

Kapitel 14.3

Gezielte Konditionierung der Tief- und Mitteltöner für ein optimales Impulsverhalten

14.3 Konditionierung der Konustöner

14.3.1. Untersuchung der Situation

Die beiden Tieftöner wurden zuerst eine Stunde mit ±3mm eingeschwungen, danach wurde jede Stunde um ±1mm erhöht. Nachdem der x_{LIN} von ±7mm erreicht worden war, wurde 24h lang das Chassis „eingepumpt“. In der zukünftigen Praxis sollte wegen der Verzerrungen der x_{LIN} nicht überschritten werden, daher ist diese Art der Konditionierung eine Minimalvariante, um das Tieftonverhalten mit den verschiedenen Gehäusegütern ertasten zu können, denn ein zuviel kann nicht rückgängig gemacht werden. Dass ±7mm die Sicke schon angespannt war und dennoch eine maximale mechanische Auslenkung x_{MAX} von ±17,5mm laut Herstellerdatenblatt möglich sein sollte, war unglaublich.

Die Modellierung der TSP nach der Konditionierung gelang wieder perfekt. Tab. 1 zeigt die dann erhaltenen Parameter. Die Daten ähneln den von [1]. Der Unterschied zu den Daten vom Hersteller ist immer noch groß. Anhand der Parameter ist zu erkennen, dass die Membraneinspannung noch recht straff ist.

Tab.1: TSP für die mit 24h ±7mm konditionierten W26FX001

Exemplar	Hersteller	a _{neu} Hioki	a Hioki	b Hioki
Sd (cm²)	330,000		346,361	346,361
rM (cm)	10,2		10,5	10,5
Re (Ω)	6,30	6,14	6,14	6,28
fs (Hz)	20,6	25,48	23,92	24,34
fsz (Hz)		23,57	22,10	22,48
Δf (Hz)		-1,91	-1,82	-1,86
Qms	2,34	3,823	3,434	3,337
Qes	0,41	0,524	0,483	0,479
Qts	0,35	0,461	0,424	0,419
mzus (g)		10	10	10
Mmr (g)		3,706	3,706	3,706
Mmd (g)		59,299	58,313	58,029
Mms (g)	56,3	63,005	62,020	61,736
Cms (mm/N)	1,100	0,619	0,714	0,693
Rms (kg/s)	3,21	2,639	2,714	2,830
Z(10kHz)		18,38	18,38	19,279
Le(mH@10kHz)	1,43	0,276	0,276	0,275
Vas (L)	162	112,083	129,33	125,515

Ist die Stufe der Konditionierung ausreichend oder ist ein weiteres „Einpumpen“ erforderlich? Gewünscht war ein Impulsverhalten zwischen Bessel und Butterworth. Ein Simulationsvergleich soll mit Bessel erfolgen, wobei Ql 7, Qa 15 und Füllungsgrad von 20% angesetzt wird, wie es viele Simulationsprogramme für größere Boxen empfehlen.

Entsteht wieder eine solche Situation wie schon mal bei den Frequenzweichenberechnungen (Teil1, Kapitel 3)? Es existieren viele Simulationsprogramme, darunter auch Freeware, Shareware und Demos sowie Online-Berechnungsmöglichkeiten, aber es gibt auch entsprechend viele verschiedene Zahlenergebnisse, vor allem wenn der Vorwiderstand Rg berücksichtigt wird, der die Summe der Widerstände aus Tongenerator, Zuleitungen und Tiefbassspulen beinhaltet. Bei manchen Programmen werden, obwohl es Eintragungsmöglichkeiten für Rg gibt, keine Änderungen in den Zahlenergebnissen ermittelt. Fest steht erst einmal, dass durch das Konditionieren die Vas steigt, da die Elastizität der Sicke und vor allem der Zentrierspinne abnimmt, weshalb die Güten Qms und Qes sowie die Freifeldresonanz fs kleiner werden.

Dann fiel auf, dass es Simulationsprogramme gibt, wo je nach dem aus welcher Programmsituation man kommt, andere Besselvolumina angegeben werden, obwohl gleiche Parameter eingetragen worden waren. Die simulierten Besselvolumen reichten von 75L bis 150L. Das bedeutet, dass erst herausgefunden werden muss, welche Kurven die richtigen sind und welche Programme dann richtig rechnen. Doch welche Methode, um das herauszufinden, ist die geeignetste?

14.3.2. Suche nach einem Tiefton-Simulationsprogramm

Theoretisch müsste das richtige Programm dazu in der Lage sein, aus der gemessenen Schalldruckkurve der Bassreflexbox BR25 mit dem Visaton AL130 eine Schalldruckkurve für die entsprechende geschlossene Box mit verstopften Reflexrohr vorherzusagen, die mit der übereinstimmt, die nach Zustopfen des Reflexrohrens gemessen wird. Da die BR25 eine Frequenzweiche hat, die im Tiefpass serielle Widerstände durch die Spulen hat, muss der Rg mit eingetragen werden können.

Ergänzend dazu müssten die Programme in der Lage sein, die Impedanzkurven mit den zwei Maxima und dem Minima für die Reflexrohrresonanz zu errechnen, so dass die gemessene Impedanzkurve mit den richtigen Größen der Eingabeparameter dieser Impedanzgang simuliert werden kann.

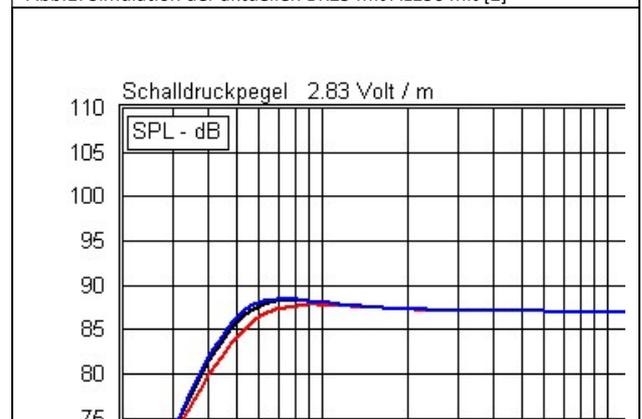
Um die „richtige“ Schalldruckkurve zu simulieren muss das Gehäusevolumen Vb und die Güten Ql und Qa solange variiert werden, bis die gemessene Länge und Querschnitt des Bassreflexrohres und die gemessene Reflexresonanzfrequenz fb richtig berechnet wird.

Bei dem ersten Programm, wo das recht gut gelang, obwohl nur Ql zur Verfügung stand und keine Berechnung der Impedanzgänge, war [2]. Eine Restunsicherheit blieb Ql, was allerdings noch, je nach Größe, die SPL unter 100Hz noch deutlich verschieben konnte. Gemäß den Vorschlägen wurde Ql auf 15 gesetzt. Es ergab sich Abb.1, wo kleinere Güten stärker Einfluss nahmen als größere. Auf alle Fälle entstanden Schalldrucküberhöhungen unter 160Hz. Damit konnten zumindest teilweise die gemessenen und empfundenen Überhöhungen erklärt werden (s. Teil1, Kap.9).

Tab.2: Bestimmung der Q und Vb (Vnetto 8,14L) BR25

		[2]	[3]
Rg		0,6Ω	0,6Ω
fb	gemessen	45.1Hz	45.1Hz
Port∅	gemessen	4.7cm	4.7cm
Portlänge	gemessen	20.3cm	20,3cm
Port end correction	optimiert		0.8
Portgüte Qp			5
Ql	gesetzt	15	50
Qa	optimiert		70
Vb	bestimmt	10.7L	10,5L

Abb.1: Simulation der aktuellen BR25 mit AL130 mit [2]



Mit [3] wurde das einzige Programm gefunden, wo mit den zusätzlichen Parametern, wie der Absorptiongüte Qa, der Reflexrohrgüte Qp und der „port end correction“ simuliert werden konnte. Es gelang sowohl die Frequenzlagen der beiden Impedanzhöcker und der -senke deckungsgleich zu bringen als auch das Amplitudenverhältnis der beiden Impedanzmaxima praxisgerecht zu simulieren. Die SPL-Kurve wurde in Abb.2 dargestellt. Der Vergleich einer Auswahl verschiedener SPL-Kurven wird als Vergleich in Abb.3 dargestellt. Dort wird sichtbar, dass andere, ansonsten leistungsfähigere Simulationsprogramme, die geforderten Impedanzgänge auch mit zusätzlichen Parametern, wenn auch nicht alle zur Verfügung stehen, nicht so gut in Übereinstimmung bringen.

Abb.2: Simulation der aktuellen BR25 mit AL130 mittels [3]

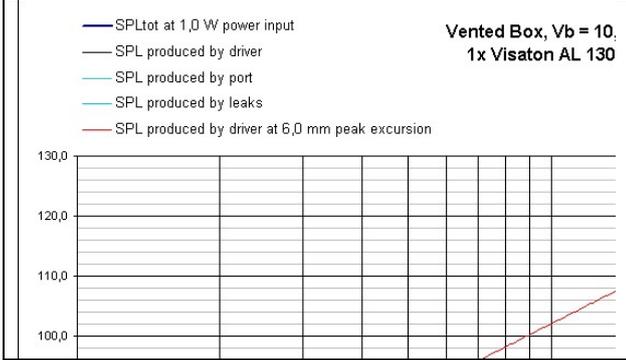


Abb.3: Vergleich simulierte SPL-Kurven an der BR25 mit AL130

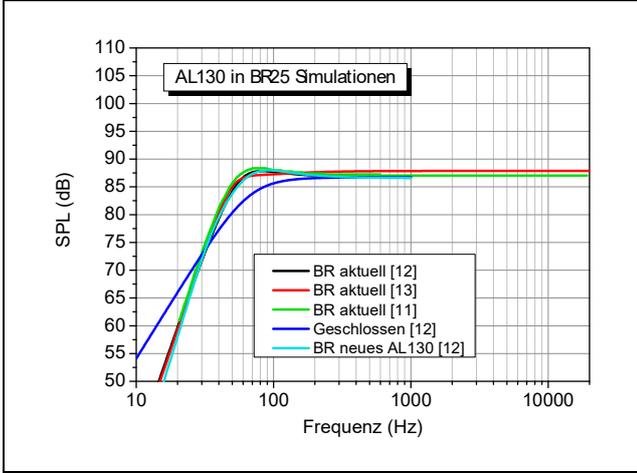
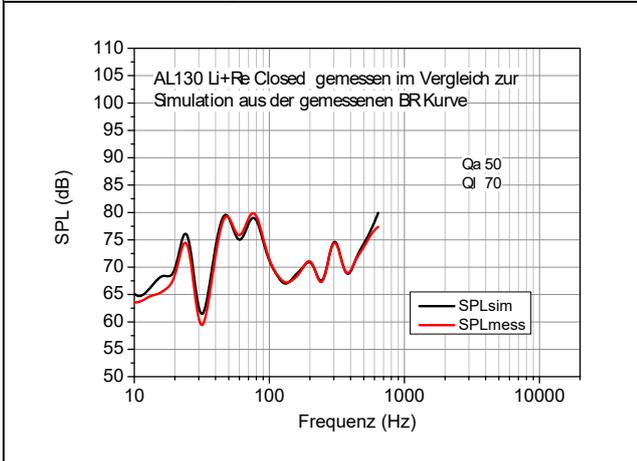


Abb.4: Übereinstimmung der sim. mit der gemess. SPL



Nun wurden die niederfrequenten Schalldruckkurven am Hörplatz gemessen, einmal von den Boxen einzeln als auch in der Summe. Dann wurden die Reflexrohre mit Gummistopfen verschlossen und die Prozedur wiederholt. Anschließend wurden die gemessenen Kurven mit den simulierten SPL Kurven [3] für Bassreflex subtrahiert und wieder mit den Simulationen für die geschlossenen Gehäuse addiert. Das Volumen der Geschlossenen Boxen wurde minimal reduziert, weil der Anteil der Rohre nicht vollständig eingeht. Das vor allem für die Boxen als Summe überraschende Ergebnis wird in Abb.4 dargestellt. Damit wurde das genaueste Tieftonsimulationsprogramm gefunden. Andererseits reicht für Überschlagsrechnungen das [2] aus.

