

# 1 Audio-Verstärker

Verstärker lassen sich in Kleinsignalverstärker und Großsignalverstärker einteilen. Bei Kleinsignalverstärkern bewegt sich die Signalamplitude weitgehend im linearen Bereich der Ausgangskennlinie, so dass nur geringe Verzerrungen auftreten.

## 1.1 Transistor-Kennlinienfelder

Weil wir die nachfolgenden Erörterungen mit Transistorschaltungen veranschaulichen, soll zuerst der grundsätzliche Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangskennlinien gezeigt werden.

Das Vierquadranten-Kennlinienfeld enthält die wesentlichen Kennlinien eines bipolaren Transistors:

- 1. Quadrant: Ausgangskennlinie  $\rightarrow I_C = f(U_{CE})$
- 2. Quadrant: Übertragungskennlinie  $\rightarrow I_C = f(I_B)$
- 3. Quadrant: Eingangskennlinie  $\rightarrow I_B = f(U_{BE})$
- 4. Quadrant: Rückwirkungskennlinie  $\rightarrow U_{BE} = f(U_{CE})$

Die Rückwirkungskennlinie ist bauteile- und fertigungsbedingt und für uns von geringer Bedeutung.

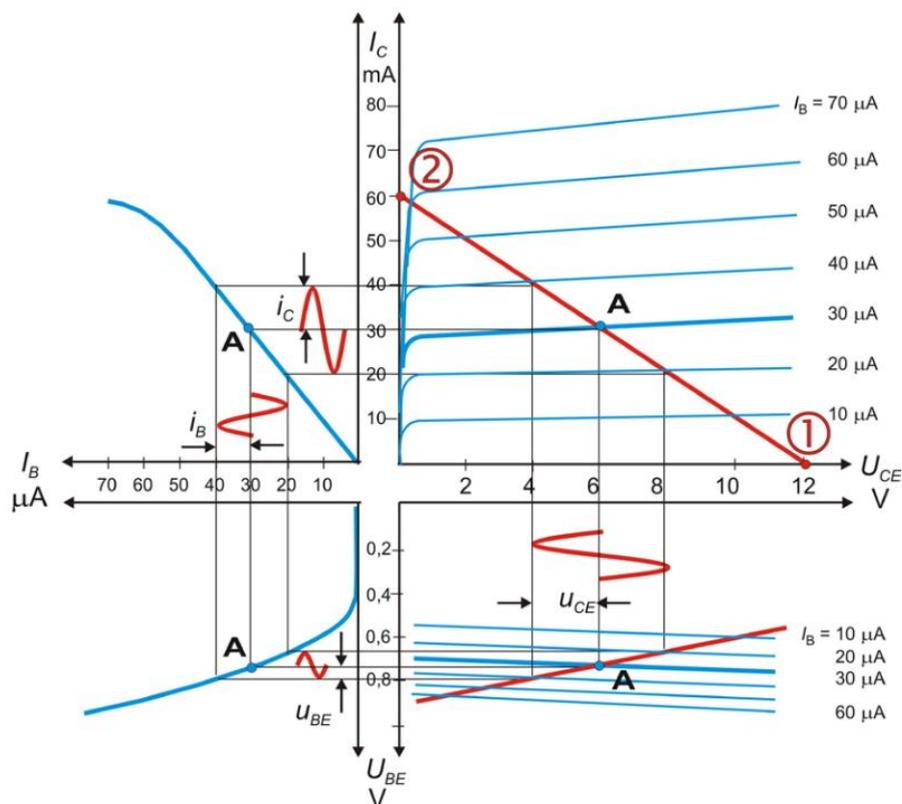


Abb. 1-1: Kennlinienfelder für bipolare Transistoren

Bei sperrendem Transistor ist  $U_{CE} = U_B$  ( $U_B$  ist die Betriebsspannung)

Zwischen den Punkten 1 und 2 verläuft die Arbeitsgerade, welche den Einfluss des Arbeitswiderstandes ( $R_C$ ) im Kollektorkreis aufzeigt. Die Festlegung des Arbeitspunktes (A) bestimmt

die Ausgangsspannung ( $U_{CE}$ ) der Schaltung. Bei falsch gewähltem Arbeitspunkt oder bei Übersteuerung wird das Ausgangssignal verzerrt.

