

Kugelförmiger HiFi-Lautsprecher

(Abbildungen sind im englischen Original besser)



Wichtig: Dieses Instructable ist nicht wirklich eine Bauanleitung. Ich möchte vielmehr die Probleme zeigen, die ich beim Bau dieser Lautsprecher hatte, und die Lösungen, die ich gefunden habe. Es gibt sicherlich viele weitere mögliche Lösungen, aber wie immer versuchte ich, Ideen, Material und Werkzeug, das ich zur Verfügung hatte, bestmöglich zu nutzen. Vielleicht regt es den einen oder anderen Leser dazu an, etwas Ähnliches zu versuchen.

Gleich nochmals – Wichtig: Dies ist ein 'dummer' Lautsprecher. Er hat keine smarten Schnickschnack-Funktionen, wie z.B. eingebauten Verstärker, DSP, Bluetooth, Internet- oder Netzwerkzugang, WiFi oder einen USB-Anschluss. Um damit Musik zu hören, muss das auf dieselbe altmodische Weise passieren, wie wir es schon in der 2. Hälfte des letzten Jahrhunderts taten, nämlich mit einem Lautsprecherkabel an einen Verstärker angeschlossen.

...und eine weitere Kleinigkeit: Ich lebe in der Schweiz, und bei uns gibt es kein 'ß'.

Ich mag Lautsprechergehäuse, die von der üblichen Kisten-Bauweise abweichen, und verwende z.B. Pyramiden, PVC- oder Betonrohre oder, wie im Beispiel hier, eine Kugel. Ohne zu sehr ins Detail zu gehen, haben kugelförmige Lautsprechergehäuse in akustischer Hinsicht nur Vorteile gegenüber normalen, quaderförmigen Boxen. Die wichtigsten davon sind:

- Bessere Abstrahlcharakteristik, kein 'Baffle Step' im Amplitudengang
- Wesentlich geringere Schwingungen der gekrümmten Kugelwände verglichen mit flachen Platten
- Keine stehenden Wellen im Inneren, da keine parallelen Gehäusewände vorhanden sind

Kugelförmige Gehäuse sind jedoch schwierig herzustellen; und wenn man sie sich von einem professionellen Drechsler anfertigen lässt, werden sie richtig teuer.

Als ich vor etwa 11 Jahren bei Ikea über halbkugelförmige Servierschalen aus Bambus stolperte, wusste ich gleich, dass ich etwas gefunden hatte, das sich zum Upcycling (bzw. Zweckentfremdung) für ein Lautsprechergehäuse eignet. Natürlich war ich nicht die ganzen elf Jahre ununterbrochen damit beschäftigt – ich brauchte mehrere längere Auszeiten, zum Nachdenken und Suchen geeigneter Lösungen.

Und ja, diese Schalen gibt es bei Ikea noch immer, auch wenn sie jetzt ein klein wenig anders aussehen. Es würde mich auch nicht wundern, wenn sich auch die Abmessungen in der Zwischenzeit leicht verändert hätten.

Kugelförmige Oberflächen sind nicht einfach zu bearbeiten; der Bau eines quaderförmigen Lautsprechergehäuses aus Span- oder MDF-Zuschnitten ist wesentlich weniger kompliziert, dazu noch viel billiger. Das ist natürlich auch der Grund dafür, dass man beim HiFi-Händler um die Ecke kaum kugelförmige Lautsprechergehäuse findet.

Im Gegensatz zu einigen der anderen Lautsprecher-Instructables, die hier zu finden sind und die meiner Meinung nach fragwürdige Informationen liefern (wie z.B. Gehäuse aus Pappe oder Blechdosen, oder Dämpfung mit Schaumgummi), kann man mir vertrauen - ich kenne mich ein wenig mit dem Bau von Lautsprechersystemen aus, da ich mich seit den 1970er Jahren recht erfolgreich damit beschäftige :-)

Zutaten

Material für ein Stereo-Paar:

4 Ikea 'Blanda Matt' Servierschalen aus Bambus, Ø 28 cm

2 17 cm-Tief-Mitteltöner, für den Einbau in geschlossene Boxen von etwa 8-9 Liter Netto-Volumen. Ich verwendete ein Paar Philips 'AD7066/W4 High-Power Woofers' mit einer Impedanz von 4 Ω die in meiner Bastelkiste seit vielen Jahren brach lagen. Lautsprecherchassis von Philips hatten in der 'guten alten Zeit' ein hervorragendes Preis-Leistungs-Verhältnis und wurden von Selbstbauern, aber auch von namhaften Herstellern wie z.B. Infinity oder Bang&Olufsen verwendet. Man bekommt sie leider schon lang nicht mehr im Laden, aber mit etwas Glück kann man in Online-Auktionen noch welche finden, allerdings teilweise in fragwürdigem Zustand, und selten wirklich billig.

Dazu braucht es noch weitere Kommentare:

- Die alten Datenbücher von Philips geben den Wirkungsgrad der Lautsprecher nicht an, so wie das heute üblich ist. Ich versuchte deshalb eine möglichst gute Schätzung und kam auf einen Wert von etwa 88 dB/W/m; die entsprechenden Seiten aus dem Datenbuch von 1976 (!) sind unten angefügt.
- Der Amplituden-Frequenzgang aus dem Philips-Datenbuch erscheint mir etwas sonderbar, damals wurden die Messungen in den Philips-Labors offenbar auf ungewöhnliche Art durchgeführt. Der schwächliche Frequenzgang in den Bässen, den das Diagramm im Datenbuch zeigt, kann einfach nicht stimmen, sondern ist vermutlich das Resultat des Messaufbaus im Philips-eigenen, schalltoten Raum. Diese Chassis bringen wirklich ordentlich Bass, auch in relativ kleinen Gehäusen!

2 Visaton 'CP13' 4 Ω -Hochtöner mit einer Kalottenmembran von 13 mm Durchmesser
Ich wählte diese Mini-Hochtöner vor allem wegen des kleinen, mehr oder weniger kugelförmigen Gehäuses. Ihr Wirkungsgrad wird vom Hersteller mit 86 dB/W/m angegeben; in einer deutschen Zeitschrift (Hobby HiFi 2000-04) ist der Wirkungsgrad hingegen mit 89 dB/W/m angegeben. Egal wem wir nun glauben, er ist jedenfalls sehr ähnlich wie derjenige des Tieftöners. Das Hersteller-Datenblatt ist unten angefügt.

je 4 M3 \times 25 Schrauben, Unterlegscheiben, Muttern

2 Polyester- (oder ähnlich) Kondensatoren von 4.4 μ F (je 2 \times 2.2 μ F parallel)

2 Paar Lautsprecher-Anschlussklemmen, z.B. Monacor BP-500G. Masszeichnung siehe unten

4 Ring-Kabelschuhe für 6 mm, Quetschmontage

4 Kabelschuhe für 6.3 mm-Flachsteckungen, Quetschmontage

Etwas dicke Litze, rot und schwarz (z.B. 2 mm²)

1½ Packungen Dämpfungsmaterial, z.B. 'Dämpfungsmaterial für HiFi-Lautsprecherboxen' von Visaton (scheint eine Art Polyesterwatte bzw. BAF (bonded acetate fibre) wadding zu sein)

2 Stück Schaumgummi, ca. 17 × 17 × 1 cm

16 Stück M3-Gewindestangen

Acht Stück davon werden beim Zusammenbau und dem Verkleben der Schalenhälften gebraucht, diese müssen etwa 27 cm lang sein. Die restlichen acht Stück brauchen nur etwa 23 cm lang zu sein. Das bedeutet, dass aus den 1 m langen Gewindestangen aus dem Baumarkt je zwei lange und zwei kurze Stücke gesägt werden können, insgesamt braucht es also vier Gewindestangen à 1 m. Alle diese Abschnitte werden später noch auf die genaue Länge gekürzt.

