Car-HiFi-Installations-Guide

Dies ist ein relativ umfassender Leitfaden für Installationen von HiFi-Anlagen in Autos.
Er enthält gesammelt einen großen Teil der Informationen von 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 50 Seiten, die alle notwendigen Informationen enthalten. Er wird jedoch ständig erweitert.

Weitere Infos unter www.selfmadehifi.de (nur dort ist er aktuell erhältlich)

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
1.4	08.05.2004	Nur kleine Änderungen und Ergänzungen, email entfernt
1.5	07.07.2004	Korrekturen unter geschl. Gehäuse, div. Ergänzungen
1.6	30.08.2004	Ergänzungen Formeln, Glossar
1.7	20.05.2006	Ergänzungen zu Radio, class-H, Navi, Glossar, Internet
1.8	01.12.2006	Erweiterung Akustik-Abschnitt, Glossar, Symbolik ergänzt
1.9	19.11.2010	Komplette Überarbeitung (nun in Open-Office 3)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung....4
1.1 Warum HiFi im Auto?....4
1.2. Grundvoraussetzung ist das Radio....4
2. Erster Schritt: ein neues Frontsystem....6
3. Sind auch Lautsprecher hinten nötig?....8
4. Der Bassdruck kommt vom Subwoofer....10
4.1 Gehäusesubwoofer....12
4.1.1 Geschlossene Gehäuse....13
4.1.2 Bassreflexsysteme (BR)....15
4.1.3 Bandpasssysteme....18
4.2 Free-Air-Systeme....21
4.3 Lautsprecherwiderstand....22
5. Zusätzliche Endstufen im Auto....24
5.1 Leistungsbedarf....24
5.2 Akustik....27
5.3 Leitungsquerschnitte....30
5.4 Komplettverkabelung:....33
5.5 Endstufentypen....37
5.6 Impedanz....39
6. Störungen....40
7. Installation in der Praxis....42
8. Erweiterungen....45
8.1. Navigationssysteme....45
8.2. DVD- und Videosysteme....45
8.3. Freisprecheinrichtungen....46
9. Glossar und Begriffdefinitionen....47
10. Symbolverzeichnis....56
11. Weitere Hinweise....57
12. Internetseiten für weitere Details....57
13. Quellen und Literaturangaben....58

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 Nachrüst-Hersteller mehr als doppelt so teuer und die besten Tuner/CD-Teile und Wandler werden hier nicht verbaut, obwohl diese Werksradios von den gleichen Herstellern wie z.B. 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 hier bessere Ergebnisse oder zumindest ein besseres Preisleistungsverhältnis erreichen.
So sollte bei Neuwagen die geringste Ausbaustufe von Radio und Lautsprechern oder Radiovorbereitung geordert werden, damit schon mal alle notwendigen Kabel im Auto liegen. Dann kann man den „Werksschrott“ rauswerfen, vor allem die Lautsprecher und die billigen Werksradios, deren Verkaufspreis leider trotzdem mal schnell 400,- EUR betragen kann.

Im diesem Guide (neudeutsch für 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 eine CD- oder gar eine DVD-Einheit integriert. Extern können meist DAB-Tuner, CD-Wechsler, USB-Sticks, I-Pods oder DVD-Geräte angeschlossen werden.
Selbst preiswerte (<200 EUR) CD-Receiver (Radio mit CD-Teil) sind originalen Werksradios beim Klang- und dem Empfang oft überlegen.
Heutzutage sind Radios mit MP3-fähigen CD-Laufwerken eine hervorragende Alternative zu CD-Wechslern. Selbst mit geringer komprimierten Dateien z.B. mit 192 kbps lassen sich noch mehr als 8 Stunden auf einer CD-R unterbringen.

Bei vielen neuen Autos gibt es leider keinen Radioschacht mehr. Nachrüsten ist hier nur schwer möglich. Ein weiteres Problem ist die Integration des Radios an das Navigationssystem, Lenkradfernbedienung u.s.w., so dass typische Zusatzfunktionen oft nicht mehr benutzt werden können. Da muss man oft suchen, um einen Adapter zu finden, wenn es so etwas überhaupt gibt. Deshalb ist es manchmal eine gute Alternative die beste Headunit (z.B. mit Navi) zu ordern, den Rest dann selbst aufzurüsten. Das hängt aber vom Fahrzeug selbst ab.

Eine weitere sehr gute Alternative sind fahrzeugspezifische Nachrüstsysteme, die direkt an den Originaleinbauort passen, aber mehr Ausstattung (Navi), besseren Klang zum günstigen Preis bieten. Eine gute Anlaufstelle dafür ist z.B. die Firma Zenec.

Will man auf externe Endstufen verzichten, sind 4 High-Power-Endstufen im Radio notwendig. Besser sind natürlich externe Endstufen, dafür sind jedoch mindestens zwei 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...5 V von Vorteil, da so Störungen weniger Chancen haben.

Bei Werkssystemen bleibt fast immer nur der Lautsprecher-Ausgang, der dann über einen High-Low-Adapter auf den Endstufen-Eingang angepasst wird. Klanglich ist das leider nicht ideal. Für einige Fahrzeuge gibt es auf dem Nachrüstmarkt auch Adapter, die z.B. den MOST-Bus anzapfen und so das Originalsignal analog und digital zur Verfügung stellen.

Zum Anschluss des Radios siehe unter Punkt 7 „Installation in der Praxis“.

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 Fehltritte bei den Frontsystemen. Pauschalurteile wie „Alles von Firma X ist gut oder sehr gut“ sind aber meist Unsinn. Hier kann ich nur auf die geeigneten Testzeitschriften (z.B. autohifi, Car & HiFi, Hifi-mobil) oder Internet-Foren (Vorsicht, nicht alles glauben!) verweisen.

Zuerst ist einmal die Größe des Systems (Tieftöner) entscheident. 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. Mit einer Aktivweiche, die die tieffrequenten Signale (< 90...140 Hz) mit einem Hochpass fernhält, geht es aber. Sonst sind deshalb immer mindestens 16,5 cm-Systeme (6,5 “) vorzuziehen.
Im allgemeinen ist, meiner Meinung nach, ein 16,5 cm-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 Türeinbau ist oft die Lautsprechertiefe, vor allem wenn nicht werksseitig vorgesehen ist, dort größere Tieftöner einzusetzen. 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... Elektrische Fensterheber sind hier natürlich von Vorteil. 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 der Tür von den Witterungseinflüssen geschützt bleibt. Damit das Doorboard entsprechend gut an das Fahrzeug angepasst aussieht, wird das ganze mit Spachtelmasse verbessert, geschliffen und anständig bezogen.
Manchmal reicht auch schon das „Bearbeiten“ der Plastik-Abdeckungen, um statt einem „Zehner“ einen 16er in den Originaleinbauort zu bekommen.

Je nach Türraum sind im allgemeinen weitere Dämmmaterialien, sonst klingt alles manchmal etwas hohl und blechern. Auch kann man so das Mitschwingen und Klappern von Fahrzeugteilen in den Griff 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 generell kein Optimum. Je höher sie, desto höher kommt die akustische Bühne, aber desto stärker wird das Klangbild durch den größeren Abstand zum Tieftöner zerrissen.
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 (CD-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 abgemischt, das keine rückwärtigen Signale enthält.
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 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-Material(128 kbps bei Joint-Stereo). Eventuell werden hier die Phaseninformationen des Stereosignal zerstört, so dass dieser Trick nicht mehr richtig funktioniert. Pumpgeräusche hinten wären die Folge.

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

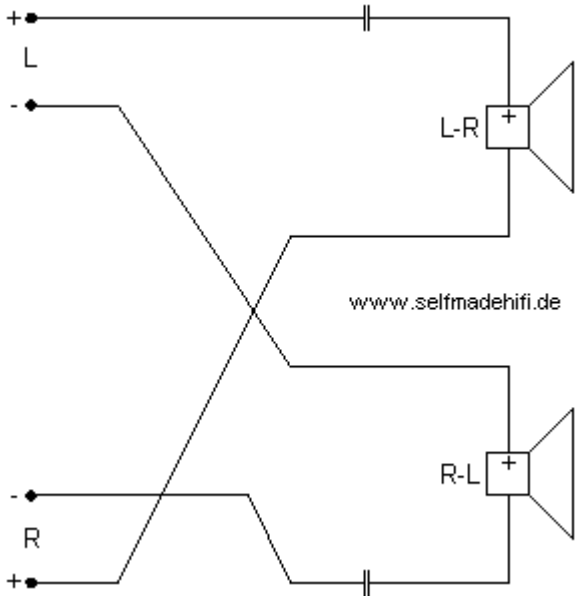

Bild 3.1

Bei einigen Endstufen mit hohem Innenwiderstand funktioniert diese Beschaltung leider nicht richtig.

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) zu verwenden. Zum Testen kann man kann sie jedoch auch mal 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 genau orten kann.

Am besten, ausprobieren, auch ein einfaches Stereosignal kann man immer hinten leise mitlaufen lassen.

Erst bei kompletten Decodern mit Dolby-Surround Pro Logic II (2) kann man auf diesen Kniff verzichten und die erzeugten Heckkanäle direkt anschließen.
Dieses neuen digitalen Dolby-Verfahren 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 (Filme) richtig umgehen.
Solche Dolby Surround Pro Logic II Dekoder sind auch für das Auto erhältlich.

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. Passive Weichen sind hier sehr verlustreich und müssen auch sehr genau auf den einzelnen Lautsprecher abgestimmt werden, da sich die Grenzfrequenz zu nahe an den Resonanzfrequenzen des Lautsprechers befindet.
Subwoofer nutzen die Schwäche des menschlichen Ohres, dass Frequenzen unter 150...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. Je nach Subwoofer und Frontsysteme sind Werte um 80...100 Hz optimal. Auch die Flankensteilheit des Filters sollte mindestens 12 dB, besser 18 dB oder 24 dB/Oktave betragen. Filter mit geringer Güte (z.B. Linkwitz, Bessel) verschlechtern nicht zusätzlich die Impulsivität des Basses.

Viele zweifeln den Sinn und Zweck der Subwoofer 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“ sicherlich nicht. Das ist nur etwas für Show-Cars.

Prinzipiell gilt:

Um tiefe Frequenzen mit großem Pegel zu erzeugen, braucht man große Membranflächen, viel Boxenvolumen und leider auch viel Leistung!

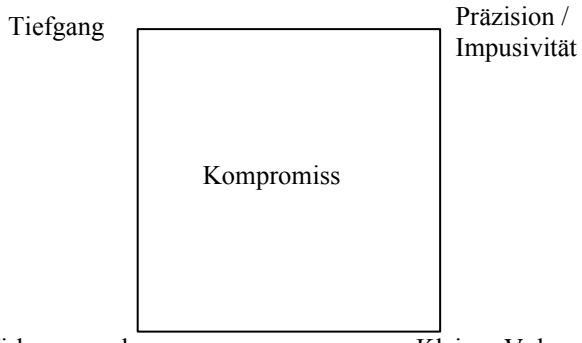

Bild 4.1

Ziel ist ein möglichst kleines Gehäuse, ein hoher Wirkungsgrad (große Lautstärke schon bei kleiner Leistung), tief gehender (fg < 50 Hz) und präziser Bass. Doch leider sind diese Anforderungen konträr zueinander. Sobald man die Bassbox in eine oder mehrere Richtungen optimiert, verschlechtert sich mindestens eine übrig gebliebene Größe. Heute akzeptiert man eher einen schlechten Wirkungsgrad, da man ihn mit hoher Leistung (ca.10-fach) kompensieren kann.

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 Minus- und zwei Plus-Anschlüsse zur Spannungsversorgung vom Bordnetz (12...14 V) haben. Der zweite Plus kommt als Steuerplus vom Radio, um ihn einzuschalten. 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 fs in Hertz (Hz), die Gesamtgüte Qts (ohne Einheit) und das Äquivalentvolumen Vas in Litern.
Neben dem Korbdurchmesser wird in der Regel noch der Nennscheinwiderstand, die gerundete Impedanz im Ohm (mit dem griech. Buchstaben Omega Ω gekennzeichnet), angegeben, sie liegt meist bei gerundeten 4 oder 8 Ω.
Die Resonanzfrequenz beschreibt, an welcher „Stelle“ das erste Impedanzmaximum ist, die Güte Qts gibt darüber Auskunft, wie stark die Überhöhung ist. Der Vas-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.
Diese Werte geben eine Empfehlung ab, in welchen Gehäuse sie eingesetzt werden können und was ungefähr für Ergebnisse zu erwarten sind. Als einziges Qualitätskriterium eignen sie sich jedoch nicht.