14.3.2.1. Der Einfluss des Generatorwiderstands R_g

Die Basstiefe wird durch f_c und Gehäusegüte durch Q_{tc} benannt. Laut [2] ist, wenn $Q_{tc}=0,5$ eine sehr gute Impulswiedergabe zu erwarten lässt, ein sehr früh einsetzender Pegelabfall fällig, nämlich -6dB bei f_c . Der beste Kompromiss soll mit $Q_{tc}=0,71$ erreicht werden. Für geschlossene Gehäuse sollte $0,4 < Q_{tc} < 1$ liegen. Je höher Q_{tc} , desto größer muss das Gehäuse sein. f_s sollte möglichst tief sein. V_b ist das abgestimmte wirksame Gehäusevolumen. Die Bessel-Güte Q_{tc} 0,577 kommt einem linearen Phasenverlauf am nächsten, was eine optimale Impulsübertragung erlaubt, auch wenn hier der Basspegel bereits abgeschwächt wird. [3] berechnet für die BR25 mit AL130 und einem verstopften Bassreflexrohr ein Q_{tc} von 0,653, eine Güte zwischen Bessel und Butterworth. Die Tab.3 zeigt, dass die Gehäusegüte Q_{tc} in Richtung einer gewünschten Bessel-Abstimmung wandert, wenn der Generatorwiderstand R_g , einschließlich dem seriellen Vorwiderstand, verringert werden kann. Das wäre der Vorteil von Aktivsystemen ohne serielle ohmsche Widerstände der Tiefpassspulen. Anders ausgedrückt, kann Gehäusevolumen eingespart werden, wenn der Vorwiderstand minimiert wird.

Auch für die neue Box mit dem 10" W26FX001 ist also ein möglichst geringer Widerstand der Spulen anzustreben.

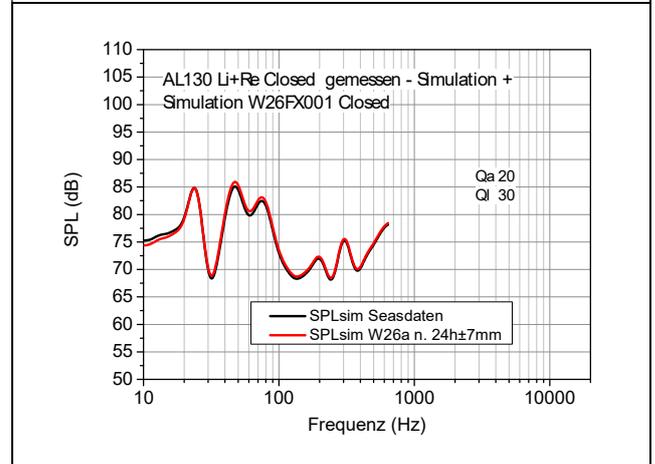
Tab.3: Einfluss R_g auf BR25 mit AL130 nach [3]

V_b 10,3L	R_g 0,56 Ω	R_g 0,0 Ω	R_g 1,00 Ω
	Q_{tc} 0,653	Q_{tc} 0,623	Q_{tc} 0,676

14.3.2.2. Der Einfluss des Freiluft-Äquivalentvolumens V_{as} durch Konditionierung auf die Gehäuseabstimmung

Durch die Konditionierung der Tieftöner mittels Betrieb bei großem Hub an Frequenzen um die Freiluftresonanz herum steigt die V_{as} an und die Güten Q_{ms} und Q_{es} werden kleiner. In Abb.5 wird der SPL im Wohnraum mit dem Excel W26FX001 einmal mit den Herstellerdaten und das andere Mal mit den eigenen Daten nach der $24\text{h} \pm 7\text{mm}$ Hub-Konditionierung simuliert. Dazu wurde die Kurve SPLmess aus Abb.4 mit der SPL für ein geschlossenes Gehäuse aus Abb.3 subtrahiert und mit der Simulation des Excel in einer 90L Box addiert, da das bisherige Modell mit der Subtraktion/Addition von Halbraumsimulationen, wie in Abb.4 gezeigt, gut funktioniert hat. Der Schalldruck ist von V_{as} , Q_{ms} und Q_{es} , wie sie sich durch Konditionieren ändern, nahezu unabhängig, was doch überraschend ist. Für die Box wurde nach Vorschlag von [3] Q_a mit 20 und Q_l mit 30 angenommen. Bei der Simulation gehen diese Größen sehr stark in SPL und Q_{tc} ein. Diese Größen können aber nicht mit den TSP-Berechnungen bestimmt werden, weil sie nur für Freiluftbedingungen gelten. Dazu muss eine real existierende Testbox gebaut werden. Zum Vergleich sollte diese Annahme erst einmal genügen, weil vorerst nur der Zusammenhang interessant ist.

Abb.5: Simulationen des SPL in einer 90L geschlossenen Box mit W26FX001 unterschiedlicher V_{as}

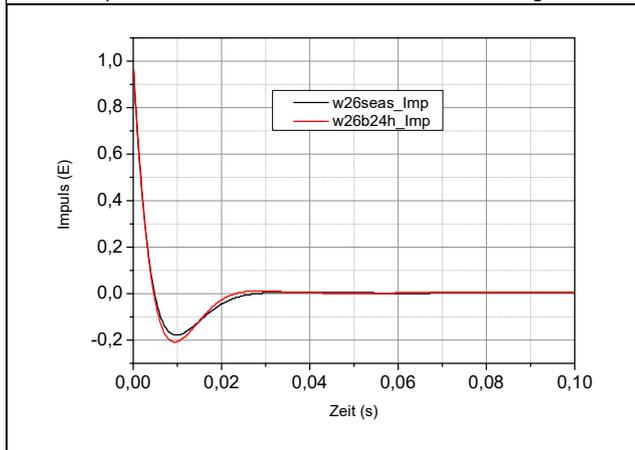


Tab.4: Verschiedene TSP-Daten mit gleichen Vb 90L Qa 20 Ql 30

	Seas-Daten	W26 a 24h	W26 a neu
Vas	162L	129L	112L
Qms	2,34	3,434	3,823
Qes	0,41	0,483	0,524
Qtc	0,593	0,625	0,652
SPL 2.83V		87,2dB	87,8dB

Bei konstantem gleichen Gehäuse und unterschiedlich konditionierten Chassis sinkt Qtc, wenn Vas steigt und die Qms wie Qes sinken ebenfalls, was gleichbedeutend die Impuls-Abstimmung verändert. Mit größeren Konditionierungseffekt verbessert sich die Impulsantwort, die Überschwinger werden kleiner und die Membran kommt schneller zur Ruhe, s. Abb.6 schwarze Kurve.

Abb.6: Impulsantworten verschiedener Vas-Konditionierungen



Es sieht so aus, als ob die extrem intensiven Konditionierungen sich so auswirken, dass mit weniger Gehäusevolumen eine bessere Impulsantwort erreicht wird und die SPL-Kurve aber davon nicht beeinflusst wird. Einen Nachteil hat die ganze Konditionierung, es geht Empfindlichkeit verloren, d.h. weniger Schalldruck bei gleicher Energievorgabe, weil die Reibung in den gestressten Sicken und Zentrierspinnen größer geworden ist, nebeneinanderliegende Molekülstränge wurden auseinandergerissen und die Elastizität so verringert wurde.

14.3.2.3. Der Einfluss der Qa und Ql

Häufig werden zur Simulation weder Leckgüten Ql noch die Absorptionsgüten Qa genutzt. [3] gibt beide Q an und schlägt für unterschiedliche Bedämpfungsstärken und Leckgrößen verschiedene Q vor. Je höher Q, desto weniger wird die Schwingung bedämpft. Zur Bedämpfung der Schallschwingungen im Gehäuse wird Material zur Schallabsorption benötigt. Dazu könnten Erfahrungswerte gedient haben. Die Vorschläge für Leckgrößen sind sehr subjektiv. In der Tab.5 wurden die berechneten erforderlich Gehäusevolumen für eine Besselabstimmung entsprechend eingetragen (s. Tab.1, W26FX001 Exemplar b, nach 24h ±7mm Hub). Die oben genannten Werte, Ql 7 und Qa 15 für einen Füllungsgrad von 20% passen gut rein.

Tab.5: Beträge für Qa und Ql aus [3]

Qa	Dämpfung	Ql	Lecks	Vb _{Bessel}
120	völlig ohne	30	keine	189L
80	minimal			184L
20	Wände bedeckt			168L
5	stark befüllt			121L
		15	minimale	115L
		10	kleine	109L

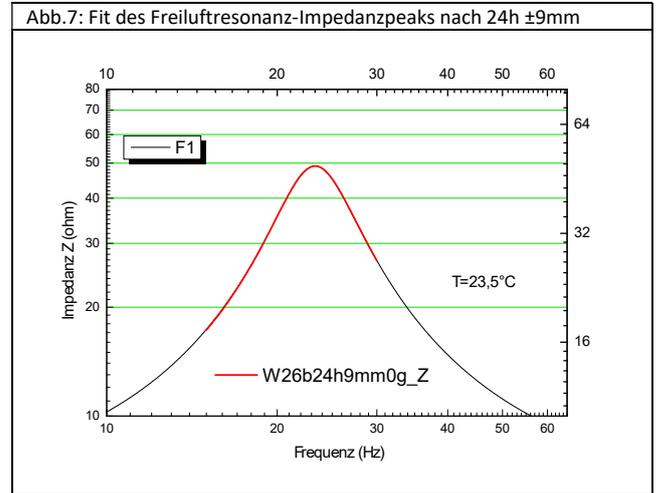
Doch wie beherrscht man die Leckgrößen? Muss man kleine Löcher bohren? Wann weiß man, dass die Besselgüte erreicht ist?

Aber wie in Tab.5 zu erkennen ist, kann ein praktikables Gehäusevolumen eigentlich noch nicht erreicht werden. Die Konditionierung muss mit größerem Hub wiederholt werden.

14.3.3. Fortführung der Konditionierung des Tieftöners Ecel W26FX001

14.3.3.1. 24h mit ±9mm Hub

Nach 24h ±9mm Hub wurde immer noch eine perfekte Simulation F1 der Güte mit dem Regressionsverfahren von [5] erhalten, s. Abb.7.



Das berechnete Vas erreicht aber immer noch nicht die Herstellerangabe. Nun konnten aber weder die Konditionierungen noch die Messungen immer in der großen Wohnstube Ws durchgeführt werden. Dazu musste in einen kleineren Raum kIR umgezogen werden. Dort in dem Raum wurde ein paar Tage später trotz gleicher Temperatur und exzellenter Simulationsdeckung aber ein kleineres Vas ermittelt. Es wurden nochmal 24h konditioniert. Das Vas wurde wieder größer, aber nicht größer als bei der ersten Messung. Sollte hier wieder die Thixotropie zuschlagen, also die gestresste Zentrierspinne und Sicke wieder relaxieren?

Tab.6: TSP-Daten nach ±9mm Konditionierung im kIR

Exemplar b	kIR		
	Ws	24h	48h
fs (Hz)	23,350	23,540	22,893
fsz (Hz)	21,550	21,820	21,211
Qms	3,103	3,171	2,896
Qes	0,455	0,470	0,437
Qts	0,397	0,410	0,379
mzus (g)	10,000	10,000	10,000
Mmr (g)	3,706	3,706	3,706
Mmd (g)	57,461	61,025	60,648
Cms (mm/N)	0,760	0,706	0,751
Rms (kg/s)	2,892	3,020	3,196
Vas (L)	137,732	127,604	135,757

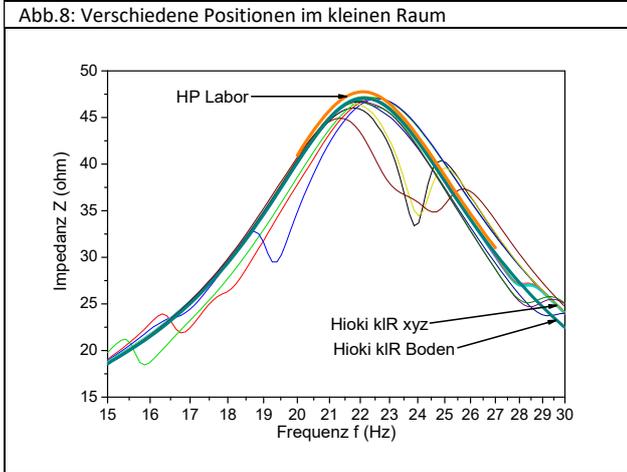
14.3.3.2. 24h mit ±10mm Hub

Bei 7mm Hub blieb die Schwingspule noch im Luftspalt, bei 9mm waren noch 4mm Schwingspule im Magnetfeld. Das vom Hersteller angegebene Vas wurde noch nicht mal nach jedem Einspielen erreicht, geschweige denn, die Vas Werte aus [6] von 217L. Ebenso die Güten Q waren noch viel zu groß. Daher wurde der Hub auf 10mm erhöht, die Schwingspule tauchte im Maximum des Hubs nur noch zur Hälfte der Luftspalthöhe ein.

