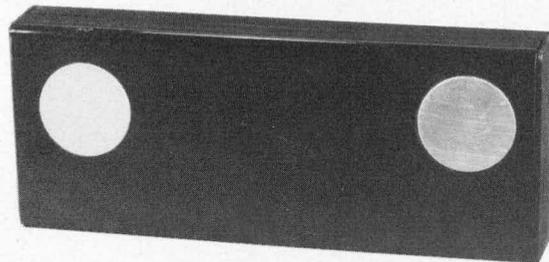


# Ultraschall-Bewegungs-Detektor/ Alarmgeber



*Alarmanlagen stellen nach wie vor beliebte Projekte zum Selbstbau dar, derweil fertige Alarmsysteme, sofern sie funktionssicher sind, im allgemeinen einen recht hohen Preis besitzen. Im ELV-Labor wurde daher ein hochwertiges Alarmsystem entwickelt, dessen Aufbau unkompliziert und vor allem preiswert durchzuführen ist.*

*In dem hier vorliegenden Artikel stellen wir Ihnen als wesentlichen Bestandteil eines kompletten Alarmsystems einen Ultraschall-Bewegungs-Detektor vor, der sich durch hohe einstellbare Sensibilität, große Reichweite, geringe Stromaufnahme und hohe Betriebssicherheit auszeichnet. Selbstverständlich kann diese Schaltung auch als eigenständiges Gerät zu Schaltzwecken eingesetzt werden.*

*In einer der kommenden Ausgaben des „ELV journal“ stellen wir Ihnen dann eine ebenso komfortable wie preiswerte Alarmzentrale vor, an die eine Vielzahl unterschiedlicher Alarmauslöser angeschlossen werden kann, so auch die hier vorgestellte Schaltung.*

## Allgemeines

Der hier vorgestellte Ultraschall-Bewegungs-Detektor UBD 30 liefert am Ausgang ein Steuersignal, das im Ruhezustand (keine Bewegung im überwachten Bereich) ca. +12 V beträgt.

Sobald Bewegungen registriert (detektiert) werden, wechselt das Ausgangspotential der Schaltstufe von „high“ nach „low“ (ca. 0 V).

Der Ultraschall-Bewegungs-Detektor UBD 30 kann somit für die verschiedensten Aufgabenbereiche eingesetzt werden:

1. als Alarmmelder zur Ansteuerung einer Alarmzentrale,
2. als Bewegungsdetektor allgemein zur Ansteuerung von Lichtschaltgeräten, Türöffnern usw.,
3. als Reflektions-Ultraschall-Schranke (in Analogie zur Lichtschranke),
4. als Bewegungsdetektor für Systeme, die ein Signal abgeben, wenn in einer bestimmten Zeitspanne keine Bewegungen mehr detektiert wurden (entgegen-gesetzte Funktion wie unter Punkt 1 beschrieben).

Vorstehende Ausführungen lassen erkennen, daß es sich bei dem hier vorgestellten Ultraschall-Bewegungs-Detektor UBD 30 um einen universell ausgelegten Bewegungsmelder handelt, der sich aufgrund seiner professionellen Technik und der damit verbundenen Zuverlässigkeit ein breites Anwendungsgebiet erschließt.

## Prinzipielle Funktionsweise

Ein Ultraschall-Sender strahlt in den zu überwachten Raum ein kontinuierliches

Ultraschall-Signal mit einer Frequenz von 30,3 kHz ab.

In die gleiche Richtung weist auch der Ultraschall-Empfänger, der das reflektierte Ultraschall-Signal aufnimmt und auswertet.

Die nachfolgend beschriebene grundsätzliche Arbeitsweise des UBD 30 beruht auf dem Doppler-Effekt.

Solange in dem zu überwachenden Bereich keine Bewegungen auftreten, ist die Frequenz, die der Ultraschall-Empfänger aufgrund von Reflektionen aufnimmt, identisch mit der Sendefrequenz.

Neben der empfangenen Frequenz wird zusätzlich über eine direkte Verbindung vom Sender zum Empfänger die Original-Sendefrequenz auf eine Mischstufe gegeben, die als Ausgangssignal die Differenzfrequenz zwischen Sende- und Empfangssignal ausgibt.

Ohne bewegte Objekte im Überwachungsbereich stimmen Sende- und Empfangsfrequenz überein, so daß das Ausgangssignal der Mischstufe 0 Hz beträgt.

Ein besonderer Vorteil liegt u. a. darin, daß die absoluten Wechselspannungspegel von untergeordneter Bedeutung sind, da lediglich Frequenzen in der Art einer FM (Frequenzmodulation) ausgewertet werden.