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 cm²
Volumen :	1 cu. in. (cubic inch)	= 16,387 cm³
	1 cu. ft. (cubic foot)	= 28 317 cm³ = 28,3 l (Liter)
Masse	1 lb. av. (pounds)	= 0,453 kg

Der Impedanzverlauf (Wechselspannungswiderstand) eines Lautsprechers sieht in Freiluft etwa so (wie in Bild 4.2) aus: (fs = 30 Hz, Qts = 0,40)

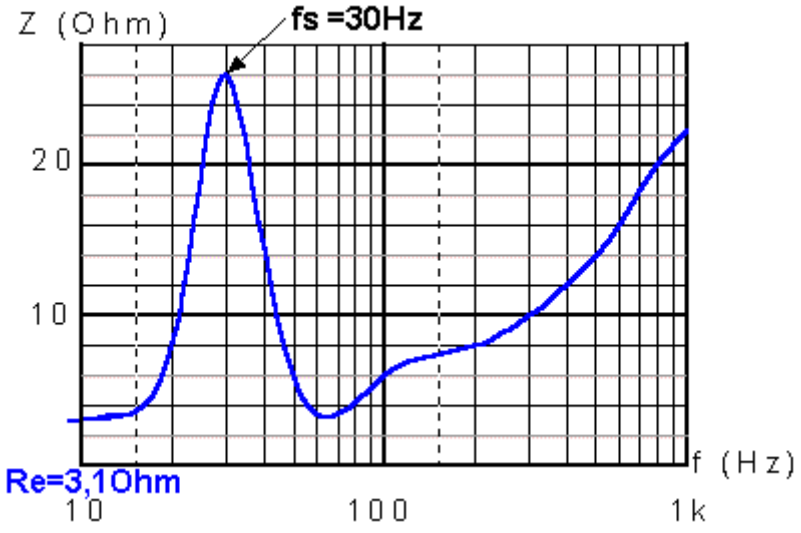

Bild 4.2

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 Volumen und größere Pegel 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, um ungefähr zu erkennen, was sinnvoll ist, nutzt man das EBP (Efficiency bandwidth product).

$$EBP = \frac{fs}{Qes} \approx \frac{fs}{\frac{1}{Qts} - 0{,}2} \approx EBPR \cdot Qts \cdot \left(\frac{1}{Qts} - 0{,}2 \right)$$

Da manchmal Qes nicht bekannt ist (oft werden nur Qts, fs, Vas genannt), soll hier alternativ EBP_R (Bezeichnung frei von mir gewählt) als Quotient verwendet werden.

$EBP_R = \frac{fs}{Qts}$ als Richtwert nutzen. [z01]

- EBP_R sollte etwa 50 (zwischen 40 und 80) sein für geschlossene Systeme
- EBP_R etwa 60 (50...100) für geschlossene Bandpässe
- EBP_R 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 wird. 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. Damit sind kleinere Volumen möglich.
Hier sind Chassis mit niedriger Resonanzfrequenz (fs < 30 Hz), niedrigem Äquivalentvolumen und einer Güte Qts 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 (fs > 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 Reifenschäden nicht komplett liegen bleibt, helfen spezielle Reparatur-Kits oder besser spezielle Räder, die dank der Reifen- oder Felgenkonstruktion Notlaufeigenschaften (Run-Flats) haben. Diese können auch mit defektem Reifen bis zur nächsten Werkstatt gefahren werden.
Vorgeschrieben sind solche Helfer aber nicht.

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.

Das geschlossene Gehäuse ist das meist verwendete im Auto-Hifi-Bereich. Der Hauptgrund dafür ist die Größe. Mit diesem Verfahren lassen sich bei gleicher Qualität und ähnlichem Wirkungsgrad kleinere Gehäuse nutzen, so dass ein möglichst kleines Volumen dem Kofferraum verloren geht. Auch sind diese „Kisten“ sehr einfach zu berechnen und abzustimmen.

Das geschlossene Gehäuse stellt ein System 2. Ordnung dar, also quasi ein Hochpass mit 12 dB pro Oktave Abfall unterhalb der Grenzfrequenz.

Sperrt man ein Chassis in ein Gehäuse, erhöht sich die Resonanzfrequenz des Chassis fc und leider auch die Einbaugüte Qtc. 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 Qts-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 Vas Auskunft.

Um komplizierte Berechnungen zu sparen, sollte man es einfach mit Computerprogrammen simulieren lassen. Das geht z.B. mit BassCADe, 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 25 Hz und einer Güte Qts = 0,35 nur eine untere Grenzfrequenz von ca. 50 Hz (unabhängig von der Einbaugüte Qtc) erreicht. Erst z.B. durch ein Bassreflexsystem sind unter 30 Hz drin.

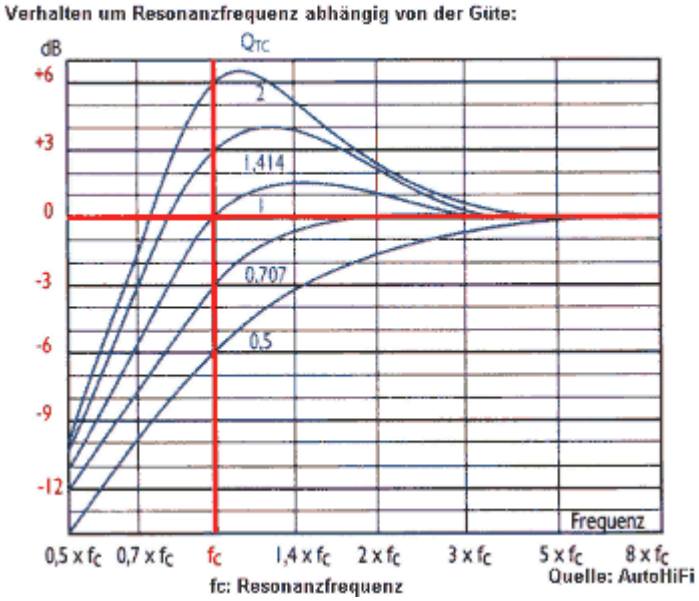

Bild 4.3 aus [z01]

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 Qtc = 0,707 ist die untere Grenzfrequenz f_{gu} gleich der Resonanzfrequenz f_c.

Grundformeln: nach [03]

Einbauvolumen $V_{box} = \frac{V_{as}}{\left(\frac{Q_{tc}}{Q_{ts}}\right)^2 - 1}$; Einbauresonanzfrequenz $f_c = f_s \cdot \frac{Q_{tc}}{Q_{ts}}$

untere Grenzfrequenz (-3 dB) $f_{gu} = f_c \cdot \sqrt{\frac{\left(Q_{tc}^{-2} - 2\right) + \sqrt{\left(Q_{tc}^{-2} - 2\right)^2 + 4}}{2}}$

bei Qtc>0,7 Überhöhung bei $f_{max} = f_c \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{2Q_{tc}^2}}$ mit Peak = $20 \cdot \lg \sqrt{\frac{Q_{tc}^4}{Q_{tc}^2 - 0{,}25}}$ [dB]

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

Mögliche Abstimmungen sind folgende:

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

Hier sind noch einige weitere Hinweise zur Einbaugüte Qtc: 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 (BR)

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, ein Bassreflexrohr. Jedoch erzeugt auch ein BR-System keinen höheren Pegel als ein geschlossenes System, der Frequenzgang wird nach unten erweitert, dort geht die Energie hin.

Ein BR-System ist ein System 3. Ordnung. Zwar ist die untere Grenzfrequenz prinzipiell tiefer, der Abfall zu tieferen Frequenzen dann aber stärker. Auch lässt sich dadurch das System sehr individuell einstellen und abstimmen, da man neben dem Gehäusevolumen auch die Tuning-Frequenz des Bassreflexrohrs verändern kann. Mit höherer Ordnung ist ein solches System aber auch anfälliger für Fehlabstimmungen.

Der Qts-Wert sollte für Bassreflexsysteme zwischen 0,3 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 Rohr-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 (Abstimmfrequenz des Rohres) kleiner als die Freiluftresonanzfrequenz fs wird. So sollte das Volumen nicht wesentlich größer als das Äquivalentvolumen des Chassis sein, will man präzisen Bass und keine zu 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. Qts > 0,38) wird das Volumen (abhängig vom Vas-Wert) meist sehr groß, da die Dämpfung der Resonanzfrequenz zu gering ist. Ist die Güte jedoch zu niedrig (Qts < 0,30) fehlt der Tiefgang.
Die Abstimmfrequenz des Rohres ist vom Gehäusevolumen hinter dem Chassis, der Rohrlänge und dessen Querschnitt anhängig.

- ⇨ Bei mehreren Rohren geht in die Berechnung der Gesamtinnenquerschnitt ein.
- ⇨ Je kleiner das Volumen und je größer der Querschnitt, desto länger muss das Rohr werden.

Als ungefähre Empfehlungen gelten z.B.:

$$V_{box} = 15 \cdot Vas \cdot Qtc^{2,87} \qquad l_{rohr} = \frac{168\,939 \cdot Arohr \cdot Qts^{1,8}}{fs^2 \cdot Vbox} - 0{,}88 \cdot \sqrt{Arohr} \qquad \text{[z01]}$$

(A_{rohr} Innenquerschnitt des Reflexrohrs in cm², V in l, l_{rohr} in cm)

Eine einfache, allgemein gültige Berechnung gibt es durch die verschiedenen Abstimmungen aber nicht.

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 der Membranfläche auf keinen Fall unterschreiten, ein guter Kompromiss ist etwa ein Fünftel der Membranfläche. Also bei einem 30 cm Korb, der etwa eine 25 cm-Membran hat, sind ein 8 cm Rohr das absolute Minimum, besser ist hier als 10 cm (1/5 der Fläche wären 11,2 cm).

Das sind wieder nur Richtwerte da die Strömungsgeräusche auch stark von der Tuningfrequenz und damit von der Geschwindigkeit der Strömung, sowie der Länge und der Form der Rohrenden abhängen.

Dieses Verhalten ist physikalisch beschreibbar z.B. durch die Reynolds-Zahl, die als das Verhältnis aus Strömungs-Trägheitskräften zu den Viskositätskräften definiert ist.

$$\mathrm{Re} = \frac{v \cdot l \cdot \rho}{\eta} = \frac{v \cdot l}{\nu} \quad [08]$$

wobei	Re	dimensionslose Reynoldszahl
	v	Geschwindigkeit in m/s
	l	Länge in m
	ρ	Dichte des Fluids in kg/m³
	η	dynamische Viskosität in kg/(s*m)
	v	kinematische Viskosität in m²/s

Je größer sie ist, um so turbulenter ist die Strömung in einem Fluid, je niedriger desto laminarer.

Die stark vereinfachte Empfehlung nach Small:

minimaler Rohrdurchmesser in [cm] $dv \geq 100 \cdot \sqrt{f_{tune} \cdot V_d}$

f_{tune} ist die schon erwähnte Rohrresonanzfrequenz (auch als f_B bezeichnet) in Hz
V_D ist das Luftverdrängungsvolumen des Lautsprechers im m³

Das berechnet sich wie folgt:

$$V_D = \frac{1}{10^7} A_m \cdot X_{\max} = \frac{\pi}{4 \cdot 10^7} \cdot d_m^2 \cdot X_{\max} \qquad \text{in [m³]}$$

A_m ist die effektive Membranfläche in cm² (bei den TSP meist mir S_d bezeichnet)
d_m ist der Membrandurchmesser in cm
X_{max} die maximale lineare Auslenkung (der halbe Hub) in mm

Auch mehrere Rohre sind möglich, sie sollten aber unbedingt gleiche Abmaße besitzen. Es addieren sich dann die Querschnittsflächen.

deshalb:

$$d_{gesamt} = d_{einzel} \cdot \sqrt{n}$$

wobei n die Anzahl der Rohre

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.
Ein geschlossener Bandpass stellt ein System 4. Ordnung dar.

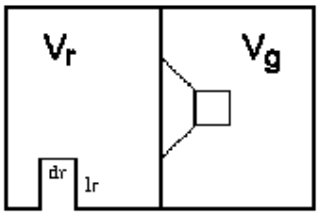

Bild 4.4

Wie in Bild 4.4 zu sehen, benutzen geschlossene Bandpässe ein geschlossenes und ein Bassreflex-Volumen. Der gesamte Schalldruck kommt ausschließlich durch das Reflexrohr, das 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 und kaskadierte Bandpässe, die mehrere Kammern und diverse Rohre oder Tunnel besitzen. Bedeutende Klang-Vorteile gegenüber den einfachen Systemen gibt es jedoch nicht. Mit der Steigerung des Konstruktionsaufwandes geht jedoch immer stärker die Gefahr von Fehlabstimmungen einher, da sich Parameterschwankungen immer stärker direkt auf das Endergebnis auswirken.

Bei geschlossenen 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 Vg beeinflusst die Einbaugüte, die Reflexabstimmung (Volumen, Rohr) 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), werden im Consumer-Bereich nicht so tiefe, aber unpräzise Abstimmungen (z.B. Qtc >= 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.

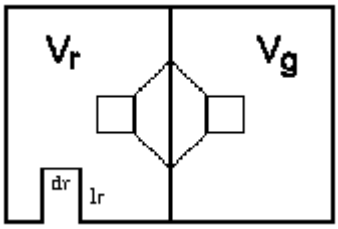

Bild 4.5

Mit jeder Verdopplung 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 4.5 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) also bei Subwoofern einsetzen.

Ein Bandpass hat eine Mittenfrequenz und eine Bandbreite, je schmaler das Band sein soll (Siehe S= 0,7 in Bild 4.6), desto geringer lassen sich die Welligkeiten halten.

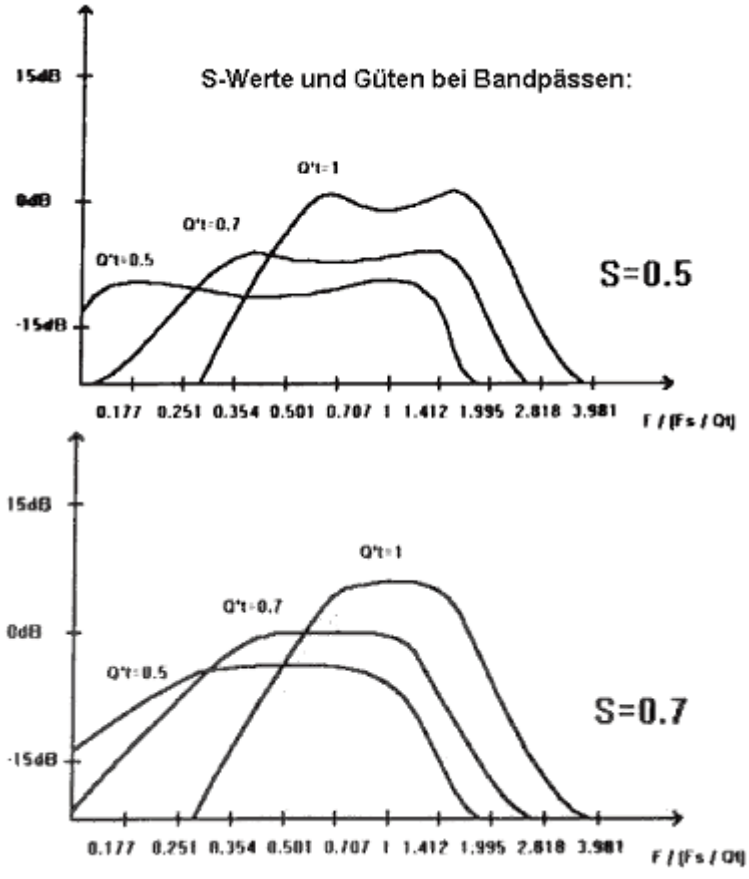

Bild 4.6 [24]

Klanglich von Vorteil sind also S-Werte von 0,6 – 0,7 und Güten (Qtc) von 0,6 bis 0,75. Dabei sieht man jedoch auch schon den wesentlichen Nachteil: der geringe Wirkungsgrad, der dann unter denen von geschlossenen oder Reflex-Systemen liegt.

Hier sind nun die grundsätzlichen Formeln:

geschlossenes Volumen (genau wie bei geschlossenen Systemen)

$$V_g = \frac{V_{as}}{\frac{Q_{tc}^2}{Q_{ts}^2} - 1}$$

Reflexvolumen:

$$V_r = \left(2S \cdot Q_{ts}\right)^2 \cdot V_{as}$$

Nun muss die Abstimmfrequenz des Rohres abhängig von der Gehäuseresonanz festgelegt werden. Man legt für eine symmetrische Abstimmung des Bandpasses die Tuningfrequenz wie folgt fest:

$$f_b = Q_{tc} \cdot \frac{f_s}{Q_{ts}}$$

damit ergibt sich die Rohrlänge zu

$$l = \frac{94400 \cdot r^2}{V_r \cdot f_b^2} - \left(k \cdot r\right) \quad \text{[cm] nach [24]}$$

r Radius (halber Durchmesser) des Rohres in cm
V_r Reflexvolumen in Litern
f_b Abstimmfrequenz des Rohres in Hz
k Konstante abhängig von Anordnung

Bei Rohren, die bündig mit der Außenwand abschließen und nach innen hineinragen, nimmt man einen k-Wert von 1,463.

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 (aber auch undichte) 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. Z.B. Sollbruchstellen in der Holzplatte unterstützen die Sicherheit sehr.

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 Subwoofer wegzulassen.

Ich würde im Auto 25 oder 30 cm Subs empfehlen.
Denn größere Lautsprecher sind nicht zwangsläufig lauter oder besser.

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. Das Produkt aus Strom I (in Ampere) und Spannung (in Volt) ergibt dann die Leistung P (in Watt). Die Angaben der Impedanz in Ω betrifft vor allem die Schwingspule. Der ohmsche Anteil der Spule z.B. R_e = 3,1 Ω, (gerundet Z = 4 Ω) begrenzt den Maximalstrom, der durch die Endstufe fließt. (Siehe dazu unter Punkt 5.6)

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

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

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

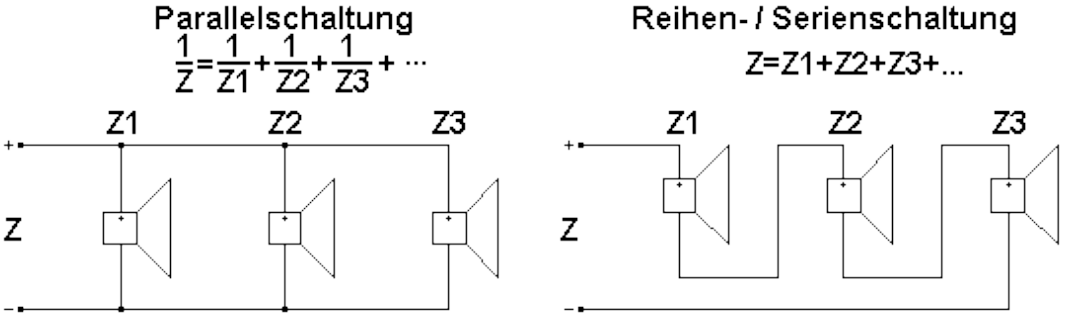

Bild 4.7

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.

Hinweis:

Frequenzweichen, egal wie viele Einzellautsprecher (z.B. jeder mit 4 Ω) daran hängen, verändern bei richtiger Abstimmung die Gesamt-Impedanz des Systems 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 5.6 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 4 Ω-Lautsprecher maximal 3,5 W Sinus erreichbar.

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

Die Ausgangsspannung U, die eine Transistorstufe erzeugen kann erreicht maximal 12 V / 2 - 0,8 V=5,2 V_{pp}=3,7 V_{eff}.

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 4 Ω-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 Versorgungspotentiale.

Das Kfz-Bordnetz bietet bei laufendem Motor durch die Lichtmaschine noch etwa 15 % mehr (ca. 13,0...14,5 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. 2,5 qmm) notwendig wären. Dabei entsteht aber schon eine enorme Wärme, die sich über das kleine Radio im Schacht der Mittelkonsole kaum noch abführen lässt.

Die realen Ausgangsleistungen liegen dazu 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...0,5 % betragen. Die oft von den Herstellern angegebenen Ausgangsleistungen, auch wenn sie dauerhaft erzielt werden, liegen höher, da man hier höhere Klirrfaktoren (üblicherweise 1...5 %, 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 im Freifeld 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.

Definitionen:

Sinusleistung heißt definierte Dauerleistung. So müssen die angegebenen Leistungen von der Endstufe dauerhaft (mehrere Minuten) abgegeben b.z.w. vom Lautsprecher vertragen werden. Dabei gibt es Abweichungen zwischen den Normen. Früher wurde ausschließlich nach DIN-Norm, also bei nur einer Frequenz (1 kHz, 10 min, k < 0,7 %) die Ausgangsleistung gemessen. Die später daraus hervorgegangene IEC-Norm wurde deshalb auf den Bereich 63 Hz bis 12,5 kHz (nach DIN-HiFi-Norm) erweitert. Andere Normen, wie die amerikanischen RMS-Angabe nach FTC messen im gesamten Hör-Frequenzbereich (20 Hz bis 20 kHz) Hier muss die Dauerleistung 5 min lang geliefert werden, der Klirrfaktor darf dabei nur maximal 0,1 % betragen. Damit ist diese Norm etwas schärfer. Der Klirrfaktor gibt den Anteil an Oberwellen zur Grundschwingung an. Sinusleistungen sind aufgrund der genauen Definitionen immer die am besten vergleichbaren Werte.

Die Dauerleistungs-Angabe nach der japanischen EIAJ-Norm ist jedoch mit Vorsicht zu genießen, da hier ein Klirrfaktor von bis zu 10 % zugelassen wird, was in jedem Fall hörbar ist.

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, auch da diese Angabe und deren Messmethode nicht standardisiert ist. Dieser Wert ist deshalb (im Schnitt 20 bis 80 %) höher als die der Sinus-Dauerleistung.
Eine Messmethode ist nach IHF definiert, bei der ein Signal gepulst abgegeben wird.

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 70 bis 100 W Musik, könnten aber über irreale 150 bis 300 W (Impuls) sein. Denn diese Peakwerte können nur für einige Millisekunden erreicht werden. Das sind reine „Papierwatt“, die nur für schlechte Werbung taugen.

Rechen-Regeln:

Da das menschliche Ohr die Lautstärke logarithmisch „arbeitet“, wird deshalb der Pegel des Drucks umgerechnet.

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

$$L\,[dB] = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_2}{U_1}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

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	halber Abstand: + 6dB
doppelte LS-Fläche: +6dB	doppelte Anzahl (mit so auch doppelter Leistung) +3 dB

Dazu muss ich noch etwas ausführen:

Da eine Schallwelle neben der Amplitude auch eine Phase hat, hängt der resultierende Gesamtschalldruck von der Phasendifferenz und dem Abstand beider Schallquellen ab.
Bei üblicherweise phasenverschobener Wiedergabe von z.B. 2 Lautsprecherboxen, erhöht sich der Schalldruck durch die Leistungsverdoppelung um 3 dB und nicht um 6 dB, wie oft zu lesen. Grund dafür: Durch 2 Boxen verdoppelt sich nicht der Schalldruck, was +6 dB bedeuten würde, sondern leider nur die abgestrahlte Schall-Leistung woraus die +3 dB resultieren. Das bedeutet auch, dass man 10(!) gleichlaute Schallquellen benötigt, um eine (empfundene) Lautstärkeverdoppelung (+10 dB) zu erreichen.

Sind zwei einzelne Lautsprecher eng beieinander (in Abhängigkeit der abzustrahlenden Wellenlänge, also im Allgemeinen nur bei Basschassis) und beide bekommen direkt das gleiche Eingangssignal von der selben Endstufe, dann tritt eine Erhöhung von +6 dB ein, da sich hier dann wirklich die Schalldrücke durch die doppelte Strahlerfläche verdoppeln.

Alle diese Angaben gelten nur unter Freifeldbedingungen. In der Praxis kommen weitere Abweichungen durch Reflexionen, Richtwirkung etc. hinzu.

Wer das nicht glaubt: Schau' in professionelle Bücher über technische Akustik. Siehe Quelle [01] oder [03].

Der typische Lautstärkepegel einer Box in dB mit der Eingangsleistung P und in der Entfernung l ergibt sich wie folgt:

$$L_a = SPL + 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0} - 20 \cdot \lg \frac{l}{l_0}$$

wobei

L_a	absoluter Akustik-Pegel (Lautstärke) in dB
SPL	umgerechneter Wirkungsgrad in dB (@ 1W, 1m) meist um 90 dB / 1W1m
P	aufgenommene Lautsprecherleistung in Watt (W)
P_0	Bezugsgröße = 1 W
l	Entfernung Hörer zur Box in Metern (m)
l_0	Bezugsgröße = 1 m

Diese Berechnung gilt im Bereich bis zu wenigen Hundert Watt. Darüber wird immer mehr Leistung in Wärme umgewandelt, so dass sich der Pegel nicht mehr entsprechend erhöht. (Thermische Kompression)

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 Akustik

Für alle, die mit Lautstärke, Schalldruck, Leistung und den Bezeichnungen dB, phon, sone nicht anfangen können, hier einige Erklärungen.

Wie zuvor beschrieben, kennzeichnet das Dezibel (dB) nur ein Verhältnis zwischen Leistungen oder Schalldruck oder ähnlichem. Dabei gibt es dann den absoluten und den relativen Pegel. Eigentlich ist das Dezibel immer relativ, aber durch einige feste (definierte) Bezugsgrößen kann man auch einen Absolutwert angeben.

In der üblichen Verwendung als Lautstärke-Indikator wird der absolute Schalldruckpegel in dB abhängig vom Schalldruck in Pascal (Pa) wie folgt definiert:

$$L = 20\ dB \cdot \lg \frac{p}{p_0} \quad mit\ p_0 = 20 \mu Pa$$

Man hat den Schalldruck an der Hörschwelle mit 20 µPa festgelegt, der Druck p nimmt bei jeder Verdoppelung um 6 dB zu. Für jede Schalldruckverdopplung benötigt man jeweils die vierfache Leistung. Aber für die empfundene doppelte Lautstärke sind, wie zuvor bereits ausgeführt, jeweils +10dB notwendig.

Um mathematisch das Berechnen der Lautstärkepegels zu erleichtern, wurde die Pseudoeinheit „Sone“ definiert. Durch den entfallenen Logarithmus verdoppelt sich nun auch die Lautstärke bei doppelten sone-Wert.

1 sone = 40 dB, 2 sone = 50 dB, 4 sone = 60 dB

Umrechnung:

$$dB = 10 \cdot ld(sone) + 40 = 10 \cdot \frac{\lg(sone)}{\lg(2)} + 40 = 10 \cdot \frac{\ln(sone)}{\ln(2)} + 40$$

oder in Gegenrichtung $sone = 2^{\frac{dB-40}{10}}$

Da die empfundene Lautstärke allerdings auch noch abhängig von der Frequenz ist, bezeichnet das Phon eine gleiche Lautstärke.
Der phon-Wert entspricht dem Dezibel-Wert bei 1 kHz.

0 phon entsprechen der durchschnittlichen Hörschwelle, 130 phon der Schmerzschwelle.

Wie aber im Bild 5.1 zu sehen, benötigt man für größere Lautstärken, also große phon-Werte, bei hohen und tiefen Frequenzen größere Lautstärke-Pegel (dB) als im mittleren Bereich.

Für 90 phon sind im Tiefbassbereich (um 35 Hz) um 105 dB (ca. 15-fache-Leistung) notwendig, bei hohen Tönen um 8 kHz immer noch 96 dB (4-fache Leistung).

Die Kurven gleicher Lautstärke werden als Isophonen bezeichnet. Es existiert keine direkte Umrechnung, da diese Daten von verschiedenen Wissenschaftlern empirisch aufgenommen wurden und in diversen Kurven umgesetzt werden.

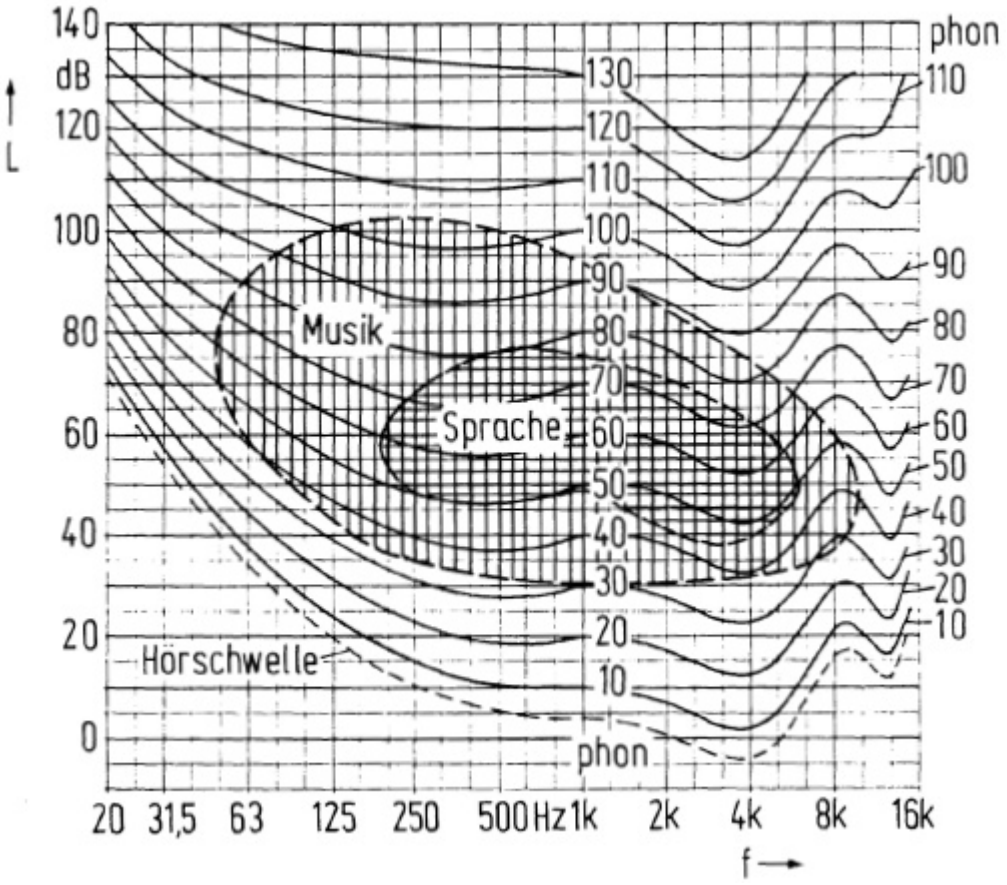

Bild 5.1 Verhältnis phone zu dB aus [05]

Um diese aufwändigen Verhältnisse zu vereinfachen, wurden 4 Standard-Filter in [n04] definiert, die den Schalldruckpegel dem Hörempfinden in einem Bereich anzunähern.

Diese Filterkurven sind in Bild 5.2 dargestellt.

Durch die Angabe dB(A) wird dieser benutze Filter dann in der „Einheit“ gekennzeichnet.

Ursprüngliche Festlegung der Bereiche:

- A für geringe Lautstärken bis 30 phon
- B für geringe bis mittlere Lautstärken zwischen 30 und 60 phon
- C für größere Lautstärken über 60 phon
- D nur für Messungen von Flugzeuglärm um 120 phon

Durchgesetzt hat sich im Allgemeinen nur die dB(A)-Messung, was jedoch im üblichen Bereich von 50...90 dB zu starken Verfälschungen führt.

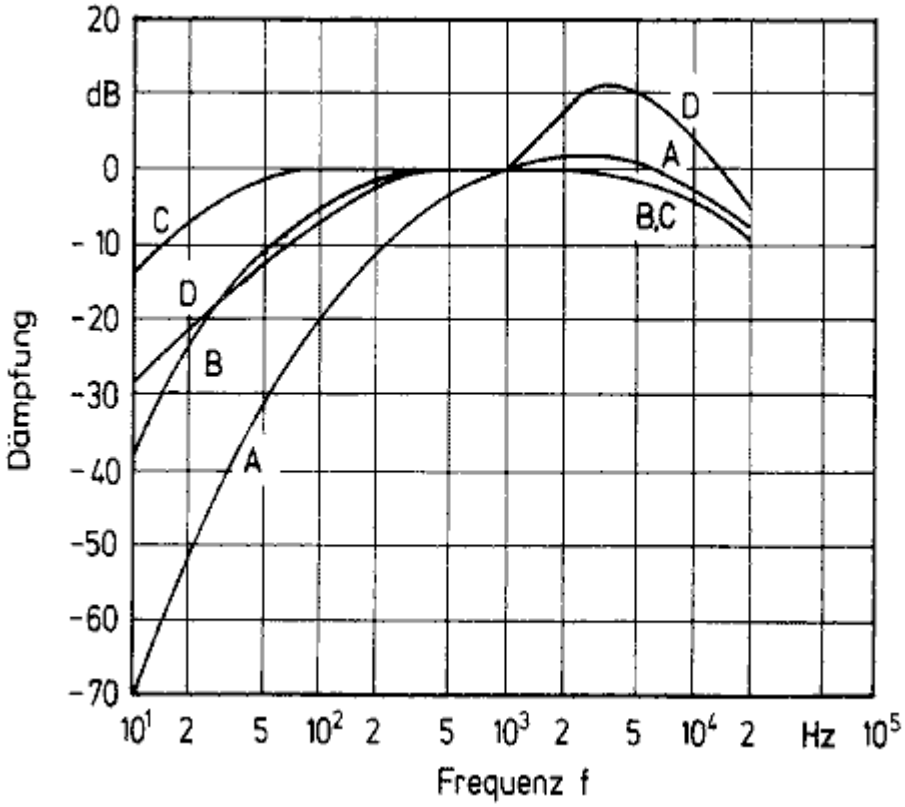

Bild 5.2 Filterkurven bei Schalldruckmessungen aus [n04]

5.3 Leitungsquerschnitte

Da im Auto geringe Spannungen (12...14 V) herrschen, aber man ebenfalls große Leistungen haben will, sind die Ströme um ein Vielfaches (ca. 20-fach gegenüber 230 V-Stromnetz) höher. Damit am Leitungsende noch genug ankommt und die Kabel nicht brennen, sind große Leitungsquerschnitte erforderlich.

Da gilt U=I*R, heißt das, dass durch den 20-fach höheren Strom auch die 20-fache Spannung über das gleiche Stück Kabel abfällt. Und da die Leistung P=U*I, muss der elektrische Widerstand des Kabels die 400-fache 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.

Zur Übersicht dient die nachfolgende Tabelle (angelehnt an DIN 57100 Teil 523 und Teil 430) Das sind alles die maximalen Dauerströme der Kupfer-Leitung, die nicht über längere Zeit (mehrere Minuten) überschritten werden dürfen.

Der Durchmesser d errechnet sich direkt aus dem Querschnitt und ist der minimal mögliche bei starrem Draht. Flexibles Kabel hat deshalb größere Durchmesser. 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. Siehe [n01] und [n03]

Querschnitt	d (mm)	AWG	R (mΩ/m)	max. Dauerstrom (A)	Sicherung (A)	Leistung 12V/14V
0,75 mm²	0,977	18	22,7	12	6	140W / 160W
1,0 mm²	1,128	17	17,0	15	10	170W / 210W
1,5 mm²	1,382	15	11,3	18	16	210W / 250W
2,5 mm²	1,784	13	6,80	26	20	310W / 360W
4 mm²	2,257	11	4,25	34	25	400W / 470W
6 mm²	2,764	9	2,83	44	35	520W / 610W
8 mm²	3,192	8	2,13	(50)	(40)	600W / 700W
10 mm²	3,568	7	1,70	61	50	730W / 850W
16 mm²	4,514	5	1,06	82	63	980W / 1100W
20,4 mm²	5,096	4	0,83	(90)	(70)	1080W / 1260W
25 mm²	5,642	3	0,68	108	80	1,3kW / 1,5W
35 mm²	6,676	2	0,49	135	100	1,6kW / 1,8kW
50 mm²	7,979	0	0,34	168	125	2,0kW / 2,3kW
70 mm²	9,441	-	0,24	207	160	2,4kW / 2,8kW
95 mm²	11,00	-	0,18	250	200	3,0kW / 3,5kW

Bei der Auswahl des Stromversorgungskabels werden alle Ausgangsleistungen addiert, dann mit 1,5...2 multipliziert, um die Verluste einzubeziehen. Der angenommene Wirkungsgrad liegt zwischen 0,5...0,7 bei class-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 4 x 120 W (sinus, max.)

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

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 oder Trennrelais einer einfachen Parallelschaltung im allgemeinen vorzuziehen.

Der Spannungsabfall über das Kabel sollte bei Nennleistung maximal 3 % der Versorgungsspannung betragen.

Bei einer angenommenen Bordspannung von 13,5 V beträgt der Widerstand der Leitung (Kupfer 16 mm², 2 x 6 m lang) 13,35 Milliohm

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

$$U = R \cdot I = 13{,}35\ \text{m}\Omega \cdot 71\ \text{A} = 0{,}95\ \text{V} = 6{,}8\ \%$$

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

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 etwa 93 % (12,5 V) hinten an. Bei Verwendung von 25 qmm-Kabel (R = 8,5 mΩ) fallen „nur“ 0,6 V (4,4 %) ab. Und dadurch wird entsprechende Leistung in Form von Wärme vom Kabel abgegeben, beim oben verwendeten 16 mm²-Kabel etwa 70 W!

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

5.4 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. 30 cm) 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.

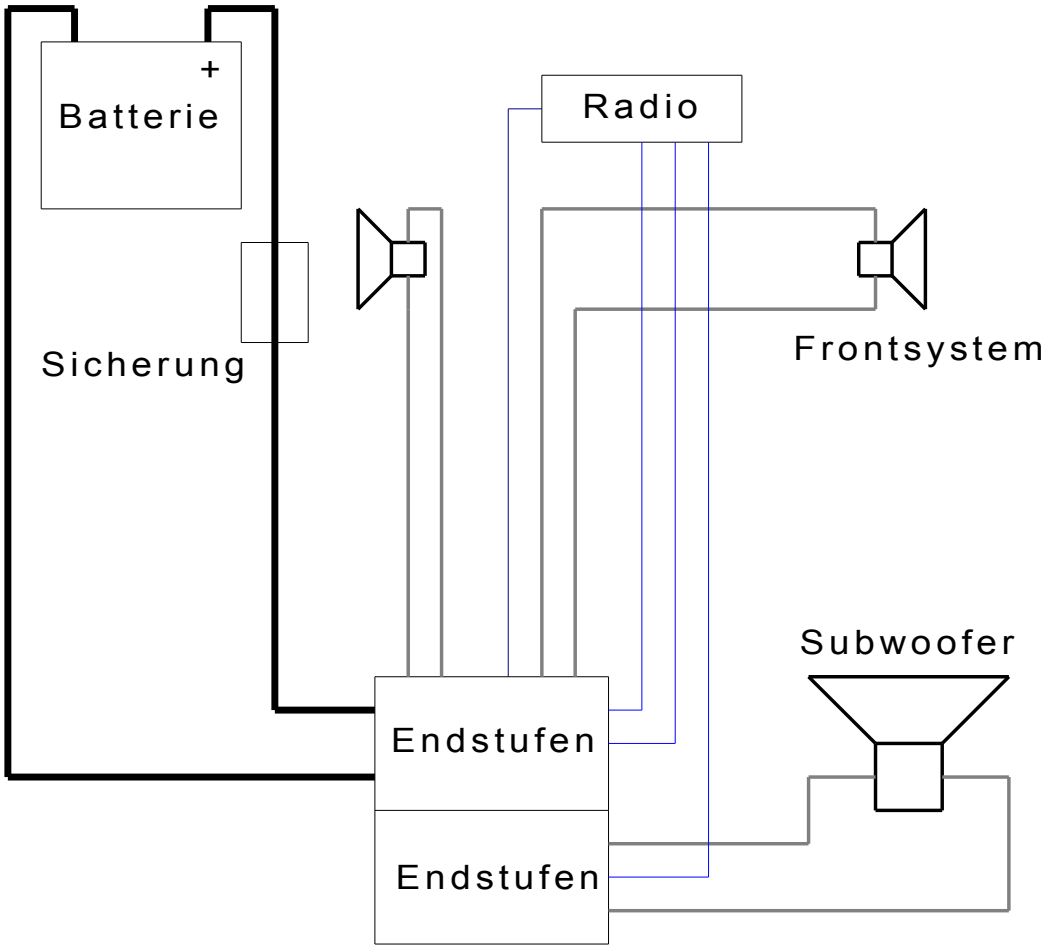

Bild 5.3

Da die hohen Dauerströme der Endstufen selbst ohne Eingangssignal die Batterie schnell entladen würden, wird die Endstufe über den Remote-Ausgang des Autoradios nur bei aktiviertem Radio eingeschaltet. Dieser 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 Milliampere-Bereich, mehr als 300 mA sollten es nicht sein.

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 High-Low-Adapter oder eine kleine Schaltung weiter. (auf www.selfmadehifi.de)
Einige dieser Adapter erzeugen sogar ein Remote-Signal.

Auch das Lautsprecherkabel sollte einen sinnvollen Querschnitt aufweisen.
Je nach Leistung 2 x 1,5 mm² oder 2x 2,5mm² für das Frontsystem und 2 x 4 mm² bei Subwoofern mit hoher oder sehr hoher Leistung.

Die folgende Tabelle gibt die Maximalleistungen (thermische Grenze) von Lautsprecherkabeln an. Deshalb immer deutlich dickere Kabel nutzen, da sonst die Spannungsabfälle (Leistungsverluste) zu hoch werden.

Kabelquerschnitt in mm²	Maximalleistung an 4 Ω in Watt	Maximalleistung an 8 Ω in Watt	Maximalleistung an 2 Ω in Watt
0,5	140	280	70
0,75	550	1100	275
1,0	900	1800	450
1,5	1200	2400	600
2,5	2700	5400	1350
4,0	4600	9200	2300

Autoradios besitzen auf der Rückseite heutzutage Plastik-Steckleisten, deren Belegungen sich unterscheiden. Ein ISO-Standard half hier zwar, er wird aber variabel gehandhabt.

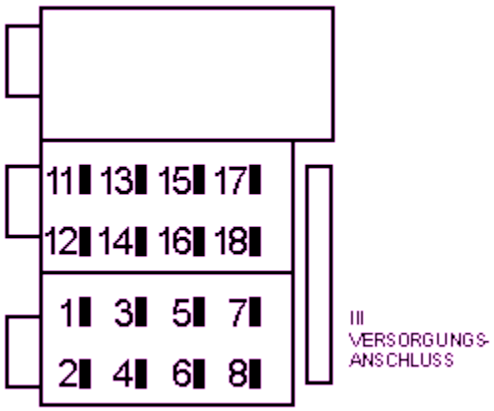

Bild 5.4: ISO-Stecker am Radio

Der ISO-Stecker besteht aus 3 verschiedenen Teilen:
- Block A (unten) ist für die Versorgung des Radios
- Block B (Mitte) für die Lautsprecher-Ausgänge
- Block C (oben) ist für CD-Wechslersteuerung und Telefon-Stummschaltung

Stromversorgungsstecker:

1. SCV oder frei (in)	5. Auto Ant. (out)
2. Tel. Mute (in) oder frei	6. +12V Display (in)
3. remote out oder frei	7. Schaltplus (in)
4. Dauerplus 12V (in)	8. Masse

Bei diversen Fahrzeugherstellern und einigen Nachrüstern sind Dauerplus und Schaltplus vertauscht.

Lautsprecherstecker:

11. hinten rechts +	15. vorn links +
12. hinten rechts -	16. vorn links -
13. vorn rechts +	17. hinten links +
14. vorn rechts -	18. hinten links -

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 rum probieren 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, werksspezifische Funktionen nicht mehr genutzt werden. Dazu zählt vor allem die Lenkradbedienung. Für solche Funktionen gibt es nur für einige Kombinationen Adapter.

Um die Spannungsversorgung zu verbessern, werden Elkos eingesetzt, die die Spannungseinbrüche abfangen, so dass es geringere Schwankungen 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 zusätzlichen Widerstand und nicht unerheblicher Induktivität dazwischen hängt, 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 (1 000 000 µF) 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, im Gegensatz zu Akkus, in Form einer e-Funktion entladen, halbiert sich mit doppelter Kapazität auch die Spannungsdifferenz bei etwa gleichem Lastwiderstand.

Spannnungsverlauf über Zeit bei Kondensatoren:

$$U(t) = U_0 \cdot e^{\frac{-t}{R \cdot C}}$$

wobei:	U_0	Normalspannung zu Beginn, bei t = 0
	t	Zeit in s
	R	Lastwiderstand in Ω (Ohm) bei 60 A etwa 0,2 Ohm
	C	Kapazität in Farad (F)

Das Produkt aus R und C wird als Zeitkonstante τ (griechischer Buchstabe Tau) bezeichnet.

Wird ein konstanter Strom aus einer Kondensator „herausgezogen“, ändert sich die Spannung linear.

$$U(t) = U_0 - \frac{I}{C} \cdot t$$

wobei:	U_0	Normalspannung zu Beginn, bei t = 0
	t	Zeit in s
	I	Entladestrom in A
	C	Kapazität in Farad (F)

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 Ω / 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, kann man die originale durch eine mit höherer Kapazität ersetzen. Man sollte aber den Wert der originalen nicht zu stark (mehr als Faktor 2) überschreiten. Eventuell muss im neuen Fahrzeugsystemen der neue Batteriewert parametriert werden, da hier Ladeelektroniken den Zustand überwachen. Bei einigen 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 90 A, ist eine Anlage mit Maximalströmen von 80 A oder mehr zu viel 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 minus 10 °C) weniger als ein Drittel ihrer Norm-Kapazität. Im Winter wird es dann beim Start kritisch.

5.5 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 heutzutage meist 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, wie die Endstufe arbeitet, also auch in welchem Arbeitspunkt man die Endtransistoren betreibt. Jeder Typ 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 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. Dieser Typ wird im allgemeinen nur in speziellen Amps im Home-Hifi eingesetzt.
- **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. Einzelne (billige) Bass-Endstufen arbeiten nach diesem Prinzip.
- Der übliche Kompromiss sind sogenannte **Class-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 Wirkunsgrad liegt wie bei den Class-B ebenfalls bei 78,5 %. Das ist der meistverwendete Typ im Heim- und Car-HiFi-Bereich.
- **Class-C** (noch höherer Arb.-Punkt) werden üblicherweise nur im HF-Bereich (Modulation) eingesetzt.
- **Class-D** erlaubt eine quasi digitale (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 schlechtere Klangqualität. Class-D werden meist bei großen Ausgangsleistungen, vor allem für den Bass verwendet. Möglich sind so Wirkungsgrade von über 90 %. Ein Nachteil ist jedoch der nachgeschaltete passive 50 kHz-LC-Tiefpass, das am Ausgang den Innenwiderstand erhöht. Die Taktfrequenz liegt z.B. bei 600 kHz. Durch zusätzliche digitale Anpassung und Regelung (Überrechnung) am Ausgang bieten aktuelle Digitalendstufen (Class-D, Class-X, Class-T) eine wesentlich bessere Klangqualität, die etwa auf A/B-Niveau liegt.
- Neuer im Car-HiFi-Bereich ist die Bezeichnung **Class-H**. Hierbei handelt es sich um eine spezielle Endstufe, die mehrere verschiedene Betriebsspannungen benutzt, um so den Wirkungsgrad trotz analoger Ansteuerung zu erhöhen. In einigen Radios werden class-H-Endstufen-Schaltkreise mit einer Ladungspumpe (charge pump) betrieben, die eine höhere Spannung in einem Elko speichert und diesen zyklisch auflädt. So sind im Brückenbetrieb auch bei 13,5V an 4 Ohm-Lautsprechern etwa 50...80W pro Kanal erreichbar.

Class-A, Class-B, Class-AB und Class-H sind analoge NF-Endstufen.
Class-D, Class-T, Class-X sind wegen der Taktung so genannte digitale Endstufen, die eine analoge Nachfilterung am Leistungsausgang brauchen.

Brückenendstufen bestehen aus 2 einzelnen Endstufen, die in Reihe geschaltet werden, um mehr Ausgangsspannung zu erzeugen. Im Autoradio wird das ganze einfach doppelt aufgebaut und das Signal einer Endstufe in der Phase gedreht. Dann hat das Signal am Ausgang die doppelte Spannung. (siehe dazu mehr im nächsten Kapitel)

Neben Ausgangsleistung, Frequenzgang, Klirrfaktor gibt es den Dämpfungsfaktor als Qualitätsmerkmal bei Endstufen. Steuert eine Endstufe eine Last, gibt es durch das Steuerglied, die Endtransistoren und weitere Widerstände (Kabel etc.) 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 Qtc des Lautsprechersystems steigt an, 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 mΩ = 0,01 Ω. 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.

5.6 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 Ω-stabil, also können alle Lautsprecher mit 2 Ω oder mehr angeschlossen werden. Beim Home-HiFi gilt allgemein 8 Ω als Standard. Bei kleineren Werten wird es kritisch, wenn mehr als Teil-Last „gefahren“ wird, also bei größeren Lautstärken. Dadurch wird der Strom durch die Endstufentransistoren zu groß, so dass die dabei beschädigt werden können, auch wenn Schutzschaltungen gegen Überstrom und Übertemperatur vorhanden sind. Diese verhindern nur die sofortige Zerstörung.

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 die abgegebene Leistung! Hat ein Verstärker eine Sinusleistung von 100 W an 4 Ω, könnte er theoretisch nur noch die Hälfte an einen 8 Ω-Lautsprecher abgeben, praktisch liegt die Ausgangsleistung durch das entlastete Netzteil und kleinere Verluste meist bei etwa 60...70 W. Auch 4 Ω und 1 Ω-stabile Endstufen existieren, also auf die Kennzeichnung achten! Besonders Autoradio-Endstufen sind im allgemeinen nur 4 Ω –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 Ω-stabile Stereo-Endstufe nur ein Lautsprecher mit mindestens 4 Ω angeschlossen werden darf, da sonst der Strom zu groß wird.

Das ist auch bei Trimode-Betrieb zu beachten, wenn jeweils zwei 4 Ω -Systeme und ein Subwoofer an einer Stereo-Endstufe betrieben werden sollen.

Weiteres Brücken, also in-Reihe-Schalten weiterer Endstufenkanäle, z.B. bei einer 1 Ω-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 (mehr als 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 laufenden 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.

Will man unbedingt die Fahrzeugmasse verwenden, muss man sich einen gut „geerdeten“ Punkt suchen, das ist im Heck üblicherweise die Gurtbefestigung der Fond-Passagiere. 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 Masseführung muss probiert werden, manchmal reduziert auch eine gute Masse-Verbindung von Kabeln und Karosserie die Störungen. Dann waren die Kabel nicht dick genug.
Gute Endstufen haben an den Cinch-Eingängen kein direktes Massepotential, sondern Differenzeingangsstufen, 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 heutigen 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 verdrillten 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 verdrillten 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...8 V anstatt z.B. 100 mV (+ 30 dB!), die Endstufe muss damit aber umgehen können, ohne zu verzerren.
Neben den Standard-Stereo-Kabeln, gibt es auch Modelle, die 4 oder 6 Kanäle per Cinch verbinden können.

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

Was sonst immer hilft: Symmetrische Verkabelung mit getrennter Masse. Warum man die symmetrische Verkabelung (XLR im PA- und Studio-Bereich Standard) nicht generell im Auto benutzt, ist mir schleierhaft. Nur bei sehr teuren Komponenten gibt es solche Balanced-Inputs. Weiterhin wäre auch die Übermittlung per (potentialfreien) Lichtwellenleiter eine ideale Möglichkeit, Störungen so zu verhindern. Allerdings arbeiten LWL nur bei digitalem Signal ideal. Deshalb arbeitet auch der MOST-Bus so. 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:
Ein Autoradio besitzt neben den Lautsprecherausgängen und dem HF-Antenneneingang meist noch folgende Anschlüsse:

- Dauerplus (Kl. 30) zur Versorgung und Aufrechterhaltung der gespeicherten Parameter. (Sender, Code)
- Masse: Bezugspunkt und negative Betriebsspannungsversorgung
- Schaltplus (Kl. 15) zur Versorgung b.z.w. zum Einschalten des Radios, wenn der Zündschlüssel steckt. (fehlt bei Radios mit CAN-Bus-Anbindung)
- remote out / Antenne: ist ein Ausgang, der bei eingeschaltetem Radio externe Geräte (wie Wechsler, Endstufen, Automatikantenne) einschaltet, aber nicht versorgt.
- Licht-Eingang: Er dimmt bei eingeschalteten Scheinwerfern das Radiodisplay b.z.w. beleuchtet Bedienelemente auch bei abgeschaltetem Radio.
- Telefon-Muting-Eingang zum Stummschalten des Radios bei eingehenden Telefonaten von der Freisprecheinrichtung
- GALA: Geschwindigkeitssignal für geschwindigkeitsabhängige Lautstärkeregelung.
- Line-out: Vorverstärkerausgänge (meist als Cinch oder Mini-ISO) um externe Endstufe anzuschließen
- Line-in: Vorverstärkereingänge (meist als Cinch-Buchse oder Mini-ISO), um externen Geräte z.B. M?3-Player anzuschließen

Viele Fahrzeuge haben heute oben aufgeführte ISO-Buchsen. Gibt es sie nicht, sind Adapter vom Fahrzeug-spezifischen auf ISO (2 Stecker mit je 8 Pins) nötig. Neue Radios haben entweder ebenfalls ISO 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, Opel) 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 einzeln herausgeführt werden. Je nach Radiotyp sind teilweise weitere Adapter nötig, um die Vorverstärkerausgänge nutzen zu können.

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 neuen Wagen mit Seiten- und Sitz-Airbags, diese sind absolut tabu!

Wurden eventuelle Stecker z.B. in der Tür aufgetrennt, ist währenddessen auf keinen Fall der Schlüssel ins Zündschloss zu stecken. Meist (leider nicht immer) 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 ist Minus b.z.w. Masse.

Die Stromversorgungskabel sollten am besten 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. Einige neuere Fahrzeuge haben oft Schutzmechanismen, um bei einem Unfall die Bordelektrik von der Batterie zu trennen. Die Versorgungsleitungen sollten man immer dahinter anschließen. 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. Ich rate generell davon ab. 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 sind auch Zugentlastungen vorsehen.

Das Kontaktieren an den Kabelenden erfolgt am besten durch Crimpen mit Kabelschuhen und Hülsen, die für den jeweiligen Kabelquerschnitt vorgesehen sind. Lötverbindungen an diesen Leitungen sind tabu! Denn das härtet das Kabel am Ende aus und bei den üblichen Vibrationen sind dann Brüche möglich. Auch verliert Zinn bei höheren Temperaturen (>130 °C) an Festigkeit.
Werden Stromverteiler oder ähnliches verwendet, sollten diese zusätzliche Sicherungen enthalten, wenn sich der Kabelquerschnitt (z.B. 1 x 25 qmm rein, 4 x 10qmm 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 sind viele Beispiele für Einbauten (natürlich vor allem bei BMWs) zu sehen.

Nachfragen lohnt sich auch im Hifi-Forum: www.hifi-forum.de

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 sind Navigationssysteme heutzutage oft schon serienmäßig integriert. Viele Werkslösungen haben den Nachteil, dass man kein separates Radio mehr hat, also auch keinen zusätzlichen Radioschacht und so das spätere umrüsten auf ein „richtiges“ und aktuelles Radio nahezu unmöglich wird.
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 2012...2014 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 oder in der Stadt, wenn man sich in einem Tunnel oder zwischen Häuserschluchten befindet.
Die besseren, fest eingebauten Systeme verlassen sich deshalb nicht nur auf GPS, sie nutzen zusätzlich das Geschwindigkeitssignal und weitere Sensoren wie das Gyroskop, die die Satellitennavigation unterstützen. Auch einfache Infos, wie „Rückwärtsgang ein“ sind da hilfreich. 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 oder Festplatten im Einsatz, die ein Vielfaches an Speicherplatz bieten. Damit sind größere Flächen (Komplett-Europa) und genauere Abdeckung (z.B. mit Straßennummer) 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 Fahrzeug 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.
Viele Nachrüstsysteme für den Font-Bereich werden auch von den Fahrzeugherstellern selbst angeboten.

8.3. Freisprecheinrichtungen

Während früher für jedes Handy ein eigener Adapter nötig war, ist es dank vereinheitlichtem Mini-USB-Versorgungstecker und Bluetooth-Funkkoppelung heute viel einfacher, ein Handy zu versorgen (laden) und mit einer Freisprecheinrichtung zu verbinden.

9. Glossar und Begriffdefinitionen

AC	Alternating Current, engl. Wechselstrom, wird so auch verwendet für die Wechselspannung
Aktivsubwoofer	Gehäuse-Subwoofer mit eingebauter Endstufe
Aktivweiche	Eine A. ist eine Frequenzweiche, die aktiv arbeitet und im Gegensatz zur Passivweiche vor die Verstärker und Endstufen geschalten wird. Das hat Vorteile beim Klang und Einstellmöglichkeiten, man braucht jedoch viele Endstufen. Auch ist das Verhalten der Weiche unabhängig von der komplexen Lautsprecher-Last. Vor Subwoofern 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 UKW 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 Effektivwert (RMS).
ARI	„Autofahrer-Rundfunk-Information“ war vor RDS das System zur Umschaltung (von Cassette auf Radio) bei Verkehrsdurchsagen.
Ausgangsleistung	Gibt an, welche Leistung maximal eine Endstufe besitzt. Man unterscheidet z.B. Sinus- und Musikleistung. Siehe Punkt 5.1
Auto-Reverse	„Automatische Umkehr“ ein Kassettenteil, das die Seite wechselt, ohne die Kassette herausnehmen zu müssen.
Bandpass	1. Typ einer Frequenzweiche, der nach oben und unten den Frequenzbereich einschränkt, er besteht prinzipiell aus nacheinandergeschalteten Hoch- und Tiefpass. 2. Typ einer Boxenkonstruktion, die (daher der Name) durch die Abstimmung oben und unten im Frequenzgang eingeschränkt wird.
Bass	Frequenzbereich zwischen 70 und 120 Hz, darunter Tiefbass, darüber 120 bis 150 Hz ist der obere Bass. Darüber beginnt der Grundtonbereich.
Bordnetz	Das Bordnetz im Auto ist auf 12...14 V ausgelegt, die ca. 12 V gelten für Betrieb mit der Batterie (Bleiakku) über 13 V können mit der Lichtmaschine bei laufendem Motor dann daraus werden.
bps	Bit per second (b/s) Bit pro Sekunde, Übertragungsrate
Bridge	engl. Brücke, b.z.w. Brückenverstärker
Brillianz	Frequenzbereich zwischen 3 und 5 kHz unterhalb der Höhen
Brückenverstärker	Besonders im Car-HiFi- und PA-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-Impedanz eine ca. vier mal so große Leistung freisetzt. Siehe Punkt 5.

CAN	Controller Area Network, ein im Auto benutztes Bussystem zur Vernetzung zahlreicher Steuergeräte. Heute werden auch Radios angebunden, um so einzelne Leitungen zu sparen und viele Informationen (typ. 100 k-1M bps) zu übertragen.
Car-HiFi	Steht für High-Fidelity (Hohe Wiedergabetreue) von Sound-Anlagen in Autos. Erst durch externe Endstufen mit integrierten Schaltnetzteilen 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.
CD-R	Abk. für Compact Disc Recordable: Beschreibbare CD
Cinch	RCA-Stecker, benannt nach dem Hersteller, der sich als Standard für Audio- und Video- Verbindungen etabliert hat. Wird sowohl als Vorverstärkerausgang (Line-out) an Radios und Eingang an Endstufen eingesetzt. Teilweise sind Adapter nötig, die von anderen Steckern am Radio auf Cinch-Format anpassen.
Class	Klasse, die den Arbeitspunkt von Endtransistoren festlegt, Siehe dazu Punkt 5.4
Coax	engl. siehe unter Koaxialsystem
Compo	engl. siehe unter Komponentensystem
Contained Box	engl. für Geschlossenes Gehäuse, siehe unter Punkt 4.1.1
Crossover	engl. Bezeichnung für eine Frequenzweiche
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 Güte 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 Anschlussimpedanz und Innenwiderstand einer Endstufe an. Siehe Punkt 5.4
dB	Abk. für Dezibel
DC	Direct Current, engl. Gleichstrom, auch Verwendung zur Bezeichnung der Gleichspannung (wie sie im Auto verwendet wird)
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, +20 dB dagegen eine Verhundertfachung, Negative Werte –10 dB entsprechen ein Zehntel. Bei absoluten Pegeln entsprechen 775 mV genau 0 dB. Siehe Punkt 5.1

DIN	Deutsches Institut für Normung, das wie auch VDE, IEEE, ISO 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 Lautsprechersysteme (als ab Werk vorgesehen) gut und optisch ansprechend unterzubringen.
Dualcone	Der Dualkonus- oder Konus-Lautsprecher ist ein Einwege-Lautsprecher, der auf der Membran einen zusätzlichen Hochtonkegel besitzt, um die hohen Frequenzen besser wiederzugeben. Das sind typische Breitband-Lautsprecher.
DVB	Digital Video Broadcasting ist eine andere Bezeichnung für das Digital-TV. Es gibt DVB-S (for satellite) wie bei Premiere, DVB-T (für terrestrischen Fernsehempfang über Antenne), DVB-C (cable) für das Fernsehkabel und DVB-H für Handys. Prinzipiell wird dieser Standard auch für Radioausstrahlung benutzt.
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 (DVD-Video). Sie werden heute auch in Radios für das Abspielen für MP3-Dateien oder ähnliches eingesetzt.
EIAJ	Electronic Industry Association of Japan, Vereinigung von Elektronikherstellern zur Normung.
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 Passivweichen für Lautsprecher Verwendung. Siehe Punkt 5.4
Endstufe	oder auch Endverstärker, Wird angesteuert vom Vorverstärker 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 RDS, wie z.B. Sendungstyp PTY (Programme TYpe), Verkehrsnachrichten TA (Traffic Announcement), CT (Clock Time) das Zeitsignal einer genauen Atomuhr u.s.w.
EQ	Abkürzung für Equalizer
Equalizer	engl. Angleicher/Gleichmacher, hier können mehrere Frequenzbänder (3...30), die über den NF-Bereich verteilt sind, einzeln im Pegel eingestellt werden, um eventuelle Klangabweichungen auszugleichen oder einen gewünschten Klangcharakter zu erzeugen.
FET	Field Effect Transistor (Feldeffekttransitor) sind im Gegensatz zu Bipolar-Transistoren haben Innenwiderstand anstatt einer Sättigungsspannung und einen hohen Eingangswiderstand

Filter	das elektrische, analoge Filter beeinflusst durch Kapazitäten (Kondensatoren) und evtl. auch Induktivitäten Amplitude und Phase und so sein Frequenzverhalten. Neben Typ (z.B. Hochpass) sind Grenzfrequenz, Flankensteilheit und Güte die charakteristischsten Eckdaten.
Flankensteilheit	Gibt an, wie stark ein Filter über oder unterhalb der Grenzfrequenz wirkt, Filter 1. Ordnung haben 6 dB pro Oktave (=20 dB pro Dekade), Filter 2. Ordnung 12 dB/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 Subwoofer, der das große Volumen (mehrere hundert Liter) des Kofferraums wie ein geschlossenes benutzt, um damit im Tieftonbereich Druck zu erzeugen.
Frequenzgang	F. ist der genaue Verlauf der Amplitude und der Phase eines Systems über die Frequenz. (Bodediagramm) Durch Kapazitäten fällt die Amplitude irgendwann mit höher- und kleiner werdenden Frequenz ab und begrenzen so die Bandbreite. Daraus ergeben sich obere und untere Grenzfrequenz. Der Bereich von 20 Hz bis 20 kHz gilt als hörbarer Bereich.
Frequenzweiche	Eine F. trennt einen Frequenzbereich in verschiedene auf, dazu werden Filter benutzt. Eine Zweiwege-Weiche besteht aus einem Hoch- und Tiefpass, mit zunehmenden Wegen, kommen dann weitere Bandpässe hinzu. Es gibt aktive und passive Frequenzweichen. (Siehe unter Aktivweiche und Passivweiche)
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 Resonanzfrequenz (in Hertz Hz) eines Lautsprechers im Freifeld, f. ist ein wichtiger TSP.
FTC	Federal Trade Committee (US-Norm-Behörde)
Full-Logic	engl. Volle Logik, bezeichnet Cassetten-Laufwerke, die keine Laufwerksfunktionen mit mechanischen (also auch der Auswurf / 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 Filter oder System, bei dem die Amplitude um –3 dB (70,7 %) gegenüber der Referenz abgefallen ist.
Ground / GND	engl. Boden, meint die elektrische Masse und 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 oberen Bass, darüber beginnen die Mitten. Der Name wird abgeleitet von der Grundfrequenz der menschlichen Sprache, die vor allem bei Frauen in diesem Bereich liegt.

Güte	Reziproke der Dämpfung, Die Güte Q beschreibt das Impulsverhalten von Filtern und schwingenden Systemen, wie Lautsprechern. 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	engl. Hohe Leistung, damit werden z.B. die Radioendstufen bezeichnet, die gebrückt laufen, um größere Ausgangsleistungen zu erzeugen.
High-Power-Inputs	Neben den Line-Eingängen verfügen einige Verstärker über solche H., an denen die Lautsprecherausgänge des Radios direkt angeschlossen werden können. Das ist vor allem für Radios ohne Vorverstärkerausgänge sinnvoll, manchmal sind dadurch auch Störungen (z.B. durch Motor) geringer, aber das Rauschen stärker.
Hochpass	H. ist ein elektr. Filter, das hohe Frequenzen (hohe Töne) durchlässt, aber tiefere Frequenzen zunehmend (vor allem unterhalb der Grenzfrequenz) stärker dämpft.
Hochton	Der Hochton-Bereich oder die Höhen sind der Frequenzbereich zwischen 5 und 20 kHz.
Hochtöner	H. ist ein Lautsprecher, der für die Wiedergabe hohe Frequenzen (>1...6 kHz) 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 Frequenzweiche (Hochpass) die tiefen Frequenzen ferngehalten werden.
Home-HiFi	Mit H. sind die üblichen HiFi-Anlagen zu Hause, die mit 230 V laufen und als Komponenten in der Wohnung stehen.
HU	Abk. Head-Unit (engl.) Kopfeinheit, gemeint ist das Autoradio
IEC	International Electronic Committee normt elektronische Komponenten und Messverfahren.
IHF	Institute of HiFi-Manufacturers, Internationale Vereinigung von HiFi-Komponenten-Herstellern zur Normung z.B. von Messverfahren.
Impedanz	I. bezeichnet den Wechselspannungswiderstand einer Last, z.B. eines Lautsprechers. So wird auch der Nennscheinwiderstand des Lautsprechers, bei 2, 4 oder 8 Ohm festgelegt. Siehe Punkt 4. und 5.6
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 Klemmenbezeichnungen nach DIN genormt, um eindeutige Bezeichnungen zu schaffen: z.B. Klemme 15 ist der Schaltplus, Klemme 30 der Dauerplus, die auch am Radio anliegen. Klemme 31 ist die Masse.
Koaxialsystem	Mehr-(meist 2-) Wege Lautsprecher, bei dem sich (im Gegensatz zum Komponenten-System) die Mittelpunkte aller Lautsprecher auf einer Achse befinden. Der kleinere Hochtöner

	ist so vor dem Tieftöner angebracht. Die Hauptvorteile sind der einfachere Einbau und die etwas bessere räumliche Darstellung.
Komponentensystem	Damit ist ein Mehrwege-Lautsprechersystem gemeint, dass für jeden Zweig einen einzelnen Lautsprecher besitzt und so optimal an das Auto angepasst werden kann.
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.
LCD	Liquid Crystal Display, engl. „Flüssigkeitskristall-Anzeige“
ld	Logarithmus dualis (Basis 2)
lg	Dekadischer Logarithmus (Basis 10)
ln	Logarithmus naturalis (Basis e: Euler-Zahl)
LIN	Local Interconnection Network, Bussystem im Auto, wird aber nicht im Entertainment-System eingesetzt. (typ. 19200 bps)
lin	Abkürzung für linear oder flat, ohne Klangbeeinflussung
Line	Mit Line werden die Vorverstärker-Ein- und Ausgänge bezeichnet die über Cinch untereinander verbunden werden.
Loudness	engl. Lautheit, ist eine Funktion, die abhängig von der Lautstärke die Klangeinstellung gehörrichtig beeinflusst, also vor allem tiefe Töne bei leiser Lautstärke anhebt. Ist sie abgeschaltet, ist die Wiedergabe linear.
LPCM	Linear PCM: PCM mit linearer Quantisierung (üblich bei hochqualitativen Digitalisierung)
Masse	Hier siehe Ground
Mitteltöner	Lautsprecher, 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.
MOSFET	Metal Oxyde Silicium FET
MOST	Media Oriented Systems Transport, digitaler Bus für Audio- und Video-Daten
MP3	MPEG 1 Layer 3, von Fraunhofer Institut entwickeltes (verlustbehaftetes) Audiokomprimierverfahren, dass ein Einstampfen der digitalen PCM-Audiodaten (CD) um den Faktor 4...12 erlaubt, wobei die Qualität dabei weitestgehend erhalten bleibt.
MPEG	Abk. für Moving oder Motion Picture Experts Group, die Audio- und Videokomprimierverfahren standardisieren.
OEM	Original Equipment Manufacturer, Hersteller von Original-Ausrüstung
Oktave	Abstand einer Frequenz zu doppelten oder halben Frequenz, wird zur Angabe der Flankensteilheit von Filtern benutzt.
Output	engl. Ausgang
PA	Public Address: übliche Bezeichnung für professionelle Beschallungsanlagen z.B. für Konzerte, Diskotheken etc.
Passivweiche	Im Gegensatz zu Aktivweichen verfügen diese P. nur über passive Bauteile wie Spulen, Kondensatoren und Widerstände, diese Frequenzweichen werden hinter die Endstufe vor das

	Lautsprechersystem 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 Trennfrequenzen an den Resonanzfrequenzen der Lautsprecher liegen, desto aufwendiger müssen sie werden.
PCM	Abk. Pulse Code Modulation: meint meist unkomprimiertes Audiosignal (Stereo, 16-Bit mit 44,1 oder 48 kHz), Nach der direkten Methode zum Digitalisieren (Sampling) von analogen Signalen durch Abtasten (Samplingrate), Quantisieren (Auflösung 8, 12, 16, 24 Bit) und digitaler Übertragen bzw. Speichern dieser Signale.
Phase	Während die Amplitude 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. (lat. Ton) ist das Maß für die Lautstärke. Da das Gehör für unterschiedliche Frequenzen verschieden sensibel ist, wird die Lautstärke über Isophonen an den gemessenen Pegel (in dB) angepasst. 90 dB sind 90 phon bei 1 kHz, bei 3,4 kHz, wo das Ohr am sensibelsten ist, reichen schon 80 dB für 100 phon, bei 10 kHz sind schon 97 dB für die gleiche Lautstärke nötig. Im Bassbereich sind die Unterschiede noch dramatischer, dort entsprechen (bei 30 Hz) erst 100 dB den 90 phon.
Präsenz	Frequenzbereich zwischen 2 und 3 kHz
Pre-amp	engl. Abk. Pre-Amplifier für Vorverstärker
Push-Pull	engl. „Drücken-Ziehen“ Spezielle Bauform von Subwoofern in Reflexsystemen oder Bandpassgehäusen, 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 Qts-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 Lautsprecher. Q. ist ein wichtiger TSP. Siehe Punkt 4.
RDS	Das Radio Data System überträgt zusätzliche digitale Informationen zum analogen UKW-Analogradio, wie z.B. Sendernamen (PI Programme Identification) und Alternativfrequenzen (AF).
Rearfill	Die (engl.) „hintere Füllung“ bezeichnet die im Auto notwendigen 2 Heckkanäle, die u.a. die Ortbarkeit des Subwoofers verhindern sollen, der ja meist hinten untergebracht ist. Erst mit Dolby Surround Pro Logic 2 machen sie jedoch erst richtig Sinn, um auch Raumklang mit stereofonen Musikaufnahmen zu verwirklichen.
Receiver	engl. Empfänger, also das Autoradio, CD-Receiver ist dann ein Radio mit CD-Teil. Ein Receiver enthält im Gegensatz zum

	„Tuner“ auf jeden Fall eine Endstufe zur direkten Lautsprecherwiedergabe.
Resonanzfrequenz	R. ist die Frequenz in einem schwingendem System z.B. einem Lautsprecher, bei dem das System die geringste Dämpfung und damit die höchste Auslenkung hat.
RMS	Root Mean Square (Wurzel des mittleren Quadrates) beschreibt den Effektivwert einer Wechselspannung. Das per Definition der Wert einer Wechselspannung, die als Gleichspannung an eine Ohmsche Last die gleiche Leistung abgegeben würde. Bei Sinus- und Rechtecksignalen ist das bei 70,7 % des Peak-Wertes der Spannung der Fall. Dieses Akronym wird als Äquivalent zur Definition der Sinus-Ausgangsleistung verwendet.
Sone	Pseudoeinheit, um die Lautstärke auf das menschliche Lautstärke-Empfinden einfacher vergleichbar zu machen. Siehe Punkt 5.2
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 Subwoofer 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 Frontstaging damit ausgeschlossen.
Speaker	engl. für Lautsprecher, abgeleitet von Loudspeaker
SPL	S. ist die Abk. für (engl.) Sound-Pressure-Level. Mit dem Schalldruck-Pegel ist meist direkt der Wirkungsgrad des Lautsprechers (üblich zwischen 0,3 – 10 %) also 86...102 dB angegeben, er wird als Schalldruckpegel in dB bei einem Watt und einem Meter Abstand definiert. Siehe Punkt 5.2
Subwoofer	engl. „unterhalb des Tieftöners“ Der S. ist für den Tiefbassbereich und eingeschränkt den Bass zuständig. Die maximal obere Grenzfrequenz liegt bei 150 Hz. Die oberen Grenzfrequenzen liegen bei Weichen meist zwischen 80-120 Hz, typ. sind bei der unteren Grenzfrequenz Werte zwischen 20...50 Hz.
TFT	engl. Thin Film Transistor (Dünnfil-Transistor), diese Technik wird zur farblichen Darstellung auf Flachbildschirmen eingesetzt. Es ist wesentlich leuchtkräftiger und kontrastreicher als ältere Technologien wie z.B. DSTN.
Thiele-Small-P.	Die Thiele-Small-Parameter sind die nach den Entwicklern A. Neville Thiele und Richard H. Small benannten Eckwerte eines Lautsprechers. Die beiden Ingenieure brachten zwischen 1964 und 1972 ihre Untersuchungen zu Lautsprechern heraus. Sie simulierten das akustische Verhalten von Lautsprechern über die Transformation und berechneten sie über die Verfahren äquivalenten elektrischen Schwingkreisen.
Tiefbass	Frequenzbereich unterhalb von 70 Hz, darüber ist der Bass-Bereich.

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 (Bass, oberer Bass, Grundton) zuständig, er wird im engl. als Woofer bezeichnet
TMC	Traffic Message Channel in diesem „Verkehrs-Nachrichten-Kanal“ werden digital Stauinformationen parallel zum Analogradio (UKW) übertragen. Navigationssysteme nutzen diese Infos zur Stauumfahrung.
Transistor	Aktives 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) Grenzfrequenz, die 2 Filter in Frequenzweichen haben. So z.B. bei einer Zweiwege-Weiche hätten sowohl Hoch- und Tiefpass diese T. als Grenzfrequenz.
Triaxial-System	T. steht für 3-Achsen-System und ist ähnlich einem Koaxialsystem aufgebaut, nur dass hier mind. 3 Lautsprecher verwendet werden. Ein Hoch- und ein Hochmitteltöner befinden sich nebeneinander vor der Tieftonmembran.
Trimode	engl. Drei-Modus, Spezielle Endstufen im Car-HiFi-Bereich, die auch brückbar sind, gestatten oft diesen Modus, in dem sowohl ein Stereo-Lautsprechersystem als auch ein Monosubwoofer nur durch eine Passivweiche getrennt an einer Endstufe betrieben werden können. Der Subwoofer erhält dabei mehr Leistung als das Stereosystem.
TSP	Abk. für Thiele-Small-Parameter (Pl.).
Tuner	Abstimmer: bezeichnet hier das HF-Empfangsteil eines Radioempfängers oder als Synonym das gesamte Radio.
Tweeter	engl. „Zwitscherer“ Siehe Hochtöner
UKW	Ultra-Kurz-Welle ist der Frequenzbereich (in Europa) im Radio von 87,5 bis 108 MHz. (CCIR-Norm) Wegen der benutzen Modulation im englischen mit „FM“ abgekürzt.
Vas	V. ist das Formelzeichen für das Äquivalentvolumen, was die Dämpfung des Speakers im Vergleich zu einem Luftvolumen angibt. Übliche Einheit ist Liter.
Vorverstärker	Der V. liegt, wie der Name sagt, vor dem Endverstärker, 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 (Line-out) werden extra (z.B. als Cinch-Buchsen) herausgeführt, um mit externen Endstufen verbunden zu werden.
Woofer	engl. Wort für Tieftöner
X-Amp	Ein Digital-Endverstärker der nach Class X arbeitet. Siehe Punkt 5.5
X-Over	engl. Kunstwort für Cross-over, also Frequenzweiche

10. Symbolverzeichnis

Formelzeichen	Abk. Einheit	SI-Einheit	Bedeutung
A	m²	Quadratmeter	Fläche
C	F	Farad	elektr. Kapazität
d	m	Meter	Durchmesser
e	-	-	Euler-Konstante = 2,7182818
f	Hz =1/s	Hertz	Frequenz
I	A	Ampere	elektr. Stromstärke
k	-	-	Konstante
l	m	Meter	Länge
L	[dB]	Dezibel	Pegel
n	-	-	Anzahl
p	Pa = N/m²	Pascal	Druck
P	W	Watt	Leistung
Q	-	-	Güte
r	m	Meter	Radius
R	Ω	Ohm	elektr. Widerstand
Re	-	-	Reynolds-Zahl
t	s	Sekunde	Zeit
U	V	Volt	elektr. Spannung
v	m/s		Geschwindigkeit
V	m³, l	Kubikmeter, Liter	Volumen
X	mm	Millimeter	Hub
Z	Ω	Ohm	Impedanz (komplex)
η (eta)	Pa s		dynamische Viskosität
λ (lambda)	m	Meter	Wellenlänge
ν (ny)	m²/s		kinematische Zähigkeit / Viskostät
ρ (rho)	kg/m³		Dichte
σ (sigma)	Ω mm/m		spez. elektr. Widerstand
τ (tau)	s	Sekunde	Zeitkonstante
π (pi)	-	-	Kreiskonstante =3,1415927

Gebräuchliche Vorsätze:

Zeichen	Vorsatz	Faktor	Zeichen	Vorsatz	Faktor
E	Exa	10^{18}	d	Dezi	10^{-1}
P	Peta	10^{15}	c	Zenti	10^{-2}
T	Tera	10^{12}	m	Milli	10^{-3}
G	Giga	10^{9}	µ	Mikro	10^{-6}
M	Mega	10^{6}	n	Nano	10^{-9}
k	Kilo	10^{3}	p	Pico	10^{-12}
h	Hekto	100	f	Femto	10^{-15}
da	Deka	10	a	Atto	10^{-18}

11. Weitere Hinweise

Dieser Guide enthält Auszüge der Seiten von www.selfmadehifi.de.
Dort gibt es weitere Schaltungen, Schaltungsgrundlagen und Steckerbelegungen von zahlreichen Radio- und Autoherstellern.

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

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

Die Inhalte (auch in Auszügen) der web-Seite www.selfmadehifi.de, wie auch dieser Datei dürfen nicht ohne ausdrückliche, schriftliche Erlaubnis des Autors (MIR!) woanders veröffentlicht oder publiziert werden. Das Kopieren bzw. die Weitergabe dieses Dokuments darf nur unverändert (PDF) und vollständig geschehen.
Werden Inhalte meiner Seite oder dieses Guides in irgendeiner Weise für jegliche Form von Publikation (z.B. Webseiten, Bücher, wissenschaftliche Arbeiten etc.) verwendet, so ist darin diese Quelle anzugeben! Dann ist die Benutzung durch einzelne Zitate oder kleinen Auszügen gestattet. (Das ist auch allgemein üblich.)

Alle Warenzeichen sind Eigentum ihrer Inhaber und werden nur zur Erklärung benutzt. Auf sie wird nicht gesondert hingewiesen.

12. Internetseiten für weitere Details

Steckerbelegungen	www.selfmadehifi.de/kfz-iso.htm
CAN	de.wikipedia.org/wiki/Controller_Area_Network
LIN	www.lin-subbus.org
MOST	www.mostcooperation.com

13. Quellen und Literaturangaben

Fachbücher: und Literatur:

[01] Veit, I, „Technische Akustik“, Vogel-Verlag, Würzburg, 1978

[02] Stark, B. „Lautsprecher Handbuch“, Pflaum-Verlag, 7. Auflage 1999

[03] Dickason, Vance „ Lautsprecherbau “, 6th edition 2001, Elektor Verlag

[04] Panzer, Jörg „Konstruktion von Basslautsprechergehäusen“ Franzis-Verlag Poing, 5. Auflage 1994

[05] Fellbaum, Klaus: „Elektronische Sprachsignalverarbeitung“, Tagungsband zur gleichnamigen Konferenz Berlin 1994, Verlag "Gesellschaft für Signalverarbeitung und Mustererkennung" Dresden,

[06] Gustav Büscher, Dipl. Ing. Alfred Wiegelmann „Kleines ABC der Elektroakustik“, Franzis-Verlag München, 7. Auflage 1976

[07] Dickreiter, M. „Handbuch der Tonstudiotechnik Bd. 1 & 2, Verlag K.G. Saur München, 1990

[08] Oertel Herbert jr., Martin Bohle „Strömungsmechanik“ 2.Auflage-Vieweg Verlag

[09] Zwicker E. „Psychoakustik“, Springer Verlag, Berlin, 1982

[10] Zollner M. Zwicker E. „Elektroakustik“, Springer Verlag, Berlin, 1993

[11] Webers, Johannes „Handbuch der Film- und Videotechnik“, Franzis Verlag, 1991, 3. Auflage

[12] Finzel, Peter „Surround & Vision pro“, Polzer Media Group GmbH, Potsdam, 2002, 13. Auflage

[13] Leue, Peter „Audio Video“ (jugendlexikon), transpress Verlag für Verkehrswesen VEB, Berlin, 1989, 1. Auflage

[14] BOSCH, „Kraftfahrtechnisches Taschenbuch“, Vieweg Verlag; Auflage: 25.

[15] BOSCH, „Autoelektrik Autoelektronik“, Vieweg Verlag, 3. Auflage

[16] D’Appolito, Joseph, „Lautsprecher-Meßtechnik“, Elektor-Verlag, 1999

Normen und Richtlinien:

[n01] DIN 57100 Teil 430, „Zuordnung von Schutzorganen“

[n02] DIN 57100 Teil 523, „Strombelastbarkeit isolierter Leitungen“

[n03] DIN 72581 Teil 3, „Sicherungen für Kleinspannungsanlagen“

[n04] DIN IEC 651 (identisch mit DIN EN 60 651) „Schallpegelmesser“

[n05] DIN 45 573: Lautsprecher Prüfverfahren, Teil 4 „Hörtest Paarvergleich“

[n06] DIN 45 573: Lautsprecher Prüfverfahren, Teil 5 „Hörtest Einzeltest“

[n07] DIN 45 500 ff. HiFi-Geräte (Verstärker, Lautsprecher)

Fach-Zeitschriften und –Zeitungen:

[z01] Autohifi-Katalog 1994

[z02] Autohifi-Katalog 2002

[z03] HIFI MOBIL 2/1995 „Autosubwoofer selbst gebaut Teil 1“ (Jeffrey D. Blair)

[z04] HIFI MOBIL 3/1995 „Autosubwoofer selbst gebaut Teil 2“ (Jeffrey D. Blair)

[z05] HIFI MOBIL 4/1995 „Autosubwoofer selbst gebaut Teil 3“ (Jeffrey D. Blair)

[z06] Zeitschrift: Klang & Ton 1994 – 1997

[z07] radio fernsehen elektronik 1974, Heft 19, S. 636 f.
„Quadro-Effekt- ein Gerät zur pseudoquadrofonen Wiedergabe“

[z08] ELV, Hefte 6/2000 ... 3/2001 „Technik mobil: Sound auf Rädern – Auto-HiFi selbst eingebaut“ Teil 1 ... 4

[z09] ELV-journal: Der Schallpegelmesser - ein unentbehrliches Meßgerät für den Umweltschutz Teil 3, Heft 6/98, S. 46-49

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

Alle Seiten wurden auf chlorfrei gebleichten Elektronen gedruckt.

Damit ist er besonders umweltfreundlich.