Als erstes fiel bei der erneuten Messung auf, dass es vorher nie gesehene „Buckel“ in der Impedanzkurve gab. War der Hub zu groß gewesen? - Dann kam wieder die Erinnerung an die alten Messungen im Labor vor 'zig Jahren, wo je nach Standort des Chassis, so ein Buckel auftrat oder sich verschoben hatte. Damals war es egal, ob das Chassis normal auf dem Magneten stand oder hochgestellt eingespannt wurde wie bei einem Lautsprecher, nur der Ort war ausschlaggebend. Nun

wurde die Position des Chassis in dem kleinen Raum klar geändert und immer wieder die Impedanz gemessen, siehe Abb.8. Der kleine Raum gehörte noch dem großen Kind, was aber nur ab und an in der Bude hauste und nicht geneigt war die Möblierung konstant zu lassen. Es gab eine optimale Position xyz, wo es nur eine Impedanzstörung weit weg vom Maximum gab. Aber wer sagt, dass dann der hochfrequenter Impedanzast nicht doch eine wenig dadurch steiler wurde und so die Güte größer werden ließ?

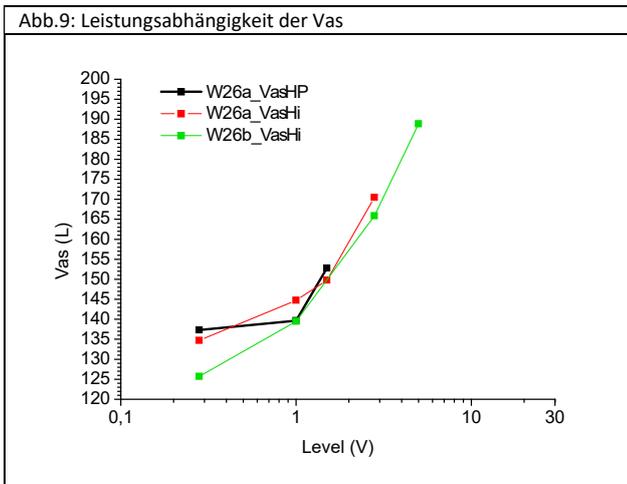
Abb.8: Verschiedene Positionen im kleinen Raum



Irgendwann kam dann das Chassis direkt auf den Fußboden und dort war weit und breit keine Impedanzstörung mehr in der Nähe des Maximums. Der hochfrequente Impedanzast war bei geringer Fehlposition nur im für den Fit unwesentlichen Bereich abgesenkt. Das war beruhigend für die vorhergehenden Messungen. Der Vergleich mit der HP Messbrücke im Labor Tage später zeigte eine etwas höhere Güte an, was vermutlich der Relaxation zuzuschreiben war.

Eine Frage kam auf. Immer noch eine Relaxation? Oder lag es an der Stromverfügbarkeit der Impedanzmessgeräte? Es wurde daraufhin die Vas Abhängigkeit vom Betriebslevel gemessen und in Abb.9 dargestellt. An beiden Geräten und beiden Chassis gab es eine gleichsinnige Erhöhung der Vas mit der Betriebsspannung, gemessen mit der Massezusatz-Methode. Die Zunahme erfolgte nicht logarithmisch und nicht linear mit der Spannung. An der Kurve ist bei 1V Messlevel ein Vas von 140 bis 145L zu erkennen. Bei 1V egab sich ein Messtrom von 10 bis 14mA bei beiden Geräten. Dieser Strom entsprach den Praktiken in [7] für die TSP Bestimmung mit kleinen Signalen.

Abb.9: Leistungsabhängigkeit der Vas



Nun angesichts der immer noch recht kleinen Vas sollte ein Testgehäuse Antwort geben. [5] und [7] gaben sehr einfache Gleichungen an, um mit einem Testgehäuse direkt die Vas bestimmen zu können. Die Vas läßt sich leicht nur aus der Verschiebung der Freiluftresonanzfrequenz fs beim Einbau in die Gehäuseeinbauresonanzfrequenz fc und dem leicht

zu bestimmenden Gehäuseinnenvolumen addiert mit dem Konusvolumen errechnen [7,8].

$$\frac{f_c^2}{f_s^2} - 1 = \frac{V_{as}}{V_{cb}} \quad (1)$$

Die Gleichung für die Methode der Berechnung der Vas aus dem Zusatz von Masse m_{zus} zur Beschwerung der Membran, wofür reversibel gut klebende, dauerplastische Abdichtmasse verwendet wird, ist etwas komplizierter und vermutlich fehlerbehafteter, da sie indirekt nur über die relativ schwer erfassbare Dichte der Luft ζ bestimmt wird:

$$V_{as} = \zeta^2 \cdot c^2 \cdot SD^2 \cdot Cms \quad (2)$$

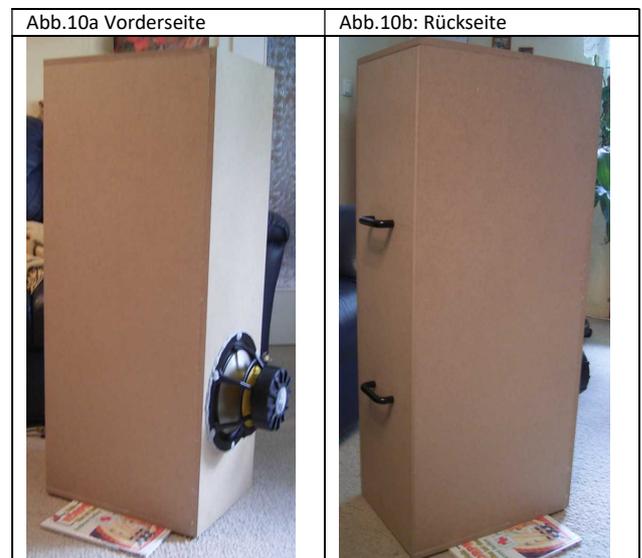
$$V_{as} = \zeta^2 \cdot c^2 \cdot SD^2 \cdot \frac{\left(\frac{1}{f_{sz}^2} - \frac{1}{f_s^2} \right)}{m_{zus}} \quad (3)$$

Die Dichte der Luft ist von der Temperatur und der Luftfeuchte abhängig. Die Luftfeuchte verringert die Dichte, da die Masse der Wassermolekel 18g/mol ist und die des N₂ aber bereits 28g/mol. In die Gasgleichung geht nämlich die Teilchenzahl pro Mol ein, die ja konstant ist.

14.3.3.2.1. Erste Vergleiche Freiluft - Testgehäuse

Das Testgehäuse wurde mit den Innenmaßen von 3,885dm x 2,74dm x 9,75dm so gestaltet, dass die Form und das Volumen der angestrebten Box nahe kam. Das Chassis wurde verkehrt auf das Gehäuse geschraubt, damit das Luftvolumen des Membrankonus mit dazu gerechnet werden konnte, was präziser ist als das Volumen des Magneten und der Streben zu bestimmen.

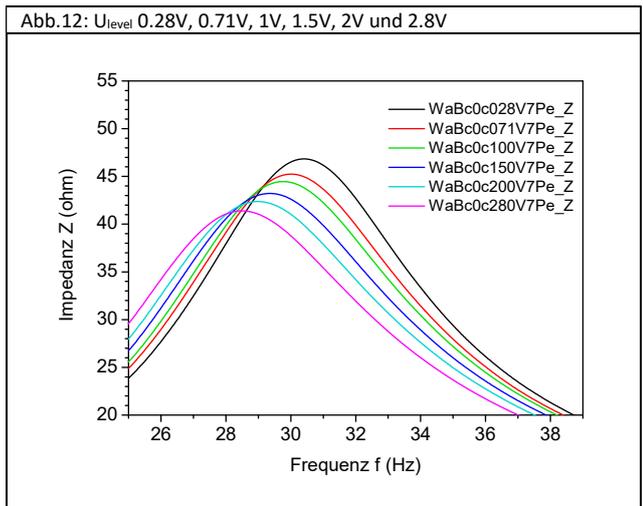
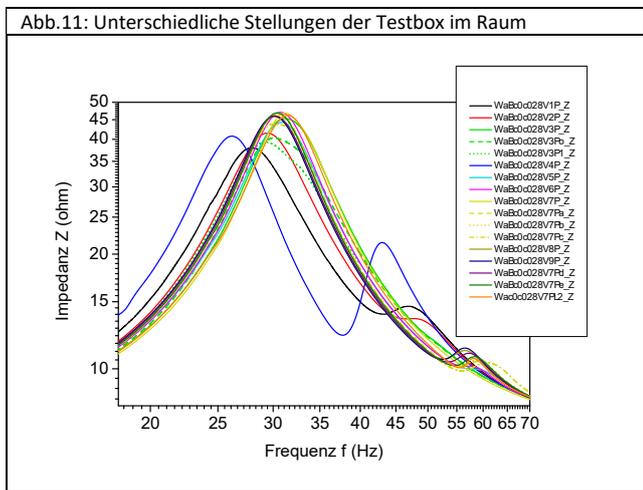
Das Testgehäuse hatte eine Wandstärke von 13mm und bestand aus MDF. Es wurde als langer Trog mit Pattex Montage Kraftkleber so zusammengeklebt, dass die Rückwand umschalt wurde und nicht verklebt wurde, damit die Rückwand beweglich blieb. So konnten verschiedene Volumina eingestellt werden. Mit Pattex Montage Kraftkleber ließen sich die Ritzen des Troges sehr gut zuschmieren und abdichten. Die Rückwand bekam zwei Haltegriffe, um diese zu bewegen. Nach Einfügen der Rückwand bis zu halben Trogtiefe, was sehr schwer ging, konnte das Testgehäuse an der beweglichen Rückwand hochgehoben werden, da sich die einsaugende Luft kaum Platz fand. Zur Messung wurden trotzdem der Schlitz zwischen Trog und Rückwand mit Klebeband abgedichtet. Zuletzt wurde das Loch für das Tieftonchassis herausgesägt. Das Testgehäuse wird in Abb.10 vorgestellt.



Die Methode Testgehäuse sollte viel genauer sein, da das verwendete Volumen V_{cb} 103,79L sehr viel größer als das Konusvolumen war. Das Konusvolumen konnte als Kegelstumpf modelliert werden, von dem das Volumen des Kegels des Phaseplugs abgezogen wurde. Die Höhe des Kegelstumpfes und des Plugs betrug 0,45dm und der Durchmesser des Konus 2,1dm und des Plugs 0,5dm. Die Berechnung ergab nur $0,64dm^3 = 0,64L$. Die Volumenfehler V_{cb} liegen unter 0,1%.

Doch wie sieht die Praxis aus? Könnte es Rückkopplungen aus dem Raum geben? Muss jetzt wieder Wohnstube gemessen werden? In Abb.11 wurden Impedanzkurven dargestellt, beginnend mit einer Messung, wo die Box dort hingestellt worden ist, wo die 2-Wege Box stand, nämlich 50cm zur Rückwand und 80cm zur rechten Seitenwand. Erschreckend wurde ein zusätzliches, lokales Impedanzmaximum gefunden. Dann wurde die Box gedreht, gelegt und bis zur Zimmermitte transportiert, schließlich wurden die Sitzmöbel in die andere Zimmerhälfte geschafft. Alles hat einen Einfluss auf die Impedanzkurve! Also war die Erfassung der Vas über die bloße Resonanzfrequenz doch nicht so klar und einfach.

