

# Car-HiFi-Installations-Guide

Dies ist ein relativ umfassender Leitfaden für Installationen von HiFi-Anlagen in Autos.

Er enthält gesammelt den Großteil (und sogar noch etwas mehr) der Informationen der Webseiten von [www.selfmadehifi.de](http://www.selfmadehifi.de).

Mein Motto:

**Laut kann jeder, aber gut klingen muss es!**

Um eine Anlage einzubauen ist ein gewisses Mindestmaß an elektrischen und mechanischen Verständnis jedoch Voraussetzung.

Momentan umfasst dieser Guide über 30 Seiten, die alle notwendigen Informationen enthalten. Er wird jedoch ständig erweitert.

Weitere Infos unter [www.selfmadehifi.de](http://www.selfmadehifi.de)

## Revisions History:

Version	Datum	Beschreibung
1.0	18.01.2003	Erstausgabe
1.1	26.01.2003	5.4 Angaben zu Dämpfungsfaktor hinzu 8. Glossar hinzu, viele Ergänzungen
1.2	14.02.2003	4.1.2 Formel erneuert, da im PDF Vers. 1.1 nicht lesbar Viele Details bei Bandpass-Systemen hinzu Überall kleine Details (z.B. Rechtschreibung und Grammatik)
1.3	30.03.2003	Weitere Tipps und Ergänzungen hinzu

## **Inhalt**

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1 Warum HiFi im Auto?	3
1.2 Grundvoraussetzung ist das Radio	3
<b>2. Erster Schritt: ein neues Frontsystem</b>	<b>4</b>
<b>3. Sind auch Lautsprecher hinten nötig?</b>	<b>5</b>
<b>4. Der Bassdruck kommt vom Subwoofer</b>	<b>7</b>
4.1 Gehäusesubwoofer	8
4.1.1 Geschlossene Gehäuse	9
4.1.2 Bassreflex-Systeme	11
4.1.3 Bandpasssysteme	12
4.2 Free-Air-Systeme	14
4.3 Lautsprecherwiderstand	15
<b>5. Zusätzliche Endstufen im Auto</b>	<b>16</b>
5.1 Leistungsbedarf	16
5.2 Leitungsquerschnitte	18
5.3 Komplettverkabelung	20
5.4 Endstufentypen	22
5.5 Impedanz	23
<b>6. Störungen</b>	<b>24</b>
<b>7. Installation in der Praxis</b>	<b>26</b>
<b>8. Erweiterungen</b>	<b>28</b>
8.1. Navigationssysteme	28
8.2. DVD- und Video-Systeme	28
<b>9. Glossar und Begriffsdefinitionen</b>	<b>29</b>
<b>10. Weitere Hinweise</b>	<b>36</b>
<b>11. Quellen- und Literaturangaben</b>	<b>36</b>

## 1. Einleitung

### 1.1 Warum HiFi im Auto?

Car-HiFi? - HiFi im Auto also... Da denken viele sofort an riesige Subwoofer, große Endstufen-Boliden und Lautstärken, die die Bleche des Autos vibrieren lassen. Doch so muss das alles nicht unbedingt sein.

Zuerst einmal das Generelle: Warum wollen so viele überhaupt die Anlage im Auto entsprechend um- oder aufrüsten?

Die Werksanlagen, egal von welchem Hersteller, mit Originalradios und Lautsprechern in allen vier Ecken kosten ja oft schon eine Menge Geld. Radios z.B. sind im Vergleich zu gleichwertig-ausgestatteten Radios der Car-HiFi-Hersteller mindestens doppelt so teuer und die besten Tuner/CD-Teile und Wandler werden hier nicht verbaut, obwohl diese Werksradios von Herstellern wie Becker, Blaupunkt, Clarion, Nakamichi Panasonic etc. hergestellt werden. Grund dafür ist natürlich der enorme Kostendruck im Automotive-Sektor. Das gilt auch für viele Hersteller, die erst bei extrem teuren Anlagen von z.B. Audi, BMW, Mercedes, Porsche dann doch etwas Geld nutzen dürfen. Dann ist die Qualität meist akzeptabel, allerdings steht auch hier der dafür bezahlte Preis meist in keinem Verhältnis mehr zum gebotenen. Mit Eigeneinbauten lassen sich auch bessere Ergebnisse erreichen.

So sollte bei Neuwagen die geringste Ausbaustufe von Radio und Lautsprechern geordert werden, damit schon mal alle notwendigen Kabel im Auto liegen. Dann den Werksschrott rauswerfen, vor allem die Lautsprecher und die billigen Werksradios, deren Verkaufspreis leider trotzdem bis zu 500,- EUR betragen kann. Das Problem bei neuen Autos ist oft die Integration des Radios an das Navigationssystem, Lenkradfernbedienung u.s.w., so dass typische Zusatzfunktionen nicht mehr benutzt werden können. Da muss man oft suchen, um etwas wie einen Adapter zu finden, wenn es so etwas überhaupt gibt.

Im diesem Guide (Führer) werden die technischen Grundlagen und Hintergründe zum Thema beschrieben. Es wird aber auch in einigen Bereichen (wie Subwooferbau) etwas tiefgründiger ins Detail gegangen. Am Ende gibt es Hinweise und Tipps, die einen guten Einbau erst ermöglichen.

### 1.2. Grundvoraussetzung ist das Radio

Zentrale Steuereinheit ist das Autoradio oder neudeutsch die head-unit. Es enthält den obligatorischen Tuner für UKW (FM) mit Verkehrsfunksystem (ARI, TA, TP). Bei heutigen Radios sind zusätzlich ein Cassettendeck, eine CD- oder gar eine DVD-Einheit integriert. Extern können meist DAB-Tuner, CD-Wechsler oder DVD-Geräte angeschlossen werden. Selbst preiswerte (<200 EUR) CD-Receiver (Radio mit CD-Teil) sind originalen Werksradios beim Klang- und dem Empfang weit überlegen.

Heutzutage sind Radios mit MP3-fähigen CD-Laufwerken eine hervorragende Alternative zu CD-Wechslern. Selbst mit geringer komprimierten Dateien z.B. mit 192kbps lassen sich noch mehr als 8 Stunden auf einer CD-R unterbringen.

Will man auf externe Endstufen verzichten, sind 4 High-Power-Endstufen im Radio notwendig. Für externe Endstufen sind jedoch mind. 2 Vorverstärker-Ausgänge nötig, besser 4 bis 6, dann kann auch der Subwooferpegel direkt am Radio eingestellt werden. Hier sind Hochpegel-Outputs mit Ausgangsspannungen zwischen 3...5V von Vorteil, da so Störungen weniger Chancen haben.

## 2. Erster Schritt: ein neues Frontsystem

Bitte verstehen, dass ich kaum Empfehlungen für bestimmte Systeme geben kann. Aber einige Lautsprecher-Firmen wie z.B. Boston, Canton, Focal, Infinity, JBL, MB Quart, Morel oder Rainbow erlauben sich im allgemeinen keine großen Fehlritte bei den Frontsystemen. Pauschalurteile wie „Alles von Firma X ist gut oder sehr gut“ sind aber Blödsinn.

Zuerst ist einmal die Größe des Systems (Tieftöner) entscheidend. Einfache Dual-Konus-Lautsprecher im 10 cm-Format sind von vornherein nicht in der Lage genügend Pegel und Schalldruck selbst im Grundtonbereich (über 150 Hz) zu erzeugen. So sind mindestens 13 cm (5 ") Tieftöner zu verwenden, größere Pegel sind damit aber kaum reproduzierbar. Hat man keinen tieffrequenten (85...120 Hz) (aktiven) Hochpass, der die tiefen, leistungsraubenden Frequenzen fernhält, sind deshalb immer mind. 16 cm-Systeme (6,5 ") vorzuziehen.

Im allgemeinen ist, meiner Meinung nach, ein 16cm-Zweiwegesystem der beste Kompromiss in Sachen Platz, Pegel, Klang und Räumlichkeit. Zu den Lautsprechern gehört deshalb auch eine passive Frequenzweiche, die von den kleinen Hochtönern (z.B. 25 mm-Kalotte) die tiefen Töne fernhält, üblich geschieht das bei 4...5 kHz mit 12 dB/Oktave.

Problem vorn beim Türereinbau ist oft die Lautsprechertiefe, vor allem wenn nicht werksseitig vorgesehen ist, größere Tieftöner dort reinzusetzen. Wer aber auf spezielle, flache und oft auch teure Lautsprecherchassis mit speziellen Magnetwerkstoffen und Konstruktionsdetails verzichten will, muss wohl oder übel ein Doorboard benutzen, das an die Türverkleidung befestigt wird. Oft reicht es schon, die Türablage zu entfernen und den Lautsprecher über eine oder zur Not mehrere zugeschnittene(n) Spanplatte(n), die eine Dicke von 19...27 mm haben, weiter nach vorn zu setzen. Dazu die z.B. runde Platte (natürlich mit dem Loch für den Lautsprecher in der Mitte) auf die Türverkleidung schrauben und darauf dann den Lautsprecher samt Gitter befestigen. Wenn der Lautsprecher nun nur an der Verkleidung hängt, sollte der Zwischenraum und der Türraum mit Dämmmaterial und guter Befestigung beruhigt werden, sonst klappert die ganze Geschichte... Hinter der Verkleidung befindet sich im allgemeinen eine Folie. Sollte es nötig sein, sie zu zerschneiden, ist sie mit Kunststoff-Tape anschließend wieder zusammenzukleben, damit der Innenraum von den Witterungseinflüssen geschützt bleibt. Damit das Doorboard entsprechend gut an das Fahrzeug angepasst aussieht, wird das ganze mit Spachtelmasse verbessert und geschliffen. Manchmal reicht auch schon das „Bearbeiten“ der Plastik-Abdeckungen, um statt einem Zehner einen 16er in den Originaleinbauort zu kriegen.

Je nach Türraum sind im allgemeinen weitere Dämmmaterialien wie z.B. Bitumenmatten oder anderes Dämmmaterial nötig, sonst klingt alles manchmal etwas hohl und blechern. Auch ist so das Mitschwingen und Klappern von Fahrzeugteilen in den Griff zu kriegen.

Wohin mit dem Hochtöner bei Komponentensystemen? Vielfach benutzt wird oft das Spiegeldreieck. Ich würde ein tieferes Anbringen an der Tür eher empfehlen. Hier ist im allgemeinen Probieren notwendig, um ein gutes Ergebnis zu finden. Das Resultat ist abhängig vom System, der Weiche und dem Auto, es gibt kein generelles Optimum.

Ein komplettes, hochwertiges Frontsystem ist immer der beste Anfang um eine ausbaufähige Car-HiFi-Anlage aufzubauen. Gegenüber den originalen „Werks-Tröten“ ist bei entsprechender Signalquelle (Radio) immer eine deutliche Verbesserung spürbar.

### 3. Sind auch Lautsprecher hinten nötig?

Während die meisten Fahrer hier mit „Klar, natürlich“ antworten, fragen einige, die ihre Stereoanlage von zu Hause kennen, dann schon nach dem Sinn. Musik wird in Stereo so abgemischt, dass keine rückwärtigen Signale enthalten sind.

Also würde das Front-Staging, die Bühnenabbildung des Stereosignals, vor allem durch zu laute Hecklautsprecher sofort verschlechtert werden. Betreibt man aber einen Subwoofer hinten, sollte man auf den „Rearfill“ nicht ganz verzichten, aber nur so laut wie nötig, je leiser desto besser für das Frontsystem. Das ist auch das Problem von Soundboards, die so keine high-fidele und hochwertige Wiedergabe ermöglichen.

Soundboards sind Bretter, die komplette Mehrwegesysteme und teilweise auch Subwoofer enthalten und die werksseitige Heckablage im Auto ersetzen. Sie sind nur in einigen speziellen Anwendungen als Alternative sinnvoll.

Meine Empfehlung: Ein kleineres Dualkonus oder Zweiwege-Stereo-System (z.B. 13 cm Koax), das jedoch nicht das Stereosignal (L, R) , sondern das Differenz-Signal (L-R, R-L) wiedergibt. Das Ergebnis ist einfach verblüffend, da das Frontstaging nicht zerstört wird. Werden nach längerem Hören damit probeweise die Hecksignale abgeschaltet, klingt alles flach und mit wenig Tiefe. Im Differenzsignal sind nur die Raumanteile enthalten, Bass und Stimme löschen sich so fast vollständig aus. Vorsicht bei zu stark komprimierten (MP3, 128kbps) Material, eventuell werden hier die Phaseninformationen des Stereosignal zerstört, dass dieser Trick nicht mehr richtig funktioniert.

Eine passive Möglichkeit für High-Power- (Brücken-) Radioendstufen ist das folgende:

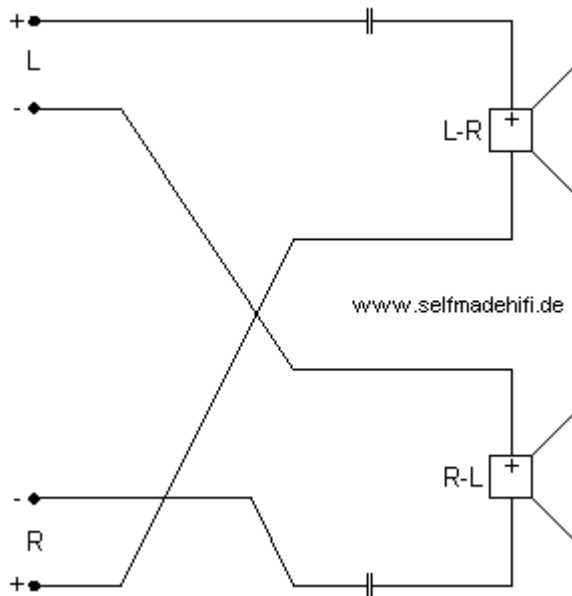


Bild 3.1

Bei Low-Power-Endstufen lässt man die Beschaltung für den unteren Speaker weg, und schaltet den linken Lautsprecher (unten) einfach in Reihe zum rechten Speaker, der Plus-Anschluss jedes Lautsprechers geht aber dann an den Plus jeder Endstufe. Die Kondensatoren halten die tiefen Frequenzen, die im Differenzsignal kaum vorhanden sind, von den Speakern fern. Hier sind bipolare Elkos (100 uF ... 220 uF) mit einem kleinen, nur wenige µF großen, parallelgeschalteten Folienkondensator zu verwenden. Man kann sie jedoch auch weglassen.

Bei brückbaren Car-HiFi-Verstärkern (also die meisten Endstufen) kann es mit diesem Verfahren aufgrund der inneren Verschaltung der Netzteile jedoch Probleme geben. Es wird dann eventuell ein Monosignal wiedergegeben oder es ist gar nichts zu hören.

Da beide Lautsprecher ein phasengedrehtes Signal wiedergeben, anstatt eines gleiches, hat das weiterhin den Vorteil, dass man die Hallanteile von hinten auch nicht orten kann.

Erst bei kompletten Decodern mit Dolby-Surround Pro Logic II (2) kann man auf diesen Kniff verzichten und die erzeugten Heckkanäle direkt anschließen.

Dieses Dolby hat gegenüber der ersten Generation den Vorteil, dass auch von Stereoquellen ein besserer Raumklang erzeugt werden kann. Trotzdem kann es auch mit Dolby Surround-kodiertem Material richtig umgehen.

Die Membranen hinten sind vor den Druckschwankungen, die durch einen Gehäuse-Subwoofer im Kofferraum entstehen können, abzuschirmen, notfalls auch nur mit Dämmwolle.

#### 4. Der Bassdruck kommt vom Subwoofer

Subwoofer sollen die ganz tiefen Frequenzen (z.B. Tiefbass) wiedergeben, die die kleinen Frontsysteme nicht, nicht tief genug, nur schwach und mit zu kleinem Pegel bringen. Im allgemeinen sind das Frequenzen unter 100 Hz, weshalb eine aktive Frequenzweiche dem Woofer mit einem Tiefpass zu größeren Frequenzen hin stark im Pegel reduziert.

Subwoofer nutzen die Schwäche des menschlichen Ohres, dass Frequenzen unter 200 Hz wegen der großen Wellenlängen räumlich nicht geortet werden können. Die obere Grenzfrequenz des Subwoofers sollte aber trotzdem immer unter 120 Hz liegen, da normale Filter nicht ideal sind und auch im Frequenzbereich über der Trennfrequenz noch Anteile durchlassen. Auch die Flankensteilheit des Filters sollte mindestens 12dB, besser 18dB oder 24dB/Oktave betragen. Filter mit geringer Güte (z.B. Linkwitz, Bessel) verbessern die Impulsivität des Basses.

Es gilt:

Um tiefe Frequenzen mit gleichem Pegel zu erzeugen, braucht man größere Membranflächen und so leider auch wesentlich mehr Leistung!

Viele zweifeln den Sinn und Zweck an. Wenn ich manche Bass-Orgien erlebe, muss auch ich den Kopf schütteln, denn Pegel von über 120 phon (an der Schmerzschwelle) außerhalb des Autos braucht man für „guten Klang“ sicher nicht.

Die einfachste Lösung ist oft ein Aktivsubwoofer, dieser benötigen keine externe Endstufe, er hat eine integriert und auch eine aktive Frequenzweiche ist eingebaut. Sie sind daran zu erkennen, dass sie neben dem Eingang (Cinch und evtl. High-Power-Eingang) einen Plus- und einen Minus-Anschluss zur Spannungsversorgung vom Bordnetz (12...14 V) haben. Aktivsubs gibt es nur als Gehäusesubwoofer. (Siehe 4.1)

Ein Lautsprecher kann im Tieftonbereich durch einige wesentliche Parameter beschrieben werden, die nach den Entwicklern als Thiele-Small-Parameter (TSPs) genannt werden. Die drei wichtigsten sind die Freiluftresonanzfrequenz  $f_s$  in Hertz (Hz), die Gesamtgüte  $Q_{ts}$  (ohne Einheit) und das Äquivalentvolumen  $V_{as}$  in Litern.

Neben dem Korbdurchmesser wird in der Regel noch der Nennscheinwiderstand, die gerundete Impedanz im Ohm (mit dem griech. Buchstaben Omega  $\Omega$  gekennzeichnet), angegeben, sie liegt meist bei gerundeten 4 oder 8  $\Omega$ .

Die Resonanzfrequenz beschreibt, an welcher „Stelle“ das erste Impedanzmaximum ist, die Güte  $Q_{ts}$  gibt darüber Auskunft, wie stark die Überhöhung ist. Der  $V_{as}$ -Wert beschreibt, einfach ausgedrückt, dann indirekt das Volumen, dass das Chassis dann für bestimmte Abstimmungen benötigt.

Je stärker das Lautsprechersystem an der Resonanz gedämpft wird, desto kleiner ist die Güte.

Hat jemand einen Subwoofer aus den USA und kann mit den Einheiten nichts anfangen, so wird umgerechnet:

Länge :	1 " (inch/Zoll)	= 2,54 cm
Fläche :	1 sq. in. (square inch)	= 6,45 cm <sup>2</sup>
Volumen :	1 cu. in. (cubic inch)	= 16,387 cm <sup>3</sup>
	1 cu. ft. (cubic foot)	= 28 317 cm <sup>3</sup> = 28,3 l (Liter)
Masse	1 lb. av. (pounds)	= 0,453 kg

Der Impedanzverlauf (Wechselspannungswiderstand) eines Lautsprechers sieht in Freiluft etwa so aus: ( $f_s=30\text{Hz}$ ,  $Q_{ts} = 0,40$ )

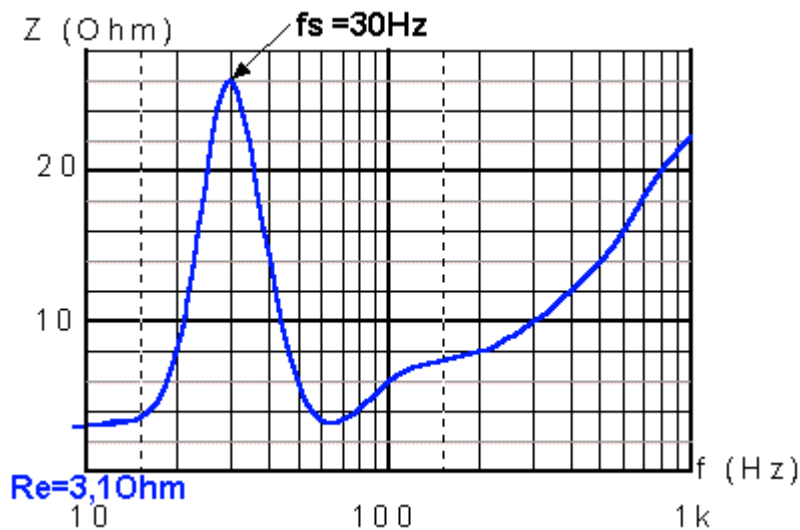


Bild 4.1

Es gibt verschiedene Arten von Subwoofern, die nun im einzelnen vorgestellt werden.

#### 4.1 Gehäusesubwoofer

Im allgemeinen ist das die klanglich beste Lösung. Eine zusätzliche Kiste oder Rolle wurde mit der Bauform und dem Volumen genau auf den Einzellautsprecher abgestimmt. Oft verwendet man Bandpässe, besser sind jedoch meist Bassreflexgehäuse oder geschlossene Boxen. Aber das Prinzip allein sagt nichts über die Eigenschaften aus, da man jedes individuell abstimmen kann. Industriell hergestellte Bandpässe werden oft unpräzise abgestimmt, um kleine Volumina zu ermöglichen.

Physikalische Faustregel: Je größer der Wirkungsgrad des Chassis (Schalldruck SPL) und je tiefer es gehen soll, desto mehr Volumen ist bei präziser Abstimmung (niedrige Güte) nötig.

Ausführliche Beschreibungen und Tipps dazu sind auf meiner Lautsprecher-Gehäuse-Seite im Internet.

Geschlossenen Kisten sind meist, richtige Abstimmung vorausgesetzt, den anderen in Sachen Präzision überlegen, reichen dafür aber nicht so tief hinab in den „Frequenzkeller“ wie z.B. Bassreflexboxen.

Bei offenen Lautsprechern sind die Vorder- und Rückseite der Membran nur durch eine Schallwand getrennt. Je größer die Ausdehnung, desto niedriger ist die untere Grenzfrequenz. Ab einer bestimmten Wellenlänge kommt es zum Druckausgleich, es gibt einen akustischen Kurzschluss. Deshalb kommen die Speaker in ein Gehäuse.

Man kann aber nicht jedes Chassis in jedes Gehäuse stecken, eine Möglichkeit ungefähr zu erkennen, was sinnvoll ist, nutzt man z.B. den Quotient  $X = \frac{f_s}{Q_{ts}}$  als Richtwert.

- $X$  sollte etwa 50 (zwischen 40 und 80) sein für geschlossene Systeme
- $X$  etwa 60 (50...100) für geschlossene Bandpässe
- $X$  etwa 100 (80...120) für Bassreflex-Systeme (BR)

Neben der Möglichkeit eine „Holzkiste“ in den Kofferraum zu stellen, ist es bei vielen Autos möglich, den Subwoofers in ein Gehäuse zu setzen, das an die Reserveradmulde vom Fahrzeug angepasst ist. Allerdings wird es meist bei Chassis mit Durchmesser von mehr als 25 ... 30 cm problematisch, da das Volumen hinter dem Lautsprecher im Vergleich zum Vas relativ klein ist.

Obwohl es theoretisch auch denkbar ist, Bassreflexsysteme so zu integrieren, wird es fast ausschließlich mit geschlossenen Systemen gemacht.

Hier sind Chassis mit niedriger Resonanzfrequenz ( $f_s < 30$  Hz), niedrigem Äquivalentvolumen und einer Güte  $Q_{ts}$  um 0,4 von Vorteil, diese haben jedoch ein etwas niedrigeren Wirkungsgrad. Auf keinen Fall dürfen Free-Air-Chassis mit höheren Güten, größeren Äquivalentvolumen und etwas höheren Resonanzfrequenzen ( $f_s > 40$  Hz) verwendet werden, da diese durch das zu kleine Volumen sofort dröhnen würden, Auch erlauben sie durch die höheren Resonanzfrequenzen keine tiefen Bässe. Problem hier ist meist, die ganze Konstruktion richtig dicht zu kriegen.

Um das Volumen in der Reserveradmulde wirklich voll nutzen zu können, muss natürlich das Rad raus. Damit man bei Reifeschäden nicht komplett liegen bleibt, helfen spezielle Reparatur-Kits. Seit geraumer Zeit gibt es auch spezielle Räder, die dank der Reifen- oder Felgenkonstruktion Notlaufeigenschaften haben. Diese können auch mit defektem Reifen bis zur nächsten Werkstatt gefahren werden.

#### 4.1.1 Geschlossene Gehäuse

Durch ein Gehäuse wird der akustische Kurzschluss vermieden, jedoch verändert der Lautsprecher sein elektrisches und akustisches Verhalten, abhängig von seinem Aufbau und dem Innenvolumen.

Sperrt man ein Chassis in ein Gehäuse, erhöht sich die Resonanzfrequenz des Chassis  $f_c$  und leider auch die Einbaugüte  $Q_{tc}$ . Je kleiner das Volumen, desto höher die Güte. Wird die Güte zu hoch, tritt ab etwa 0,7 im Frequenzgang eine Überhöhung auf, das System wird zunehmend unpräziser. Das heißt also, dass der  $Q_{ts}$ -Wert bei geschlossenen Gehäusen immer weit unter 0,7 sein muss, in der Praxis ist er dafür meist zwischen 0,4 und 0,6. Wie groß das Volumen nun sein muss, darüber gibt (berechnen oder simulieren) das Äquivalentvolumen  $V_{as}$  Auskunft.

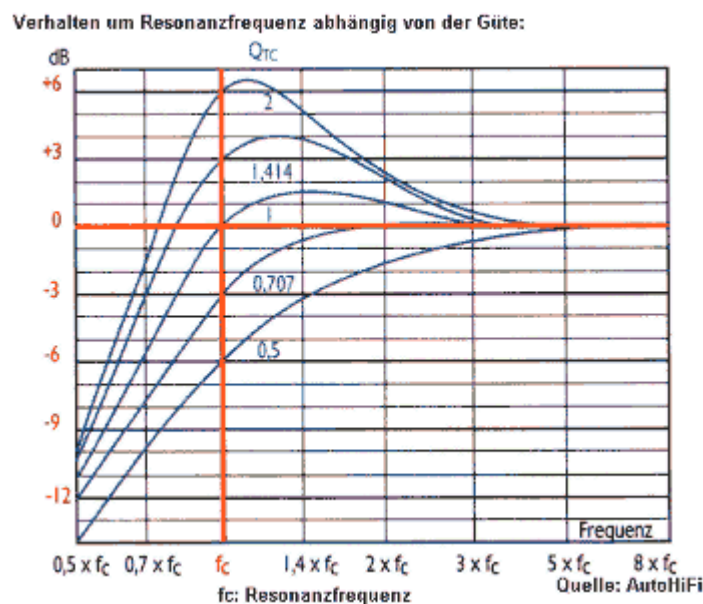


Bild 4.2 aus [21]

Um komplizierte Berechnungen zu sparen, sollte man es einfach mit Computerprogrammen simulieren lassen. Das geht z.B. mit BassCAD, das ist downloadbar auf meiner Internet-Seite. Mit dem Einbau steigt auch die Resonanzfrequenz, also steigt auch die minimal mögliche untere Grenzfrequenz. Das heißt, dass immer weniger Tiefbass wiedergegeben wird. Also wird selbst bei einem Lautsprecher mit einer niedrigen Resonanzfrequenz von 25Hz und einer Güte  $Q_{ts} = 0,35$  nur eine untere Grenzfrequenz von ca. 50 Hz (unabhängig von der Einbaugüte  $Q_{tc}$ ) erreicht. Erst z.B. durch ein Bassreflexsystem sind unter 30 Hz drin.

Der Zusammenhang zwischen angestrebter Einbaugüte  $Q_{tc}$ , und den TS-Parametern zeigt die linke Formel. Die sich dabei ergebene neue Einbauresonanzfrequenz  $f_c$  (nicht gleichzusetzen mit unterer Grenzfrequenz!) kann dann mit der rechten Formel errechnet werden. Nur bei  $Q_{tc}=0,707$  ist die untere Grenzfrequenz  $f_{gu}$  gleich der Resonanzfrequenz  $f_c$ .

Grundformeln:

$$\text{Einbaugüte } Q_{tc} = Q_{ts} \cdot \sqrt{\frac{V_{as}}{V_{box} + 1}}; \text{ Einbauresonanzfrequenz } f_c = f_s \cdot \frac{Q_{tc}}{Q_{ts}}$$

Wie groß muss die angestrebte Einbaugüte  $Q_{tc}$  aber sein?

Typische Abstimmungen sind folgende Werte:

- $Q_{tc} < 0,5$  (überdämpftes System) zu wenig Tieftondruck, Präzision hervorragend, aber nicht besser als bei einer Linkwitz-Abstimmung
- $Q_{tc} = 0,5$  (Linkwitz- oder Riley-Abstimmung) Präzision hervorragend, Pegel bei der Einbauresonanz  $f_c$   $-6$  dB
- $Q_{tc} = 0,577$  (Bessel-Abstimmung) sehr gute Präzision, Pegel bei  $f_c$  ist  $-4,8$  dB
- $Q_{tc} = 0,707$  (Butterworth-Abstimmung), noch gute Präzision, Pegel bei  $f_c$  (ist hier auch untere Grenzfrequenz)  $-3$  dB, ist der meistverwendete Kompromiss
- $Q_{tc} > 0,707$  (Chebycheff-Abstimmung), schlechte Präzision, Pegel ist ( $Q_{tc} = 1$ ) bei  $f_c$   $0$  dB, deshalb Überschwingen, höherer Schalldruckpegel

Hier sind noch einige weitere Hinweise zur Einbaugüte  $Q_{tc}$ : Sie sollte je nach Geschmack zwischen  $0,5$  und  $0,8$  liegen. Je tiefer sie ist, desto präziser ist die Wiedergabe des Lautsprechers. Die Fans geschlossener Gehäuse wählen oft große Volumina und erreichen so extrem präzise aber leider nicht so tiefe voluminöse, füllige Bassschläge durch die niedrige Einbaugüte. Warum bei größeren Güten die Präzision schlecht wird? Das mag zwar manchem nicht einleuchten, wer sich aber die Impuls- oder Sprungantwort in dem Volumen anschaut, wird es verstehen. Präzision / Impulsivität ist die Eigenschaft, möglichst schnell auf eine Änderung des Signals zu reagieren und dabei wenig Abweichungen ohne großes Nachschwingen zu erreichen.

### 4.1.2 Bassreflexsysteme

Bei Bassreflexsystemen benutzt man im Unterschied zu den geschlossenen Gehäusen eine zusätzliche Resonanz nach dem Prinzip des Helmholtz-Resonators, um den Frequenzgang nach unten hin zu erweitern. Die Druck-Energie, die bei geschlossenen Gehäusen in Wärme umgewandelt wird, erzeugt durch das Reflexrohr eine zusätzliche Schalldruckquelle. Jedoch erzeugt auch ein BR-System keinen höheren Pegel als ein geschl. System, der Frequenzgang wird nach unten erweitert, dort geht die Energie hin.

Der Qts-Wert sollte für Bassreflexsysteme zwischen 0,25 und 0,4 sein. Das liegt daran, dass man die gewünschte Einbaugüte wesentlich geringer wählen muss als bei geschlossenen Systemen, je nach Abstimmung zwischen 0,3 und 0,5. Je größer das Gehäuse, desto kleiner ist die mögliche gewünschte zusätzliche Resonanzfrequenz (Tuningfrequenz) und umso tiefer liegt auch die mögliche untere Grenzfrequenz. Aber dabei wird der Bass immer unpräziser. Das bedeutet auch eine größer werdende Welligkeit, sobald die Tuningfrequenz (Abstimmungsfrequenz des Rohres) kleiner als die Freiluftresonanzfrequenz  $f_s$  wird. So sollte das Volumen nicht größer als das Äquivalentvolumen des Chassis sein, will man präzisen Bass und keine große Welligkeit.

So entstehen bei einer Bassreflexabstimmung zwei Resonanzfrequenzen, eine vom Chassis im Gehäuse und eine tiefere vom Rohr. Bei passiven Frequenzweichen muss die obere „linearisiert“ werden, die untere lässt man meist stehen, dies erweitert den Frequenzbereich noch einmal ein wenig. Im allgemeinen sind passive Weichen für Subwoofersysteme aber wegen des großen Aufwands und der spezifischen Abstimmung für jedes Chassis nicht besonders empfehlenswert.

Mit höherer Gesamtgüte (z.B.  $Q_{ts} > 0,38$ ) wird das Volumen meist sehr groß, da die Dämpfung der Resonanzfrequenz zu gering ist. Ist die Güte jedoch zu niedrig ( $Q_{ts} < 0,30$ ) fehlt der Tiefgang.

Die Abstimmungsfrequenz des Rohres ist vom Gehäusevolumen hinter dem Chassis, der Rohrlänge und dessen Querschnitt anhängig. => Bei mehreren Rohren geht in die Berechnung der Gesamttinnenquerschnitt ein. Je kleiner das Volumen und je größer der Querschnitt, desto länger muss das Rohr werden.

Als ungefährender Richtwert gilt meist: ( $A_{rohr}$  Innenquerschnitt des Reflexrohrs in  $cm^2$ , V in l)

$$V_{box} = 15 * V_{as} * Q_{tc}^{2,87} \quad l_{rohr} = \frac{168\,939 * A_{rohr} * Q_{ts}^{1,8}}{f_s^2 * V_{box}} - 0,88 * \sqrt{A_{rohr}} \quad [21]$$

Weiterhin ist darauf zu achten, dass das Reflexrohr keinen zu kleinen oder zu großen Querschnitt besitzen darf und nicht zu kurz oder zu lang ist. Der Minimale Querschnitt des Rohres darf ein Zehntel des Membrandurchmessers auf keinen Fall unterschreiten, ein guter Kompromiss ist etwa ein Fünftel des Membrandurchmessers. Also bei einem 30 cm Korb, der etwa eine 25 cm-Membran hat, sind ein 8 cm Rohr das absolute Minimum, besser mit etwas Reserve ist hier Minimum 10 cm (1/5 der Fläche wären 11,2 cm).

### 4.1.3 Bandpasssysteme

Geschlossene Bandpässe kombinieren das geschlossene und das Bassreflexsystem. Der Vorteil ist, dass man auch eine obere Grenzfrequenz hat und so einen zusätzlichen Tiefpassfilter einsparen kann, weshalb das System meist Verwendung in Car-Subwoofern findet.

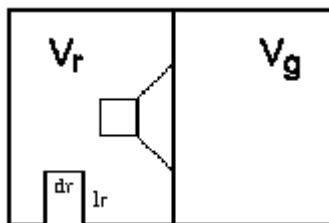


Bild 4.3

Wie in Bild 4.3 zu sehen, benutzen geschlossene Bandpässe ein geschlossenes und ein Bassreflex-Volumen. Der gesamte Schalldruck kommt ausschließlich durch das Reflexrohr, der meist als entsprechend querschnittstarker Tunnel ausgeführt wird. Er muss mindestens so groß sein wie beim Bassreflexsystem, damit keine Strömungsgeräusche entstehen. Zu groß ist aber auch schlecht, da höherfrequente Töne (Mitten) mit nach außen dringen könnten.

Neben geschlossenen Bandpässen gibt es andere Systeme, wie mehrfach ventilierte Bandpässe, die mehrere Kammern und diverse Rohre oder Tunnel besitzen. Bedeutende Klang-Vorteile gegenüber den einfachen Systemen gibt es jedoch nicht.

Bei Bandpässen gelten jedoch die gleichen Beziehungen wie bei geschlossenen und Bassreflex-Systemen. Je tiefer die untere Grenzfrequenz, desto größer muss das Volumen sein. Die Abstimmung ist aber insgesamt etwas schwieriger, da auch die Resonanzfrequenz die Welligkeit beeinflusst. Das geschlossene Volumen  $V_g$  beeinflusst die Einbaugüte, die Reflexabstimmung die Breite und Welligkeit. Das heißt, dass man große Volumen benötigt, will man einen Bandpass „gut“ abstimmen. Das geschlossene Volumen ist genauso groß wie beim Einbau in eine normale geschlossene Box. mit gleicher Güte. Das heißt, ein Bandpass-Subwoofer benötigt insgesamt mehr Volumen als vergleichbares geschlossenes oder Bassreflex-System mit gleicher Güte und Welligkeit. Da sich so etwas schwierig verkaufen lässt, (z.B. 200 l Gehäuse bei 38ern), werden im Consumer-Bereich nicht so tiefe, aber unpräzise Abstimmungen (z.B.  $Q_{tc} \geq 1$ ) gewählt, die jedoch meiner Meinung nach mit Car-HiFi wenig zu tun haben. Vorteil neben dem kleineren Gehäuse ist der Wirkungsgradgewinn von einigen Dezibel. Vor allem bei Bandpässen lassen sich Push-Pull-Systeme (Isobarik-Prinzip) gut aufbauen, der Vorteil ist eine Volumenverkleinerung. Dabei werden mehrere Chassis akustisch hintereinander geschaltet.

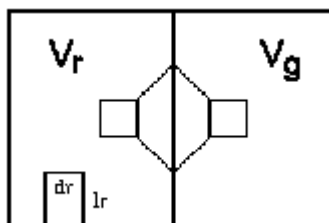


Bild 4.4

Mit jeder Verdoppelung der Chassis-Anzahl halbiert sich das Volumen. Man kann also alle Berechnungen für 2 Chassis mit halbem Vas durchführen. Dadurch sinkt jedoch der Wirkungsgrad um 3 dB, da man die doppelte Leistung (2 Chassis) braucht, aber nur eine Membranfläche verwendet. Damit es optimal funktioniert, sollte das Volumen zwischen beiden Chassis so gering wie möglich sein. Deshalb schraubt man im allgemeinen die beiden Tieftontreiber frontal aufeinander, wie in Bild 4.4 zu sehen. Dann muss noch ein Lautsprecher verpolt angeschlossen werden, damit bei einer positiven Halbwelle auch beide Membranen in die gleiche Richtung schwingen. Da die Chassis-Rückseite aber klanglich alles andere als optimal ist, darf man dieses System nur im Bass-Bereich (< 200 Hz) z.B. bei Subwoofern einsetzen.

Ein Bandpass hat eine Mittenfrequenz und eine Bandbreite, je schmaler das Band sein soll (Siehe  $S=0,7$  in Bild 4.5), desto geringer lassen sich die Welligkeiten halten.

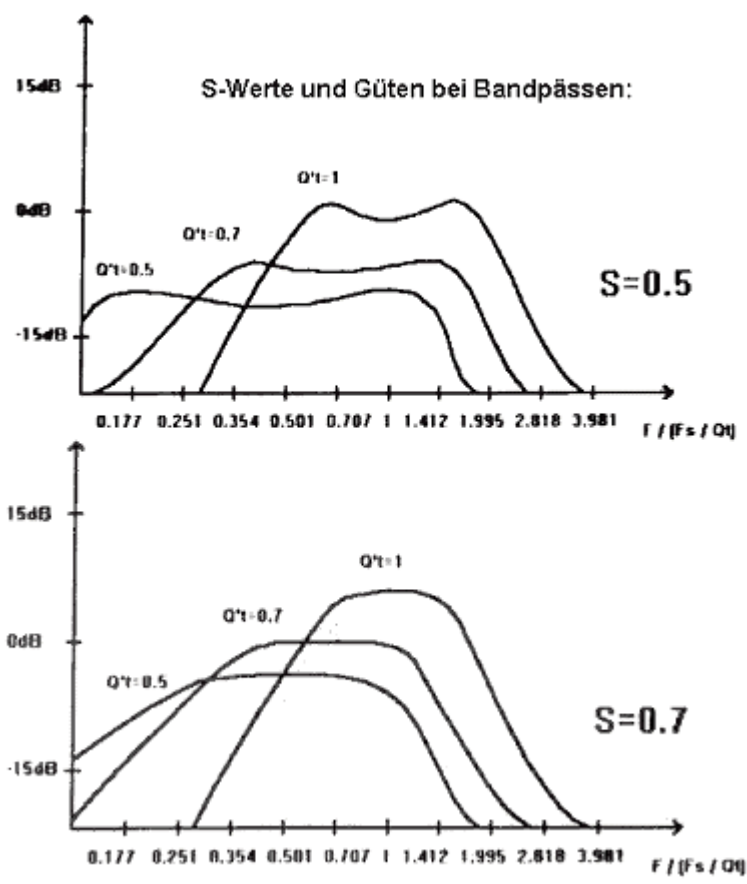


Bild 4.5 [24]

## 4.2 Free-Air-Systeme

Sogenannte Free-Air-Systeme in Autos nutzen ein großes Volumen, den Kofferraum. Deshalb kann die notwendige Güte Qts auch zwischen 0,6 und 0,7 sein. Free-Air-Betrieb bedeutet, dass der Lautsprecher durch seine hohe Gesamtgüte für geschlossene Gehäuse mit sehr großen Volumen gedacht ist. Deshalb benutzt man kein zusätzliches Volumen, sondern verwendet den Kofferraum, der im allgemeinen einige hundert Liter groß ist. Da dieses System nicht richtig dicht abgestimmt werden kann, ist die Qualität oft schlechter. Free-Air-Chassis sind klanglich meist nicht optimal und stören meiner Meinung nach auch den Innenraum. Die Wahrscheinlichkeit ist auch geringer, dass das Auto aufgebrochen wird, wenn der Innenraum einfach „biederer“ aussieht. Wenn man die Ablage hinten und auch das Doorboard mit Akustikbespannstoff bezieht, sieht man fast gar nichts, was das Risiko wieder reduziert. Jedoch muss man schon beim Kauf aufpassen. Wenn man sich die Qts-Werte der Lautsprecher ansieht, die als Free-Air verkauft werden: Teilweise Werte über 1,0! Das kann nicht gut klingen, nur dröhnen!

Das Free-Air-Prinzip erlaubt aber die Möglichkeit, den großen Kofferraum nicht zu verlieren, wenn man etwas transportieren möchte, und trotzdem tiefe Bässe zu erzeugen. Vorausgesetzt jedoch, man verwendet das richtige Chassis zum passendem Kofferraum. Abhängig vom Volumen des Kofferraums (so auch Gepäck-Größe) verändert sich der Tiefgang und die Präzision.

Aufpassen muss man trotzdem bei der Ablage, damit sich die Lautsprecherchassis nicht zu Geschossen entwickeln, falls es zum Unfall kommt.

**Nur geeignete Subwoofer einsetzen, das heißt z.B. keine Free-Air-Chassis in einer Kiste oder umgekehrt. Also auch nur Chassis kaufen, wo die TSPs bekannt sind.**

Bei kleinem Kofferraum ist es möglich und auch sinnvoll, vorn ein 3-Wege-System (z.B. mit 20 oder gar 25 cm Tieftöner) einzubauen und den Sub wegzulassen, das ist dann allemal sinnvoller als einer Mini-Rolle irgendwo.

Große Subwoofer also z.B. 38er (15 “), 46er (18 “) oder noch größere Show-Exemplare haben eine schwere Membran, die gar nicht so schnell folgen kann. Von Impulsivität kann meist keine Rede mehr sein, so dass der Bass schwammig wird. Ich würde im Auto maximal 30 cm Subs empfehlen.

### 4.3 Lautsprecherwiderstand

4 Ohm / 8 Ohm ? Erst mal prinzipiell: Der elektrische Widerstand gibt an, welchen Widerstand dem Strom entgegengestellt wird. Eine Spannungsquelle, wie eine Endstufe stellt eine Spannung U zur Verfügung, je kleiner der Widerstand R, der daran angeschlossen wird, desto größer der Strom ( $I=U/R$ ). Das Produkt aus Strom und Spannung ergibt dann die Leistung ( $P=U*I$ ). Die Angaben der Impedanz in  $\Omega$  betrifft vor allem die Schwingspule. Der ohmsche Anteil der Spule z.B.  $R_e = 3,1 \Omega$ , (gerundet  $Z = 4 \Omega$ ) begrenzt den Maximalstrom, der durch die Endstufe fließt. (Siehe dazu unter Punkt 5.5)

Wie zuvor schon ausgeführt, ist der Widerstand jedoch nie konstant, er ändert sich abhängig von der Frequenz, ist aber nie niedriger als der Gleichstromwiderstand  $R_e$ . So ist der Nennscheinwiderstand oder die Impedanz Z gerundet immer 15...40% höher als  $R_e$ .

Will man mehrere Lautsprecher zusammenschalten, gibt es dafür zwei Möglichkeiten: die Gesamtimpedanz ändert sich dabei jedoch. Schaltet man zwei  $4 \Omega$  -Chassis in Reihe, liegt sie insgesamt bei  $8 \Omega$ , schaltet man sie parallel, halbiert sie sich auf  $2 \Omega$ . Jedoch immer nur absolut gleiche Lautsprecher (vor allem in Serie) zusammenschalten!

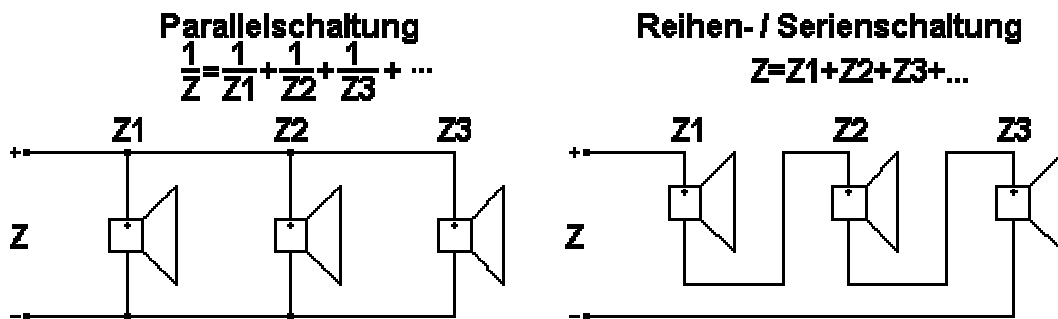


Bild 4.6

Jeder Lautsprecher hat einen „Plus- und einen Minuspol“. Oft ist der Plus nur durch einen farbigen Punkt gekennzeichnet. Eine Schalldruckerhöhung findet nur statt, wenn alle Membranen phasenrichtig (zur gleichen Zeit mit der gleichen Auslenkung) schwingen. So ist die Polarität unbedingt zu beachten. Nur wenn am „Plus“ eine positive Spannung anliegt, bewegt sich die Membran nach vorn. An selbstgebauten Weichen kann trotzdem eine Verpolung beim Hoch- oder Mitteltöner, b.z.w. dem Subwoofer richtig sein, da Frequenzweichen die Phase verschieben. Bei vorgefertigten Weichen, die zum Lautsprechersystem gehören, ist das jedoch schon berücksichtigt.

Frequenzweichen, egal wie viele Einzellautsprecher (jeder mit  $4 \Omega$ ) daran hängen, verändern bei richtiger Abstimmung die Impedanz nicht, da sie in dem jeweils von dem Chassis nicht benutzten Frequenzbereich den Widerstand stark anheben, damit die Gesamtimpedanz nicht unter  $R_e$  sinkt.

Weitere Hinweise dazu unter Punkt 5.5 Impedanz.

## 5. Zusätzliche Endstufen im Auto

Zu einer kompletten Car-HiFi-Anlage gehören neben dem Autoradio und den Lautsprechern zusätzliche Endstufen. Aber warum? Mit einer einfachen Endstufe sind bei 12 V an einen 4Ω Lautsprecher maximal 3,5 W Sinus erreichbar.

$$\text{Leistung } P = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} \quad \text{Effektivspannung von Sinusspannungen } U_{\text{eff}} = \frac{U_p}{\sqrt{2}}$$

Die Ausgangsspannung U, die eine Transistorstufe erzeugen kann erreicht maximal 12 V / 2 = 6 V<sub>pp</sub> = 4,2 V<sub>eff</sub>.

Durch Brücken von 2 Endstufen, die etwa die doppelte Ausgangs-Spannung liefern, ist so etwa die vierfache Leistung (also 14 W) möglich. Mehr geht bei 12 V und 4Ω-Lautsprechern nicht. Das ist auch der Grund, weshalb man High-Power-Radioendstufen nicht weiter brücken kann, sie sind schon gebrückt und alle Endstufen haben die gleichen Netzpotentiale. Das Kfz-Bordnetz bietet durch die Lichtmaschine noch etwa 15 % mehr (ca. 13...14 V) Spannung, was die theoretische Ausgangsleistung noch mal etwas ansteigen lässt. An 2 Ω ist so durch die halbe Impedanz noch eine Leistungsverdopplung drin, dabei fließen jedoch schon mehrere Ampere allein in den Lautsprecherleitungen, so dass selbst bei 4 gebrückten Endstufen 20 A-Sicherungen und dicke Kabel (mind. 2,5qmm) notwendig wären. Die realen Ausgangsleistungen liegen nochmals darunter, da es weitere Verluste gibt und der Klirrfaktor mit höherer Leistung ansteigt. Laut HiFi-Normen darf er bei der Sinusleistung aber max. 0,1 % betragen. Die oft von den Herstellern angegebenen Ausgangsleistungen, auch wenn sie dauerhaft erzielt werden, liegen höher, da man hier höhere Klirrfaktoren (teilweise bis 1 %, also hörbar) in Kauf nimmt. Neue Autoradios besitzen MOSFET-Endstufen, gebrückt sind damit theoretisch bei etwa 13 V (durch fehlende Sättigungsspannung der Bipolar-Transistoren) bis maximal 20 W sinus erreichbar.

Um höhere Leistungen zu erreichen, sind größere Betriebsspannungen (meist zwischen 25 und 80 V) nötig, die in externen Endstufen durch zusätzliche Netzteile erzeugt (hoch transformiert) werden. Die kosten natürlich auch mehr. Diese Netzteile in den Verstärkern bestimmen auch maßgeblich die Qualität (Stabilität, Sauberkeit) der Endstufe.

### 5.1 Leistungsbedarf

Leistung ist nicht alles. Da das menschliche Gehör logarithmisch arbeitet, wird für die doppelte Lautstärke (+10 dB) nun mal die 10-fache(!) Leistung benötigt. Aber natürlich gilt „Viel hilft viel.“ Um große Lautstärken zu erreichen, benötigt man nun mal auch hohe Leistungen. Der Einfluss der Leistung wird aber oft auch überschätzt.

Bei Lautsprechern gibt man den Wirkungsgrad und die Maximalleistung an: Der Wirkungsgrad (SPL) gibt den Schalldruck z.B. 90 dB bei 1 Watt in 1 Meter Entfernung an. Durch zusätzliche Leistung steigert sich nun der Schalldruck. Die Belastbarkeit durch die große Wärmeentwicklung in den Schwingspulen hat ihre Grenzen, so erhöht man den Schalldruck weiter durch die Anzahl der Lautsprecher, da mehr Chassis eine höhere Belastbarkeit haben, und sich Membranfläche und linearer Hub nicht beliebig steigern lassen. Es erhöht sich auch die Temperatur der Schwingspule, so dass der Widerstand ansteigt und sich damit die abgegebene Leistung nicht weiter erhöhen lässt.

Zu den Definitionen:

Sinusleistung heißt definierte Dauerleistung. So müssen die angegebenen Leistungen von der Endstufe dauerhaft (>24h) abgegeben b.z.w. vom Lautsprecher vertragen werden. Dabei sind die Abweichungen zwischen den Normen nur gering, egal ob laut DIN-Norm nur bei einer Frequenz (1 kHz) oder wie bei der amerikanischen RMS-Angabe im Frequenzbereich (20Hz bis 20kHz) gemessen wird. Auch dürfen sich die Sinustöne nur in sehr kleinem Umfang verändern, also muss der Klirrfaktor sehr niedrig sein(<0,1%). Der Klirrfaktor gibt den Anteil an Oberwellen zur Grundschiwingung an. Sinusleistungen sind die am besten vergleichbaren Werte.

Die Musikleistung oder MPO-Angabe (Music Power Output) geht nicht immer von Sinustönen aus, auch werden die abgegebenen Leistungen nur für kurze Zeit z.B. bis zu zwei Sekunden erzielt. Die Vergleichbarkeit hält sich deshalb in Grenzen. Diese Angabe ist deshalb (im Schnitt 20-80%) höher als die der Sinus-Dauerleistung.

Die Angabe der Impulsleistung oder PMPO (Peak Music Power Output) ist jedoch nicht genormt und liegt oft weit über den Angaben der Sinusleistung. So sollten diese Angaben nie als Maßstab herangezogen werden. Denn 50 reale Watt sinus entsprechen vielleicht 70W Musik, könnten aber über irrealen 150W (Impuls) sein.

Rechen-Regeln

Das Dezibel ist das 10-fache eines (dekadisch) logarithmierten (P) Leistungsverhältnisses:

$$dB = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_2}{U_1}\right)$$

halbe Lautstärke: -10 dB	doppelte Lautstärke +10 dB
halber Schalldruck: -6 dB	doppelter Schalldruck: +6 dB
halbe Leistung: -3 dB	doppelte Leistung: +3 dB
vierfache Leistung: +6 dB	zehnfache Leistung: +10 dB
doppelter Abstand: -6 dB	doppelte Anzahl (mit so auch doppelter Leistung) +3 dB

Entgegen einiger Meinungen (stand auch schon in Car-HiFi-Zeitungen und Büchern!): Schließt man zwei gleiche 8-Ohm-Chassis parallel an eine stabile Endstufe an, erhöht sich der Schalldruck durch die Leistungsverdoppelung um 3 dB und nicht um 6 dB, wie oft zu lesen. Grund dafür: Durch 2 Chassis verdoppelt sich nicht der Schalldruck, was +6 dB bedeuten würde, sondern leider nur die abgestrahlte Schall-Leistung woraus die +3 dB resultieren. Das heißt, es gibt keine Wirkungsgradsteigerung durch das Erhöhen der Lautsprecher-Anzahl! Das bedeutet auch, dass man 10(!) gleichlaute Schallquellen benötigt, um eine (empfundene) Lautstärkeverdoppelung (+10 dB) zu erreichen. Alle diese Angaben gelten unter Freifeldbedingungen. In der Praxis kommen weitere Abweichungen durch Interferenzen, Reflexionen, unterschiedliche Richtwirkung etc. Wer das nicht glaubt: Schau' in professionelle Bücher über technische Akustik. Siehe Quelle [01].

Für Frontsysteme, vor allem wenn sie mit einem ca. 80...100 Hz / 12 dB-Hochpass entschärft wurden, genügen im allgemeinen 50...100 W (je nach Wirkungsgrad) pro Kanal vollkommen.

Für Subwoofer kann es je nach Wirkungsgrad erforderlich sein, erheblich höhere Leistungen zu nutzen, aber 1000 W und mehr, würde ich als zu viel ansehen. Der Bass muss in einem sinnvollen Verhältnis zum restlichen System stehen. Wer will auch schon Ohrenschäden?

## 5.2 Kabelquerschnitte

Da im Auto geringe Spannungen (12-14 V) herrschen, aber man ebenfalls große Leistungen haben will, sind die Ströme um ein Vielfaches (ca. 20fach) höher. Damit am Leitungsende noch genug ankommt und die Kabel nicht brennen, sind große Leitungsquerschnitte erforderlich.

Da gilt  $U=I \cdot R$ , heißt das, dass durch den 20fach höheren Strom auch die 20fache Spannung über das gleiche Stück Kabel abfällt. Und da die Leistung  $P=U \cdot I$ , muss der elektrische Widerstand des Kabels die 400fache Leistung vertragen! So braucht man sich nicht wundern, dass daumendicke Kabel im Auto verlegt werden müssen. Es fließen bei großen Endstufen Ströme, mit denen man auch schweißen könnte.

dazu folgende Tabelle (angelehnt an DIN 57100 Teil 523/430) Das sind alles die maximalen Dauerströme der Kupfer-Leitung, die nicht über längere Zeit überschritten werden dürfen.

Querschnitt	d (mm)	AWG	R (mΩ/m)	max. Dauerstrom (A)	Sicherung (A)	Leistung 12V/14V
0,75qmm	0,977	18	22,7	12	6	140W / 160W
1,0qmm	1,128	17	17,0	15	10	170W / 210W
1,5qmm	1,382	15	11,3	18	16	210W / 250W
2,5qmm	1,784	13	6,80	26	20	310W / 360W
4qmm	2,257	11	4,25	34	25	400W / 470W
6qmm	2,764	9	2,83	44	35	520W / 610W
8qmm	3,192	8	2,13	(50)	(40)	600W / 700W
10qmm	3,568	7	1,70	61	50	730W / 850W
16qmm	4,514	5	1,06	82	63	980W / 1100W
20,4qmm	5,096	4	0,83	(90)	(70)	1080W / 1260W
25qmm	5,642	3	0,68	108	80	1,3kW / 1,5W
35qmm	6,676	2	0,49	135	100	1,6kW / 1,8kW
50qmm	7,979	0	0,34	168	125	2,0kW / 2,3kW
70qmm	9,441	-	0,24	207	160	2,4kW / 2,8kW
95qmm	11,00	-	0,18	250	200	3,0kW / 3,5kW

Der Durchmesser d errechnet sich direkt aus dem Querschnitt und ist der minimal mögliche bei starrem Draht. Das AWG-Maß (American Wire Gauge) gibt die ungefähre Drahtstärke nach dem amerikanischen Format an. R ist der elektrischen Widerstand des Kabels bei 1 m Länge in Milliohm. Für die Ströme und Sicherungen wird Gruppe 2 angenommen, für bewegliche Leitungen. Der Dauerstrom in Ampere ist der maximal mögliche. Der angegebene Sicherungswert gilt für konventionelle Schmelzsicherungen und ist auch auf Thermo-Sicherungsautomaten übertragbar. Sicherungen (engl. fuses) vertragen das 1,35-fache des Nennstromes für bis zu 30 Minuten, selbst beim doppelten des Nennstroms kann es zwischen 2 und 60 sec. dauern, bevor ausgelöst wird.

Bei der Auswahl des Stromversorgungskabels werden alle Ausgangsleistungen addiert, dann mit 1,5...2 multipliziert, um die Verluste einzubeziehen Angenommener Wirkungsgrad 0,5...0,7 bei AB-Endstufen. Dieser Typ ist der am meisten benutzte im Home- und Car-HiFi-Bereich. Je nach Aussteuerung kann der Wirkungsgrad auch bei AB-Endstufen stark abfallen. Wenn man auf der sicheren Seite liegen will, nimmt man deshalb immer die doppelte Ausgangsleistung als Nennleistung an.

Zum Beispiel bei Endstufen mit 4x120W

$$I_{\max} = 2 \cdot 4 \cdot \frac{120W}{U_B} = \frac{960W}{13,5V} = 71A$$

Das Minimum nach der Tabelle sind 16 qmm, besser 25 qmm, denn viel hilft viel, auch bei niedrigeren Leistungen lieber größere Querschnitte wählen, um die Verluste der Kabel zu minimieren. Auch ist vor allem bei hohen Leistungen ein Kabel sinnvoll, das nicht nur so dick wie möglich, sondern auch so kurz wie nötig ist. Das ist durch eine intelligente Verlegung oder Ergänzung einer 2. Autobatterie im Kofferraum möglich. Um eine zweite Batterie im Heck sinnvoll zu nutzen und auch die vorhandene Fahrzeugbatterie nicht zu entladen, sind spezielle Laderegler einer einfachen Parallelschaltung im allgemeinen vorzuziehen.

Bei einer angenommenen Bordspannung von 13,5 V beträgt der Widerstand der Leitung (Kupfer 16 qmm, 2 x 6 m lang) 13,35 Milliohm

$$R = \sigma \cdot \frac{l}{A} = 0,0178 \cdot \frac{2 \cdot 6m}{16mm^2} = 13,35m\Omega$$

$$U = R \cdot I = 13,35m\Omega \cdot 71A = 0,95V$$

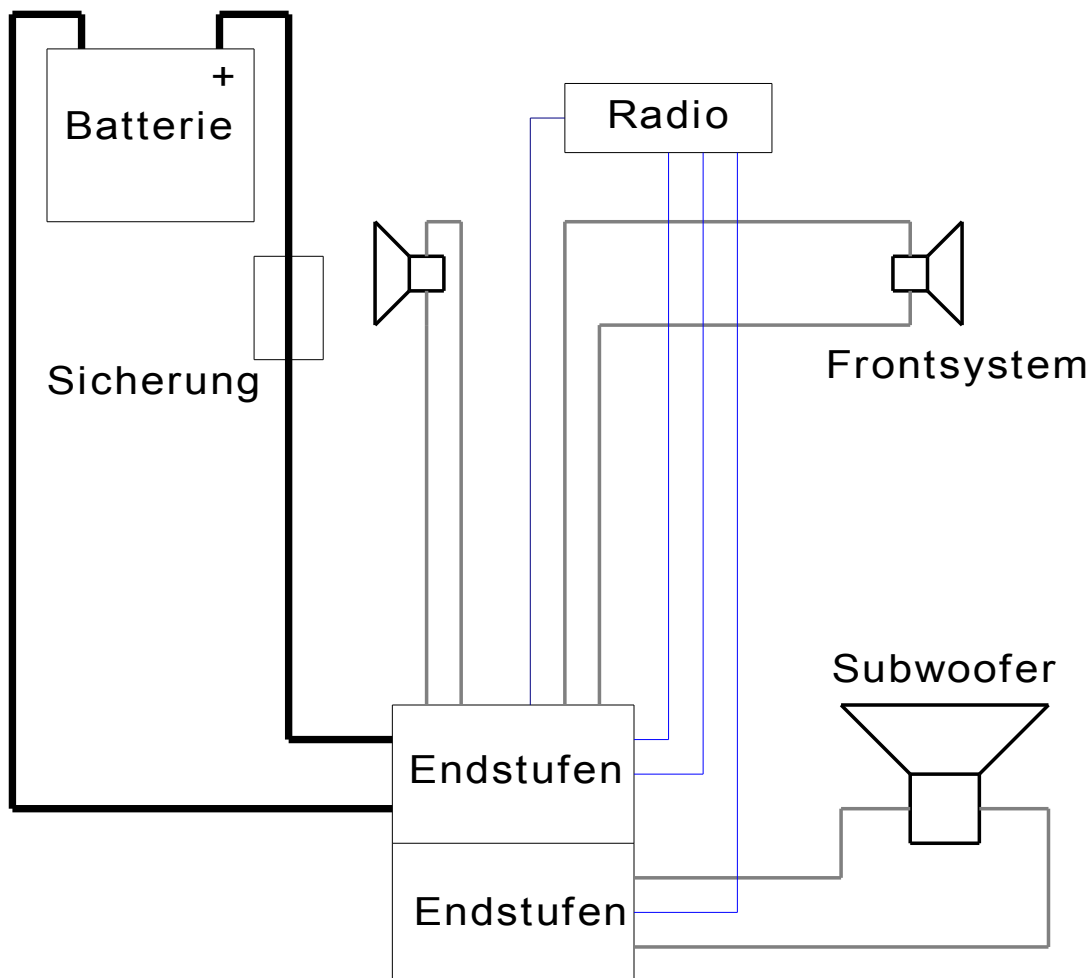
$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$$

Angenommen wird, dass 2 Kabel mit diesem Querschnitt (+ und -) nach hinten geführt werden, ohne zusätzliche Erdung der Endstufe an der Karosserie. Beim berechneten Dauerstrom fällt also fast 1 Volt ab, es kommen nur knapp 93 % (12,5 V) hinten an. Bei Verwendung von 25 qmm-Kabel ( $R = 8,5 m\Omega$ ) fallen „nur“ 0,6 V ab. Und dadurch wird entsprechende Leistung in Form von Wärme vom Kabel abgegeben, beim oben verwendeten 16mm<sup>2</sup> Kabel etwa 70 W!

Wieso diese Rechnung? Diese Spannungsschwankungen an der Endstufen wirken klangverschlechternd und sorgen evtl. auch für Störungen.

### 5.3 Komplettverkabelung:

Die obigen Kabelquerschnitte gelten für die Versorgungsleitungen (Dauerplus) von der Batterie. Dieses Plus-Kabel muss jedoch zusätzlich abgesichert werden, eine Sicherung direkt hinter (max. 30cm) der Batterie sorgt dafür, dass das Kabel bei einem eventuellen Kurzschluss nicht überlastet wird. Die Sicherungswerte sind jedoch besser kleiner zu wählen, als in der obigen Tabelle mit den Maximalangaben.



Da sehr hohe Dauerströme selbst ohne Eingangssignal die Batterie entladen würden, wird die Endstufe über den Remote-Ausgang des Autoradios nur bei aktiviertem Radio eingeschaltet. Der Remote-Out wird auch für die Ansteuerung z.B. für automatische Motorantennen verwendet. Ist das Radio eingeschaltet, liegen hier 12 V an, die die Endstufe einschalten. Hier fließen jedoch nur kleine Steuerströme im mA-Bereich, mehr als z.B. 300mA sollte man unbedingt vermeiden.

Die Ausgänge der Endstufen werden mit den zugehörigen Lautsprechersystemen verbunden, dabei darf jedoch kein Kabel eine Verbindung nach Masse haben. Die Eingänge der Endstufe sind üblicherweise mit Cinch-Buchsen (Line-in) versehen, die über ein abgeschirmtes Kabel mit den Vorverstärkerausgängen (Line-out) des Radios verbunden werden. Bietet ein Radio nur 2 oder 4 Vorverstärkerausgänge und man will mehrere Endstufen betreiben, können Y-Adapter vor den Endstufen verwendet werden. Es gibt auch Verstärker mit weiteren Line-Outs und integrierten Aktivweichen, das erleichtert oft den Anschluss. Fehlen Cinch-Ausgänge am Radio, helfen Adapter oder eine kleine Schaltung

weiter. (auf [www.selfmadehifi.de](http://www.selfmadehifi.de)) Auch das Lautsprecherkabel sollte einen sinnvollen Querschnitt (je nach Leistung 2 x 1,5mm<sup>2</sup> bis 2 x 4mm<sup>2</sup>) aufweisen.

Autoradios besitzen auf der Rückseite heutzutage Plastik-Steckleisten, deren Belegungen sich unterscheiden. Ein ISO-Standard half hier zwar, er wird aber variabel gehandhabt. Wer eine bestimmte Belegung sucht, um ein älteres Radio anschließen zu können, mit etwas Glück findet man sie auf meiner Adapter-Seite im Netz. Ich empfehle aber immer, die Fahrzeug-spezifischen Stecker beizubehalten und Adapter zu kaufen, dann braucht man nicht groß rumprobieren und behält die Garantie. Denn diese Adapter funktionieren in 99 % aller Fälle. Leider können beim Umrüsten von Werksradios auf Radios externer Hersteller oft viele zusätzliche, werkspezifische Funktionen nicht mehr genutzt werden. Dazu zählt vor allem die Lenkradbedienung. Für solche Funktionen gibt es nur für sehr wenige Ausnahmen Adapter.

Um die Spannungsversorgung zu verbessern, werden Elkos eingesetzt, die die Stromspitzen abfangen, so dass es geringere Spannungsschwankungen gibt. Geringere Spannungsschwankungen bewirken bessere Impulsivität und Präzision bei der Wiedergabe. Da Batterien (Blei-Akkus) große Innenwiderstände im Vergleich zu Kondensatoren (Elkos) besitzen, und auch ein langes Kabel mit zusätzlichem Widerstand und nicht unerheblicher Induktivität dazwischenhängt, kann die Batterie große, kurze Stromimpulse nicht so schnell nachliefern. Also sind sie kein Gimmick, sondern sinnvoll. Das Klangbild wirkt insgesamt besser, homogener. Der Hochtonbereich klingt wesentlich transparenter und der Bass ist präziser. Ein 1 F (Farad) Elko hält bei 12 V und 60 A (!) und plötzlich abgeschalteter Stromversorgung nach einer Zeit von 0,1 s (volle 4 Perioden bei 40 Hz) noch eine Spannung von mehr als 7 V. „Viel hilft viel!“ Warum? Da sich Kondensatoren bei der Spannung in

Form einer e-Funktion  $U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$  (Zeitkonstante  $\tau = RC$ ) entladen (im Gegensatz zu Akkus), halbiert sich mit doppelter Kapazität auch die Spannungsdifferenz bei etwa gleichem Strom. Durch die schon erwähnten Innenwiderstände und Kabelinduktivitäten muss der Elko aber sehr nah an der Endstufe stehen. Hier dürfen es nur wenige Zentimeter sein.

Beim Anschluss der Elkos ohne Ladeelektronik würde zu Beginn beim Aufladen ein sehr großer Strom (Aufladestrom wieder eine e-Funktion) fließen, deshalb muss der Elko beim ersten Mal langsam aufgeladen werden. Ein Widerstand (z.B. 10  $\Omega$  / 1 W) in Reihe zur Strombegrenzung und nach etwa 1 Minute ist der Elko voll genug, so dass man ihn direkt an die Betriebsspannung hängen kann.

Auch hilft ein großer Blei-Akku (66 Ah, 80 Ah oder mehr) des Fahrzeugs, um Spannungsschwankungen (kleinerer Innenwiderstand) zu verringern. Obwohl einige Auto-Hersteller davon abraten, größere Batterien zu verwenden, gibt es keinen guten Grund, die normale durch eine mit höherer Kapazität zu ersetzen. Man sollte aber den Wert der originalen nicht zu stark überschreiten. Bei einigen deutschen Modellen (angeblich VW, Opel) kann es aber Probleme mit der Lichtmaschine geben, da die in kleineren Motorisierungen meist unterdimensioniert sind. Liefert die Lichtmaschine dauerhaft nur 90A, ist eine Anlage mit Maximalströmen über 80A zuviel des guten. Man muss auch beachten, dass man dann etwa die doppelte Wegstrecke braucht, um mit der Lichtmaschine den Akku wieder voll aufzuladen, was im Winter oft lange (Licht, Scheibenheizung) dauert und bei Kurzstrecken-Fahrten unmöglich ist. Blei-Akkus haben bei niedrigen Temperaturen (unter -10 °C) weniger als ein Drittel ihrer Norm-Kapazität.

## 5.4 Endstufentypen

Endstufen sorgen dafür, dass die entsprechende Wechselspannung (Töne) mit hoher Spannung (10...60 V) zur Verfügung stehen, auch wenn eine Last von nur wenigen Ohm daran hängt und so große Ströme fließen. Gesteuert werden diese über Transistoren. Während früher hauptsächlich bipolare Typen zum Einsatz kamen, werden nun immer mehr Feldeffekt-Typen eingesetzt. Diese besitzen zahlreiche Vorteile, aber auch Nachteile. Da Transistoren keine ideale, lineare Kennlinie haben, hängt die Wiedergabequalität auch von der Dimensionierung ab. Die Class (Klasse) gibt an, in welchem Arbeitspunkt man die Endtransistoren betreibt, jeder hat Vor- und Nachteile.

- Class-A-Endstufen liegen genau in der Mitte der Betriebsspannung, was eine hervorragende Linearität, aber eben einen sehr schlechten Wirkungsgrad (unter 6%) bedeutet. Große Leistungen ( $> 100 \text{ W}$ ) sind damit praktisch nicht erreichbar, da sich die dabei entstehende Wärme nicht mehr über Kühlkörper abführen lässt. Die Stromaufnahme hängt hier nicht von der Aussteuerung ab, es fließt immer der gleiche Strom durch die Endtöpfe.
- Class-B lassen sich sehr hoch aussteuern und haben einen hohen (bis 78,5 %) Wirkungsgrad, jedoch gibt es starke Nichtlinearitäten bei Nulldurchgängen und Kleinsignalen. Das ergibt einen hohen Klirrfaktor.
- Der übliche Kompromiss sind sogenannte AB-Endstufen, deren Arbeitspunkt schwebend dazwischenliegt und diese Verzerrungen reduziert. Eine AB-Endstufe hat bei etwas  $2/3$  der Vollaussteuerung die maximale Leistungsaufnahme. Der maximale Wirkungsgrad liegt wie bei den Class-B ebenfalls bei 78,5 %.
- Class-C (noch höherer Arb.-Punkt) werden üblicherweise nur im HF-Bereich eingesetzt.
- Class-D erlaubt eine quasi digitale (entweder voll auf oder voll zu) Ansteuerung, das heißt, die Signale werden moduliert und anschließend geglättet, also am Ende die hohe Schaltfrequenz (HF) herausgefiltert. Leider besitzen diese Endstufen dadurch eine schlechte Klangqualität. Class-D werden deshalb selten und nur bei großen Ausgangsleistungen für den Bass verwendet. Möglich sind so Wirkungsgrade von teilweise über 90 %. Ein Nachteil ist jedoch der nachgeschaltete passive 20 kHz-Tiefpass. Das LC-Filter erhöht den Innenwiderstand.
- Neuere sogenannte Class-T-Endstufen (T steht für den Hersteller Tripath) haben ebenfalls den hohen Wirkungsgrad einer Class-D, bieten jedoch durch zusätzliche digitale Regelung und DSP-Überrechnung eine wesentlich bessere Klangqualität, die fast auf A/B-Niveau liegt. Im Car-HiFi-Bereich werden solche mit Tripath-Chips gesteuerten Amps im allgemeinen als Class X bezeichnet.

Neben Ausgangsleistung und Frequenzgang gibt es den Dämpfungsfaktor als Qualitätsmerkmal. Steuert eine Endstufe eine Last, gibt es durch das Steuerglied, die Endtransistoren und weitere Widerstände unweigerlich Verluste. Das begrenzt den Strom und behindert so die schnelle Reaktion des Ausgangs auf ein Eingangssignal. Werden diese Verlustwiderstände größer, fällt es der Endstufe immer schwerer, den Lautsprecher zu kontrollieren, die Einbaugüte  $Q_{tc}$  des Lautsprechers steigt, die Präzision und die Impulsivität verschlechtern sich. Der Dämpfungsfaktor gibt das Verhältnis zwischen Innenwiderstand der Endstufe und externer Last an. Ein Dämpfungsfaktor von 400 bei einem 4 Ohm-Lautsprecher entsprechen somit einem Innenwiderstand  $R_i = 10 \text{ m}\Omega = 0,01 \Omega$ . Um den Innenwiderstand zu senken, bleiben nur bessere MOSFETs als Ausgangstreiber zu verwenden und viele von ihnen parallel zu schalten. Ein hoher Dämpfungsfaktor ist so ein Indiz für guten Klang, aber die Angabe allein reicht zur Qualitätsbewertung leider nicht aus.

## 5.5 Impedanz

Auf die Impedanz der angeschlossenen Lautsprecher muss geachtet werden, da sie nicht unter die fallen darf, die als Minimum vom Verstärker gefordert wird. Im Car-HiFi-Bereich sind externe Endstufen meist 2- $\Omega$ -stabil, also können alle Lautsprecher mit 2  $\Omega$  oder mehr angeschlossen werden. Beim Home-HiFi gilt allgemein 4  $\Omega$  als Minimum. Bei kleineren Werten wird es kritisch, wenn mehr als Teil-Last „gefährdet“ wird, also bei größeren Lautstärken. Dadurch wird der Strom durch die Endstufentransistoren zu groß, so dass die dabei schnell zerstört werden können, wenn keine Schutzschaltungen gegen Überstrom und Übertemperatur vorhanden sind.

Größere Impedanzen schaden nicht, im Gegenteil, die Endstufe wird nicht so stark belastet, was Spannungsschwankungen des Netzteils geringer hält. Je größer jedoch dieser Scheinwiderstand, desto kleiner wird aber die abgegebene Leistung! Hat ein Verstärker eine Sinusleistung von 100 W an 4  $\Omega$ , könnte er theoretisch nur noch die Hälfte an einen 8  $\Omega$ -Lautsprecher abgeben, praktisch liegt die Ausgangsleistung durch das entlastete Netzteil und kleinere Verluste meist bei etwa 60...70 W. Auch 4  $\Omega$  und 1- $\Omega$ -stabile Endstufen existieren, also auf die Kennzeichnung achten! Besonders Autoradio-Endstufen sind im allgemeinen nur 4- $\Omega$  -stabil.

Eine Besonderheit gibt es beim Brücken von Endstufen zu beachten: Dieses „In-Reihe-Schalten“ der Endstufenausgänge ermöglicht das Verdoppeln der Ausgangsspannung, was bei gleicher Lautsprecherimpedanz eine Leistungs-Vervierfachung bewirkt. Dadurch verdoppelt sich jedoch der Strom! Da durch den höheren Strom auch die Verluste steigen, erhöht sich durch die Leistung meist aber immer noch auf 200 ... 300 %.

**In der Praxis heißt das, dass auch an eine gebrückte 2- $\Omega$ -stabile Stereo-Endstufe nur ein Lautsprecher mit mind. 4  $\Omega$  angeschlossen werden darf, da sonst der Strom zu groß wird.** Das ist auch bei Trimode-Betrieb zu beachten, wenn jeweils zwei 4  $\Omega$  -Systeme und ein Subwoofer an einer Stereo-Endstufe betrieben werden sollen.

Weiteres Brücken, also in-Reihe-Schalten weiterer Endstufenkanäle, z.B. bei einer 1  $\Omega$  -stabilen 4-Kanal-Endstufe, funktioniert in der Regel (99,9 % aller Endstufen) nicht! Grund dafür sind die gleichen Potentiale der Stromversorgung beim Netzteil. Denn auch 4, 5 oder 6-Kanal-Endstufen verfügen im allgemeinen nur über 2 „Netzteile“.

## 6. Störungen

Davon bleiben viele im Car-HiFi-Bereich leider nicht verschont: Brummen, Rauschen, Knacksen, Surren, das alles ist möglich, aber unerwünscht! Am häufigsten ist dabei das drehzahlabhängige Surren bei leisen Lautstärken.

Leider haben Störungen mehrere Ursachen. Es entsteht durch die Zündanlage des Motors, durch eine unsaubere Spannungsversorgung der Lichtmaschine. Aber auch alle anderen Verbraucher und elektrischen Teile können Störungen verursachen. Über mehrere Wege kann es sich ins Tonsignal einschleichen.

### Ursachen:

1. Aufgrund der Differenzspannungen in der Fahrzeugmasse gibt es Probleme mit Masseschleifen (90 % aller Fälle)
2. Einstreuung der Fahrzeugmasse auf das Cinch-Kabel durch kapazitive und induktive Kopplung
3. Störungen direkt über die Stromversorgung
4. Elektromagnetische Leitungs- und Strahlungskopplung.

Hier kann man (wie überall bei der Störungsbeseitigung im Auto) oft nur probieren.

Man erkennt Ursache Nr. 3 leicht daran, dass die Endstufe auch ohne Cinch-Anschluss die Störungen bei laufendem Motor von sich gibt. Zur Beseitigung hilft dann meist nur ein Filter mit Unterstützung weiterer Elkos in der Stromversorgung oder einfach eine andere Endstufe, die mit dem schlechten Bordnetz besser umgehen kann.

Für die erste Ursache gilt: EINE gemeinsame Masse, das bedeutet meist zwei Stromversorgungskabel für Plus und Minus getrennt von der Batterie zum Verstärker legen. Dann ist die Endstufe isoliert von der Fahrzeugmasse zu befestigen. Werden beide Leitungen noch verdrillt, reduzieren sich Einstreuungen z.B. von der Fahrzeugmasse und Spannungsschwankungen (bessere Kapazitäts- und Induktivitätswerte) nochmals.

Im NF-Bereich wählt man immer einen zentralen Massepunkt, von dem aus sternförmig alle Geräte angeschlossen werden. Hier gibt es viel Spielraum zum Probieren! Das allein reicht manchmal nicht, denn das Radio, was über die Endstufe(n) mit den Cinch-Kabeln verbunden ist, hängt direkt irgendwo anders an der Fahrzeugmasse. Also wäre auch das Autoradio idealerweise isoliert zu befestigen und die Masse nicht an den dafür vorgesehenen Anschluss aus dem Kabelbaum anzuschließen, sondern über ein querschnittstarkes Kabel mit dem gleichen Massepunkt der Endstufen oder Batterie selbst zu verbinden. Eine kleine Hilfe ist z.B. auch, dass man die Autoradioendstufen nicht benutzt und wenn möglich abschaltet, wenn man eine große Endstufe über die Cinch-Leitung daran hängen hat.

**Optimal ist immer eine minimale Spannungsdifferenz zwischen Endstufe und Radio.**

Das mit der Masse muss probiert werden, manchmal reduziert auch eine gute Masse-Verbindung von Kabeln und Karosserie die Störungen. Dann waren die Kabel sicher nicht dick genug.

Gute Endstufen haben an den Cinch-Eingängen kein Massepotential, so wird das Surren ebenfalls reduziert.

Ein Problem mit der Fahrzeugmasse bei neueren Autos sind auch die geklebten oder punktgeschweißten Karosserieteile, die nun mal keine guten elektrischen Verbindungen ermöglichen. Auch hat Eisen/Stahl einen etwa sieben mal höheren spezifischen Widerstand gegenüber Kupfer. Und so dick sind die Blechstärken nicht.

Um die Einstreuungen, die auf das Cinch-Kabel „einfallen“, wirksam zu reduzieren, hilft nur das richtige Cinch-Kabel. Am besten sind hier die Versionen mit 2 verdrehten Innenleitern (kein Koaxial-Aufbau) und mehrfacher Abschirmung. Oft steht der engl. Begriff double-shielded twisted-pair cable auf der Packung. Da das Störsignal direkt auf den Schirm einfällt, darf dieser kein Tonsignal transportieren. So ist der äußere Schirm am besten nur auf einer Seite des Cinch-Kabels mit der Masse zu verbinden (Antennenwirkung). Den Transport der Töne übernehmen ausschließlich die beiden Innenleiter. (Diese Verschaltung gilt nur für selbst gefertigte Kabel, bei vorkonfektionierten Kabeln bleibt alles, wie es ist. Weiterhin sorgen die verdrehten Innenleitungen dafür, dass sich eventuell einfallende Störungen gegenseitig auslöschen. Weiterhin sind große Pegel auf dem Cinch-Kabel von Vorteil, da sich so direkt das Signal-Geräusch-Verhältnis erhöht, üblich sind dafür schon Ausgangsspannungen vom Autoradio von 4...5V anstatt z.B. 100mV (+30dB!), die Endstufe muss damit aber umgehen können.

Neben den Standard-Stereo-Kabeln, gibt es auch Modelle, die 4 oder 6 Kanäle per Cinch verbinden können.

Weiterhin hilft auch ab und zu eine zusätzliche Endstörung der Zündanlage also abgeschirmte Zündstecker und Leitungen.

Was sonst immer hilft: Symmetrische Verkabelung mit getrennter Masse. Warum man die symmetrische Verkabelung (im PA- und Studio-Bereich Standard) nicht generell im Auto benutzt, ist mir schleierhaft. Weiterhin wäre auch die Übermittlung per (potentialfreien) Lichtwellenleiter eine ideale Möglichkeit, Störungen so zu verhindern. Allerdings arbeiten LWL nur bei digitalem Signal quasi ideal. Hilft das alles nicht, muss man zwei (soundtechnisch nicht ideale) Trenntrafos oder ein Optokoppler-basierendes Trennsystem einsetzen.

Auch kleine Modifikationen der Endstufe selbst halfen mir schon. Eine Reduzierung des Eingangswiderstandes schwächten die Störungen bei einem Einbau mit einer älteren Endstufe wirklich stark ab.

## 7. Installation in der Praxis

Alle oben erwähnten Tatsachen sind Theorie, sie ist zwar nötig, aber einige Hindernisse erschweren oft die Umsetzung. Die Theorie sollte man nutzen, um die gesamte Anlage (auch in Schritten) zu planen, bevor man wild drauflos baut.

Radioinstallation: Viele Fahrzeuge haben heute ISO-Buchsen vorgesehen, gibt es sie nicht, sind Adapter vom Fahrzeug-spezifischen auf ISO (2 Stecker mit je 8 Pins) nötig. Neue Radios haben entweder ISO on board oder es gibt einen Adapter auf ISO dazu. So kann alles problemlos verkabelt werden. Auf die korrekte Verbindung von Schalt- und Dauerplus ist bei einigen Fahrzeugtypen (VW / Audi) zu achten. Wer zusätzliche Lautsprecherkabel verwenden will, kann diese Adapter dann auftrennen und über Lüsterklemmen verbinden. Oder noch besser, komplett neue Lautsprecherkabel verlegen. Um das Radio zu befestigen, ist, von Werksradios einmal abgesehen, oft ein zusätzlicher Metallrahmen nötig, der das Radio im Schacht hält. Es selbst wird nach dem Einschieben verriegelt und lässt sich (ohne Kratzer zu verursachen) nur mit den Original-Einschubblechen oder -Bügeln wieder entfernen, die bei jedem Radiohersteller anders aussehen. Anschlüsse für Remote-out (geht zu Endstufen und automatischer Antenne) und Telephone-muting (low-aktiver Eingang Open-collector) müssen oft abhängig vom System herausgeführt werden. Je nach Radiotyp (z.B. Grundig) sind teilweise weitere Adapter nötig, um die Vorverstärkerausgänge nutzen zu können. Hat jemand Probleme mit den runden DIN-Steckern bei älteren Radios oder Endstufen? Die Belegungen der verschiedenen Hersteller sind auf meiner Adapter-Seite im web.

Bei den Frontlautsprechern empfiehlt sich die Türmontage. Je nach Typ muss hier individuell nach einer sinnvollen Lösung gesucht werden. Hier ist unbedingt vorher schon auf die Einbautiefe zu achten. Passen die gewünschten Lautsprecher nicht hinein und will man nicht selbst bauen, sind z.B. Doorboards für die meisten gängigen Fahrzeuge von speziellen Herstellern zu beziehen, z.B. Cartron, Jehnert, MB und Unitec. Im allgemeinen wird dazu einfach die Seitenverkleidung der Tür abgenommen.

### **Vorsicht bei neueren Wagen mit Seiten-Airbags, diese sind absolut tabu!**

Würden eventuelle Stecker z.B. in der Tür aufgetrennt, ist währenddessen auf keinen Fall der Schlüssel ins Zündschloss zu stecken. Teilweise ist die beste Lösung, die Batterie komplett abzutrennen, da sonst einige Steuergeräte an diversen Bussen Fehlermeldungen anzeigen könnten. Die Fehlerspeicher müssten erst in Fachwerkstätten gelöscht werden.

Für Hecklautsprecher sind bei Limousinen oft schon passende Löcher im Blech ausgestanzt. Hier sind oft nur die Löcher für die Speaker in die Ablage zu schneiden. Bei Fließheck- und Kombi-Modellen müssen die gesamten Lautsprecher in der Ablage befestigt werden. Sind Lautsprecher für hinten noch nicht vorgesehen und soll keine externe Endstufe benutzt werden, müssen auch noch Lautsprecherkabel nach hinten gelegt werden.

Kabelinstallation: Da manche Leute starke Hemmungen haben, das Auto zu „zerlegen“, folgen hier einige Tipps. Die Kabel passen bei den meisten Fahrzeugen am besten unter der Tür hindurch. Manchmal ist auch der Mitteltunnel eine gute Möglichkeit. Dazu muss man natürlich die Verkleidung (Teppich, Befestigung) lösen. So lassen sich auch mehrere dicke Kabel unsichtbar verstauen. Als Standard gilt bei den Stromkabeln: Rot ist Plus, Blau (oder Schwarz) ist Minus b.z.w. Masse. Die Stromversorgungskabel sollten generell auf der anderen Fahrzeugseite liegen als die Signalkabel (Cinch, Lautsprecher). Hier ist auch der kürzeste Weg von der Batterie zur Endstufe zu suchen. Je nach Fahrzeug kann die Batterie

auch vorteilhaft im Kofferraum untergebracht sein. Meist ist sie jedoch vorn. Neuere Fahrzeuge haben oft Schutzmechanismen, um bei einem Unfall die Bordelektrik von der Batterie zu trennen. Die Versorgungsleitungen sind immer dahinter anzuschließen! Weiterhin ist auf gute Isolation dort zu achten.

Die Verbindung zwischen Motorraum und Fahrgastzelle geschieht in der Regel durch ein dafür vorgesehenes Loch, das mit einer Gummiabdichtung versehen ist. Dadurch verlaufen auch Originalkabel, bei vielen Autos ist dazu eine Verkleidung am Kotflügel zu entfernen, so dass man an sie herankommt. Zur Sicherheit kann man ja in der Fachwerkstatt nachfragen. Die Bleche sollten nur im absoluten Notfall bei alten Autos durchbohrt werden. Danach ist das Metall gegen Rost zu schützen und eine Gummidichtung zu verwenden, damit das Kabel nicht durchscheuert und es keine „luftige“ Verbindung zum Motor gibt. Auch sonst sind die Kabel zu befestigen, damit sie sich möglichst wenig bewegen, also Zugentlastungen vorsehen.

Das Kontaktieren an den Kabelenden erfolgt durch Crimpen mit Kabelschuhen und Hülsen, die für den jeweiligen Kabelquerschnitt vorgesehen sind. Lötverbindungen an Leitungen sind aber tabu. Denn das härtet das Kabel und bei Vibrationen sind Brüche möglich. Auch verliert Zinn bei höheren Temperaturen deutlich an Festigkeit.

Werden Stromverteiler oder ähnliches verwendet, müssen diese zusätzliche Sicherungen enthalten, wenn sich der Kabelquerschnitt (z.B. 1x25qmm rein, 4x10qmm raus) auf kleinere Werte verringert, als vorne bei der Hauptsicherung hinter der Batterie abgesichert wurde. Sonst könnte diese Sicherung an der Fahrzeugbatterie nicht zeitig genug ansprechen.

Wo man die Endstufe verbaut, ist sicher Geschmackssache, üblich ist dazu der Kofferraum. Typisch ist das Anschrauben an die Rücksitzbank. Auch unter der Heckablage, auf dem Boden des Kofferraums oder direkt an das Subwoofergehäuse geschraubt sind weitere Möglichkeiten. Als den größten Vorteil sehe ich dabei den erhöhten Diebstahlschutz. Auch attraktive Show-Einbauten z.B. im Fußraum des Beifahrers sind möglich. Geschützt werden die Endstufen optisch ansprechend mit Plexiglasabdeckungen. Zur Installation eignet sich z.B. Sperrholz oder eine Spanplatte, womit sich Endstufen isoliert befestigen lassen.

Vorsicht mit Schrauben im Kofferraum-Boden, schon so mancher traf dabei seinen Tank!

Auf der befreundeten Seite [www.e30.de](http://www.e30.de) sind viele Beispiele für Einbauten (vor allem bei BMWs) zu sehen.

## 8. Erweiterungen

Auf weitere Erweiterungen, wie Freisprecheinrichtungen für das Handy, Alarmanlage zum Schutz des Autos und der HiFi-Anlage und Navigationssystemen gehe ich hier momentan nur am Rande ein.

### 8.1. Navigationssysteme

In neuen Autos ab Oberklasse sind Navigationssysteme heutzutage oft schon serienmäßig integriert.

Navigationssysteme nutzen vor allem das GPS-Signal zur Standortbestimmung. Das Global Positioning System besteht aus 9 Satelliten, die einen Zeitcode senden, so dass aus den Signalen (verschiedene Laufzeiten) die Position errechnet werden kann. Dazu muss die Antenne „Blick“ auf mindestens 4 Satelliten haben. Das GPS wurde für das US-Militär entwickelt, das hat auch die Kontrolle darüber. Als Alternative soll ab 2005 das europäische System „Galileo“ dienen, das für die zivile Nutzung gedacht ist. Es zudem noch genauer.

Es gibt auch portable Geräte, Palm-Top-, Handy- und Notebook-Systeme zum Nachrüsten. Diese haben jedoch trotz des günstigen Preises einen wesentlichen Nachteil. Fehlt die Sicht auf die Satelliten, ist es aus mit der Navigation. So verpasst man sicher die Abfahrt auf der Autobahn, wenn sie sich in einem Tunnel befindet.

Die besseren, fest eingebauten Systeme verlassen sich deshalb nicht nur auf GPS, sie nutzen zusätzlich das Geschwindigkeitssignal und evtl. weitere Sensoren, die die Satellitennavigation unterstützen. Auch einfache Infos, wie „Rückwärtsgang ein“ sind manchmal nötig. Das Geschwindigkeitssignal ist bei vielen Fahrzeugen am ISO-Stecker (Radio) abgreifbar. Wenn nicht, wird es schwierig, dann muss man in der Fachwerkstatt nachfragen, wo man am Cockpit-System rann muss.

Es gibt auch viele verschiedene Systeme zum Nachrüsten. Während es früher ausschließlich Geräte gab, die ihre Kartendaten auf einer CD hatten, sind bei modernen Geräten DVDs im Einsatz, die das 6-12-fache an Speicherplatz bieten. Damit sind größere Flächen (nicht nur ein Land, sondern Komplet-Europa) und genauere Abdeckung (z.B. mit Straßenummer)möglich.

Zusätzlich zur einfachen Routenberechnung kann mit dem TMC-System (Traffic Message Channel) auch auf Staus und zähen Verkehr reagiert werden.

### 8.2. DVD- und Videosysteme

Dank der neuen DVD-Technik und TFT-Bildschirmen hält das Video auch stärker ins Audio Einzug. So gibt es heute auch komplette Dolby-Digital-Dekoder fürs Auto. Einige Head-Units haben statt eines CD einen DVD-Schacht und einen ausklappbaren Flachbildschirm. Im Stau ist das sicher eine gute Abwechslung.

## 9. Glossar und Begriffsdefinitionen

AC	Alternating Current, engl. Wechselstrom, wird so auch verwendet für die Wechselspannung
Aktivsubwoofer	Gehäuse- <u>Subwoofer</u> mit eingebauter <u>Endstufe</u>
Aktivweiche	Eine A. ist eine <u>Frequenzweiche</u> , die aktiv arbeitet und im Gegensatz zur <u>Passivweiche</u> vor die Verstärker und <u>Endstufen</u> geschaltet wird. Das hat Vorteile beim Klang und Einstellmöglichkeiten, man braucht jedoch viele Endstufen. Auch ist das Verhalten der <u>Weiche</u> unabhängig von der komplexen <u>Lautsprecher-Last</u> . Vor <u>Subwoofern</u> sind sie unbedingt notwendig. Deshalb sind sie oft in moderne Auto-Endstufen bereits integriert.
AM	engl. Amplitude Modulation, meint den Langwellen (LW)-, Mittelwellen (MW) oder Kurzwellenbereich (KW), in denen im Gegensatz zu <u>UKW</u> amplitudenmoduliert übertragen wird.
Amp / Amplifier	Englische Kurzform und Bezeichnung für Verstärker
Amplitude	Gibt hier die Höhe der elektrischen Spannung eines Wechselspannungssignals an. Sie ändert sich jedoch ständig, deshalb gibt es einen Spitzenwert (Peak), und es ergibt sich ein <u>Effektivwert (RMS)</u> .
ARI	„Autofahrer-Rundfunk-Information“ war vor RDS das System zur Umschaltung (von Cassette) bei Verkehrsdurchsagen.
Ausgangsleistung	Gibt an, welche Leistung maximal eine Endstufe besitzt. Man unterscheidet Sinus-, Musik- und Impulsleistung. Siehe Punkt 5.1
Auto-Reverse	„Automatische Umkehr“ ein Cassettenteil, das die Seite wechselt, ohne die Cassette herausnehmen zu müssen.
Bandpass	1. Typ einer <u>Frequenzweiche</u> , der nach oben und unten den Frequenzbereich einschränkt, er besteht prinzipiell aus nacheinandergeschalteten <u>Hoch-</u> und <u>Tiefpass</u> . 2. Typ einer Boxenkonstruktion, die (daher der Name) durch die Abstimmung oben und unten im Frequenzgang eingeschränkt wird.
Bass	Frequenzbereich zwischen 70 und 120Hz, darunter <u>Tiefbass</u> , darüber 120 bis 150 ist der <u>obere Bass</u> . Darüber beginnt der <u>Grundtonbereich</u> .
Bordnetz	Das Bordnetz im Auto ist auf 12V...14V ausgelegt, die ca. 12V gelten für Betrieb mit der Batterie (Bleiakku) über 13V können mit der Lichtmaschine bei laufendem Motor dann daraus werden.
Bridge	engl. Brücke, b.z.w. Brückenverstärker
Brillanz	Frequenzbereich zwischen 3 und 5 kHz unterhalb der Höhen
Brücken-(verstärker)	Besonders im <u>Car-HiFi</u> -Bereich ist dieses Verfahren üblich, um größere Leistungen aus Verstärkern zu erhalten. Hierbei werden zwei Einzel-Endstufen in Reihe geschaltet, was die Ausgangsspannung verdoppelt und so bei gleicher Last- <u>Impedanz</u> eine ca. 4x so große Leistung freisetzt. Siehe Punkt 5.
Car-HiFi	Steht für High-Fidelity (Hohe Wiedergabetreue) von Sound-Anlagen in Autos. Erst durch externe Endstufen mit integrierten Schalernetzteilen war dies möglich.
Casseiver	Kunstwort aus engl. Cassette + Receiver, ein Autoradio mit Compact-Cassettenteil.

CD-Changer	Wechsler für mehrere Compact Disc werden meist als externe Box an das Radio angeschlossen, die Steuerung ist im Radio, damit der Wechsler die Steuerungsdaten versteht, müssen Radio und Wechsler zusammenpassen und so (fast) immer von der gleichen Firma sein.
Cinch	RCA-Stecker, benannt nach dem Hersteller, der sich als Standard für Audio- und Video- Verbindungen etabliert hat. Wird sowohl als <u>Vorverstärkerausgang (Line-out)</u> an Radios und Eingang an <u>Endstufen</u> eingesetzt. Teilweise sind Adapter nötig, die von anderen Steckern am Radio auf Cinch-Format anpassen.
Class	Klasse für die Arbeitspunkt-Einstellung bei den Endtransistoren, Siehe Punkt 5.4
Contained Box	engl. für Geschlossenes Gehäuse, siehe unter Punkt 4.1.1
Crossover	Englische Bezeichnung für eine <u>Frequenzweiche</u>
DAB	Digital Audio Broadcasting steht für digitalen Rundfunk, übertragen werden dabei die Hörprogramme digital, aber mit MPEG-2-Audio komprimiert, also wird CD-Qualität nicht ganz erreicht..
Dämpfung	Ist der Reziprokwert der <u>Güte</u> und gibt an wie stark ein schwingendes System abgedämpft wird, also wie schnell die Amplitude nach der Anregung kleiner wird.
Dämpfungsfaktor	Gibt das Verhältnis zwischen <u>Anschlussimpedanz</u> und Innenwiderstand einer Endstufe an. Siehe Punkt 5.4
dB	Abk. für <u>Dezibel</u>
DC	Direct Current, engl. Gleichstrom, auch Verwendung zur Bezeichnung der Gleichspannung
Dekade	Abstand einer Frequenz zum 10-fachen oder Zehntel der Frequenz
Dezibel	Ist das 10-fache eines (dekadisch) logarithmierten Leistungsverhältnisses, das bei Pegelrechnungen große Vorteile hat, aus einer Multiplikation wird eine Addition. sind eine Leistungsverzehnfachung, +20dB dagegen eine Verhundertfachung, Negative Werte -10dB entsprechen ein Zehntel. Bei absoluten Pegeln entsprechen 775mV 0dB. Siehe Punkt 5.1
DIN	Deutsches Institut für Normung, das wie auch VDE, IEEE etc. bestimmte Sachen festlegt, die dann als Norm allgemein gelten. Nur so sind Messungen vergleichbar, und die Adapterflut hält sich etwas in Grenzen.
Doorboard	engl. für „Tür-Brett“, Damit wird die (meist) aus Holz und Spachtelmasse bestehende Konstruktion bezeichnet, die an der Innenseite der Fahrzeugtür befestigt wird, um z.B. größere oder mehr <u>Lautsprecher</u> systeme (als ab Werk vorgesehen) gut und optisch ansprechend unterzubringen.
DVD	Die Digital Versatile Disk löst als Speichermedium die CD ab, vor allem zur Speicherung von Daten (DVD-ROM) z.B. fürs Navigationssystem oder für Videoanwendungen.
Elko	Abk. für Elektrolytkondensator, Er speichert durch das Elektrolyt zwischen den Metallfolien besonders große Ladungen. Sie werden u.a. dazu benutzt, um an der Endstufe die Bordspannung zu stützen, er ist in der Regel gepolt. Bipolare Typen finden fast ausschließlich in <u>Passivweichen</u> für Lautsprecher Verwendung. Siehe Punkt 5.3

Endstufe	oder auch Endverstärker, Wird angesteuert vom <u>Vorverstärker</u> und sorgt für die entsprechende Stromverstärkung, nur er erzeugt damit die Leistung am Ausgang, damit bei hoher Spannung auch entsprechend Strom zur Verfügung steht.
EON	Enhanced Other Networks, diese "Erweiterten anderen Netzwerke" sind Zusatzdienste oder -Informationen zu <u>RDS</u> , wie z.B. Sendungstyp PTY (Programme Type), Verkehrsnachrichten TA (Traffic Announcement), CT (Clock Time) das Zeitsignal einer genauen Atomuhr u.s.w.
Filter	das elektr. analoge Filter beeinflusst durch Kapazitäten (Kondensatoren) und evtl. auch Induktivitäten <u>Amplitude</u> und <u>Phase</u> und so sein Frequenzverhalten. Neben Typ (z.B. <u>Hochpass</u> ) sind <u>Grenzfrequenz</u> , <u>Flankensteilheit</u> und <u>Güte</u> die charakteristischsten Eckdaten.
Flankensteilheit	Gibt an, wie stark ein Filter über oder unterhalb der <u>Grenzfrequenz</u> wirkt, Filter 1. Ordnung haben 6dB pro Oktave (=20dB pro Dekade), Filter 2. Ordnung 12dB/Okt. u.s.w.
FM	steht für Frequency Modulation und meint den UKW-Bereich, in dem mit Frequenzmodulation gearbeitet wird.
Free-Air	Mit „freier Luft“ arbeitet ein dafür vorgesehener <u>Subwoofer</u> , der das große Volumen (mehrere hundert Liter) des Kofferraums wie ein geschlossenes benutzt, um damit im <u>Tiefenbereich</u> Druck zu erzeugen.
Frequenzgang	F. ist der genaue Verlauf der <u>Amplitude</u> und der <u>Phase</u> eines Systems über die Frequenz. Durch Kapazitäten fällt die <u>Amplitude</u> irgendwann mit höher- und kleiner werdenden Frequenz ab und begrenzen so die Bandbreite. Daraus ergeben sich obere und untere <u>Grenzfrequenz</u> .
Frequenzweiche	Eine F. trennt einen Frequenzbereich in verschiedene auf, dazu werden <u>Filter</u> benutzt. Eine <u>Zweiwege-Weiche</u> besteht aus einem <u>Hoch-</u> und <u>Tiefpass</u> , mit zunehmenden Wegen, kommen dann weitere <u>Bandpässe</u> hinzu.
Frontstaging	engl. vordere Bühne, damit wird die Bühnendarstellung, für die das Frontsystem zuständig ist, bezeichnet. Dabei muss eine exakte Ortung der einzelnen Stimmen und Instrumente in der Stereobreite gegeben sein.
fs	Formelzeichen der <u>Resonanzfrequenz</u> (in Hertz Hz) eines <u>Lautsprechers</u> im Freifeld, f. ist ein wichtiger <u>TSP</u> .
Full-Logic	engl. Volle Logik, bezeichnet Cassetten-Laufwerke, die keine Laufwerksfunktionen mit mechanischen (also auch Eject) Tasten ausführen, alles wird über Servo-Motoren bewegt.
GPS	Das Global Positioning System ist ein aus Satelliten bestehendes System zur Navigation.
Grenzfrequenz	Bezeichnet die Frequenz an einem <u>Filter</u> oder System, bei dem die <u>Amplitude</u> um -3dB (70,7%) gegenüber der Referenz abgefallen ist.
Ground /GND	engl. Masse, beschreibt das gemeinsame elektr. Potential, das als Bezugspunkt genommen wird, im Auto ist das der Minus.
Grundton	Frequenzbereich zwischen 150 und 450 Hz, über dem <u>oberen Bass</u> , darüber beginnen die <u>Mitten</u> . Der Name wird abgeleitet von der Grundfrequenz der menschlichen Sprache, die vor allem bei Frauen in diesem Bereich liegt.