Bewegt sich nun im Überwachungsbereich zum Beispiel ein Mensch mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s auf den Ultraschall-Bewegungs-Detektor zu oder entfernt er sich mit derselben Geschwindig-

keit, so empfängt der Ultraschall-Detektor neben der Grundfrequenz eine weitere Frequenz, die um einen gewissen Betrag von der Grundfrequenz abweicht. Die Höhe der Frequenzabweichung ist dabei direkt proportional zur Geschwindigkeit des sich bewegenden Objektes und folgt der Formel:

$$\Delta f = \frac{2 \cdot f \cdot v}{c}$$

$\Delta f$  = Frequenzänderung gegenüber der Grundfrequenz

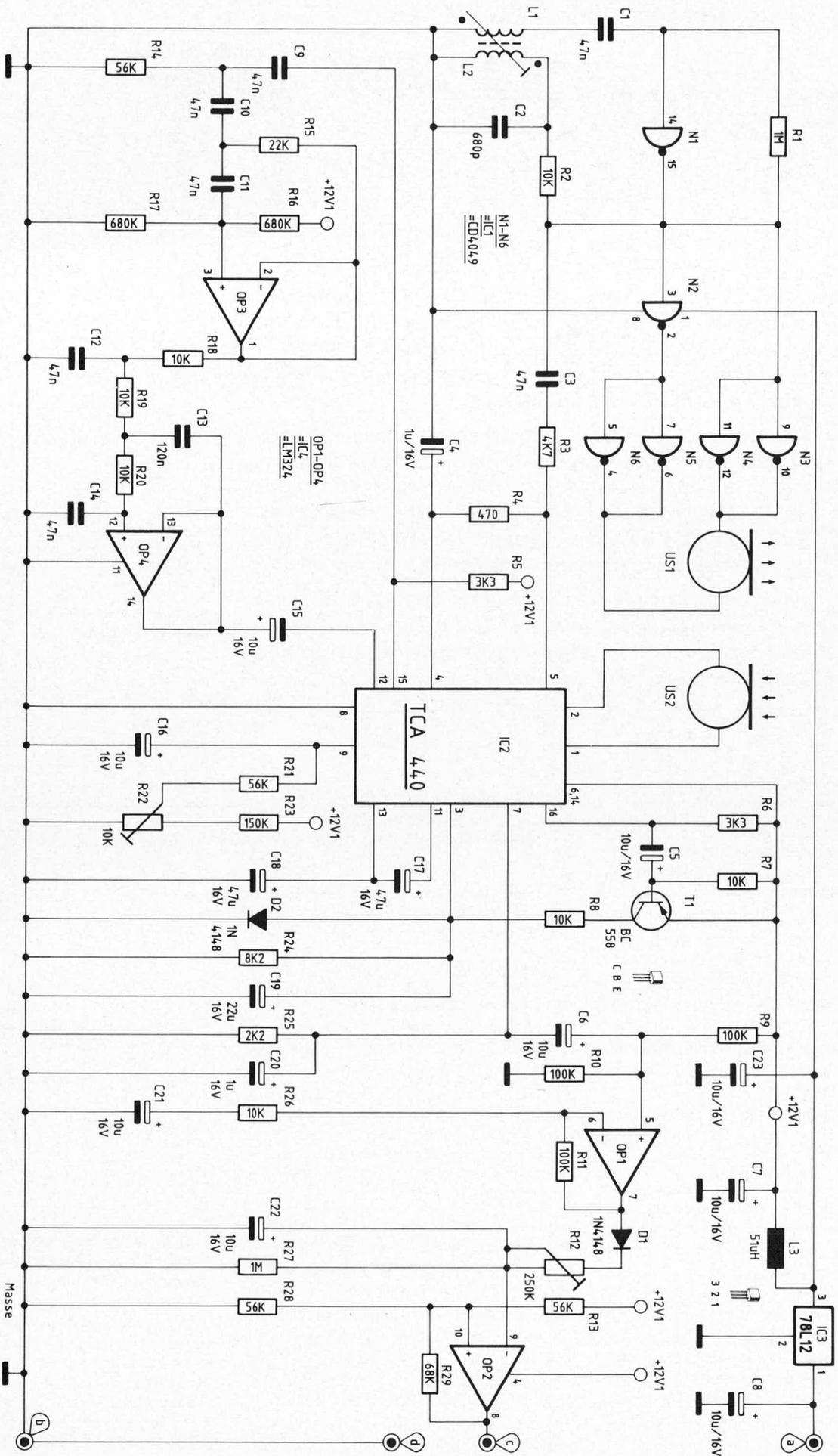
$f$  = Grundfrequenz des Ultraschall-Senders