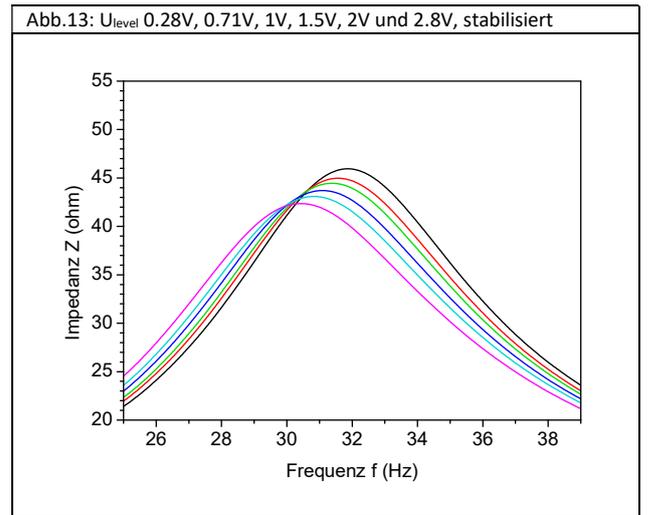
Die Raumreflektionen im Tiefton beeinflussen die Tieftönerimpedanzkurve und damit die Güten für die Impulswiedergabe. Die Dämpfung der Impedanzpeaks erfolgt also besser mit einem Parallelwiderstand und können leider nicht selektiv mit Saugkreisen/Kerbfiltren ausgeblendet werden.



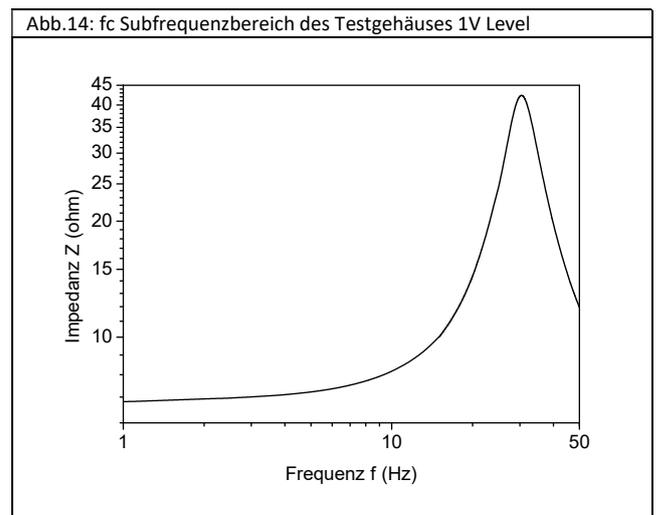
Die diagonal liegende Box mit seitlich angeordnetem Chassis in Zimmermitte, möglichst frei, ergab die besten Kurven. Als Ergebnis muss formuliert werden, dass das Erscheinen eines zusätzlichen, wenn auch kleineren Impedanzpeaks, den Hauptpeak in der Frequenz verschiebt, und nicht nur das, der Hauptpeak selbst kann unsymmetrisch werden und die Güte verändert sich, d.h. das Verhältnis Peakbreite zur Höhe verändert sich. Weitere Verbesserungen nach Optimierung der Boxenposition kamen dadurch, dass dünne Bücher unter die langen

Enden der Box gelegt wurden. Offenbar wechselwirkt die Boxseitenwand mit dem Teppichboden/Fermazellplatten/Fermazellschüttung. Schließlich wurde mit der letzten Position die leistungsabhängigen Kurven aufgenommen, siehe Abb.12. Die Abhängigkeit gleicht in etwa dem in der Freiluft.

Bei den letzten Leistungen schwang das Gehäuse deutlich hörbar mit. Daher wurde das Gehäuse zusätzlich mit Büchern beschwert bis keine Zusatzgeräusche mehr zu vernehmen war. Die Messung wurde wiederholt und in Abb.13 dargestellt. Die Einbauresonanzfrequenz wird durch das steifere Gehäuse höher und die Leistungsabhängigkeit der Impedanzkurve wird geringer. Die Eigenschaften des Gehäuses gehen sozusagen in die elektrischen Eigenschaften des Chassis ein. Das bedeutet, dass die Messung der elektrischen Impedanz eine hervorragende Methode für die Entwicklung eines Gehäuses ist.



In [8] steht, wenn kleine Lecks im Gehäuse sind, dann werden kleine Impedanzmaxima unterhalb von f_c sichtbar, da das geschlossene Gehäuse dadurch praktisch zur Bassreflexbox entartet. Dazu wurde eine Messung bis 1Hz aufgenommen und das Diagramm Abb.14 doppeltlogarithmisch dargestellt. Doch da waren keine. Also war das Gehäuse dicht.



Was sagen denn nun die Vas nach der Methode Testgehäuse? Bei 1V, was bisher das Standardvergleichslevel war, kamen nur 90L heraus. Das war ja genau das Gegenteil von dem, was eigentlich erhofft wurde, dass vielleicht ein größeres Vas, dem Hersteller entsprechendes, ermittelt werden konnte. Die Leistungsabhängigkeit der Vas war nur halb so groß wie das der Massemethode. Interessant ist der rein lineare

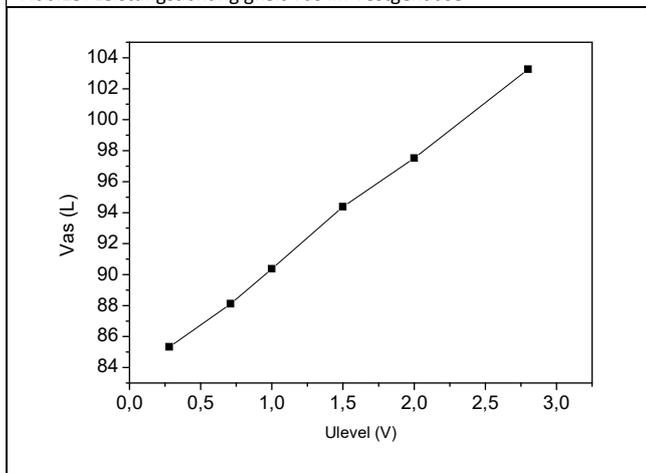
Anstieg in Abb.15. Die fs wurden nochmal dazu gleich nach dem Testgehäuse im Wohnzimmer bestimmt.

Tab.7: Vas-Werte für Testgehäuse nach Gleichung (1) W26b

fs	fc	U _{level}	Vas
Hz	Hz	V	L
23,61	31,87	0,28	85,3
23,21	31,56	0,71	88,1
22,95	31,39	1	90,4
22,5	31,09	1,5	94,4
22,13	30,82	2	97,5
21,54	30,423	2,8	103,3

Welche Methode ist nun die richtige, die der Massenzugabe mit einer theoretisch wirksamen Membranfläche Sd oder mit der einfachen Gleichung aus den direkt messbaren Größen?

Abb.15: Leistungsabhängigkeit Vas im Testgehäuse



Eine andere Gleichung zur Berechnung der Vas erfolgt ebenfalls mittels Testgehäuse aber über die elektrischen Güten im Gehäuse Qec und im Freifeld Qes [7,8].

$$\frac{Vas}{Vb} = \frac{fc \cdot Qec}{fs \cdot Qes} - 1 \quad (4)$$

Doch wie werden die gemessen? Die Güten werden aus den Impedanzkurven rechnerisch ermittelt. Dafür gibt es verschiedene Methoden. Die bisher praktizierte erfolgte aus [5], wo der Maximalbereich aus der Impedanzkurve ausgewertet wird und die zweite Methode, wo zunächst am geometrischen Mittel Rx aus Impedanzmaximum Rmax und Gleichstromwiderstand der Schwingspule Re die dazugehörigen Seitenfrequenzen f1 und f2 bestimmt werden und danach wird mit diesen Hilfsgrößen die mechanische Güte und dann erst die elektrische Güte errechnet.

Verwirrenderweise geben die Prinzipskizzen von [7,8] zur Berechnung der Seitenfrequenzen eine falsche Vorstellung von der tatsächlichen Lage dieser 2 Messpunkte (f1;Rx) und (f2;Rx), siehe Abb.16 und 17.

$$Rx = \sqrt{Rmax \cdot Re} \quad (5)$$

In Abb.16 von [8] ist deutlich die logarithmische Einteilung der Frequenzachse zu erkennen, die Strom- bzw. Impedanzachse wird als lineare Achse abgebildet. Mit einem Re von 60hm ergibt sich ein geometrisches Mittel nach (5) von 15,87ohm, was als rote Linie dargestellt ist. Daraus ergeben sich andere f1 und f2. Die Rx Werte liegen viel näher an Re, damit steigt das Risiko den wahren Gütewert fehlerhafter zu ermitteln. Wäre Z logarithmisch aufgetragen, dann könnte Re nicht exakt angezeigt werden.

Abb.16: Diagramm aus [8] mit Beispiel Re=60hm

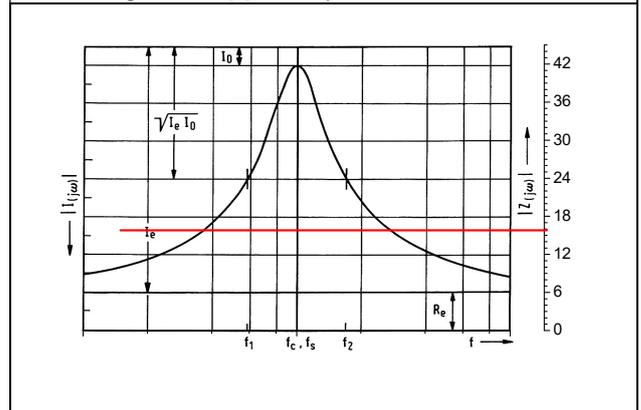
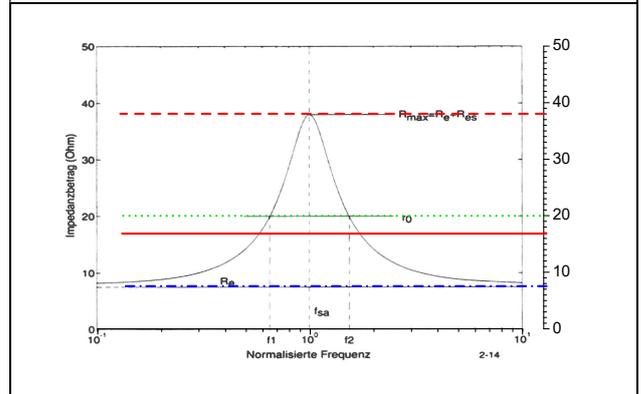


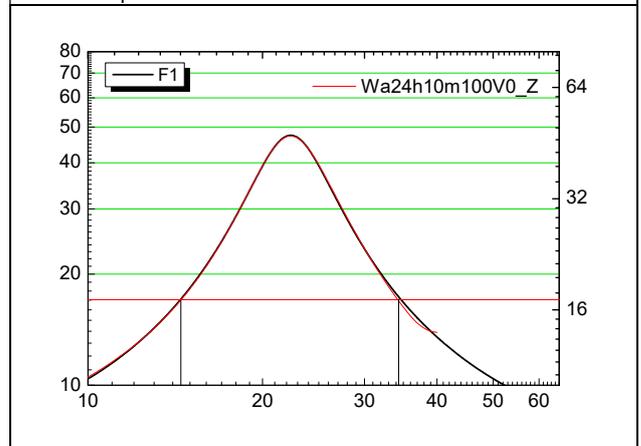
Abb.17



Aber auch in [7] werden Rmax mit 38ohm ausgewiesen und Re mit 7,5ohm sowie r0 mit 20ohm. r0 ist aber =Rmax/Re, was 5,07ohm ergeben würde. Außerdem können an dem angezeigten r0 nicht die Seitenfrequenzen bestimmt werden. Die rote Linie schneidet die Impedanzkurve in den richtigen f1 und f2.

