenblatt), in der Praxis scheint der niederohmige Statorwiderstand den Treibern jedoch zu schaden. Deshalb sollten Sie den Statorwiderstand messen und eventuell einen zweiten Widerstand in Reihe schalten, damit ein Gesamtwiderstand von 30 bis 40 Ohm entsteht. Bei 1,33-Ohm-Statoren also beispielsweise zwei 33-Ohm-(4 W)-Widerstände nehmen.

Achten Sie bitte beim Messen darauf, daß im Leerlauf ein geringer Strom (30 bis 60 mA/Stator) eingestellt ist. Bei belastetem Motor wird der Stator(wechsel)strom automatisch erhöht, der Endwert hängt jedoch von der Schrittfrequenz und der Statorinduktivität ab. Mit Schrittmotoren mit 100 statt 200 Schritten pro Umdrehung halbiert sich die Auflösung des Plotters bis auf 0,2 mm im Halbschrittbetrieb, der Plotter kann aber in diesem Fall schneller arbeiten.