Bei Kleinsignalverstärkern wird der Arbeitspunkt in die Mitte der Arbeitsgeraden gelegt, so dass beide Halbschwingungen unverzerrt verstärkt werden können. Damit ergibt sich im obigen Grafikbeispiel bei einem Kollektorstrom ( $I_C$ ) von 30 mA eine Kollektor-Emitter-Spannung ( $U_{CE}$ ) von 6 V. Die Basis-Emitter-Spannung ( $U_{BE}$ ) beträgt in diesem Fall  $\approx 0,7$  V.

Bei Erwärmung des Transistors verschiebt sich der Arbeitspunkt. Als Abhilfe wird mit einem Emitterwiderstand ( $R_E$ ) eine Stromgegenkopplung bewirkt, so dass sich die eingestellte Basis-Emitter-Spannung ( $U_{BE}$ ) – und damit der festgelegte Arbeitspunkt – nur unwesentlich verändert. Der parallele Kondensator ( $C_2$ ) verhindert eine Gegenkopplung durch das Wechselstromsignal.

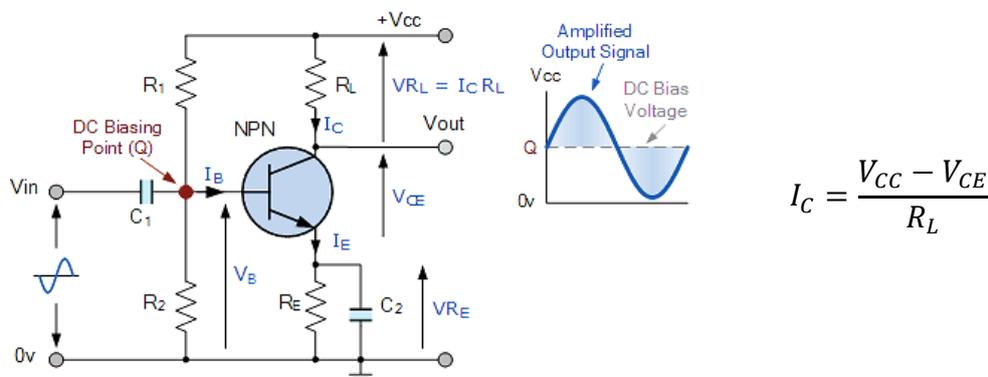


Abb. 1-2: Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung<sup>1</sup>

Bei der Emitterschaltung erscheint das verstärkte Ausgangssignal mit einer Phasenverschiebung von 180°.

## 1.2 Vorverstärker

Vorverstärker dienen dazu, schwache Audiosignale im mV-Bereich zu verstärken und ggf. zu entzerren, bevor ein Leistungsverstärker angesteuert werden kann.

Tabelle 1: Tonspannungen von Audioquellen

Mikrofon	1 mV bis 10 mV
Plattenspieler	ca. 500 mV
Tonbandgerät	ca. 100 mV
Rundfunkgerät (Diodenausgang) <sup>2</sup>	ca. 500 mV

Anm.: Als Diodenausgang wurden in Radiogeräten Ausgänge bezeichnet, die mit dem Demodulatorausgang verbunden waren und somit das niederfrequente Nutzsignal zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung stellten.

Um zwischen den einzelnen Audioquellen wählen zu können, wurden Mischverstärker mit

<sup>1</sup> <https://www.electronics-tutorials.ws/de/transistoren/der-bipolartransistor.html>

<sup>2</sup> Als Diodenausgang wurden in Radiogeräten Ausgänge bezeichnet, die mit dem Demodulatorteil verbunden waren und somit das niederfrequente Nutzsignal zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung stellten.

mehreren Eingängen und Umschaltern verwendet.

### 1.2.1 NF-Vorverstärker mit integrierten Schaltungen

NF-Vorverstärker werden heutzutage meist als integrierte Schaltkreise mit nur noch wenigen Peripheriebauteilen gefertigt.