16 M3-Nietmuttern

16 10 mm lange Sechskant-Gewindebolzen mit M3-Innengewinde

16 Stück Silikonschlauch, Innendurchmesser 3 mm

Weissen Holzleim

Heisskleber

UV-härtenden Sekundenkleber, z.B. 'UHU LED-Light Booster'

Etwas passenden Holzabfall

Div. Montage-Kleinmaterial

Für die zwei 'Füsse':

2 runde Frühstückst- oder Schneidebretter aus Bambus, 25 cm Durchmesser

6 kugelförmige Gummi-Türstopper; 35 mm Durchmesser, mit einem Abschnitt des mitgelieferten Kunststoff-Dübels; ich verwendete 'Burg Wächter TPF 2035'

6 M4-Einschraubmuttern ('Rampa-Muffen')

6 M4-Senkschrauben (Länge abhängig von der Dicke der Frühstücksbrettchen; müssen evtl. passend gekürzt werden)

6 selbstklebende Gummipuffer

Werkzeug

Grosse Drehbank (oder einen Freund mit einer sehr gut ausgestatteten Werkstatt)

Ständer- oder Tischbohrmaschine

Akku-Bohrschrauber

Verschiedene Bohrer

Stichsäge

Heissklebepistole

Verschiedene Schraubendreher

5.5 mm-Steckschlüssel

Crimp-Werkzeug

Lötkolben

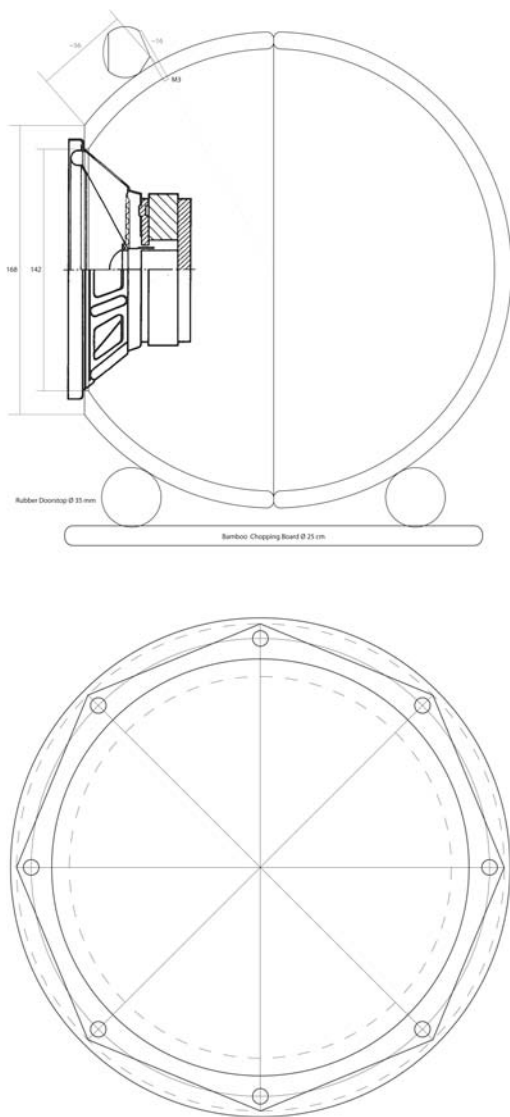
Angefügte Dateien (Download in der englischen Version des Instructables):

1976 Philips AD7066-W Data.pdf

2012-12-26 Visaton CP13 Data.pdf

Monacor BP-500G.pdf

Schritt 1: Erste Entwürfe



Ich startete mein Grafikprogramm und skizzierte den Querschnitt des geplanten Lautsprechergehäuses (siehe Bild oben). Für den Einbau des Tieftöners ist es nötig, einen Teil von einer der Schalen zu entfernen – was nicht ganz einfach ist, da die Fläche, auf der der Tieftöner montiert wird, perfekt eben sein muss. Aber wofür hat man denn Freunde? :-)

Danach fertigte ich eine Schablone an, die den Umriss des Tieftöners, dessen Befestigungslöcher und den Ausschnitt für die Schallwand zeigt (2. Bild oben). Diese Schablone druckte ich aus, wobei geachtet werden muss, dass der Drucker die exakten Masse genau wiedergibt. Ich klebte sie mit einem Klebestift auf ein Stück stabilen Karton und schnitt sie aus. Die acht Löcher für den Tieftöner stanzte ich mit einem Bürolocher aus: Ich entfernte dessen untere Kunststoffabdeckung, drehte ihn auf den Kopf, schob die Schablone hinein und konnte so die Lochmarkierung der Schablone genau ausrichten.