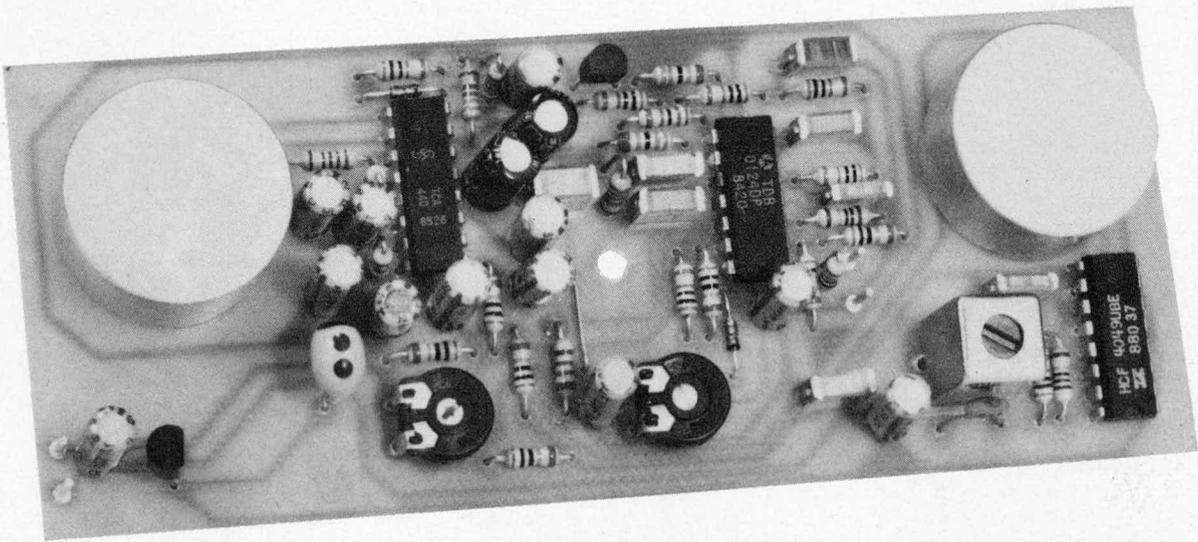
$v$  = Geschwindigkeit des bewegten Objektes (relativ zum Bewegungsdetektor)

$c$  = Schallgeschwindigkeit in Luft (ungefähr 340 m/s).

Auf unser Beispiel bezogen würde sich somit eine Frequenzdifferenz von 178 Hz ergeben. Bewegt sich das Objekt auf die Anordnung zu, so ist die reflektierte Frequenz entsprechend höher (also 30,3 kHz + 0,178 kHz = 30,478 kHz), während die Frequenz um den gleichen Betrag absinkt, wenn sich das Objekt von der Anordnung fortbewegt. Wichtig ist jedoch, daß in jedem Fall eine Differenzfrequenz erzeugt wird. Lediglich bei Bewegungen direkt parallel zur Anordnung tritt kein Differenzsignal auf. Dies ist praktisch jedoch von untergeordneter Bedeutung, da zum einen solche Bewegungen kaum auftreten und zum anderen aufgrund von Mehrfach-Reflektionen (die auch seitlich einfallen), wiederum ein Signal den Empfänger zur Auswertung erreicht, bei evt. etwas eingeschränkter Empfindlichkeit.

Schaltbild des Ultraschall-Bewegungs-Detektors/Alarmsgabers





Ansicht des betriebsfertigen Ultraschall-Bewegungs-Detektors/Alarmgebers vor dem Einbau ins Gehäuse

Die so gewonnene Differenzfrequenz wird über ein Bandfilter geleitet, dessen untere Grenzfrequenz 45 Hz und dessen obere Grenzfrequenz 450 Hz beträgt. Auf diese Weise werden extrem langsame Bewegungen sowie Störschall weitgehend unterdrückt. Die Funktion der Anlage wird hierdurch, auf den Anwendungsbereich bezogen, in keiner Weise beeinträchtigt, wohl aber die Störsicherheit wesentlich erhöht. Man denke hierbei nur an Vorhänge, die sich durch erwärmte Luft kaum merklich bewegen. Ohne entsprechende Vorkehrungsmaßnahmen könnte dies einen Alarm auslösen. Da eine Alarmanlage nur dann praktisch nutzbar ist, wenn sie auch eine hinreichende Störsicherheit u. a. gegen Fehlalarm besitzt, haben wir bei der Entwicklung des UBD 30 diesem Punkt besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Dem Bandfilter ist ein Zwischenverstärker nachgeschaltet. Mit einem Einstelltrimmer kann der Verstärkungsfaktor in weiten Grenzen beeinflusst werden.