Die Gleichung (5) wird auch in LASIP6 verwendet, (1-4) auch in [7,8]. In den beiden letzteren wird auch darauf hingewiesen, dass die verwendeten Strom- und Spannungssignale so niedrig, wie es die genaue Messung zulässt, sein sollten.

Abb.18: Impedanzfit Freiluft W26a Ulevel 1V



Die Methode der Bestimmung mittels der Seitenfrequenzen f1 und f2 erforderte neue Messungen, die länger dauern, wenn die Messpunktdichte erhalten bleiben soll, damit die Methode mit der anderen verglichen werden konnte. Der Grund ist der, dass die

Frequenzbereiche so ausgedehnt werden mussten, dass die infrage kommenden niedrigen Impedanzen unter f_1 und f_2 auch wirklich sicher unterschritten werden. Auch hier gelang der Freiluftfit in Abb.18 ausgezeichnet. Die ermittelten Güten sind in Tab.8 gelistet.

$$Q_{ms} = \frac{fs \cdot \sqrt{R_{max}/Re}}{f_2 - f_1} = \frac{22,376 \sqrt{47,308/6,14}}{34,363 - 14,492}$$

$$Q_{es} = \frac{Q_{ms}}{R_{max}/Re - 1} = \frac{3,126}{47,308/6,14 - 1} \quad (7)$$

Die Kontrolle der Frequenzen f_1 und f_2 erfolgt mit (8).

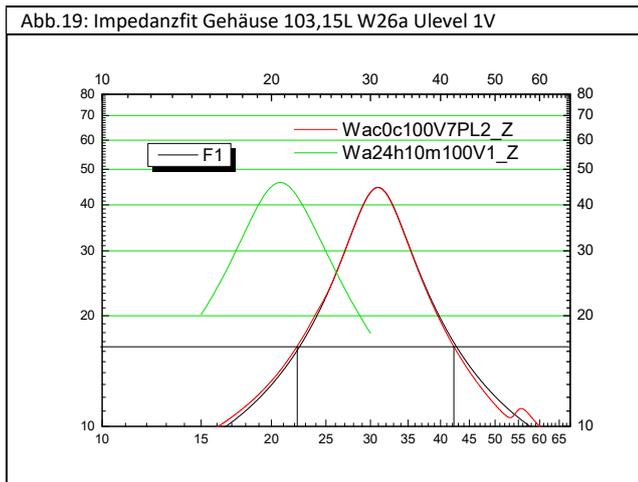
$$fs = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = \sqrt{34,363 \cdot 14,492} = 22,316 \quad (8)$$

Tab.8: Elektrische Güten nach verschiedenen Methoden Fit und Rx mit Testgehäuse von 103,79L

Methode	Fit		Rx	
Ulevel (V)	s	c	s	c
Qm	3,081	4,154	3,126	4,171
Qe	0,457	0,662	0,466	0,666
Qt	0,398	0,571	0,406	0,574

Das Hauptergebnis aus Tab.8 ist, dass unter den Testbedingungen bereits Besselgüten errechnet worden sind.

Die Messung im Gehäuse ergab eine Nebenresonanz um 56Hz. Eine Stehwellenresonanz von 56Hz würde eine Halbwellenlänge von 3,07m ergeben. Das hat keinerlei Korrelation mit den Gehäusemaßen. Die einzige Dimension, die mit dieser Halbwelle korreliert, wäre die Deckenhöhe des Zimmers einschließlich der Höhe hinter der Trockenbaudecke. Wenn die herabgehängte Gipskartondecke mitschwingt, täuscht sie vielleicht eine höhere Deckenhöhe vor, anstelle 2,8m nun 3,1m.



Nach (4) ergeben für die Fitmethode 103,5L und das Rx-Verfahren 100,7L. Auf alle Fälle bleibt der große Unterschied zur Massemethode bestehen.

$$Vas = \left(\frac{30,947 \cdot 0,662}{22,376 \cdot 0,457} - 1 \right) \cdot 103,15L = 103,50L$$

Tab.9: Vas-Werte für Testgehäuse nach Gleichung (1) W26a

fs	fc	Ulevel	Vas
Hz	Hz	V	L
22,376	30,947	1	94,16

Fehlerbetrachtung

In Gleichung (2) steht die Luftdichte ζ , die Schallgeschwindigkeit c und die effektiv wirksame Membranfläche. Die Frequenzdifferenz und die zusätzliche Masse kann exakt gemessen werden. Die Luftdichte schwankt maximal innerhalb von 10% in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchte, die Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur und Feuchte innerhalb von 2%. Die 12% Maximalabweichung können also kein ausreichender Grund sein. Also muss die effektiv wirksame Membranfläche kleiner sein als die theoretische, die sich aus den mechanischen Membrandurchmesser plus der zweifachen halben Sickenbreite errechnet. In Abb.9 ist die Vas abhängig von der Leistung. Für die geforderte minimale noch exakt messbare Spannung und Strom verkleinert sich die Vas. Die fehlende Differenz von ca. 3 bis 7% wird durch eine kleinere SD verursacht. Die theoretische SD war 346cm². Die prozentuale Abweichung ergibt zwischen 336cm² und 322cm². Excel selbst gibt 330cm² an. Die Metallmembran hat einen Durchmesser von 19cm und eine Fläche von 283,5cm², die Sickenkrümmung setzt 2mm weiter außen an. Für die kleinsten Spannungen und Ströme wird die Sicke effektiv weniger ausgelenkt, zumal der Gummi nur eine wesentlich geringere Schallgeschwindigkeit hat als die Metallmembran. - Also alles vernünftige Werte, aber nur für Kleinsignalwiedergabe. Eine genauere Analyse kann erst an einem fertig konditionierten Chassis erfolgen, wenn es nicht mehr relaxiert.

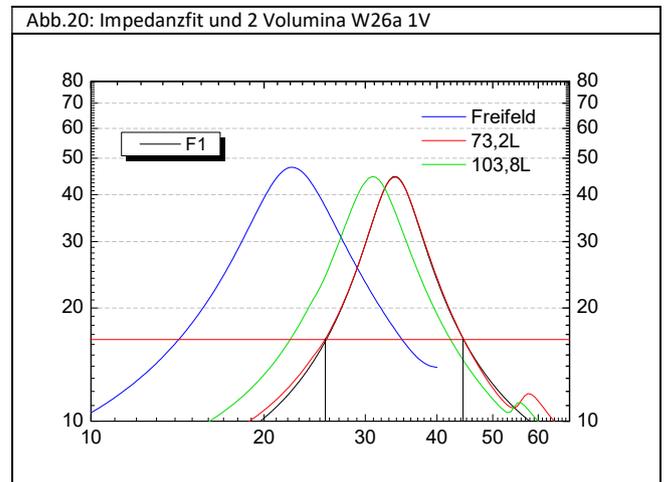
14.3.3.2.2. Verkleinerung des Testgehäuses

Wenn das Testvolumen verringert wird, muss die Vas konstant bleiben und alle Güten Qmc, Qec und Qtc größer werden. Als neues Testvolumen wurde durch Verschieben der Rückwand und Abdichtung auf 72,3L eingestellt. Es sei hier nochmal vermerkt, dass ein Messgerätelevel des Hioki von 1V einen effektiven AC Strom von 10 bis 16mA im Messbereich durch die Schwingspule schickt und damit bereits im Kleinsignalbereich liegt.

Rmax sinkt jedoch kaum von 44,59 auf 44,47ohm. Die Breite des Impedanzpeaks wird aber deutlich kleiner, was eine höhere Güte anzeigt. Der Vergleich Freifeld und die 2 Volumina sind Abb.20 dargestellt.

Tab.10: Elektrische Güten nach verschiedenen Methoden Fit und Rx mit Testgehäuse von 72,3L

Methode	Fit		Rx	
Ulevel (V)	c 103,8L	c 72,3L	c 103,8L	c 72,3L
Qm	4,154	4,876	4,171	4,790
Qe	0,662	0,776	0,666	0,767
Qt	0,571	0,670	0,574	0,661



Tab.11: Vas-Werte für Testgehäuse nach Gleichung (1) W26a

fs	fc	U _{level}	Vas
Hz	Hz	V	L
22,376	33,79	1	93,7

Die Rx-Methode hat einen Nachteil, die Berechnung lässt sich schlechter automatisieren. LASIP6 rechnet ebenfalls nach der Rx Methode und erhält ein Vas von 93L aber eine Membranmasse von 91,5g.

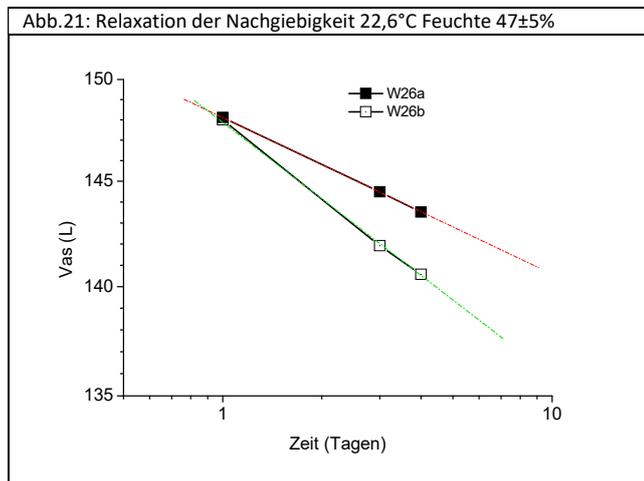
14.3.3.2.3. Schlussfolgerungen

Es wurde eine Besselgüte bei 103L Testvolumen bestimmt. Durch einen Serienwiderstand vor dem Tieftöner durch die passive Frequenzweiche wird das notwendige Besselvolumen theoretisch nochmal erhöht. Die bisherige Konditionierung reicht also noch nicht aus. Das gilt aber alles nur für eine Boxenposition in Zimmermitte des 7x4 meter großen und 2,4m hohen Wohnzimmer. Näher an der Wand ist vielleicht alles für die Katz und muss nachjustiert werden. Ein Transport in einen anderen Raum ist nur mit Verschlechterung zu erkaufen.

14.3.3.3. 24h mit ±11,5mm Hub

Der Hub wurde vorsichtig auf ±11,5mm erhöht, dabei musste die Konditionierungsfrequenz auf 20Hz gesenkt werden, um den Verstärker nicht zu überlasten. Die Schwingspule blieb bei Maximalausschlag noch 1,5mm im Luftspalt.

Diesmal wurde für beide Chassis die gleiche Vas von 148L mittels Fitmethode nach 24h Abkühlzeit, wie es woanders formuliert wird [9], bestimmt. Doch ist dieser Wert jetzt stabil? Was nützt es, wenn die Schwinggüte sich mit Zeit wie zuvor verändert, bzw. je nach Lautstärke. Dazu wurden wieder einige Zeit später weitere Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in Abb.21 dargestellt. Linearisierungsversuche ergaben immer ein log-log-Verhalten. Derartige Zeitverhalten sind in der CMOS-Halbleitertechnologie in der Zuverlässigkeitsprüfung bekannt. Detrapping und Trapping in Gateisolatoren an Grenzflächen gehorchen den gleichen Zeitfunktionen. Das dürfte hier recht ähnlich sein. Sicke und Zentrierspinne bestehen aus Polymerverbindungen. Dort sind Polymerketten zusammengelagert und unterliegen über Van-Waals Bindungen, Wasserstoffbrückenbindungen und anderen dipolaren Wechselwirkungen gewissen Nahordnungen, die durch die mechanischen Zugkräfte der Konditionierung gestört werden. Bleibt der Wechselwirkungsbereich innerhalb der thermischen Bewegungsbereiche, kommt es zu einer Reorientierung der polaren Molekülabschnitte und es erfolgt ein „Wiedereinfangen der alten Bindungspartner“, die zur Relaxation führen. Die Vas waren zu Anfang gleich, relaxieren aber unterschiedlich schnell, denn die Startwerte waren ja auch unterschiedlich. Die Extrapolation der Gerade führt beim 2. Tieftöner nach 3000 Tagen zur Einstellung der Ausgangsdaten. Da die praktischen Betriebshübe beim Hören selten 4mm übersteigen, und wenn, dann sind sie nur von kurzer Dauer, sollte die Relaxation von praktischer Bedeutung werden. Ein Hub von 11mm in der Box ist eine für Mensch und Maschine stressiger Vorgang und kaum 24h lang praktikierbar. Bis 11,5mm Hub herrscht die Viskoelastizität der Zentrierspinne und Sicke vor, der Punkt liegt in Abb.23 noch im linearen Bereich.