Diese Schablone kann hier im PDF-Format heruntergeladen und gedruckt werden. Falls ein anderer Tieftöner verwendet wird, wird diese natürlich anders aussehen – dann ist Selbermachen angesagt. Unabhängig davon ist es wichtig, dass der Drucker die exakte Grösse druckt.

Angehängte Dateie (Download in der englischen Version des Instructables):

Schritt 2: Die zwei schwierigsten Schritte



Ein Freund mit einer sehr gut ausgestatteten Werkstatt half mir, die Öffnung für den Tieftöner in zweien der Schalen herzustellen. Das ist gar nicht so einfach; er schnitt auf der Drehbank erst eine kreisförmige Nut in ein Stück Restholz, in die der Rand der Schalen genau hineinpasste (Bild 1). Die Schalen wurden mit isoliertem Draht daran fixiert. Dabei mussten wir darauf achten, die lackierte Oberfläche der Schalen nicht zu beschädigen. Der erste Versuch war nicht erfolgreich, siehe 2. Bild; in der letzten Sekunde brach ein Teil der Schale aus. Die nächsten beiden Versuche verliefen gut (3. Bild). Die Montageöffnung für den Tieftöners musste auf 142 mm Durchmesser vergrößert werden – was natürlich mit der Drehbank leicht möglich gewesen wäre, aber daran dachte ich damals nicht, weshalb ich später dafür die Stichsäge benutzen musste.

Und wie wird nun der Tieftöner in der vorderen Schale befestigt? Wie auf der ersten Zeichnung in Schritt 1 sichtbar, ist das Restmaterial im Bereich der Befestigungslöcher des Lautsprechers etwas dünn, und ich hatte Bedenken, dass es bei der Verwendung von Holzschrauben reißen könnte. Eine meiner nächsten Ideen war, den Lautsprecher mit Hilfe von Gewindestangen in Richtung der hinteren Schale zu ziehen, was auch mithilft, die beiden Schalen zusammenzuhalten.

Schritt 3: Bohrungen

Es gab allerlei zu bohren:

- Acht 3 mm-Löcher in der vorderen Schale. Zum Markieren dieser Löcher benutzte ich die Schablone von Schritt 1 und achtete darauf, dass die Position der Löcher gut mit der Maserung des Holzes übereinstimmt.
- Acht 7 mm-Löcher in der hinteren Schale, gegenüber den acht Löchern in der vorderen Schale. Am besten werden diese Löcher mit einer Tisch- oder Ständerbohrmaschine gebohrt, damit sie alle parallel sind. Auch hier sollen die Löcher gut mit der Holzmaserung übereinstimmen.
- Zwei 6 mm-Löcher beim Zentrum der hinteren Schale für die Anschlussklemmen.
- Für die Montage des Hochtöners werden später mit dem Akku-Bohrschrauber drei 3 mm-Löcher gebohrt.

Schritt 4: Ein kurzer Abstecher – denn es soll ja nichts wegrollen!



Bevor ich mit den Kugeln weitermachte, musste ich mir eine Art Füße oder zumindest eine Auflage dafür ausdenken, damit sie nicht umherrollten, während ich an ihnen arbeitete...

Ich fand schwarze, kugelförmige Türstopper aus Gummi, die beinahe den gleichen Durchmesser haben wie der Hochtöner, und montierte jeweils drei von ihnen auf ein rundes Frühstücksbrettchen aus Bambus. Für die Befestigung schnitt ich von den mitgelieferten Dübeln jeweils ein Stück ab. Diese Teile wurden dann mit M4-Senkkopfschrauben und M4-Einschraubmuttern ('Rampa-Muffen') auf den Brettchen befestigt. Die Gummitürstopper konnten dann auf die angeschraubten Dübelreste gepresst werden. Um ein Verrutschen dieser Füße zu verhindern, befestigte ich auf der Unterseite je drei selbstklebende Gummipuffer.