Am Ausgang schließt sich noch ein weiterer Verstärker, ein Gleichrichter sowie ein Komparator an, der dann den eigentlichen Schaltvorgang auslöst.

### Zur Schaltung

Für die Ansteuerung des eigentlichen Ultraschall-Senders ist ein Oszillator mit hoher Frequenzstabilität erforderlich.

RC-Oszillatoren sind hierfür nur eingeschränkt geeignet, da sie aufgrund von Frequenzschwankungen, auch wenn diese nur gering sind, bereits ein Differenz-Frequenzsignal in der Auswerteelektronik erzeugen und damit eine Fehlalarmlösung herbeiführen können.

Quarzoszillatoren hingegen besitzen, wie allgemein bekannt, eine ausgezeichnete Frequenzstabilität, weisen jedoch den Nachteil auf, daß sie nicht in dem für diesen Anwendungsfall erforderlichen Rahmen abgestimmt werden können.

So bleibt dann nur ein LC-Oszillator übrig, der alle hier geforderten Eigenschaften in sich vereint.

Realisiert wird dieser Oszillator mit dem Gatter N 1 mit Zusatzbeschaltung.

Der Rückkopplungswiderstand R 1 bringt das Gatter zunächst in einen linearen Bereich, d. h. der Arbeitspunkt wird automatisch eingestellt.

Der Ausgang (Pin 15) des Gatters N 1 arbeitet über den Entkoppelwiderstand R 2 auf den eigentlichen, die Frequenz bestimmenden Schwingkreis, bestehend aus L 2 und C 2.

L 2 stellt die eine Wicklung des Ferrit-Übertragers dar, während die Sekundärseite (L 1) über den Entkoppelkondensator C 1 auf den Eingang (Pin 14) des Gatters N 1 arbeitet.

Ein genauer Frequenzabgleich, der im weiteren Verlauf dieses Artikels noch ausführlich beschrieben wird, kann durch Verdrehen des Ferritkerns des Übertragers auf einfache Weise vorgenommen werden. Am Ausgang des Gatters N 1 steht dann die gewünschte Frequenz von 30,3 kHz an.

Damit keine unerwünschten Rückwirkungen des eigentlichen Ultraschall-Senders US 1 auf den Oszillator auftreten können, wird über die Gatter N 2 bis N 6 eine sichere Entkoppelung bei gleichzeitiger Pufferung vorgenommen.

Die Gatter N 5 und N 6 erhalten über N 2 ein invertiertes Signal, so daß das Ausgangssignal von N 5 und N 6 genau gegenphasig zum Ausgangssignal von N 3 und N 4 ist. Auf diese Weise erhält man eine Verdoppelung der Ansteuerspannung bzw. sogar eine Vervielfachung der Sendeleistung des Ultraschall-Senders US 1.

Damit sowohl der Sender US 1 als auch der Empfänger US 2 einen möglichst großen Wirkungsgrad bei gleichzeitiger hoher Selektivität erreichen, sind sie konstruktiv so ausgeführt, daß sie eine ausgeprägte Resonanzkurve besitzen, deren höchster Punkt bei 30,3 kHz liegt. Zusätzlich werden hierdurch Störungen weitgehend ausgeblendet.

Bei den hier eingesetzten Ultraschall-Wandlern handelt es sich um hochwertige professionelle Systeme des Typs US 89 B, die mechanisch so stabil ausgeführt sind, daß die Abstrahlfläche ungeschützt eingebaut werden kann. Selbst harte Stöße können den Wandlern nichts anhaben.

Vom Senderausgang wird über C 3/R 3 ein kleines Signal ausgekoppelt und auf den Mischereingang (Pin 5) des IC 2 geführt.

Das von US 2 empfangene reflektierte Signal gelangt auf die Differenzeingänge Pin 1 und 2 des IC 2, wo zunächst eine Verstärkung vorgenommen wird. Anschließend wird dieses verstärkte Empfangssignal auf den 2. Mischereingang, der intern im IC 2 verschaltet ist, gegeben.

Die Differenzfrequenz zwischen reflektierter Empfangsfrequenz und Original-Sendefrequenz steht an Pin 15 des IC 2 zur Verfügung.

OP 3 stellt mit seiner Zusatzbeschaltung (C 9, 10, 11 sowie R 14 bis 17 einen Hochpaß mit einer unteren Grenzfrequenz von 45 Hz dar, während OP 4 mit seiner Zusatzbeschaltung (R 18, 19, 20 sowie C 12, 13, 14) einen Tiefpaß mit einer oberen Grenzfrequenz von 450 Hz realisiert.

