

# Die Kathedrale in der Streichholz- schachtel

## Elektronische Hallspirale

Helmuth Lemme



Eine Elektrogitarre ohne Hall klingt flach. Die besseren Verstärker haben deshalb fast alle eine eingebaute Hall- oder Echovorrichtung. Meist ist das eine „Hallspirale“, ein elektromechanisches Bauelement mit im Prinzip gutem Klang, jedoch leider mit einigen Problemen durch Nebengeräusche. Seitdem es gelungen ist, die gleiche Funktion auf einem Halbleiterchip zu integrieren, ist ein störungsfreier Hall möglich. Vorhandene Verstärker lassen sich damit leicht nachrüsten.

In großen Sälen hallt es von allein. Aber im Wohnzimmer mit Teppich und Polstermöbeln oder auch im Tonstudio klingt es sehr viel besser, wenn man etwas nachhilft. Ohne Hall überhaupt nicht auszuhalten sind Kopfhörer-Verstärker; diese brauchen ihn am dringendsten.

Das übliche Prinzip in Gitarrenverstärkern ist die sogenannte Hallspirale. Sie wurde seit den 1960er Jahren in den elektronischen Orgeln der US-Firma Hammond verwendet. Eine lange Spirale, oder – technisch korrekt formuliert – eine Schraubenfeder aus dünnem Stahldraht ist in einem Rahmen aufgespannt und trägt an beiden Enden quer polarisierte Magnete. Am einen Ende wird sie mittels einer Erregerspule zu Torsionsschwingungen angeregt, diese laufen als Welle die Feder entlang, am anderen Ende induzieren sie in der Empfängerspule wieder eine Wechselspannung. Die Schwingungen werden reflektiert, laufen ein paar Mal hin und her und werden bei jedem Durchlauf schwächer. Die Feder hat eine große Zahl von sehr dicht nebeneinander liegenden Eigenresonanzen. Dadurch ist die Nachhallzeit eines Sinussignals bei jeder Frequenz anders; der Übertragungsfrequenzgang sieht aus wie ein feinzinkiger Kamm. Um diesen ungünstigen Effekt abzumildern, haben die praktischen Ausführungen zwei oder drei nebeneinander angeordnete Federn mit leicht unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften (Bild 1). So klingt der Hall ausgeglichener, bei hochwertigen Ausführungen fast so wie in einer großen Kathedrale. Im Jahr 1971 ging die Produktion der Hammond Hallspiralen an die Tochterfirma „Accutronics“ über ([www.accutronicsreverb.com](http://www.accutronicsreverb.com)). Sie bietet viele verschiedene Aus-

## Bauanleitungen

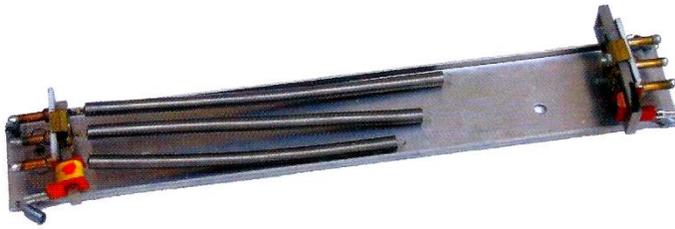
### Alles integriert

Diese Probleme sind seit kurzem kein Thema mehr. In der Kooperation von Accutronics und Belton ist es gelungen, die klanglichen Eigenschaften elektronisch zu imitieren und auf einem Halbleiterchip zu integrieren. Wie dieser innerlich genau arbeitet ist nicht zu erfahren. Jedenfalls klingt das Ergebnis überzeugend echt nach Hallspirale, oder genauer gesagt sogar nach zweien. Denn der Ausgang ist in Stereo ausgeführt, die beiden Signale sind leicht unterschiedlich. Damit kann man dann auch eine monophone Tonquelle wie eine E-Gitarre mit einem räumlichen Hall versehen.