Schritt 5: Schleifen und Kleben



Vor dem Verleimen der beiden Schalen mussten deren Ränder vom Lack befreit werden. Ich benutzte eine ebene Arbeitsfläche und klebte mit dünnem, doppelseitigem Klebeband ein Stück nicht zu feines Schmirgelpapier von 30×30 cm darauf; es könnten auch mehrere kleinere Stücke bündig aneinandergereiht auf der Arbeitsfläche befestigt werden. Dann schob ich alle Schalen auf dem Schmirgelpapier so lang hin und her, bis die abgerundeten Ränder auf einer Breite von etwa 5 mm frei von Lack und gleichzeitig perfekt eben waren.

Mit Hilfe der Pappschablone aus Schritt 1 schnitt ich aus einem Stück Spanplatte eine Schablone (die, im Gegensatz zu derjenigen auf dem Foto, nicht kreisrund sein muss) und bohrte acht 3.5 mm-Löcher. Dieses Stück braucht auch nicht so dick zu sein wie in meinem Beispiel, ich benutzte einfach, was ich gerade zur Hand hatte.

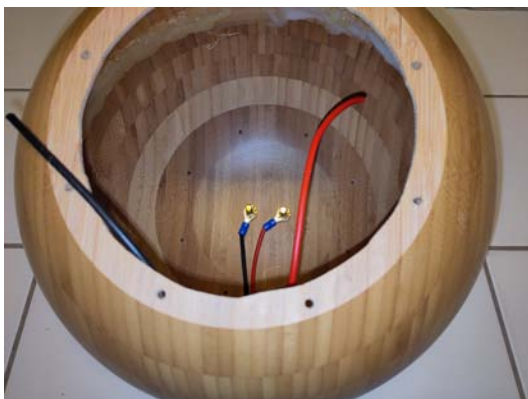
An die Enden der acht längeren Gewindestangen-Stücke klebte ich mit Sekundenkleber je eine M3-Nietmutter (2. Bild). Die Stangen müssen so lang sein, dass sie von den 7 mm-Löchern in der hinteren Schale durch die Löcher der vorderen Schale und durch die Löcher in der Schablone von oben reichen, plus weitere etwa 2 bis 3 cm. Ich fügte die Stäbe, die beiden Schalen und das Spanplattenstück so zusammen, dass zwischen den Schalen eine Lücke blieb, gross genug, dass ich auf den Rand der unteren Schale Holzleim aufzutragen konnte. Ich versuchte, genügend Leim zu verwenden, damit die Schalen stabil und luftdicht verleimt sind, aber nicht zuviel, sodass beim Zusammenpressen der Schalen an der Verbindungsstelle kein Leim herausquillt. Ich legte eine Unterlegscheibe über das obere Ende jeder Gewindestange und schraubte M3-Muttern auf, um die Schalen zusammenzudrücken, während der Leim trocknete. Dabei zog ich die Muttern nur mässig fest, damit der Druck auf die Schalen nicht zu gross wurde – denn eigentlich weiss ich ja nicht genau, wie stark die Schalen belastbar sind.

Überschüssiger Holzleim, der aus der Fuge quillt, kann mit einem leicht feuchten Lappen abgewischt werden, solange er noch nicht ausgehärtet ist.

Ich liess den Leim über Nacht aushärten; eigentlich sollte er bereits nach etwa zwei Stunden gut getrocknet sein, aber Vorsicht ist die Mutter der Porzellankiste. Danach entfernte ich die Verschraubung, die Schablone und die Gewindestangen und wiederholte die Prozedur mit dem zweiten Schalenpaar.

Nun konnte ich eine grosszügige Schicht Heisskleber auf die Klebefuge auf der Innenseite der beiden Kugeln auftragen, zum Abdichten, aber auch für erhöhte mechanische Stabilität.