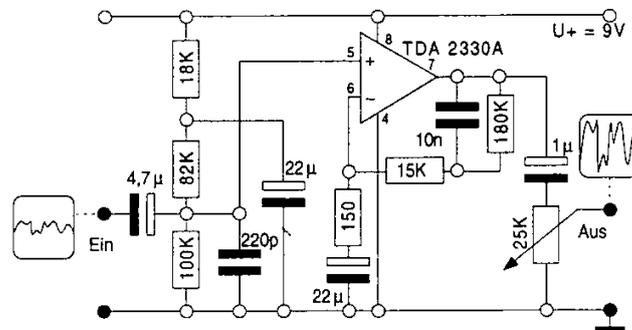


Abb. 1-3: Nichtinvertierender Vorverstärker mit TDA 2320A<sup>3</sup>

Zusammen mit einer Leistungsendstufe (oft eine eisenlose Gegentaktschaltung mit Komplementärtransistoren) ergibt sich eine hohe Gesamtverstärkung.

### 1.2.2 NF-Vorverstärker mit Transistoren

Transistorisierte Vorverstärker sind für kapazitive Einstreuungen aufgrund ihres niederohmigeren Eingangs weniger brummempfindlich als Röhrenverstärker. Für induktive Einstreuungen dagegen sind Transistorstufen empfindlicher. Sie müssen daher in genügendem Abstand von Netztransformatoren oder Motoren (Plattenspieler) aufgebaut werden. Ist das nicht möglich, müssen Trennbleche aus weichmagnetischem Stahl eingebaut werden.

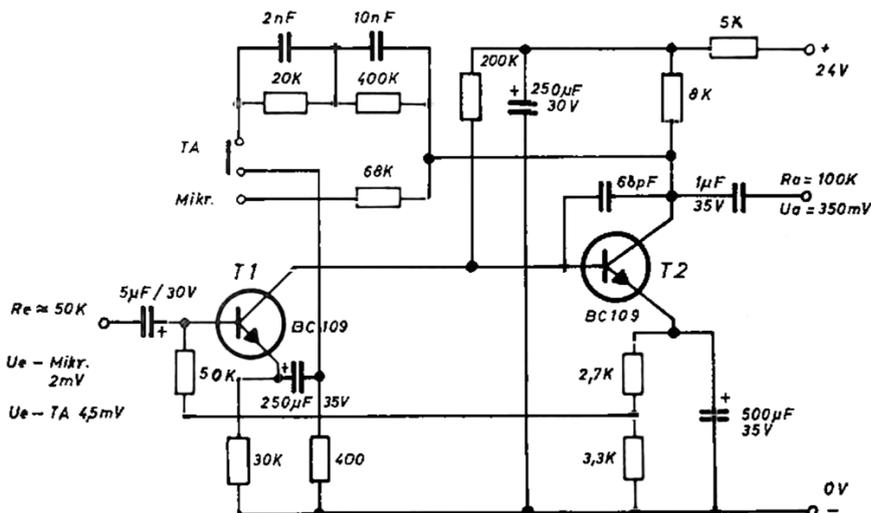


Abb. 1-4: Entzerrer-Vorverstärker für magnetische Tonabnehmer und Mikrofone<sup>4</sup>

### 1.2.3 Klangregelung

In einfacheren Geräten wurde meist nur eine Klangblende eingebaut, welche die höheren Frequenzen beschnitt. Gehobenerer Geräte besaßen ein "Klangregister" mit getrennten Bass- und

<sup>3</sup> Huttary: Haushaltselektrik und Elektronik (Franzis).

<sup>4</sup> Matzdorf: Unterhaltungselektronik (Verlag Frech).

## Höhenreglern.

Anm.: Der in der Fachliteratur zuweilen auftauchende Begriff einer "Klangregelung" ist streng genommen nicht korrekt, weil es sich hierbei nicht um eine Regelung im eigentlichen Sinne handelt. Es fehlt nämlich der geschlossene Regelkreis mit Signalfückführung, Soll/Istwert-Vergleich und einer automatischen Nachjustierung. Allenfalls könnte von einer "Handregelung" gesprochen werden, weil der Radiohörer die Einstellungen manuell und nach seinem Gehör durchführt.

Als "Kuhschwanz- oder Schwalbenschwanzentzerrer" werden RC-Netzwerke für die Höhen- und Tiefenanhebung oder -absenkung bezeichnet. Die etwas triviale Bezeichnung leitet sich vom Anblick der Graphen im Amplituden-Frequenz-Diagramm ab.