Der besagte Chip wird nicht einzeln verkauft, sondern als fertiges Modul in der Größe einer Streichholzschachtel, vergossen in Kunstharz, Bezeichnung BTDR, Preis etwa 15 Euro. Es gibt mehrere Varianten mit unterschiedlichen Nachhallzeiten und Gehäuseformen. In der hier beschriebenen Schaltung kommt der Typ BTDR-2H-L zum Einsatz. Der letzte Buchstabe in der Typenbezeichnung kennzeichnet die Halldauer: S = short (2 s), M = medium (2,5 s), L = long (2,85 s). Der Baustein hat sechs Anschlüsse; außen herum sind nur wenige weitere Bauteile erforderlich. Die Trennkondensatoren an den Ein- und Ausgängen sind darinnen auch schon enthalten. Damit lässt sich die Platine so klein aufbauen, dass sie in vielen Verstärkern Platz findet, die von sich aus keinen Hall haben, beispielsweise ältere Modelle von Marshall.

Bild 2 gibt die Schaltung wieder. Die Betriebsspannung des Moduls ist 5 V, die Stromaufnahme etwa 55 mA. Die Eingangsimpedanz ist mit 10 k $\Omega$  relativ niedrig, weshalb eine Impedanzwandlerstufe vorgeschaltet ist. Diese verhindert gleichzeitig, dass das Modul eine zu hohe Signal-Eingangsspannung bekommt. Einen zusätzlichen Schutz bringen die Dioden D1 und D2. Der Kondensator C2 ist mit 0,1  $\mu$ F bewusst klein gewählt, damit er zusammen mit dem Eingangswiderstand einen Hochpass mit 3-dB-Abfall bei etwa 160 Hz bildet. Dadurch werden die tiefen Frequenzen etwas abgeschwächt, bei denen der Hall nicht so gut klingt und zum Wummern neigt. Die beiden Ausgänge des Hallmoduls IC1 sind niederohmig. Sie werden über die Widerstände R6 und R7 zusammengemischt. Es folgt das Poti für die Einstellung der Hallintensität. Wenn man einen vorhandenen Verstärker mit dieser Schaltung nachrüstet, wird das Poti auf der Frontplatte wahrscheinlich keinen Platz mehr finden, es sei denn, man opfert ein anderes dafür. Man kann es aber auch an die Rückseite des Verstärkers setzen. Der Schleifer des Potis geht zum Mischteil der Schaltung, in dem das Hallsignal mit dem Originalsignal gemischt wird. Hier findet ein Operationsverstärker Einsatz. Es eignet sich fast jeder moderne Typ. Von uralten OPs wie dem 741 und ähnlichen ist abzuraten. 5 V Versorgungsspannung für den OP wären zu wenig, deswegen bekommt er eine höhere.

Unter Röhrenfreaks herrscht vielfach die Meinung, es dürfe auf gar keinen Fall ein einziger Halbleiter im Signalweg



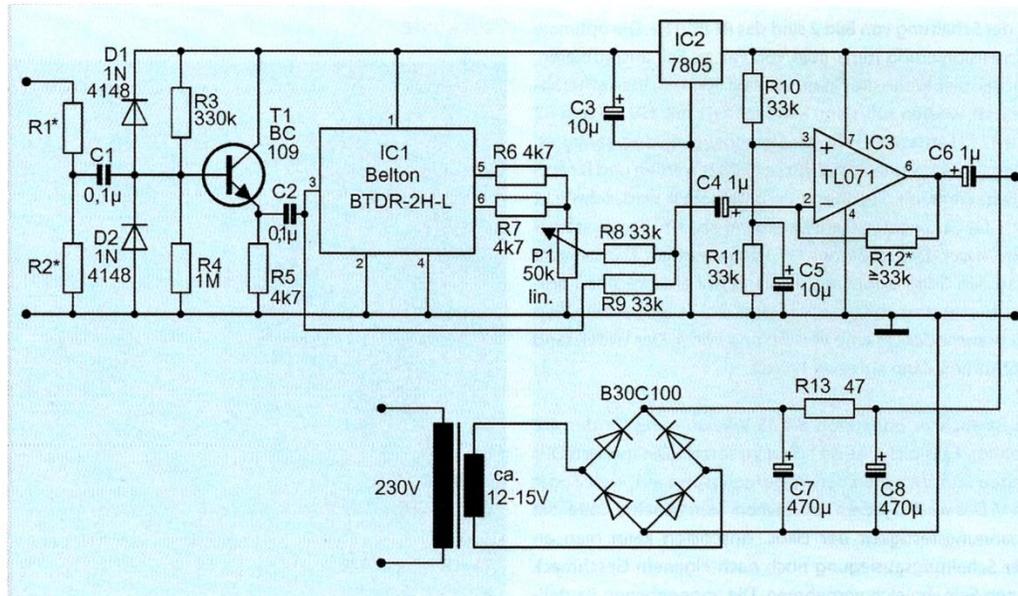
**Bild 1.** Hallspirale mit drei verschiedenen Federn, hier ausgehängt.