Schritt 6: Die Anschlussklemmen



Nach dem Abkühlen des Heissklebers baute ich die Anschlussklemmen ein. Ich benützte dazu

zusätzliche Fächerscheiben auf der Innen- und auf der Aussenseite der Schale, damit sich beim Anschliessen der Kabel später nichts verdreht. An etwa 30 cm langen Litzen mit grosszügigem Querschnitt (2 mm²; rot für +, schwarz für –) befestigte ich Quetsch-Ringösen, die ich dann mittels Unterlegscheiben und Muttern mit dem Gewinde der Anschlussklemmen verschraubte.

Ich tropfte im Inneren der Schale eine ordentliche Menge Heisskleber auf die Gewinde, damit die Verbindung auch da luftdicht und gegen Verdrehen gesichert ist.

Schritt 7: Kürzen der Gewindestangen – und gleich das nächste Problem



Nun konnten die Gewindestangen auf Mass gekürzt werden, so dass sie nicht mehr als 5 mm über die Montageebene des Tieftöners herausragten. Dazu legte ich eine der Pappschablonen unter, legte je eine Unterlegscheibe auf und schraubte auf jedes der Enden zwei M3-Muttern leicht fest. Mit einer Mini-Trennscheibe im Dremel-Klon konnte ich die Gewindestangen in der Nähe der äusseren Mutter abtrennen. Da das Gewinde beim Kürzen leicht deformiert wird, man danach aber eine Mutter abschrauben kann, hilft das für das spätere Aufschrauben der Mutter.

Tja, und während dieses Prozesses stellte ich fest dass sich die Gewindestangen, wenn sie festgeschraubt sind, ähnlich verhalten wie die Saiten einer Gitarre oder Violine: Sie schwingen mit, wenn sie durch Vibrationen angeregt werden – was man in einem Lautsprecher zu vermeiden versucht wie der Teufel das Weihwasser. Deshalb versuchte ich, zu dämpfen, indem ich passenden Silikonschlauch über die Gewindestangen zog, was aber leider nicht wirklich half. Ich versuchte auch, die hinteren Enden der Gewindestangen (im Inneren der Schale) mit Heisskleber zu fixieren, was zwar auch nichts half, aber wenigstens ist dort jetzt keine undichte Stelle mehr.

Die Idee, wie diesem negativen Effekt abgeholfen werden kann, sprang mich erst etwas später an (und wird auch hier etwas später beschrieben).

Schritt 8: Der Hochtöner

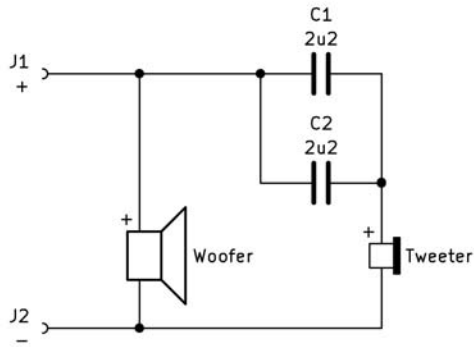


Wie aus Datenblatt und Foto ersichtlich, ist das Gehäuse des Hochtöners keine perfekte Kugel, sondern hat auf der Rückseite zwei flache Stellen. Ich wollte die Front des Hochtöners gegenüber der Montageebene des Tieftöners etwas zurückversetzt haben, damit die akustischen Zentren der beiden Chassis etwa gleich weit vom Zuhörer entfernt sind (es gibt Hersteller, die sich von diesem Trick eine präzisere Abstrahlung versprechen). Und weil die Fronten der beiden Chassis parallel sein sollten, kam ich zurück zu meiner ersten Skizze und versuchte, die optimale Stelle für die Befestigungslöcher der Montagschrauben zu finden.

Zwei 25 mm lange M3-Schrauben schienen mir eine gangbare Lösung zu sein. Ich schliff einen Teil des Gewindes schräg an und bohrte drei 3 mm-Löcher an der richtigen Stelle (siehe Skizze), zwei für diese Schrauben, das dritte für das fix mit dem Hochtöner verbundene Anschlusskabel. Die Schrauben kommen von innen her durch die Löcher und werden aussen mit Unterlegscheiben und Muttern fixiert, was zwar optisch fragwürdig ist, aber mechanisch durchaus seinen Zweck erfüllt. Für die Befestigung der Hochtöner an den abgeschrägten Schrauben verwendete ich den UV-härtenden 'UHU LED-Light Booster'-Sekundenkleber. Erst heftete ich die Kügelchen nur mit einer kleinen Menge davon an. Als das ausgehärtet war, trug ich mehr davon auf, damit die Hochtöner wirklich fest mit den Schrauben verbunden sind, achtete aber dabei darauf, nicht zu viel zu verwenden, damit nichts heruntropft und an der falschen Stelle aushärtet.