14.3.3.4. 24h ±13mm Hub

Nach einem weiteren Konditionierungsvorgang wurden in der anschließenden Zeit keine sich systematisch mit Zeit ändernden Vas mehr gemessen. Bei 13mm Hub war beim Maximalausschlag die Unterkante der Schwingspule in Flucht mit der Oberkante des Luftspaltes. Vermutlich hingen die Schwankungen der Messwerte mit den unterschiedlichen Lufttemperaturen und -feuchten sowie -drücken bei den Messungen zusammen.

Die elektromechanischen Schwingbedingungen der Schwingspule ändern sich in drei Stufen: i) die Schwingspule bleibt immer im Luftspalt, der Maximalausschlag bleibt ≤X_{lin}, ii) die Schwingspule bleibt noch mit einigen Windungen im Luftspalt, iii) die Schwingspule gerät völlig aus dem Luftspalt. Die 13mm waren ein Grenzfall. Bis zur mechanischen Begrenzung waren es 17,5mm Hub.

3.3.5. 24h ±15mm Hub

Natürlich erfordert es hohe Aufmerksamkeit, sicherzustellen, dass bei den enormen Auslenkungen der Schwingspulenträger nicht anschlägt und verformt wird. Bei einem Hub von ±15mm bleiben jeweils 2,5mm bis zum Anschlag übrig. Zum Start der Konditionierung wird daher die erste 1/2h mit dem alten Hub die Spule vorgewärmt, so dass der Hub sicher bleibt, wenn die neue größere Auslenkung eingestellt wird.

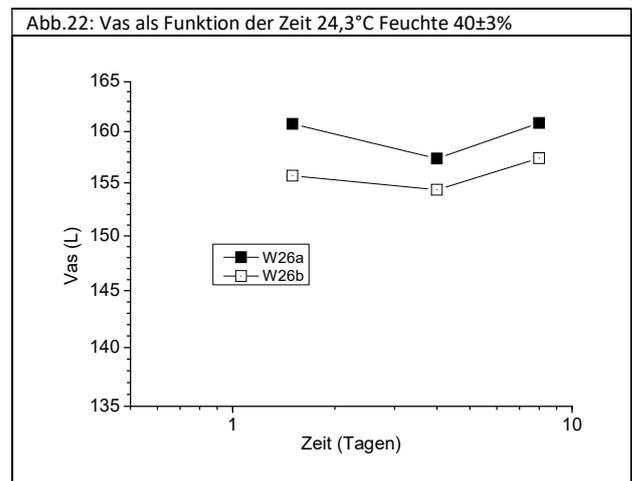
1 Tag nach der 24h ±15mm Belastung wurden eine Vas für den W26a von 160L und für das 2. Exemplar 155L mit der Fit- und Massemethode ermittelt. Damit liegt sie im Bereich der Herstellerangabe, aber die eigenen Güten Q und Fs waren deutlich höher. Für die Bestimmung wurde stets die gebrauchte 10g Zusatzmasse neu eingewogen. Das häufige Auskneten mit den Händen hat die Masse um 1,4% erhöht.

Tab.12: Datenvergleich

		[10]	W26a	W26b
Re	Ω	6,3	6,140	6,280
fs	Hz	20	21,028	21,352
f _{szus}	Hz		19,465	19,767
Q _{ms}		2,34	2,811	2,710
Q _{es}		0,41	0,427	0,415
Q _{ts}		0,35	0,371	0,360
m _{zus}	g		10,140	10,140
M _{ms}	g	56,3	64,409	64,499
C _{ms}	mm/N	1.1	0,889	0,861
R _{ms}	kg/s	3,21	3,027	3,193
Vas	L	162	160,761	155,690

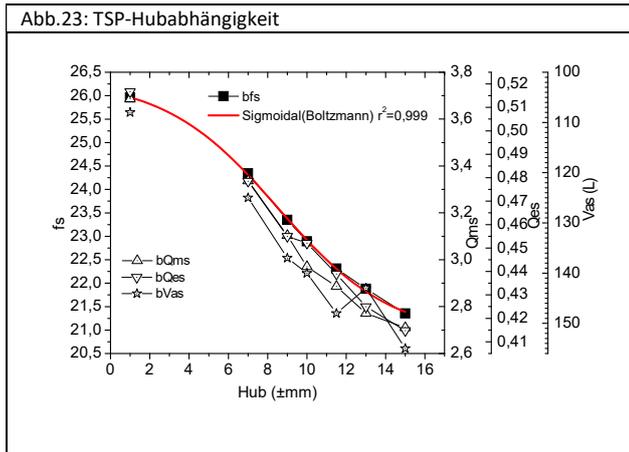
3.3.5.1. Zeitabhängigkeit der TSP

Die Vas wurde wieder mit der Zeit verfolgt. Für die Messungen wurden die Luftparameter verfolgt und nach Einstellung der Parameter der 1.Messung wurden TSP neu bestimmt. Nach Abb.22 gibt es keine Relaxation mehr. Durch Verlassen des Luftspaltes wurde die Zentrierspinne ausreichend überstreckt. Damit gilt der Tieftöner als konditioniert.



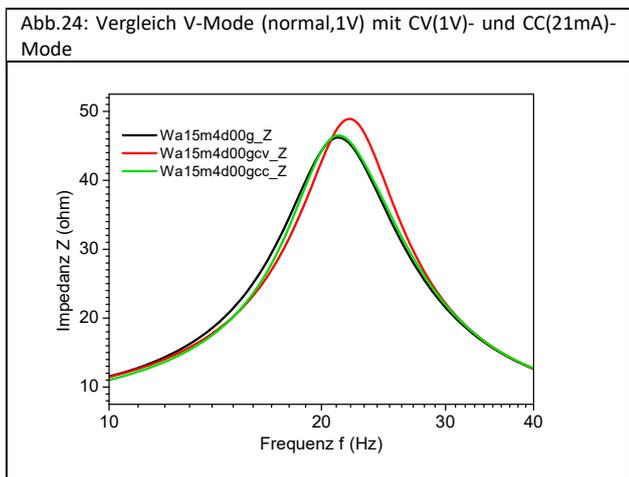
14.3.3.5.2. Hubabhängigkeit der TSP

Zurückblickend über die Konditionierung der 10" Excel W26FX001 Tieftöner kann man zusammenfassen, dass die TSP fast linear vom Hubstress abhängen. Die eine Ausnahme wird durch den Übergang gebildet, ab der die Schwingspule nicht mehr vollständig in den Luftspalt eintaucht. In Abb.23 werden die wichtigsten Parameter als Funktion des Hubes für das 2. Tieftönerexemplar graphisch aufgezeichnet. Der funktionelle Gang widerspiegelt prinzipiell auch den Gang vom W26a, da gibt es kaum Unterschiede. Die Gesamtkurve gehorcht einer Sigmoidal-Funktion mit einer Regressionsgenauigkeit von 0,9995. Sigmoidal-Funktionen können häufig für die Beschreibung einer Größe, die sich z.B. während einer Phasenumwandlung ändert, verwendet werden.



14.3.3.5.3. Vergleich der Betriebsparameter

Im Gegensatz zu den 25 Jahre älteren Hewlett/Packard RCL Messbrücken HP4284 und HP4285 kann das allerdings weniger präzise Hioki 3522-50 aber außer dem „open circuit voltage“ (V-) Mode noch 2 andere Modi, den „constant voltage“ (CV-) und den „constant current“ (CC-) Mode. Beim V-Mode braucht auf die Mess- und Quellbereiche keine Rücksicht genommen werden, das Gerät setzt Strom und Spannung in Abhängigkeit der momentanen Impedanz und dem gesetzten Stellwert bezogen auf den maximal möglichen Stellwert. Wie sich bei der Messung mit dem CV-Mode herausstellte, betätigt das Gerät bei jedem Messpunkt die Relais für die Spannungssetzung neu nachdem es die Einhaltung der erlaubten Range geprüft hat. Die Messung dauert nicht nur länger, sondern die Signalkontinua sind nicht gegeben. Im CC-Mode wird nur der erlaubte Spannungsrage geprüft, was einen kontinuierlichen Eindruck macht. Die Ergebnisse der Messungen mit den 3 verschiedenen Modi sind in Abb.24 aufgezeichnet. Alle Werte wurden so gesetzt, dass in Fs die gleichen Monitorsignale an den Chassisklemmen anlagen. Dass die CV-Mode Kurve völlig anders aussieht, hängt vermutlich mit den Leistungszuschaltungen zusammen.



Der Konstantstrom-Messmode gleicht dem Normalmessmode der Impedanzmessbrücke, während der Konstantspannungsmode eine doch deutlich abweichende Messung vorgibt. Der CV-Mode zeigt höhere Güten, was eine Besselfunktion wieder erschwert. Er ist aber der Mode, den jeder normale Audioverstärker ausführt. Deshalb ist zumindest ein Test mit einem solchen unumgänglich.

Tab.13: fs und Q in den verschiedenen Messmodi

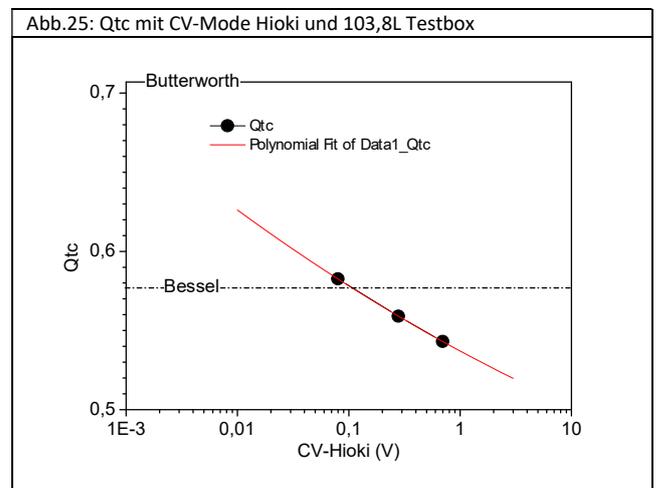
	V-Mode	CV-Mode	CC-Mode
fs	21,028	21,912	21,158
Qms	2,755	3,104	2,915
Qes	0,422	0,446	0,442
Qts	0,366	0,390	0,384

D'Appolito [7] stellt außer einer Spannungsteilermethode noch die Konstantspannungsmethode und die Konstantstrommethode vor. D'Appolito selbst kann keiner der Methoden einen Vorzug geben, weil sie alle vergleichbare Ergebnisse bringen. Laut seinen Recherchen wird eher vom Spannungsteiler abgeraten und die Konstantspannungsmethode empfohlen, da eine Konstantwechselstromquelle hingegen eher ein seltenes Gerät ist. D'Appolito und Panzer [8] bringen jedoch beide zum Ausdruck, dass mit der Konstantspannungsmethode weniger Störgeräusche durch mehr Signalpegel größere Vorteile vorhanden sind. - Nun das steht etwas im Widerspruch mit der Forderung nach einem möglichst geringen Signalpegel für die TSP-Gewinnung.

Bei der Konstantspannungsmethode muss der Strom gemessen werden. Der Strom ist dann gleichungsmäßig durch Z zu substituieren und kann dann genauso zur Gewinnung von f1, f2, Qms, Qes usw. benutzt werden (s.a. Abb.16 nach [8]).