Über C 15 gelangt die gefilterte Zwischenfrequenz auf den Eingang (Pin 12 des IC 2) des ebenfalls im IC 2 integrierten Zwischenfrequenzverstärkers. Die Verstärkung kann über R 22 in weiten Bereichen vorgegeben werden.

Das Ausgangssignal steht an Pin 7 des IC 2 zur Verfügung und wird über C 6 dem OP 1 zugeführt, der nochmals eine 10fache Verstärkung vornimmt.

Mit D 1 erfolgt eine Spitzenwertgleichrichtung mit nachfolgender Pufferung durch C 22.

R 12 dient in diesem Zusammenhang zur Festlegung der Ansprechgeschwindigkeit bzw. Ansprechverzögerung.

OP 2 ist als Komparator geschaltet, an dessen Ausgang (Pin 8) das digitale Steuersignal zur Verfügung steht.

Als weitere Besonderheit weist die hier vorgestellte Schaltung eine automatische Verstärkungsanpassung und Regelung auf, die eine selbsttätige Optimierung der Empfangseigenschaften hinsichtlich des zu überwachenden Raumes vornimmt. Hierzu steht an Pin 16 des IC 2 ein Steuersignal an, das über C 5 entkoppelt auf die Basis von T 1 gegeben wird. T 1 speist nun über R 8 einen Strom in die RC-Kombination R 24/C 19 ein, der einen Spannungsabfall an R 24 zur Folge hat. Diese Spannung gelangt auf den Steuereingang (Pin 3), mit dem die Verstärkung der Eingangsstufe geregelt wird. Je größer das Eingangssignal an Pin 1 und 2 des IC 2, desto höher die Amplitude an Pin 16. Darauf folgt ein größerer Strom durch R 8 und eine höhere Spannung an Pin 3 des IC 2, die wiederum eine Verstärkungsreduzierung bewirkt. Wir sehen also, daß es sich um einen geschlossenen und stabilen Regelkreislauf handelt, der eine optimale Verstärkungsanpassung der Eingangsstufe bewirkt.

Die Versorgungsspannung, die im Bereich zwischen 14 V und 20 V schwanken darf, wird über das IC 3 des Typs 78 L 12 auf 12 V stabilisiert.

Der Ultraschall-Sender wird daraus direkt gespeist, während die gesamte Elektronik des Ultraschall-Empfängers zusätzlich über L 3 und C 7 entkoppelt wird.

Aufgrund des außerordentlich hohen Wirkungsgrades, sowohl der Ultraschallwandler als auch des Gesamtsystems, liegt die Stromaufnahme lediglich bei ca. 30 mA, so daß eine Batteriepufferung (evt. über die Alarmzentrale) ohne weiteres möglich ist.

## Zum Nachbau

Sämtliche Bauelemente finden auf einer einzigen Platine mit den Abmessungen 135 mm x 55 mm Platz. Der Aufbau wird dadurch besonders einfach.

Zunächst werden die niedrigen und anschließend die höheren Bauelemente auf die Platine gesetzt und verlötet.

Die beiden Ultraschallwandler des Typs US 89 B (Sender und Empfänger sind gleich) können entweder direkt oder über 2 Lötstifte mit der Platine verbunden werden. Die genaue Einlötposition (Abstand zur Platine) wird so vorgenommen, daß die Abstrahlfläche der Ultraschallwandler genau mit der Frontfläche des verwendeten Gehäuses abschließt.

Aufgrund der insgesamt günstigen und praxisorientierten Eigenschaften der verwendeten Ultraschallwandler, sind keine besonderen Einbaubeschränkungen oder Hinweise zu beachten. Selbst eine Pufferung über Gummihalierungen o. ä. ist nicht erforderlich, d. h. die Wandler können ohne weiteres seitlich oder rückwärtig mechanisch fixiert werden (Berührung mit Gehäuseteilen spielt keine Rolle). Lediglich die Abstrahlfläche nach vorne muß selbstverständlich frei bleiben.

An den Platinenanschlußpunkt „a“ wird die positive Versorgungsspannung (14 V bis 20 V) und an den Platinenanschlußpunkt „b“ wird die Masseverbindung angeschlossen.

Das Ausgangssignal steht am Platinenanschlußpunkt „c“ zur Verfügung und wird möglichst mit einer I-adrigen abgeschirmten Zuleitung ausgekoppelt, deren Schirmung an den Platinenanschlußpunkt „d“ gelegt wird.

Damit ist der Aufbau bereits beendet.

## Einstellung und Inbetriebnahme

Nachdem die Bestückung nochmals sorgfältig kontrolliert wurde, kann die Versorgungsspannung angelegt werden.