führungen an, kurze und lange, mit zwei oder drei Spiralen und verschiedenen Ein- und Ausgangsimpedanzen. Im Jahr 2009 hat sich Accutronics mit der koreanischen Firma Belton zusammengetan.

Die Gitarrenverstärker von Fender waren schon sehr früh mit Hallspiralen ausgestattet, was beim Modellnamen am Zusatz „Reverb“ erkennbar ist. Als Treiberverstärker wurde eine Doppeltriode ECC81 verwendet, deren beide Systeme parallel geschaltet waren, wodurch mehr Strom zur Verfügung stand. In der Anodenleitung saß ein kleiner Übertrager, dessen Sekundärseite den Eingang der Hallspirale speiste. Deren Ausgangssignal wurde mit einer halben ECC83 verstärkt und über ein Potentiometer („Reverb“) dem Originalsignal beigemischt. In moderneren Verstärkern ist die Hallschaltung meistens volltransistorisiert, auch oft in solchen, die im Signalweg ausschließlich mit Röhren arbeiten. Puristen können beruhigt sein, das tut dem Röhrensound durchaus keinen Abbruch. Dafür werden eineinhalb Röhren eingespart, die man für andere Zwecke besser nutzen kann.

So nützlich Hallspiralen auch sind, so haben sie doch einige Nachteile. Sie reagieren sehr stark auf mechanische Erschütterungen, wobei sie knallende Geräusche im Lautsprecher verursachen. Das kann die innere elastische Aufhängung an kleinen Federn nur etwas abdämpfen, aber nicht wirklich beseitigen. Als elektromechanische Wandler sind sie Prinzipbedingt mikrofonisch, in „High-Gain“-Verstärkern kann es dadurch zu akustischer Rückkopplung kommen. Die Empfängerspule ist empfindlich für magnetische Streufelder aus dem Netztrafo, dadurch ist das Hallsignal oft verbrummt. Und schließlich hat das Gehäuse ein erhebliches Bauvolumen, womit es nicht in kleine Verstärker hineinpasst.

## Bauanleitungen



**Bild 2.**  
Die Schaltung des  
Hallteils.

sitzen, der würde sonst den ganzen schönen Röhrensound verderben. Solche Behauptungen kommen meist von Leuten, die keine Kenntnis haben, was Transistoren denn nun tatsächlich mit dem Signal anstellen. Das sind drei Dinge:

1. **Harte Abkappung von Signalspitzen:** Das darf natürlich nicht sein. Deshalb muss die Versorgungsspannung des Operationsverstärkers genügend hoch sein.
2. **Beschneidung der Signalfanken:** Wenn die Anstiegsgeschwindigkeit („slew rate“) zu niedrig ist, kommt das Ausgangssignal bei hohen Frequenzen nicht mehr schnell genug mit. Man erhält hier nicht mehr die volle Amplitude, Sinusschwingungen werden zu Dreieckschwingungen. Das war ein ernstes Thema bei den Uralt-Typen; bei modernen OPs wie z. B. TL071 mit 13 V/µs besteht in dieser Hinsicht überhaupt keine Gefahr.
3. **Latch-up:** Wenn das Eingangssignal des OPs die Versorgungsspannung über- oder unterschreitet, können in den Sperrschichten im Chip, die zur Trennung der einzelnen Transistoren dienen und normalerweise immer sicher sperren, parasitäre Thyristoren durchschalten, wodurch im Chip ein heilloses Durcheinander entsteht. Unter Umständen polt sich dabei das Ausgangssignal um, was für den Klang ruinös ist. Die hier vorgestellte Schaltung ist so ausgelegt, dass das unmöglich passieren kann.