14.3.3.5.4. Qtc als Funktion der Konstantspannung am Hioki

Leider ist Spannungsquelle im Hioki 3522-50 arg begrenzt und an einem normalen Chassis wie dem Excel W26FX001 geht es bereits in Compliance. Aber es lassen sich zumindest 3 Funktionswerte aufzeichnen. Die Gewinnung der Qtc erfolgte über die Fitmethode. Für den geprüften Abschnitt konnte ein Polynomfit 2.Ordnung mit Regressionskoeffizienten R=1,000 gefunden werden. Die Trendaussage ist die, dass für das Testboxvolumen für sehr große Spannungen eine Linkwitz Qtc von 0,5 und für sehr kleine Spannungen eine Butterworth-Güte von 0,707 entsteht. Ist dieses Grundverhalten allegemein gültig? Die Frage sollte berechtigt sein, da die Ausgangsimpedanz des Hioki mit 50Ω beziffert wird und eine Messung an niederimpedanten Widerständen mit Messfehlern aufwarten könnte.



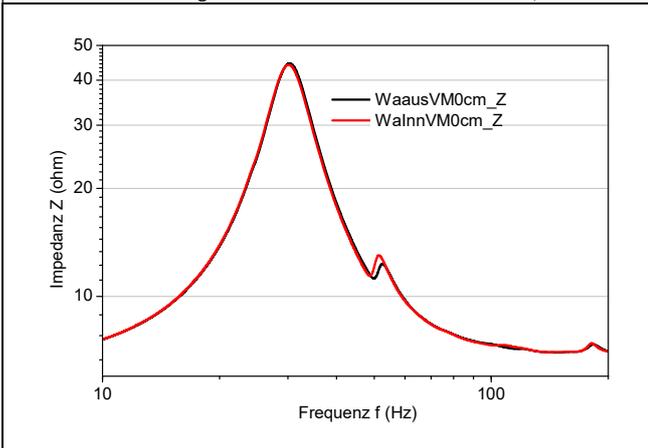
3.3.5.5. Vergleich Tieftöner außen oder innen

In den meisten Artikeln zur Ermittlung der Vas wird empfohlen den Magneten des Tieftöners außen auf das Gehäuse zu schrauben, da das

Volumen des Konus viel leichter zu bestimmen ist. Für das normale Verhalten einer Tieftönerbox ist es besser den Magneten des Tieftöners in das Gehäuse zu verlagern. Ändert sich dadurch die Impedanzkurve? f_c wird von 30,26Hz auf 30,11Hz verkleinert. Eigentlich wird ja das Volumen verkleinert und f_c hätte größer werden müssen. Der Volumenverkleinerung gehorcht nur das Impedanzmaximum, das sich von 44,58 auf 44,14 verkleinerte.

Ist der Magnet innen, ist die Nebenresonanz bei 52Hz intensiver und nach links verlagert, was durchaus auch f_c nach links drücken kann. Was ist die Ursache? Der Korb bedämpft außen die Anregung zur Deckenreflektion besser. Wie zur Bestätigung invertiert die Deckenraummode 2.Ordnung bei 110Hz das Impedanzloch zum Peak.

Abb.26: Tieftönermagnet außen oder innen an Testbox 103,8L



14.3.3.5.5. Messungen mit einem niederimpedanten Audio-Verstärker

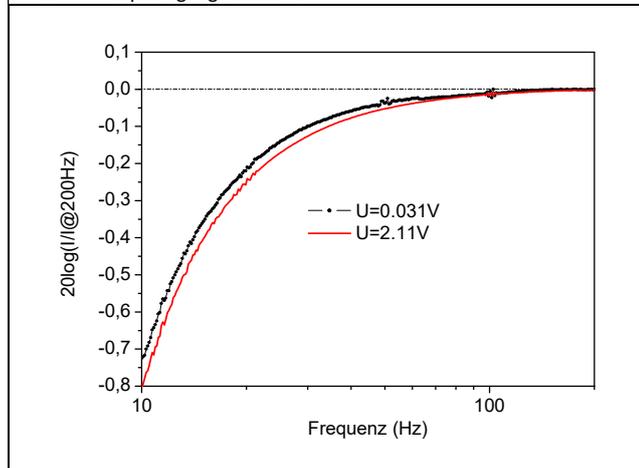
Da der serielle Widerstand zum Tieftöner stark in dessen Güteverhalten eingeht, so wie es Boxensimulationsprogramme aussagen, die von den Thiele-Small-Parametern ausgehen, muss die Messung mit einem niederimpedanten AC-Verstärkerausgang zum Vergleich herangezogen werden. Dieser arbeitet wie die allermeisten seiner Art ebenfalls mit einem Konstanzspannungsbetrieb.

Die Gütenormierung gelingt hier nur über die Strommessung nach [8].

A Überprüfung des Frequenzganges der verwendeten Geräte

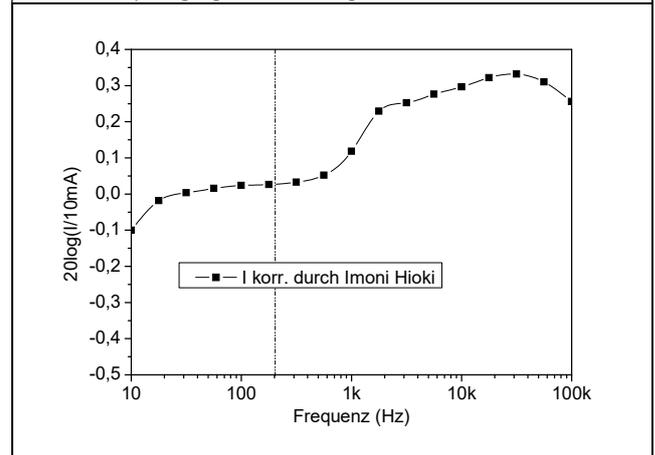
Zuerst wurde Strom einmal mit einer Quellenspannung von 0.031V und 2.11V gültig für 200Hz durch einen Eigenbauwiderstand mit 4.88Ω gemessen. Bei der letzten Messung wurde der Widerstand etwas mehr als handwarm. Dabei wurde beobachtet, dass die Quellenspannung bei niedrigen Frequenzen sank, was auch im Strom dann gemessen wurde. Der Widerstand wurde bereits in Teil1 überprüft.

Abb.27: Frequenzgang Verstärker



Wie ist der Frequenzgang des Strom/Spannungsmessers Fluke 189? Kann das kleine Digitalmultimeter überhaupt unter 45Hz messen, so wie es noch Panzer in [8] bezweifelte? Zur Überprüfung des Stromfrequenzganges wurde ein Isabellenhütte Widerstand PBH mit 1% Genauigkeit an dem Hioki 3522_50 vermessen, wobei der Fluke als Strommesser fungierte und das Hioki als Constant Current Quelle. Das Hioki lieferte im Gegensatz zur HP4284A auch seine Klemmenspannungs- und Stromwerte, so dass ein Vergleich möglich wurde. Das Fluke konnte zwar unter 10Hz keinen stabilen Strommesswert anzeigen, war aber so besser als die Befürchtung und reichte für die vorstehenden Messaufgaben aus, wie Abb.28 ausweist. Der Generator WG1240 hat einen Amplitudenfehler von <0,5%, was einem Fehler von 0,04dB entspricht.

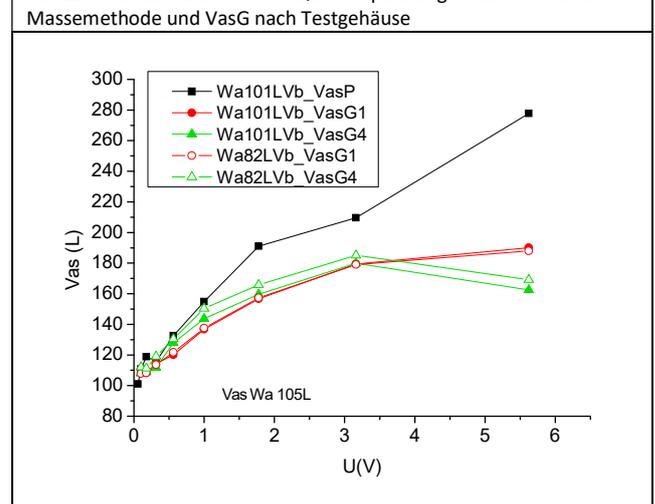
Abb.28: Frequenzgang Strommessung Fluke



B Messungen am Verstärker

Die Messungen am Verstärker erfolgten mit der Messanordnung nach [8, S.22] mittels Strommessung. Der Innenwiderstand des Strommessers verursacht eine Änderung des Spannungsabfalls über die Klemmen am Lautsprecherchassis, so dass die Gleichspannungsquelle nachgestellt werden muss. Damit ist eine Computermessung ohne Software-Rückkopplung nicht praktikierbar. Das Fluke 189 hat zwei Messbereiche für die Strommessung: 400mA und 10A. Im niedrigeren wird zwar eine Messbarkeit im μ A-Bereich möglich aber man hat dort einen Innenwiderstand von 1.8Ω. Der größere bietet einen fast konkurrenzlos niedrigen Innenwiderstand von 0.03Ω. Damit ist er kleiner als der von den Keithley's DMM mit 0.3Ω. Damit liegt der Messfehler der Klemmenspannung am Chassis unter 1% und eine automatische Messung ist möglich.

Abb.29: Vas als Funktion der Quellenspannung U als VasP nach der Massemethode und VasG nach Testgehäuse



Durch die Kenntnis der Frequenzgänge der Quelle und des Strommessgerätes können nun die Impedanzgänge und dann über die Güten die Vas nach Gleichungen (1) und (4) berechnet werden. Gemäß den Forderungen eines möglichst niedrigen Stromes approximieren alle Methoden auf das gleiche Vas von 105L.

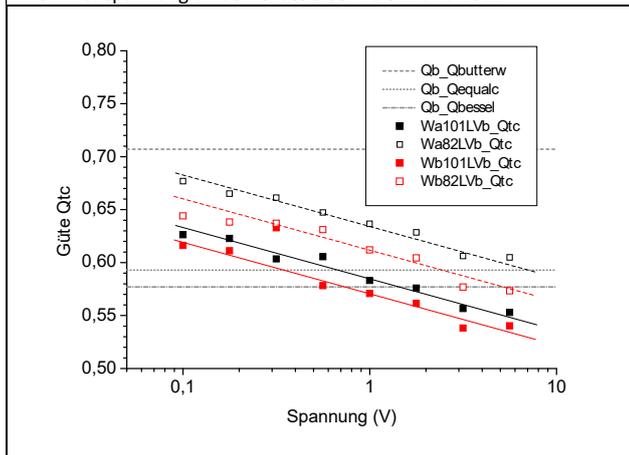
Die Werte vom zweiten Excel Wb approximieren auf den gleichen Wert von 105L, wenn auch die Kurven etwas flacher verlaufen.

Die Angaben vom Hersteller liegen bei etwa 1V Quellenspannung, wenn dieser das Einpumpen mit einem noch größerem Hub als ±15mm durchgeführt hat, ±17.5mm sind ja mechanisch die Grenze, und wenn er nur mit der einfachen und billigen Massemethode gearbeitet hat. Gemäß der Theorie sind aber 105L Vas richtig. Außerdem wird sichtbar, dass bei großen Betriebsspannungen die Gleichung (4) mit Qec nicht mehr konform mit der einfachen Gleichung (1) geht, was auch verständlich wird, weil sich die Schwingspule beträchtlich aufheizt.

Nun steht die Frage, wird die Abhängigkeit der Systemgüte im Gehäuse von der Spannung, wie Abb.25 ausweist, bestätigt? In Abb.30 werden Ergebnisse durch den Betrieb mit dem niederimpedanten Audio-Verstärker dargestellt. Die Güte Qtc zeigt eine quasi-logarithmische Abhängigkeit von Klemmenspannung zumindest bis 6V, was einer Leistung von ca. 5W entspricht. Diese maximale Aussteuerleistung wird für gehobene Zimmerlautstärke verwendet, dort wo die Impulse noch unverzerrt im Gehör wahrgenommen werden. Im Prinzip wird die Hioki-Messung aus Abb.25 bestätigt, aber nur im Prinzip. Offensichtlich ist die Ausgangsimpedanz des Hioki doch nicht unkritisch.