Zweckmäßigerweise überprüft man gleichzeitig die Stromaufnahme, die bei ca. 30 mA liegen sollte (in jedem Fall unter 50 mA).

Mit einem Voltmeter wird jetzt zunächst die mit dem Festspannungsregler IC 3 stabilisierte Betriebsspannung gemessen. Sie muß im Bereich zwischen 11,0 V und 12,5 V liegen. Hierzu wird der Minusanschluß des Voltmeters mit der Schaltungsmasse verbunden. Mit dem Plusanschluß werden folgende Meßpunkte geprüft:

Pin 1 des IC 1, Pin 6 und 14 des IC 2, Pin 3 des IC 3 sowie Pin 4 des IC 4. Liegt an diesen Punkten die korrekte Betriebsspannung an, wird als nächstes die Regelspannung an Pin 3 des IC 2 gemessen.

Die Platine wird hierzu in einem Abstand von ca. 3 Metern parallel zu einer gegenüberliegenden Wand fest montiert. Die gesamte Platine und damit auch die beiden Ultraschallwandler weisen also direkt auf die 3 Meter entfernte Wandfläche.

Der Ferritkern des Übertragers L 1/L 2 wird jetzt langsam in kleinen Schritten verdreht, bis an Pin 3 des IC 2 die maximale Spannung erreicht ist.

Wie wir bereits im Verlauf der Schaltungsbeschreibung festgestellt haben, bedeutet eine größere Spannung an Pin 3 des IC 2 eine Verstärkungsreduzierung, ausgelöst durch eine Eingangsspannungserhöhung. Maximale Spannung an Pin 3 bedeutet also größtmögliche Eingangsspannung an Pin 1 und 2 des IC 2.

Beim Abgleich des Übertragers ist darauf zu achten, daß im „Sichtbereich“ der Ultraschallwandler keine Störungen durch be-

wegte Objekte usw. auftreten. Der Ferritkern wird jeweils nur ein kleines Stück gedreht, um anschließend die Veränderung der Spannung an Pin 3 des IC 2 zu beobachten.

Hat man das Spannungsmaximum erreicht, kann die Sendefrequenz direkt am Ultraschallwandler US 1 mit einem Frequenzzähler sicherheitshalber überprüft werden. Sie muß bei  $30,3 \text{ kHz} \pm 1\%$ , also zwischen 30,0 kHz und 30,6 kHz liegen, da die hochwertigen Wandler Systeme auf 1% (!) selektiert sind.

Sollte der Einstellbereich des Ferritkerns nicht ausreichen, kann der Kondensator C 2 entsprechend verkleinert (Frequenzerhöhung) oder vergrößert (Frequenzreduzierung) werden.

Durch die hohe Selektivität, d. h. durch die ausgeprägte Resonanzkurve der Ultraschallwandler, ist der Feinabgleich der Sendefrequenz, wie vorstehend beschrieben, sorgfältig durchzuführen.

Jetzt kann der Einbau ins Gehäuse und die Installation am vorgesehenen Aufstellort erfolgen.

Mit R 22 kann die Empfindlichkeit (Reichweite) eingestellt werden. 0 V an Pin 9 des IC 2 entspricht maximaler Verstärkung (Empfindlichkeit), d. h. R 22 befindet sich am rechten Anschlag (im Uhrzeigersinn gedreht). Je weiter R 22 entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht wird, desto geringer ist die Ansprechempfindlichkeit und damit die Reichweite.

Bei maximaler Empfindlichkeit können Reichweiten von 10 Meter und mehr erzielt werden. Für Alarmanlagen sollte dieser Bereich im allgemeinen nicht voll ausgeschöpft werden, da dann im Nahbereich eine Alarmauslösung bereits von Insekten erfolgen könnte. Die Empfindlichkeit der Anlage sollte daher nur so hoch eingestellt werden, wie dies unbedingt erforderlich ist, um eine größtmögliche Störsicherheit zu gewährleisten.

Der Trimmer R 12 dient zum Festlegen einer Ansprechverzögerung, wobei die Empfindlichkeit allerdings in geringem Maße mit beeinflußt wird.