Auch hier trug ich auf die Schraubenköpfe und das Loch für die Kabeldurchführung auf der Innenseite der Schale Heisskleber zum Abdichten auf.

Schritt 9: Eine Art Frequenzweiche



Die Frequenzweiche, die ich hier vorschlage, stellt das absolute Minimum dar – Zitat Albert Einstein: 'Man mache die Dinge so einfach wie möglich, aber nicht einfacher'.

Der Frequenzgang des Tieftöners fällt oberhalb etwa 5 kHz recht gleichmässig ab, gleichzeitig nimmt die Impedanz zu, also ist ein Teil der Frequenzweiche bereits versteckt im Tieftöner enthalten. Ein Polyester- oder Polypropylen-Kondensator von $4.4\ \mu\text{F}$ in Reihe mit dem Hochtöner hält tiefe Frequenzen unterhalb 4-5 kHz vom Hochtöner fern. Dies ist zwar kein Normwert, aber ich konnte dafür einfach zwei Kondensatoren mit je $2.2\ \mu\text{F}$ parallelschalten.

Ich setzte hier bewusst keine billigen Elektrolytkondensatoren ein, denn ich wollte bezüglich Qualität keine Kompromisse eingehen. Mechanisch fixiert werden die Kondensatoren mit Heisskleber, erst untereinander, danach auf Magneten des Tieftöners.

Ich verband alle positiven Anschlüsse untereinander. Derjenige des Hochtöners führt über die Kondensatoren, wie im Schaltschema oben gezeigt. Der positive Anschluss des Tieftöners ist mit einem roten Punkt markiert, der des Hochtöners mit einer weissen Linie auf dem schwarzen Kabel, und die positive Anschlussklemme (an der das dicke rote Kabel angeschlossen ist) trägt einen roten Ring.

Ich gebe zu, dass diese Frequenzweiche eine äusserst einfache und billige Lösung darstellt. Sie hat aber den Vorteil, dass keine Induktivität (Spule) mit ihrem ohmschen Verlustwiderstand in Reihe mit dem Tieftöner liegt. Die Bedämpfung des Tieftöners durch den Ausgang des Verstärkers ist dadurch optimal und führt zu einer kontrollierten, trockenen Basswiedergabe.

Schritt 10: Dämpfung



Ich verwendete pro Gehäuse $\frac{3}{4}$ eines Pakets des angegebenen Dämpfungsmaterials, also eine Menge für etwa 15 l. Am einfachsten war es, die grossen Matten in mehrere kleinere Teile zu schneiden (oder zu reissen) und das Gehäuse gleichmässig damit zu füllen. Lediglich der Raum direkt hinter dem Tieftöner blieb frei.

Um die Gewindestangen am Mitschwingen zu hindern, verwendete ich ein achteckiges Stück von 1 cm dickem, kräftigem Verpackungsschaum, das etwa den gleichen Durchmesser wie der Tieftöner hat. Am Rand schnitt ich acht kurze Schlitz ein. Dieses Stück setzte ich in der Mitte des Gehäuses ein, und zwar so, dass die Gewindestangen von den Schlitzten aufgenommen werden.

Schritt 11: Verdrahtung



Bevor der Tieftöner ins Gehäuse eingesetzt werden kann, müssen die Leitungen von den Anschlussklemmen und zum Hochtöner mit ihm verbunden werden, siehe Schaltschema im Schritt 9 und Bild oben. Einige der Verbindungen (am Kondensator und am Hochtönerkabel) sind gelötet. Für den Anschluss der dicken Leitungen am Tieftöner benützte ich Quetschverbinder für 6.3 mm-Steckfahnen.