Zur Stromversorgung: Die Idee liegt nahe, die Heizspannung der Röhren zu nutzen. Der Versuch zeigte, dass es auf dem Labortisch funktioniert, im realen Verstärker aber doch nicht; es entstanden starke Brummstörungen. Ohne Nebengeräusche geht es mit einem zusätzlichen Netztrafo, wobei ein sehr kleiner Typ mit etwa 2 VA Leistung ausreicht. Wenn

der OP mit etwa 15 V versorgt wird, ist die Übersteuerungsgefahr sehr gering. Zur Erzeugung der 5 V für den Hallbaustein dient ein Spannungsregler 7805.

### Praktischer Einbau

Jetzt stellt sich die Frage, an welcher Stelle im Verstärker man die Hallschaltung einfügt. Ist ein Gesamt-Lautstärkeregler („Master Volume“) vorhanden, dann am besten unmittelbar vor diesem. Ist keiner eingebaut, dann vor dem Eingang der Endstufe. Zur Sicherheit ist ein Test mit dem Oszilloskop zu empfehlen. Wie hoch wird der Signalpegel an diesem Punkt im realen Betrieb maximal? Es zählt der Spitze-Spitze-Wert. Das Hallmodul darf nicht übersteuert werden. Es verträgt eine maximale Eingangsspannung von 1,5 Vss. Ist der Pegel im Verstärker höher, dann muss ein geeigneter Spannungsteiler vor die Schaltung gesetzt werden, der die Signalspannung auf einen sicheren Wert herabsetzt.



**Bild 3.**  
Die fertig bestückte  
Platine.

## Bauanleitungen

In der Schaltung von Bild 2 sind das R1 und R2. Die optimale Dimensionierung muss man von Fall zu Fall ausprobieren. Ein Beispiel: Wenn die Spannung auf etwa ein Viertel herabgesetzt werden soll, dann kann man R1 mit 150 k $\Omega$  und R2 mit 47 k $\Omega$  ansetzen. Falls der Signalpegel niedrig genug ist, kann R1 durch eine Drahtbrücke ersetzt werden und R2 entfallen. Wenn die Spannung heruntergeteilt wird, schwächt sich das Originalsignal entsprechend ab, d. h. der Verstärker wird leiser. Das muss der OP kompensieren. Dazu macht man den Gegenkopplungsverstand R12 entsprechend größer. Hier muss man etwas probieren. Bei Teilung auf ein Viertel braucht der OP eine Verstärkung von 4. Der Widerstand R12 kommt dann auf etwa 120 k $\Omega$ .

Es ist auch zu prüfen, ob die 15-V-Versorgung für den OP genügt. Falls nicht, ist sie höher zu setzen. Die meisten OPs halten 30 V zwischen den Versorgungspins aus, viele sogar 44 V. Das wird in jedem Fall reichen. Man beachte dabei die Spannungsfestigkeit der Elkos. Ansonsten kann man an der Schaltungsauslegung noch nach eigenem Geschmack einen Feinabgleich vornehmen. Die angegebenen Bauteilwerte müssen nicht streng eingehalten werden, sondern man kann hier noch einiges variieren – beispielsweise das Mischungsverhältnis zwischen Originalsignal und Hall. Bei 1:1, festgelegt durch die gleich groß dimensionierten Widerstände R8 und R9, wird der Hall überaus stark, vielleicht gefällt das manchem nicht so gut. Das lässt sich leicht ändern, indem man R8 größer macht, z. B. 68 k $\Omega$ ; probieren geht über Studieren. Bild 3 zeigt die fertig bestückte Platine. Mit 58 mm x 58 mm Größe wird sie in den meisten Verstärkern leicht Platz finden. Bild 4 zeigt das Layout und den Bestückungsplan.

Im Prinzip kann man auch einen Stereo-Hall erzeugen. Für normale Gitarrenverstärker, die akustisch mehr oder weniger Punktquellen sind, ist das wenig interessant, wohl aber für Kopfhörerverstärker. Der Klang des Halls wird dann echt räumlich. Der Mischteil muss in diesem Fall doppelt ausgeführt sein, zur Halleinstellung braucht man dann ein Tandempoti. Eine Stromversorgung mit 9-V-Batterie ist nicht ratsam, die wäre zu schnell leer. Wenn Batteriebetrieb gewünscht ist, eignen sich sechs Mignonzellen besser. Ob Mono oder Stereo, der Gewinn an Klangdimension ist in jedem Fall enorm.