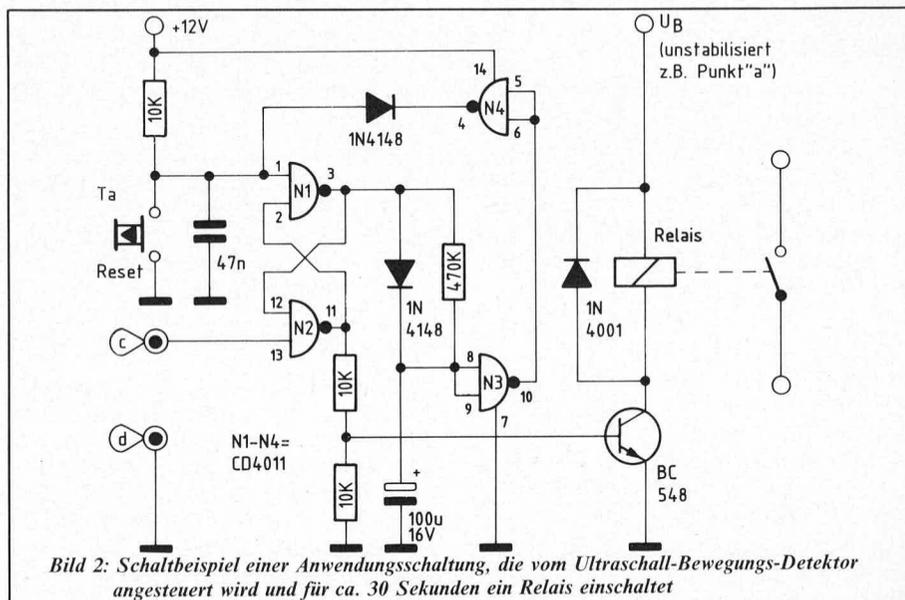


Bild 2: Schaltbeispiel einer Anwendungsschaltung, die vom Ultraschall-Bewegungs-Detektor angesteuert wird und für ca. 30 Sekunden ein Relais einschaltet

Befindet sich R 12 am linken Anschlag (entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht), bedeutet dies maximale Ansprechgeschwindigkeit, d. h. bereits kurze Impulse, die von kleinsten detektierten Objektbewegungen ausgelöst werden können, führen zum Schalten des Komparators OP 2.

Je weiter R 12 im Uhrzeigersinn gedreht wird, desto größer wird die Ansprechfähigkeit bzw. Ansprechverzögerung, die bis zu ca. 10 Sekunden eingestellt werden kann.

Der Ausgang des Komparators OP 2 kann einen Strom von ca. 10 mA direkt treiben. In Bild 2 ist eine kleine Applikation dargestellt, die ein Relais schaltet, sobald vom Ultraschallmelder eine Bewegung registriert wird. Ein Rücksetzen (Alarm-Stopp) erfolgt entweder manuell über die Taste Ta oder automatisch nach ca. 30 Sekunden.

Dieser kleine Schaltungsvorschlag soll nur als einfaches Beispiel für eine Vielzahl möglicher Anwendungen dienen, wobei das bevorzugte Einsatzgebiet dieses Ultraschallmelders in der Ansteuerung einer Alarmzentrale liegt. Hierbei können je nach Alarmzentralen auch mehrere Ultraschallmelder gleichzeitig eingesetzt werden, die sich allerdings in unterschiedlichen Räumen befinden müssen, um eine gegenseitige Beeinflussung auszuschließen.

## Stückliste: Ultraschall-Alarmgeber

### Halbleiter

IC 1	.....	CD 4049
IC 2	.....	TCA 440
IC 3	.....	78 L 12
IC 4	.....	LM 324
T 1	.....	BC 558
D 1, D 2	.....	1 N 4148

### Kondensatoren

C 1, C 3	.....	47 nF
C 2	.....	680 pF
C 9-C 12, C 14	.....	47 nF
C 4, C 20	.....	1 µF/16 V
C 5-C 8, C 15, C 16	.....	10 µF/16 V
C 13	.....	120 nF
C 17, C 18	.....	47 µF/16 V
C 19	.....	22 µF/16 V
C 21-C 23	.....	10 µF/16 V