Was bedeuten die Abhängigkeiten? Wird ein Boxenvolumen für eine bestimmte Leistung auf eine bestimmte Impulscharakteristik eingestellt, dann wird unter dieser Leistung der Bass härter und tieftöner, was noch durch die Gehörempfindlichkeit verstärkt wird. Über dieser Leistung wird der Bass „aufgeweicht“ und verliert scheinbar an Dynamik. Was ist die allgemein übliche Bezugsleistung? Auf der High-End München 2011 wurde eine Box mit Butterworth-Abstimmung beworben. Auf die Frage, welche Quellenspannung für die Butterworth-Impulsantwort gilt, wurde geantwortet, dass sicherlich die allgemein übliche Spannung von 2,83V als Bezugsgröße genommen wird. Nun, gemäß Abb.29 befindet man sich dann noch unterhalb der Qec Beeinflussung, bei ca. 1W, mit einem optimalen Amplitudengang.

Abb.30: Die Qtc der beiden Excel W26 in Abhängigkeit der Klemmenspannung an den Chassis bei Vb 82L und 101L



Aus Abb.30 kann entnommen werden, dass für den zweiten W26 82L effektives Gehäusevolumen optimal sind, für den ersten W26 jedoch mehr Liter benötigt wird. Abgeschätzt werden können ca. 93L. Außerdem kann Abb.30 noch entnommen werden, dass eine Box einmal auf Butterworth abgestimmt, praktisch eine Besselantwort nicht erreichen kann, Qtc bleibt bei >0,5.

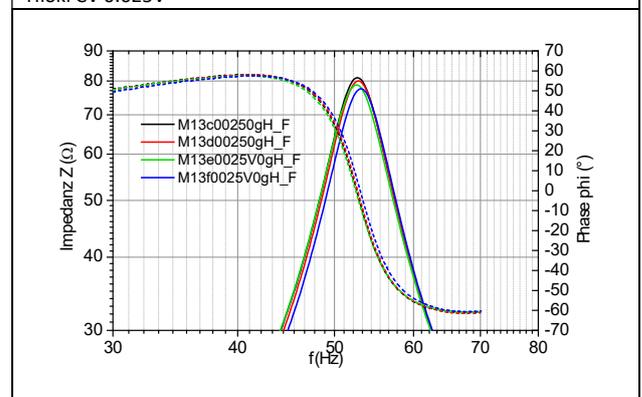
Eine geeignete Methode wäre, ca. 95L als Gehäusevolumen konstruktionstechnisch vor auszuplanen und dann durch Einkleben von Styroporplatten das Volumen durch Testmessungen einzustellen.

14.3.4. Konditionierung der Tiefmitteltöner Visaton AL130

Zunächst soll der AL130 aus folgendem Grund wie ein Tieftöner behandelt werden. Man kann zwar viel aus den bisherigen Verhalten ableiten, aber an welcher Frequenz der Mitteltöner am günstigsten vom Tieftöner abgetrennt werden kann, muss die fertige Box zeigen. Wenn die Trennfrequenz wie bisher beabsichtigt um 160Hz zu liegen kommt, geht die Impulsantwort des Mitteltöners mit in den Hörbereich ein.

In 3.3 wurde gelernt, dass die Ergebnisse der TSP, insbesondere die Freifeldresonanzen fs genau durch den maximalen erlaubten Hub definiert werden. Bei AL130 werden ±6mm Hub erlaubt, wenn die Schwingspule im Polspalt bleiben soll. Die Gummisicke erlaubt auch nicht mehr, wenn sie nicht überstreckt werden soll. Als Mitteltöner soll die Elastizität gewahrt bleiben. Deshalb wurde ein Hub von 11 bis 12mm von Spitze zu Spitze zugelassen. Da die Anfangsbedingungen unterschiedlich waren (s. Kap.2, 3-Wege) wurde mit dem Basissteller des Verstärkers die Hübe gleich eingestellt. In Abb.31 wird gezeigt, dass die „Gleichstellung“ der Konditionierung exzellent geglückt ist. Nun kann dieses Verfahren als Beweis gelten.

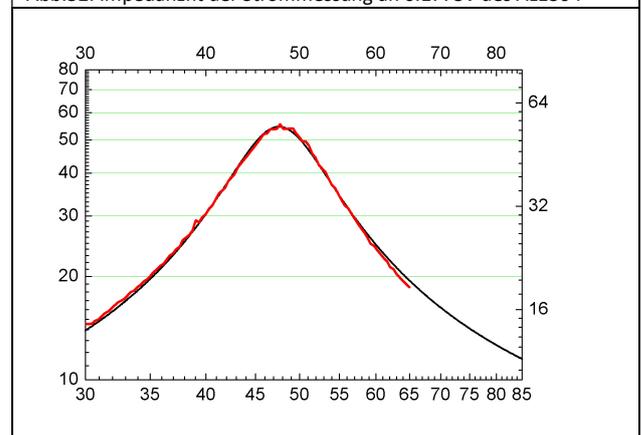
Abb.31: Vergleich der 4 AL130 nach Hub-definierter Konditionierung Hioki CV 0.025V



14.3.4.1. Die Freifeldeigenschaften

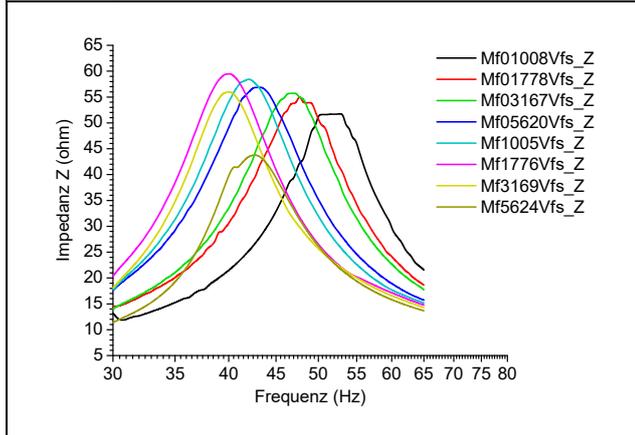
Auf Grund der niedrigen Stromlieferfähigkeit über die RCL-Messbrücke Hioki im Constant Voltage Mode wurde entschieden, dass alle Messungen der Impedanz mittels dem Audioverstärker Marantz PM80 und dem Fluke 189 im 10A Messbereich mit dem 0,03Ω Innenwiderstand durchgeführt werden. Wegen der schlechten Auflösung in der Strommessung ist die Regressionsmethode nach Panzer erforderlich. In Abb.32 wird der Fit an der Quellenspannung 0.1778V veranschaulicht. Die Messkurve weist wegen der schlechten Digit-Auflösung Zacken auf. Mit Erhöhung der Quellenspannung wird die Messkurve glatter. Die Eichung der Strommessung erfolgte wieder über den 4.88Ω-Widerstand.

Abb.32: Impedanzfit der Strommessung an 0.1778V des AL130 f



Um gemäß Gleichung (1) und (4) die Vas berechnen zu können, werden die Freifeldresonanzfrequenzen f_s (Wohnzimmer) benötigt, bevor die Chassis in das Testgehäuse eingebaut wird. In Abb.33 werden die Impedanzkurven in Abhängigkeit von der Quellenspannung bis 5,623V dargestellt. Für gleichmäßige log-Funktionen, die nicht zuletzt den dB-Schalldruckvergleichen dienen, wurden die Quellenspannungen logarithmisch gestaffelt. In der Grafik ist schockierend zu erkennen, dass bereits Spannungen ab 3V zu einer steigenden Nichtlinearität führt, gelbe und dunkelgelbe Kurve. Früher wurde der Start der Nichtlinearität [11] mit der HP4284 ab 8.5V ermittelt. Dies ist offensichtlich der Impedanz-angepassten Strombereitstellung der HP Messbrücke geschuldet. Bei 5.6V bricht die Kurve zusammen, was eine starke Kompression der Schallabgabe bedeutet.

Abb.33: Impedanzfunktionen des AL130 $f=M_f$ mit U im Freifeld



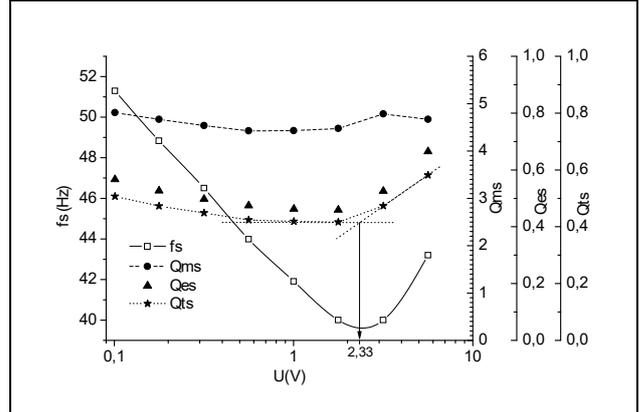
Aus der Hörerfahrung war bekannt, dass die AL130 in dem Bassreflexgehäuse bei der Volume-Anzeige am Marantz PM80 ab -31dB zunehmend komprimieren, d.h. die Basswiedergabe wird relativ zu den Mitten schwächer und diffuser. In Tab.13 wurden gemessenen Spannung in Abhängigkeit von der Anzeige dargestellt. Nun hat die Realbox BR25 [11] einen Spannungsteiler L/R im Tieftonbereich von $0.56\Omega/20\Omega$, was die Spannung an den Klemmen des Chassis um ca. 1dB absenkt. Die Übereinstimmung des Gehörten mit dem obigen Sachverhalt scheint erstmal verblüffend.

Tab.13:Spannungsabgabe mit $2V_{pp}$ von Quelle im Eingang Verstärker

Anzeige Volume-Regler (dB)	U(V)	„Uhr“-Stellung
-70	0,1000	
-61	0,1778	
-57	0,3162	
-50	0,5623	
-44	1,000	9-Uhr
-39	1,778	
-33	3,162	10-Uhr
-27	5,623	11-Uhr

Ab welcher Spannung genau wird komprimiert? In Abb.34 werden die Größen f_s , Q_{ms} , Q_{es} und Q_{ts} von der Klemmenspannung verfolgt. f_s zeigt eine starke Abhängigkeit und ein absolutes Minimum bei 2,33V. Die mechanische Güte Q_{ms} ist über alle Pegel gleich, die elektrische und folglich die Gesamtgüte steigen ab dem Minimum des f_s stark an. Der Effekt der Kompression ist nicht trägeheitslos, d.h. kommt es einmal zu einem lästigen Eindruck der Kompression und dreht die Lautstärke zurück bleibt der Eindruck zunächst einige Minuten bestehen und verschwindet dann erst. Das liegt vor allem an der Aufheizung der Schwingspule, die braucht auch eine Weile zum Abkühlen. Das ist wirklich etwas schockierend. **Der AL130 als Tieftöner ist im Freifeld nur linear bis 2,4V. Dieser Wert entspricht haargenau 1W für den Gleichstromwiderstand R_e des AL130 von $5,6\Omega$. Eine Entwicklung auf 1W Normpegel. Also mehr Mitteltöner als Tieftöner. Und dafür soll er auch jetzt im 3-Wegesystem verwendet werden.**

Abb.34: f_s und Schwinggüten als Folge der Pegelsteigerung



Literaturverweise

- [1] Klang+Ton 2002, Heft 5
- [2] LASIP6
- [3] Unibox 4.07
- [4] LspCad 5.25 Demo
- [5] Jörg Panzer, Franzis Taschenbuch Nr.236, Frequenzweichen für Lautsprecher, 1991
- [6] Hobbyhifi 2003, Heft 1
- [7] J.D'Appolito, Lautsprechermesstechnik, ELEKTOR 1998
- [8] Jörg Panzer, Konstruktion von Basslautsprechergehäusen, Franzis Taschenbuch 196, 1996
- [9] Timmermanns, HobbyHifi
- [10] Datenblatt www.seas.no 2003 bis 2011
- [11] Monographie für 2-wege, Kap.9, Abb.12