## Stückliste

R1 = siehe Text  
R2 = siehe Text  
R3 = 330 k  
R4 = 1 M  
R5, R6, R7 = 4,7 k  
R8...R12 = 33 k  
R13 = 47  $\Omega$

P1 = 50 k $\Omega$ , linear

C1, C2 = 0,1  $\mu$ F, Folie  
C3 = 10  $\mu$ F/25 V  
C4 = 1  $\mu$ F/25 V  
C5 = 10  $\mu$ F/25 V  
C6 = 1  $\mu$ F/25 V  
C7, C8 = 470  $\mu$ F/25 V

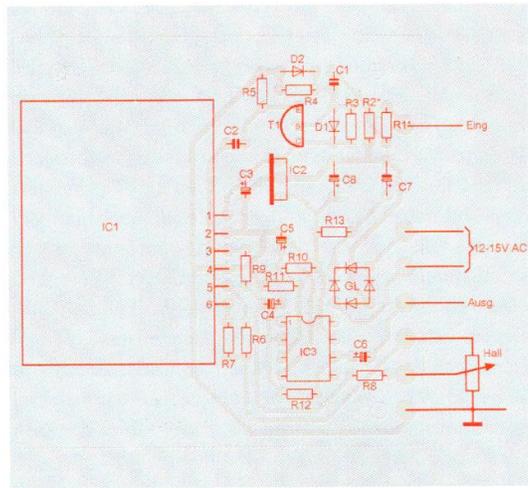
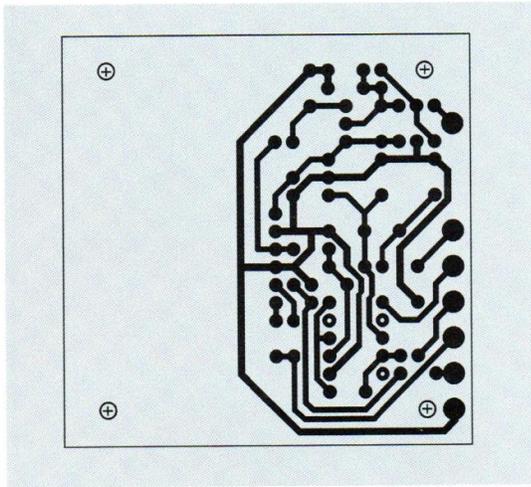
T1 = BC109, BC549. o. ä.  
IC1 = BTDR-2H-L  
IC2 = 7805, TO 220  
IC3 = TL071  
GL = B30C100 oder stärker, runde Bauform

Netztrafo = sekundär 12...15 V, ca. 2 VA (siehe Text)

Platine = 58 mm x 58 mm

## Bezugsquellen für den Hallbaustein:

- <http://www.banzaimusic.com/Accutronics-Digi-Log-BTDR-2H-Long.html>
- [http://www.tubeampdoctor.com/de/shop\\_Hallspiralen\\_Reverb\\_Effects\\_Accutronics\\_Belton\\_digital/BTDR\\_2H\\_long\\_Belton\\_Accutronics\\_Digi\\_Log\\_Reverb\\_3543](http://www.tubeampdoctor.com/de/shop_Hallspiralen_Reverb_Effects_Accutronics_Belton_digital/BTDR_2H_long_Belton_Accutronics_Digi_Log_Reverb_3543)
- <http://www.musikding.de/Delay-ICs>



**Bild 4.**  
Platinenlayout  
(Größe 58 x 58 mm<sup>2</sup>)  
und Bestückungsplan.

Dieser Artikel wurde erstmalig im Elektor-Sonderheft „Special Project Röhren 10“ (Mai 2014) veröffentlicht.

### Nachtrag 2021

Hier ist noch eine Erweiterung der Schaltung auf Stereo-Hall, sehr bereichernd für Kopfhörer-Verstärker.

Schaltung:

