

Infraschall-Mikrofon

mit preiswerter Elektret-Kapsel

Von Karl Heinz Kopp

Industriell gefertigte Infraschall-Mikrofone sind für den gemeinen Nutzer unerschwinglich teuer. Wenn man aber ein solches Mikro nicht gerade als Präzisions-Messinstrument einsetzen möchte, bietet sich der Selbstbau aus wenigen Bauteilen aus der Bastelkiste an.

Ein Mikrofon hat die Aufgabe, Schall möglichst signalgetreu in eine elektrische Spannung zu verwandeln. Die Wandlung vollzieht sich in zwei Stufen, nämlich einer akustisch/mechanischen durch die Mikrofonkapsel und einer mechanisch/elektrischen durch den Wandler. Die charakteristischen Größen eines Mikrofons sind seine Richtwirkung und sein Frequenzgang. Die Richtwirkung interessiert hier nur am Rande, der Frequenzgang aber um so mehr. Wie kann man ein Mikrofon, dessen technische Daten einen Frequenzgang erst ab beispielsweise 50 Hz versprechen, dazu bringen, Infraschall bis hinunter zu einigen Hertz zu übertragen? Um diese Frage zu beantworten, dringen wir ein wenig in die Theorie ein. Der Frequenzgang eines Mikrofons wird vom Zusammenwirken des Wandlers und der Kapsel bestimmt. Man unterscheidet hier zwischen dynamischen Mikrofonen (Bändchen, Tauchspulen) und elektrostatischen (Kondensator). Andere Wandlerarten wie Kristall-Kohle- oder Kontaktwandler haben nur noch historische Bedeutung.

Wollen wir ein preiswertes und einfaches Mikrofon aufbauen, fällt die Wahl des Wandlertyps leicht. Es kommt nur ein Elektretmikrofon in Frage, das nach dem Kondensatorprinzip arbeitet. Elektret-Kapseln sind gut in vielen Ausführungen erhältlich und kosten nicht viel. Sie benötigen keine elektrische Kapselvorspannung, da die Membran (Elektrode) aus einem Elektretmaterial besteht, in der Regel einer Teflonfolie, die durch Elektronenbeschuss permanent elektrisch geladen wurde. Bei besseren Elektret-Mikrofonen ist auch die Gegenelektrode mit einem Elektret bedampft.

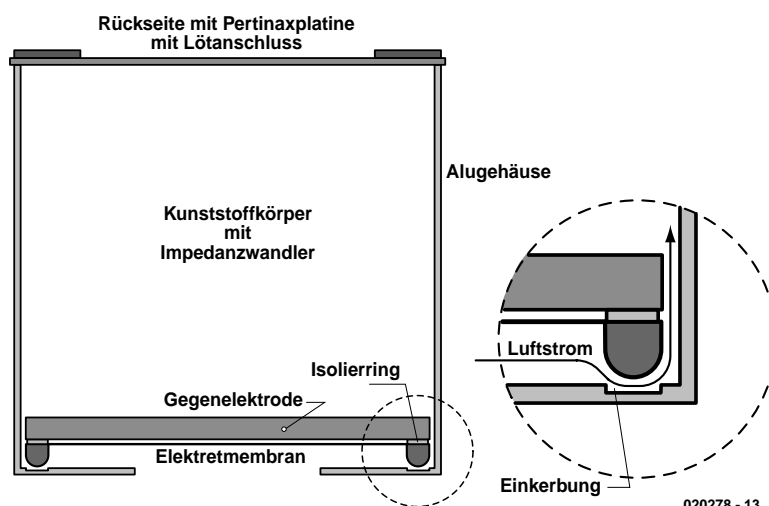


Bild 1. Querschnitt durch eine Elektret-Mikrofonkapsel.

Bild 1 zeigt einen Querschnitt durch ein Elektret-Mikrofon. An der Vorderseite ist die Elektret-Membran platziert, dahinter in einem geringen Abstand die Gegenelektrode. Die Membran ist auf einem Isoliererring gelagert. Den Löwenanteil der Kapsel nimmt ein Kunststoffkörper ein, in dem ein kleiner Impedanzwandler (eine simple FET-Stufe) steckt. Das Pertinaxplatinchen, auf dem der Impedanzwandler aufgebaut ist, dient als Rückseite und gleichzeitig als Anschlussterminal. Das Ganze steckt in einem Aluminiumröhrchen mit gebördelten Rändern.

Druck- und Gradientenempfänger

Untersucht man ein Elektret-Mikrofon genau, so stößt man auf eine Winzigkeit, die aber weitreichende Konsequenzen für den Frequenzverlauf hat. Im Rand des Alugehäuses sind unterhalb des Isolierlings Einkerbungen angebracht. Durch diese Einkerbungen ist ein Luftaustausch zwischen Vor- und Rückseite der Membran möglich. Dies verwandelt die Kapsel von einem Druckempfänger in einen Druck-Gradienten-Empfänger.

Bild 2 zeigt den prinzipiellen Unterschied. Beim Druckempfänger bewegt sich die Membran bei vermindertem Luftdruck (also im Tal der Schallwelle) nach außen, bei erhöhtem Luftdruck auf dem Wellenberg nach innen. Wie langsam sich der Luftdruck auch ändert, die Membran wird (zumindest theoretisch) stets ausgelenkt. In der Praxis sind Druckempfänger mit einer Kapilarbohrung ausgestattet, durch die sich ein sehr langsamer Ausgleich bei Luftdruckschwankungen vollzieht. Anders beim Druckgradientenempfänger. Die Auslenkung wird hier durch die unterschiedlichen Weglängen des Schalls und der dadurch entstehenden Schalldruckdifferenz (Druckgradient) von Membranvorder- und -rückseite erzeugt. Man muss diesen Sachverhalt nicht einmal in eine Formel gießen, um zu verstehen, dass der Druckgradient mit abnehmender Frequenz immer kleiner wird. Sehr tiefe Frequenzen werden von einem Druckgradientenempfänger nur sehr schwach wiedergegeben, ganz im Gegensatz zum Druckempfänger, der theoretisch ab 0 Hz überträgt.

Die Zutaten

Alles, was man tun muss, um ein Infraschall-Mikrofon zu bauen, ist es also, den Druckgradientenempfänger in einen Druckempfänger zu verwandeln, in dem man die Einkerbung zum Beispiel mit einem Klebstoff abdichtet. Theoretisch schon, aber leider nicht praktikabel, denn durch den Klebstoff wird die Membran in Mitleidenschaft gezogen. Deshalb bleibt nichts anderes übrig, als das Gehäuse auszutauschen! Weil nun nicht jedermann über einen Drehbank verfügt, um ein geschlossenes Gehäuse nach Maß herzustellen, hat der Autor Standardbauteile gefunden, die sich als Gehäuse missbrauchen lassen.

Man nehme eine Cinch-Kabelbuchse (Kupplung), einen Stereo-Klinkenstecker (3,5 mm) und einen BNC-Stecker mit Kabelverschraubung, wie sie in **Bild 3** schon in zerlegter Form zu sehen sind. Wichtig ist, dass die Cinch-Kupplung und der Klinkenstecker Vollmetall-Ausführungen sind (der BNC-Stecker ist eh nicht anders als in einer Metallausführung zu bekommen). Die drei Verbinder

werden nicht komplett, sondern nur teilweise gebraucht, nämlich die Griffhülsen der Cinchkupplung und des Klinkensteckers sowie die Kabelverschraubung der BNC-Buchse.

Die Cinch-Griffhülse soll später die von ihrem Gehäuse befreite Mikrofonskapsel aufnehmen. Der Innendurchmesser der Hülse darf höchstens einige zehntel Millimeter kleiner sein als der Außendurchmesser des hüllenlosen Mikrofons. Die Griffhülse wird in ein Bohrfutter gespannt und ein passendes Rundholz mit 400er Schleifpapier umwickelt. Ähnlich wie bei einer Drehbank schleift man die Hülse so weit wie nötig aus, ohne aber dabei das Gewinde zu zerstören. Als nächstes wird die Griffhülse der Klinke, die den gleichen Durchmesser haben muss wie das „nackte“ Mikrofon, auf etwa 10 mm gekürzt und der Schnitt sorgfältig begradigt und entgratet. In **Bild 4** sind die Einzelteile des neuen Mikrofongehäuses schon in der Reihenfolge zu sehen, in der sie zusammengesetzt werden.