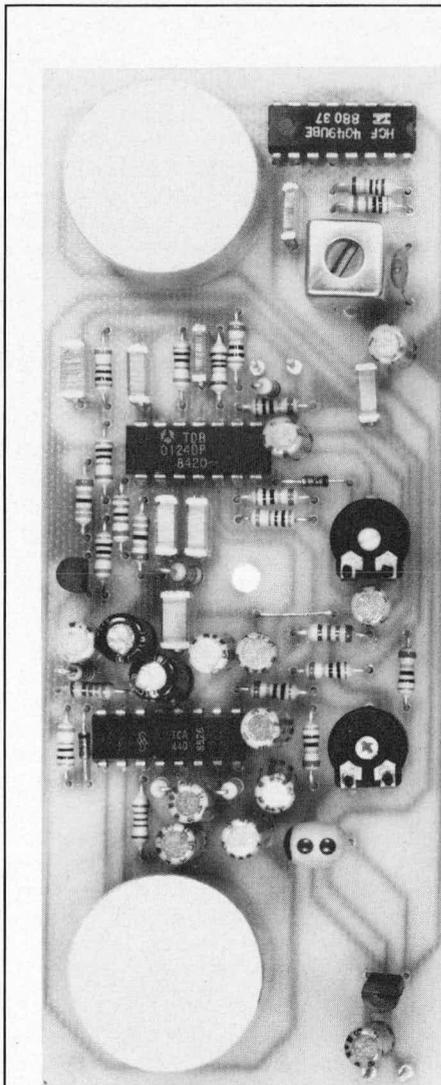
### Widerstände

R 1, R 27	.....	1 MΩ
-----------	-------	------

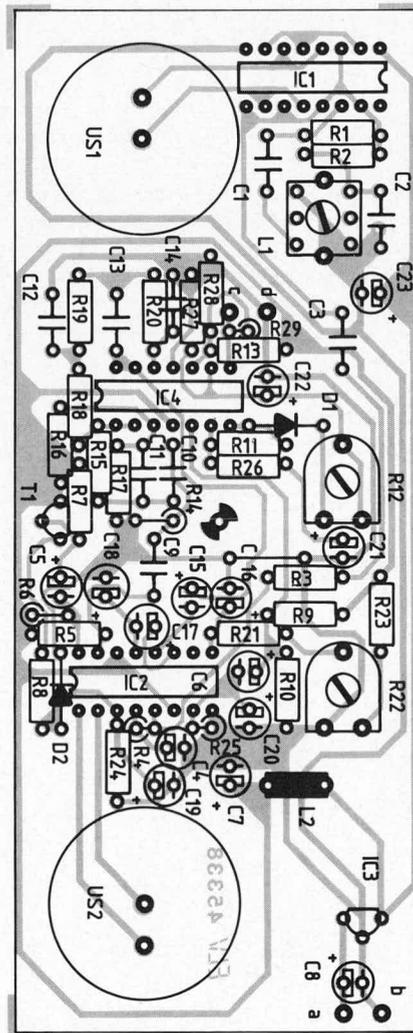
R 2, R 7, R 8	.....	10 kΩ
R 3	.....	4,7 kΩ
R 4	.....	470 Ω
R 5, R 6	.....	3,3 kΩ
R 9-R 11	.....	100 kΩ
R 12	...	250 kΩ, Trimmer liegend
R 13, R 14, R 21, R 28	...	56 kΩ
R 15	.....	22 kΩ
R 16, R 17	.....	680 kΩ
R 18-R 20, R 26	.....	10 kΩ
R 22	...	10 kΩ, Trimmer liegend
R 23	.....	150 kΩ
R 24	.....	8,2 kΩ
R 25	.....	2,2 kΩ
R 29	.....	68 kΩ

### Sonstiges

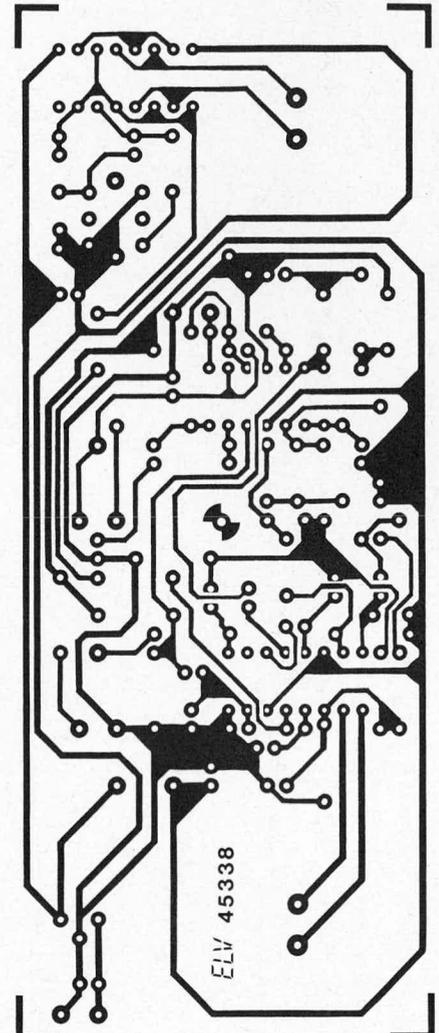
L 1, L 2	.....	CEC-D 377 S
L 3	.....	51 uH
Us 1, Us 2	.....	US89B
4 Lötstifte		



Ansicht der fertig aufgebauten Platine



Bestückungsseite der Platine



Leiterbahnseite der Platine