Sicherheitshalber sei hier wiederholt, dass alle positiven Anschlüsse ('+', oder rot, oder weisse Markierung am Kabel zum Hochtöner) miteinander, ebenso alle negativen ('-' oder schwarz) Anschlüsse miteinander verbunden werden müssen – was so nicht für jede Kombination von Lautsprechern und Frequenzweiche zutrifft, für unseren Fall hier aber schon.

Schritt 12: Der Tieftöner



Jetzt musste nur noch der Tieftöner eingebaut werden. Bei diesen Philips-Tieftönern ist nicht viel Raum zwischen den Befestigungslöchern und der nach vorn abgebogenen Kante des Stahlblech-Lautsprecherkorbs. Für M3-Muttern ist das kein Problem, aber ich hätte gerne einen Steckschlüssel verwendet, um die Muttern bequem festdrehen zu können. Um die Befestigungslöcher herum war jedoch nicht genügend Platz für den Steckschlüssel (bei den meisten Tieftönern anderer Hersteller ist das einfacher). Also brauchte ich lange 'Muttern' – und fand 10 mm lange Sechskant-Abstandshalter mit M3-Gewinde, die ich für diesen Zweck missbrauchte: Acht Stück davon, zusammen mit acht Unterlegscheiben, lösten das Problem.

Wichtig: Ich verwende für die Montage eines Lautsprechers NIEMALS Schlitzschrauben, seit ich vor vielen Jahren auf die harte Tour lernen musste, welchen Schaden ein abgerutschter Schlitzschraubendreher an einem Lautsprecher anrichten kann! Ich verwende immer mindestens Kreuzschlitzschrauben, noch besser sind Inbus- oder Torx-Schrauben - oder, wie in diesem Sonderfall hier eben, lange 'Muttern' und einen Steckschlüssel, der von Haus aus nicht abrutschen kann.

Bevor ich es vergesse: Die runden Pappschablonen, die ich anfangs angefertigt hatte, gingen nicht verloren - ich färbte sie schwarz und verwendete sie als Abstandhalter zwischen Holz und

Tieftöner, damit die Tieftöner (optisch) kreisförmig statt achteckig wirken. Vielleicht helfen sie zusätzlich auch als Dichtung.

Bevor ich mich getraute, die fertigen Kugellautsprecher an einen Verstärker anzuschliessen, überprüfte ich mit dem Ohmmeter, dass zwischen den beiden Anschlüssen kein Kurzschluss vorliegt. Es zeigte bei beiden Lautsprechern $4.5\ \Omega$ an, also war alles in Ordnung.

Schritt 13: Ausprobieren geht über Studieren



Nun gut, sie sehen nett aus – aber klingen sie auch? Trotz eines ausgedehnten Hörtests ist das etwas schwierig zu beschreiben. Aber ich denke, meine Kugeln klingen ganz ok. Das Prädikat 'High End' haben sie zwar sicherlich nicht verdient, aber ich finde doch, dass das Experiment gelungen ist. Die Basswiedergabe ist mühelos und frei von offensichtlichen Resonanzen, Mittel- und Hochtonbereich scheinen mir offen und unaufdringlich. Aber solche Beschreibungen sind immer subjektiv, und man sollte ohnehin nie glauben, was der Hersteller sagt :-)

Ich gebe zu, meine Aktivmonitore von Studer klingen für meinen Geschmack besser und neutraler und reichen im Bass mühelos deutlich tiefer. Aber hey, die sind mindestens doppelt so gross, und kosteten mich fast 20 Mal so viel wie das Material für die Kugeln. Dafür ist das Design der Kugeln ungewöhnlich, und das Bambusholz sieht schöner aus, fragen Sie meine bessere Hälfte – sie würde die Studer rausschmeissen, ohne mit der Wimper zu zucken! Unter dem Strich bin ich also mit dem Ergebnis dieser jahrzehntelangen Odyssee recht zufrieden.

Ich hoffe, dass ich mit etwas Glück in naher Zukunft in der Lage sein werde, ihren Frequenzgang zu messen, und werde ihn dann hier nachtragen (sofern er nicht zu hässlich ist).