Jetzt wird das Mikrofon vorbereitet. Die gebördelte Kante auf der Rückseite wird mit einem scharfen, festen Cutter bis auf die Platine abgetragen. Berühren Sie keinesfalls die Mikrofonöffnung, die Membran könnte sonst beschädigt werden. Ziehen Sie aber das Mikrofon noch nicht heraus, denn zunächst wird ein abgeschirmtes

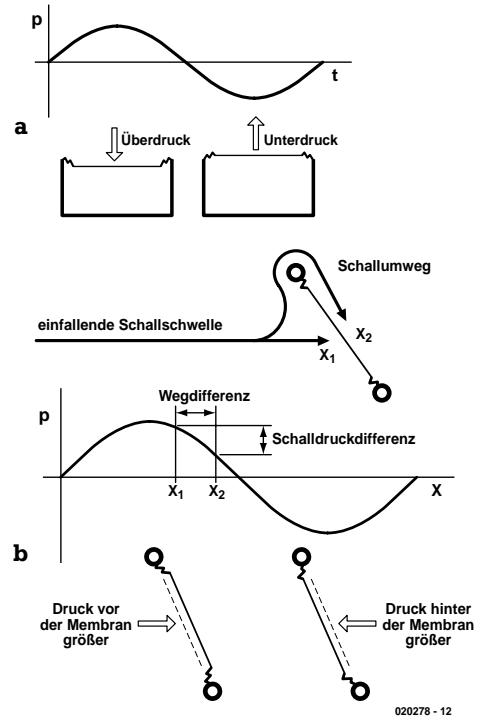


Bild 2. Druckempfänger (a) und Druckgradientenempfänger (b) im Vergleich.

Kabel an den Lötterminals angebracht (Polarität beachten!).

Under Cover

Nun benötigen wir einen Reinraum, den wir kurzerhand aus einem durchsichtigen Müllsack herstellen. Da Staub, Fett, Schmutz und

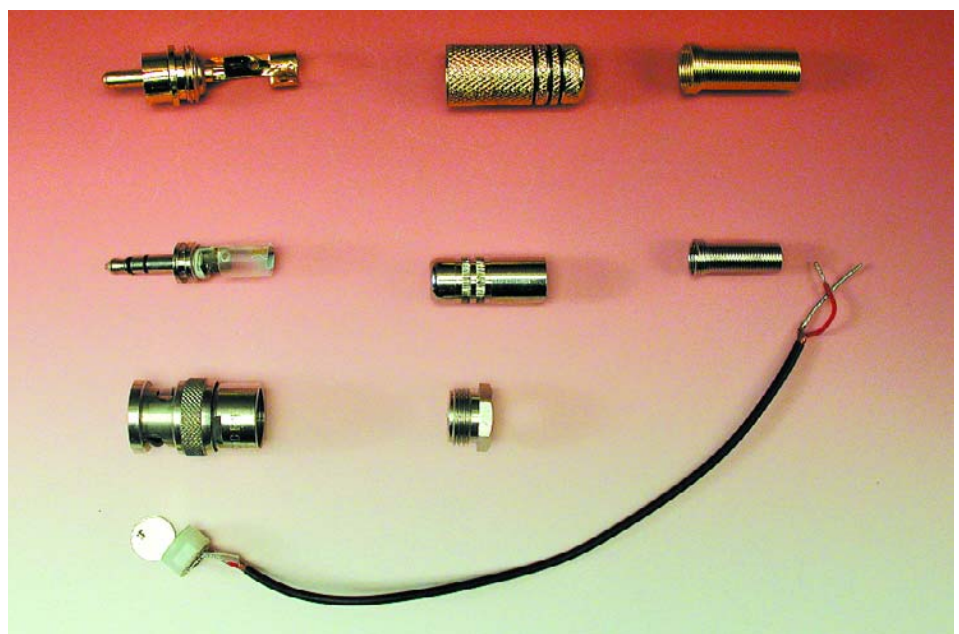


Bild 3. Die verwendeten Stecker. Die Membran/Elektrode links unten ist beim Fotoshooting abgefallen und sollte Ihnen nicht passieren!

elektrische Ladung die Membran und die inneren Teile der Kapsel zerstören, erden wir uns, streifen dünne Gummihandschuhe (ohne Talkumpuder!) über und nehmen die weiteren Arbeiten in dem Reinraum vor.

Die Kapsel wird senkrecht am Kabel gehalten und die Aluminiumhülle vorsichtig nach oben abgezogen. Nun wird genauso vorsichtig die Griffhülse der Cinch-Kupplung über die Kapsel gestülpt, ohne die Innereien zu berühren. Der Isolierring der Membran liegt jetzt auf dem inneren Rand der Hülse, die sonst den Kabel-Knickschutz der Cinch-Buchse festhält. Die abgesägte Klinkenstecker-Griffhülse wird eingesetzt und mit der BNC-Verschraubung fixiert (**Bild 5**).

Das Infrashallmikrofon, so dürfen wir es schon jetzt nennen, kann jetzt aus dem Reinraum entfernt werden. Das Gehäuse dürfte nun ausreichend luftdicht sein, um damit Messungen im Infrashallbereich auszuführen. Wer ganz sicher gehen will, kann die Berührungsstelle von Griffhülse und Isolierring mit einer Nadel etwas lösungsmittelfreien Sekundenkleber aufbringen, ohne aber dabei die Membran zu berühren.

Die freiliegende Membran ist sehr empfindlich und muss vor Staub und Berührung geschützt werden. Dazu stülpt man einen etwa 20 mm langen passenden Kunststoffschlauch über den vorderen Teil und versieht die Öffnung mit einer Schaumstoffkappe.

Elektronische Verstärkung

Die Ausgangsspannung eines Kondensatormikrofons ist nicht gerade hoch und muss um Zehnerpotenzen verstärkt werden, will man das Signal weiter verarbeiten. Eine erste Impedanzwandlung, die ja schon innerhalb der Kapsel vorgenommen wird, erfordert eine Spannungsversorgung für die Elektronik, die in der Schaltung in **Bild 6** durch R1/R2 realisiert wird. Die Wechselspannung gelangt vom Mikrofon über den Koppelkondensator C3 zur ersten Verstärkerstufe IC1.A. Die Eingangsimpedanz wird von R3 bestimmt, die Verstärkung von $1 + R5/R4$. C4 begrenzt die Bandbreite und verhindert instabiles Verhalten des Verstärkers. 34-fache Verstärkung ist angesichts einer Mikrofonspannung von $-30 \dots -70$ dBu nicht ausreichend. Eine zweite Verstärkerstufe mit IC1.B hebt das Signal nochmals um den Faktor 3,3 oder 30 an. Damit ergibt sich eine Verstärkung von 100 (in der gezeigten Stellung von S1) oder 1000 in der anderen Schalterposition. Damit kann jedes handelsübliche Elektret-Mikrofon (der geeigneten Größe) eingesetzt werden, und am Ende der Schaltung steht das Signal mit Line-Pegel zur Verfügung.

Der eingesetzte Doppelopamp ist übrigens

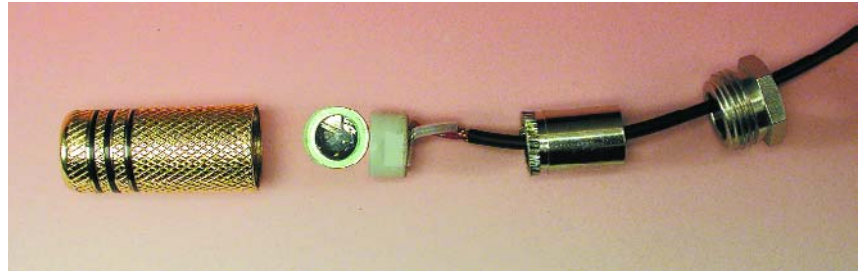


Bild 4. Hier wächst zusammen, was nicht zusammen gehört.

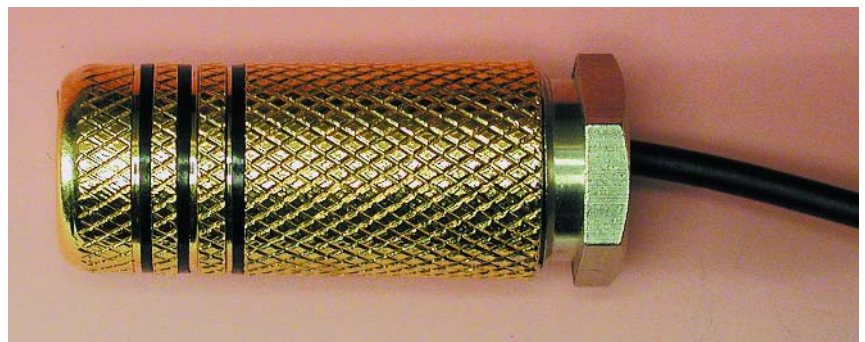


Bild 5. So werden die Einzelteile im Reinraum zusammengebaut.

ein Präzisionsverstärker (gute Offsetwerte) von Maxim mit sehr niedriger Stromaufnahme und deswegen geeignet für Batteriebetrieb. Das Datenblatt finden Sie unter <http://pdfserv.maxim-ic.com/arpdf/MXL1178-MXL1179.pdf> und in der Heftmitte.

Um den Infrashall zu analysieren, schließt man den Mikrofonvorverstärker an den Eingang der Sound-

karte an. Ein geeignetes Programm (mit einer kostenlosen Testversion) zur Schwingungs- und Schallanalyse ist *Medusa* unter www.maschinendynamik.de/index.html

Eine Bauanleitung für dieses Mikrofon ist übrigens auch im Internet auf der Site der Interessengemeinschaft zur Aufklärung des Brummtons (IGZAB) www.brummt.de enthalten.

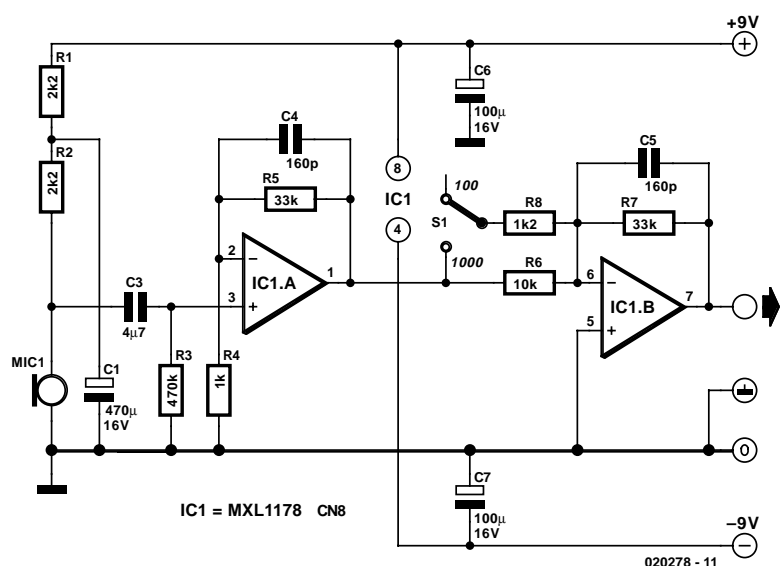


Bild 6. Schaltplan für einen Mikrofonvorverstärker.

Mikrofon, Mikrofonverstärker und Soundkarte weisen in dem interessanten Frequenzbereich unter 10 Hz keinen linearen Frequenzgang auf. Solange Sie keine Möglichkeit haben, die Übertragungseigenschaften der Glieder der Messkette zu messen, dürfen Sie nur von Schätzwerten ausgehen.

Der Übertragungsfaktor des Infrasschallmikrofons ist nicht bekannt und wurde deshalb (mit viel Optimismus) als 1 angenommen. Die Korrekturfaktoren des verwendeten Mikrofonvorverstärkers und der (Terratec-)Soundkarte wurden ermittelt, so dass sich folgende Korrekturfaktoren ergaben (**Tabelle 1**).

Natürlich lassen sich Infrasschallaufnahmen auch ohne Soundkarte, sondern mit einem A/D-Wandler vornehmen. Der Autor verwendet das *UA-1A USB Audio Interface Edirol* von Roland. Daraus ergeben sich andere Korrekturwerte (**Tabelle 2**). Werden beide Eingänge des Edirol

Tabelle 1

Frequenz in Hertz	Korrekturfaktoren			
	Infrasschallmikrofon	Vorverstärker	Terratec Soundkarte	gesamt
10	1	1	1	1
4	1	1	0,62	1,6
2	1	1	0,37	2,7
1	1	1	0,25	4

Tabelle 2

Frequenz in Hertz	Korrekturfaktoren			
	Infrasschallmikrofon	Vorverstärker	Edirol UA-1A	gesamt
10	1	1	1	1
4	1	1	0,94	1,1
2	1	1	0,85	1,2
1	1	1	0,73	1,4

verwendet und zwei Mikrofone in einem bestimmten Abstand voneinander aufgebaut, kann man sogar

eine Ortung der Schallquelle versuchen.

(020278)rg