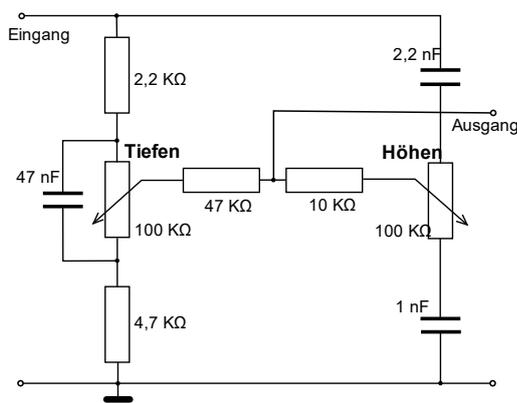


Abb. 1-5: Kuhschwanzfilter (Shelving filter)<sup>5</sup>

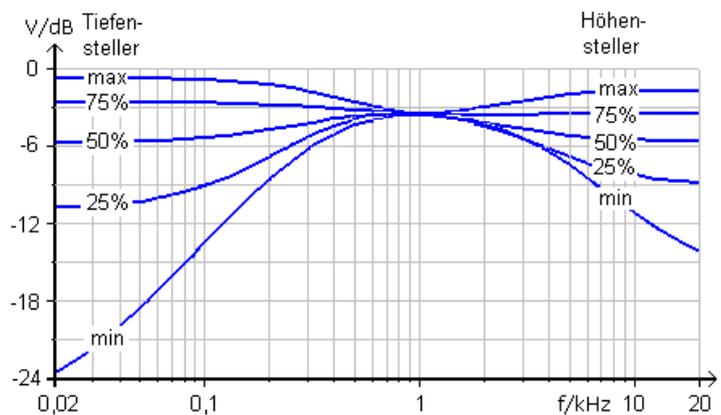


Abb. 1-6: Amplituden-Frequenz-Diagramm<sup>6</sup>

## 1.3 Endverstärker

### 1.3.1 Klassifizierung von Leistungsverstärkern

Leistungsverstärker werden nach ihrer Lage des Arbeitspunktes der Endstufe in vier Betriebsklassen unterteilt.

a) Ein Verstärker der Klasse A hat einen niedrigen Wirkungsgrad von weniger als 40 %, dafür aber eine gute Signalwiedergabe und Linearität.

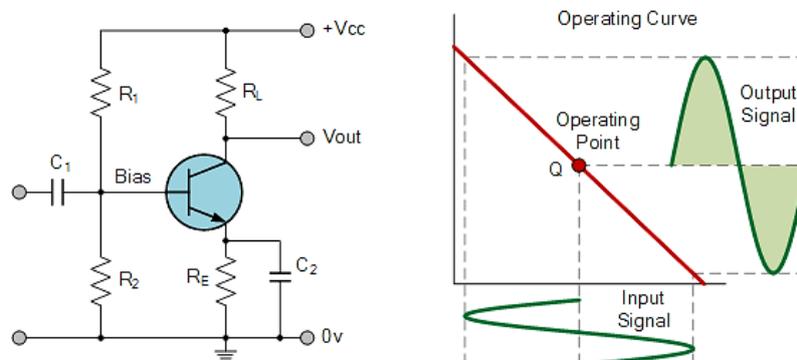


Abb. 1-7: Class-A-Verstärker<sup>7</sup>

<sup>5</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Kuhschwanzfilter>

<sup>6</sup> <https://www.elektroniktutor.de/analogtechnik/filter.html>

<sup>7</sup> <https://www.electronics-tutorials.ws/de/verstarker/einfuehrung-verstaerker.html>

b) Ein Verstärker der Klasse B ist doppelt so effizient mit einem Wirkungsgrad von ca. 70 %. Es kommt aber zu leichten Signalverzerrungen. Im Ruhezustand fließt kein Eingangsstrom.

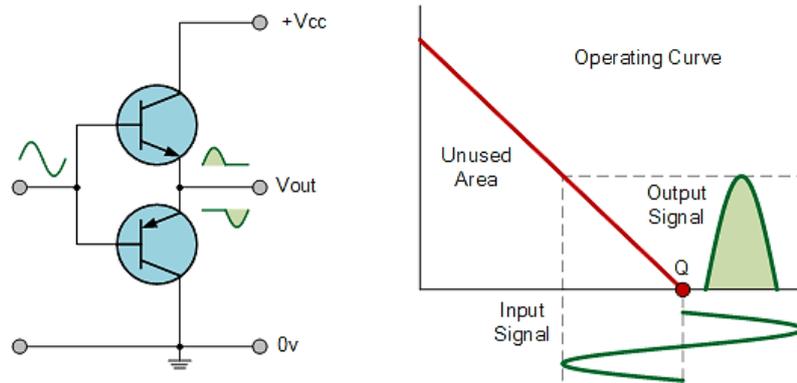


Abb. 1-8: Class-B-Verstärker<sup>8</sup>

c) Ein Verstärker der Klasse AB hat einen besseren Wirkungsgrad, aber eine schlechtere Signalwiedergabe als Verstärker der Klasse A. Im Ruhezustand fließt ein kleiner Eingangsstrom.

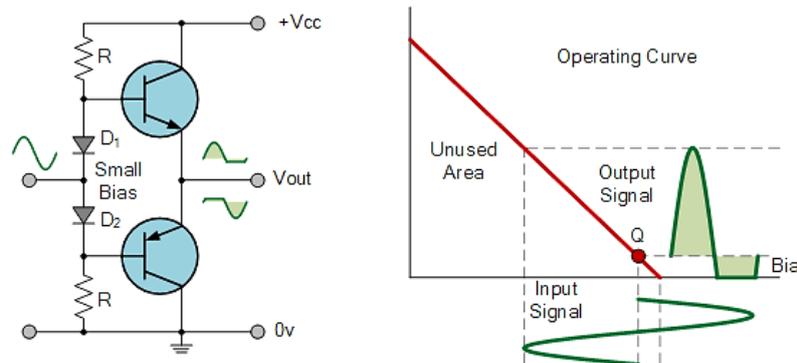


Abb. 1-9: Class-AB-Verstärker<sup>9</sup>

d) Ein Verstärker der Klasse C erzeugt erhebliche Amplitudenverzerrungen und ist deshalb als Audioverstärker ungeeignet. Verstärker dieser Art werden bspw. als Hochfrequenz-Sinus-Oszillatoren eingesetzt.

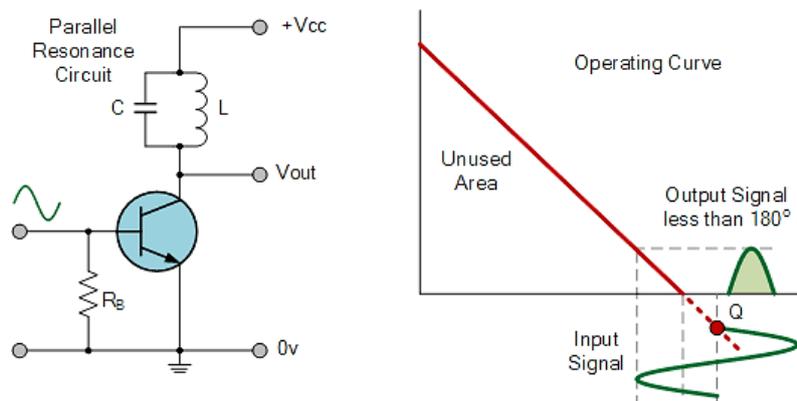


Abb. 1-10: Class-C-Verstärker<sup>10</sup>

<sup>8</sup> <https://www.electronics-tutorials.ws/de/verstarker/einfuehrung-verstaerker.html>

<sup>9</sup> Ebenda

<sup>10</sup> Ebenda

### 1.3.2 NF-Leistungsverstärker

Bei Puristen sind Endstufen mit Röhren ein non plus ultra. Der Klang sei wärmer als mit Halbleiterbauteilen. Nach unserem Dafürhalten ist dies eine Frage des Standpunktes und des Geldbeutels. Um den meist niederohmigen Lautsprecher an den relativ grossen Ausgangswiderstand von Röhrenverstärkern anzupassen, ist ein Übertrager nötig.

Eisenlose Endstufen mit Silizium-Leistungstransistoren (BD) ergeben eine hohe Verstärkung bei gleichzeitig kleinem Klirrfaktor. Gegentaktschaltungen mit Komplementärtransistoren sind besonders beliebt.

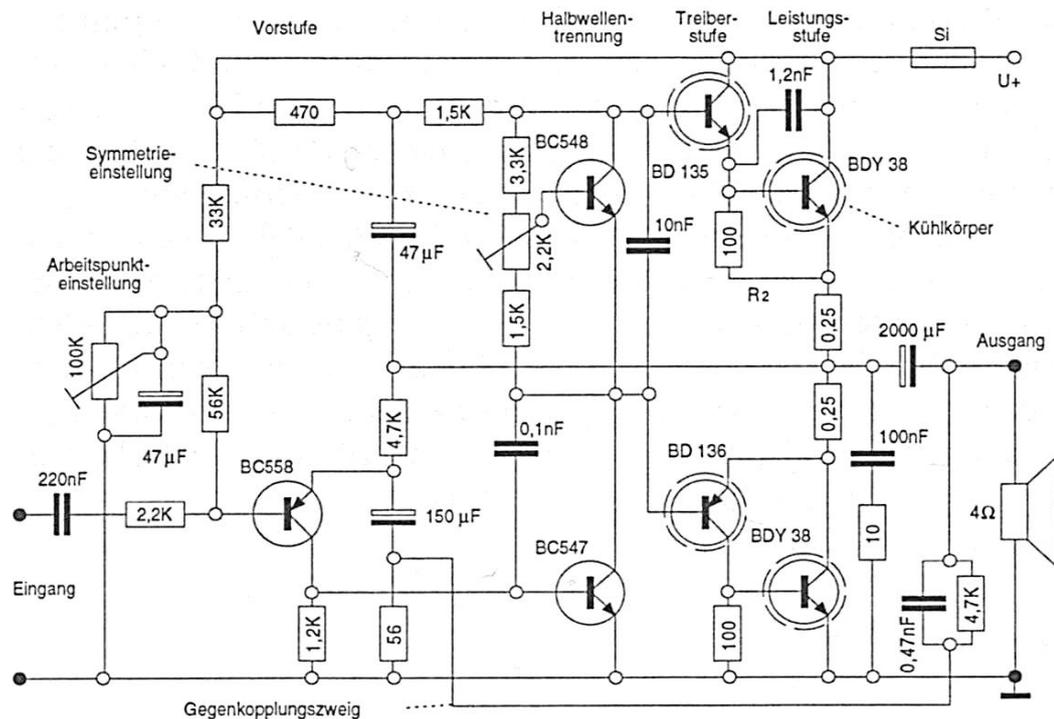


Abb. 1-11: Audioverstärker mit Gegentakt-Treiberstufe<sup>11</sup>

Der Arbeitspunkt der Treiberstufe mit den komplementären Transistoren BD 135 und BD 136 in obiger Abbildung ist in den unteren Bereich des Ausgangskennlinienfeldes zu legen.

Ohne Eingangssignal fliesst im AB-Betrieb ein geringer Ruhestrom durch beide Transistoren. Bei Ansteuerung arbeiten die Treiber im Gegentaktbetrieb (ein Transistor verstärkt die positive Halbwelle, der andere die negative).

Aufgrund der verstärkungsbedingten Wärmeabgabe sind die Leistungstransistoren auf geeignete Kühlkörper zu montieren. Zwischen Transistorgehäuse und Kühlkörper sollte zur verbesserten Wärmeleitung eine dünne Schicht Wärmeleitpaste aufgebracht werden.

In bestimmten Fällen kann zusätzlich zur Kühlkörpermontage ein Ventilator erforderlich sein. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verwendung eines Peltierelementes.

<sup>11</sup> Huttary: Haushaltselektrik und Elektronik (Franzis).



Abb. 1-12: Leistungstransistoren auf einem Aluminium-Kühlkörper<sup>12</sup>

### 1.3.3 Stereoverstärker

Bis anhin sind wir stillschweigend von Monoverstärkern ausgegangen. Prinzipiell ändert sich bei Stereoverstärkern für uns als Instandsetzer nichts ausser dem Faktum, dass alles doppelt vorhanden ist. Das kann sogar ein Vorteil sein, weil im Zweifelsfall Vergleichsmessungen zwischen den beiden Kanälen rasch Klarheit verschaffen.