Güte	Reziproke der <u>Dämpfung</u> , Die Güte Q beschreibt das Impulsverhalten von <u>Filtern</u> und schwingenden Systemen, wie <u>Lautsprechern</u> . Je niedriger sie, desto besser das Impulsverhalten und geringer die Überschwinger. Siehe alles unter Punkt 4
Head-unit	engl. Kopf-Einheit bezeichnet das Autoradio als zentrale Steuerungskomponente.
HiFi	engl. Abk. steht für High Fidelity, hohe Wiedergabetreue
High-Power	Hohe Leistung, damit werden z.B. die Radioendstufen bezeichnet die gebrückt laufen, um größere Ausgangsleistungen zu erzeugen.
High-Power-Inputs	Neben den <u>Line</u> -Eingängen verfügen einige (meist billige) Verstärker über solche H., an denen die Lautsprecherausgänge des Radios direkt angeschlossen werden können. Das ist vor allem für Radios ohne <u>Vorverstärker</u> ausgänge sinnvoll, manchmal sind dadurch auch Störungen (z.B. durch Motor) geringer, aber das Rauschen stärker.
Hochpass	H. ist ein elektr. <u>Filter</u> , das hohe Frequenzen (hohe Töne) durchlässt, aber tiefere Frequenzen zunehmend (vor allem unterhalb der <u>Grenzfrequenz</u> ) stärker dämpft.
Hochton	Der Hochton-Bereich oder die Höhen sind der Frequenzbereich zwischen 5 und 20 kHz.
Hochtöner	H. ist ein <u>Lautsprecher</u> , der für die Wiedergabe hohe Frequenzen (>1...6kHz) optimiert wurde, dadurch ist er meist kleiner. Er erzeugt die hohen Töne in einem 2-, 3- (etc.) –Wege-System. Damit er nicht zerstört wird, müssen von ihm mittels einer <u>Frequenzweiche</u> ( <u>Hochpass</u> ) die tiefen Frequenzen ferngehalten werden.
Home-HiFi-	Mit H. sind die üblichen HiFi-Anlagen zu Hause, die mit 220V laufen und als Komponenten in der Wohnung stehen.
Impedanz	I. bezeichnet den Wechselspannungswiderstand einer Last, z.B. eines <u>Lautsprechers</u> . So wird auch der Nennscheinwiderstand des Lautsprechers, bei 4 oder 8 Ohm festgelegt. Siehe Punkt 4. und 5.5
Input	engl. Eingang
ISO	International Standard Organisation, die z.B. Stecker normt
Isobarik	steht für gleichbleibenden Druck, Siehe unter Push-pull
Klemme	Im Kfz-Bereich wurden diese Klemmen genormt, um eindeutige Bezeichnungen zu schaffen, z.B. Klemme 15 ist der Schaltplus, Klemme 30 der Dauerplus, die auch am Radio anliegen.
Lautsprecher	Neben vielen Sonderformen hat sich vor allem der dynamische L. durchgesetzt, der mit Hilfe von Induktion einer Spule in einem Magnetfeld aus elektr. Strom in Schalldruck umzuwandeln.
Line	Mit Line werden die <u>Vorverstärker</u> -Ein- und Ausgänge bezeichnet die über Cinch untereinander verbunden werden.
Masse	Siehe Ground
Mitteltöner	In 3-(oder mehr) Wegesystemen geben die M. die Mitten wieder, dazu brauchen sie einen vorgeschalteten Bandpass-Filter. Auch gemischte Lautsprecher wie Tiefmitteltöner in 4-Wegesystemen existieren.
Mitten	Frequenzbereich zwischen 450 Hz und 2 kHz.
Oktave	Abstand einer Frequenz zu doppelten oder halben Frequenz, Wird zur Angabe der <u>Flankensteilheit</u> von <u>Filtern</u> benutzt.
Output	engl. Ausgang

Passivweiche	Im Gegensatz zu <u>Aktivweichen</u> verfügen diese P. nur über passive Bauteile wie Spulen, Kondensatoren und Widerstände, diese <u>Frequenzweichen</u> werden hinter die <u>Endstufe</u> vor das <u>Lautsprechersystem</u> geschaltet, vor allem bei 2-Wegesystemen bieten sie den besten Kompromiss zwischen Preis und Klang. P. müssen jedoch genau an die daran hängenden Einzellautsprecher angepasst werden, je näher die <u>Trennfrequenzen</u> an den <u>Resonanzfrequenzen</u> der <u>Lautsprecher</u> liegen, desto aufwendiger müssen sie werden.
Phase	Während die <u>Amplitude</u> die Höhe der Auslenkung eines Signals beschreibt, gibt die Phase (0...360°) an, welche Verschiebung das Signal z.B. durch Filter erfährt. Das ist wichtig, da eine Addition von Schalldrücken nur erfolgen kann, wenn auch die Phasen beider Signale übereinstimmen, sonst kann es zur Auslöschung kommen.
Phon	P. ist das Maß (lat. Ton) für die Lautstärke. Da das Gehör für unterschiedliche Frequenzen verschieden sensibel ist, wird die Lautstärke über Isophonen an den gemessenen Pegel (in dB) angepasst. 90dB sind 90 phon bei 1kHz, bei 3,4kHz, wo das Ohr am sensibelsten ist, reichen schon 80dB für 100phon, bei 10kHz sind schon 97dB für die gleiche Lautstärke nötig. Im Bassbereich sind die Unterschiede noch dramatischer, dort entsprechen (bei 30Hz) erst 100dB den 90 phon.
Präsenz	Frequenzbereich zwischen 2 und 3 kHz
Push-Pull	engl. „Drücken-Ziehen“ Siehe unter 4.1.3
Qtc	Formelzeichen für die Einbaugüte (Quality total of chassis), die sich beim Einbau abhängig vom Volumen ergibt, sie ist immer höher als der feste <u>Qts</u> -Wert eines Lautsprechers. Siehe Punkt 4.
Qts	Q. ist die Gesamtgüte und beschreibt das Verhalten des Speakers im Freifeld (ohne Gehäuse). Sie ergibt sich aus der Summe von mechanischer Dms (=1/Qms) und elektrischer Dämpfung Des (=1/Qes) vom <u>Lautsprecher</u> . Q. ist ein wichtiger <u>TSP</u> . Siehe Punkt 4.
RDS	Das Radio Data System überträgt zusätzliche Informationen, wie z.B. Sendernamen (PI Programme Identification) und Alternativfrequenzen (AF).
Rearfill	Die „hintere Füllung“ bezeichnet die im Auto notwendigen 2 Heckkanäle, die u.a. die Ortbarkeit des <u>Subwoofers</u> verhindern sollen, der ja meist hinten untergebracht ist. Erst mit Pseudoquadroschaltungen oder besser Dolby Surround 2 machen sie jedoch erst richtig Sinn, um auch akzeptablen Raumklang mit stereofonen Musikaufnahmen zu verwirklichen.
Receiver	engl. Empfänger, also das Autoradio, CD-Receiver ist dann ein Radio mit CD-Teil.
Resonanzfrequenz	R. ist die Frequenz in einem schwingendem System, bei dem das System die geringste <u>Dämpfung</u> hat.
RMS	Root Mean Square (Wurzel des mittleren Quadrates) ist der Effektivwert einer Wechselfspannung. Das per Definition die Gleichspannung, bei der an eine Ohmsche Last, die gleiche Leistung abgegeben wird. Bei Sinus- und Rechtecksignalen ist das bei 70,7% des Peak-Wertes der Spannung der Fall.

Soundboard	engl. „Klangbrett“, damit ist das vor allem bei Fließheck und Kombis benutzte Brett im Heck gemeint, auf dem ein komplettes Mehrwegesystem Stereo-Lautsprechersystem und evtl. ein <u>Subwoofer</u> befestigt wird. Es ist die einfachste Möglichkeit, etwas Lautstärke ins Auto zu bringen. Da die Musik nun aber von hinten und nicht von vorn kommt, ist ein akzeptables <u>Frontstaging</u> damit ausgeschlossen.
Speaker	engl. Lautsprecher, abgeleitet von Loudspeaker
SPL	S. ist die Abk. für (engl.) Sound-Pressure-Level. Mit dem Schalldruck-Pegel ist hier direkt der Wirkungsgrad des Lautsprechers (üblich zwischen 1 – 10%) angegeben, er wird als Schalldruckpegel in dB bei einem Watt und einem Meter Abstand definiert. Mit zehnfacher Leistung addieren sich dann auch 10dB zu dem SPL zum Gesamtschalldruck.
Subwoofer	engl. „unterhalb des <u>Tieftöners</u> “ Der S. ist für den <u>Tiefbassbereich</u> und eingeschränkt den <u>Bass</u> zuständig.
TFT	engl. Thin Film Transistor, diese Technik wird zur farblichen Darstellung auf Flachbildschirmen eingesetzt. Es ist wesentlich leuchtkräftiger und kontrastreicher als die ältere DSTN-Technologie.
Thiele-Small-P.	Die Thiele-Small-Parameter, siehe unter <u>TSP</u>
Tiefbass	Frequenzbereich unterhalb von 70Hz, darüber ist der <u>Bass-Bereich</u> .
Tiefpass	T. ist ein elektr. Filter, das tiefe Frequenzen (tiefe Töne) durchlässt, aber höhere Frequenzen zunehmend (vor allem oberhalb der Grenzfrequenz) stärker dämpft.
Tieftöner	In Mehrwege-Lautsprechersystemen ist dieser Speaker für die tiefen Töne ( <u>Bass</u> , <u>oberer Bass</u> , <u>Grundton</u> ) zuständig, er wird im engl. als <u>Woofer</u> bezeichnet
TMC	Traffic Message Channel in diesem „Verkehrs-Nachrichten-Kanal“ werden digital Stauinformationen parallel zum Analogradio (UKW) übertragen. Neben Autoradios nutzen vor allem von neuen Navigationssystemen diese Infos.
Transistor	Halbleiterbauelement, das z.B. zur Verstärkung von Spannung und Strom eingesetzt wird. Neben bipolaren Typen, die PN-Übergänge (NPN, PNP) nutzen, gibt es unipolare Typen, das sind verschiedene FETs (Field Effect Transistor = Feldeffekttransistor), die Halbleiter-Kanäle zur Steuerung verwenden.
Trennfrequenz	T. ist die (etwa gleiche) <u>Grenzfrequenz</u> , die 2 <u>Filter</u> in <u>Frequenzweichen</u> haben. So z.B. bei einer Zweirwege-Weiche hätten sowohl <u>Hoch-</u> und <u>Tiefpass</u> diese T. als <u>Grenzfrequenz</u> .
Trimode	engl. Drei-Modus, Spezielle <u>Endstufen</u> im <u>Car-HiFi-Bereich</u> , die auch <u>brückbar</u> sind, gestatten oft diesen Modus, in dem sowohl ein Stereo-Lautsprechersystem als auch ein <u>Monosubwoofer</u> nur durch eine <u>Passivweiche</u> getrennt an einer <u>Endstufe</u> betrieben werden können. Der Subwoofer erhält dabei mehr Leistung als das Stereosystem.
TSP	Thiele-Small-Parameter sind die nach den Entwicklern A. Neville Thiele und Richard H. Small benannten Werte eines Lautsprechers. Die beiden Ingenieure brachten zwischen 1964 und 1972 ihre Entdeckungen zu Lautsprechern heraus. Sie simulierten das akustische Verhalten von Lautsprechern über die Transformation und berechneten sie anhand von elektrischen Schwingkreisen.
Tweeter	engl. „Zwitscherer“ Siehe <u>Hochtöner</u>

UKW	Ultra-Kurz-Welle ist der Frequenzbereich (in Europa) im Radio von 87,5 bis 108 MHz. (CCIR-Norm)
Vas	V. ist das Formelzeichen für das Äquivalentvolumen, was die <u>Dämpfung</u> des Speakers im Vergleich zu einem Luftvolumen angibt. Übliche Einheit ist Liter.
Vorverstärker	Der V. liegt, wie der Name sagt, vor dem <u>Endverstärker</u> , er enthält die Lautstärke-Einstellung, evtl. Klangregelung u.s.w., im Car-HiFi-Bereich ist der V. in das Radio integriert und die (2...6) Vorverstärker-Ausgänge ( <u>Line-out</u> ) werden extra (z.B. als Cinch-Buchsen) herausgeführt, um mit externen <u>Endstufen</u> verbunden zu werden.
Woofers	Siehe <u>Tieftöner</u>

## 10. Weitere Hinweise

Dieser Guide enthält Auszüge der Seiten von [www.selfmadehifi.de](http://www.selfmadehifi.de).

Dort gibt es weitere Schaltungen, Schaltungsgrundlagen und Steckerbelegungen von zahlreichen Radio- und Autoherstellern.

Auch kann dort das Programm BassCAD heruntergeladen werden, das zur Simulation von Lautsprechern, Frequenzweichen etc. dient.

Es existiert eine große Datenbank mit Tausenden von Chassis und ihren TS-Parametern, das hilft sicher einigen weiter.

## 11. Quellen und Literaturangaben

- [01] Veit, I. „Technische Akustik“, Vogel-Verlag, Würzburg, 1978
- [02] Stark, B. „Lautsprecher Handbuch“, Pflaum-Verlag, 7. Auflage 1999
- [11] DIN 57100 Teil 430, „Zuordnung von Schutzorganen“
- [12] DIN 57100 Teil 523, „Strombelastbarkeit isolierter Leitungen“
- [13] DIN 72581 Teil 3, „Sicherungen für Kleinspannungsanlagen“
- [21] Autohifi-Kataloge 1994 und 2002
- [22] HIFI MOBIL 2/1995 „Autosubwoofer selbst gebaut Teil 1“ (Jeffrey D. Blair)
- [23] HIFI MOBIL 3/1995 „Autosubwoofer selbst gebaut Teil 2“ (Jeffrey D. Blair)
- [24] HIFI MOBIL 4/1995 „Autosubwoofer selbst gebaut Teil 3“ (Jeffrey D. Blair)
- [25] Zeitschrift: Klang & Ton 1994 – 1997
- [26] radio fernsehen elektronik 1974, Heft 19, S. 636 f.  
„Quadro-Effekt- ein Gerät zur pseudoquadrofonen Wiedergabe“
- [27] ELV, Hefte 6/2000 ... 3/2001 „Technik mobil: Sound auf Rädern – Auto-HiFi selbst eingebaut“ Teil 1 ... 4

Viele kleine Details stammen auch aus diversen „autohifi“ und Car-Hifi“-Zeitschriften.