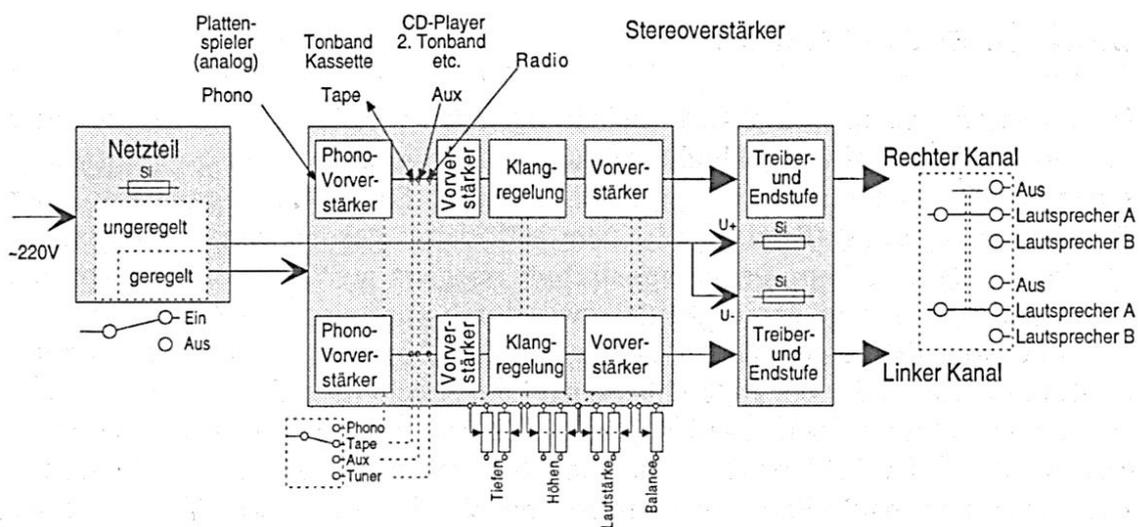


Abb. 1-13: Blockschema eines Stereoverstärkers<sup>13</sup>

Spitzengeräte besitzen eine Einschaltverzögerung (Relais) und einen elektronischen Überlastschutz für die Endstufe. Wenn das Relais beim Einschalten des Gerätes nicht klickt, sollte zuerst die Endstufe (Treiber- und Leistungstransistoren) überprüft werden.

## 1.4 Fehlersuche

### 1.4.1 Mess- und Prüfgeräte für die Fehlersuche

Nebst einem Multimeter leistet ein Signalverfolger (Tracer/Injector) noch immer gute Dienste. Ebenso ist ein Klirrfaktormessgerät bei Verwendung eines HiFi-Verstärkers von Nutzen. Wenn

<sup>12</sup> <https://www.heise.de/ratgeber/Anleitung-HiFi-Verstaerker-restaurieren-Teil-2-6276393.html>

<sup>13</sup> Huttary: Haushaltselektrik und Elektronik (Franzis).

kein Signalverfolger zur Hand ist, lassen sich die einzelnen Stufen auch mit einem Funktionsgenerator auf Signaldurchgang überprüfen.



Abb. 1-14: Signalverfolger



Abb. 1-15: Funktionsgenerator

Um Spannungen in Verstärkerschaltungen zu messen, ist ein hochohmiger Spannungsmesser erforderlich. Röhrenvoltmeter mit Spannungs- und Widerstandsmessbereichen waren beliebt, weil sie einen hohen Eingangswiderstand besaßen und damit das Messobjekt nur unwesentlich belasteten. Letztlich galt es, auch Spannungen im mV-Bereich und Widerstände im k $\Omega$ - und M $\Omega$ -Bereich zu messen. Irgendwann begannen Transistorvoltmeter die beliebten Röhrenvoltmeter zu verdrängen. FET-Handmultimeter ergänzten das Equipment.



Abb. 1-16: Transistorvoltmeter<sup>14</sup>



Abb. 1-17: Analoges Handmultimeter



Abb. 1-18: DMM mit Oszilloskopfunktion

Unserer Philosophie gemäss sollen Fehler in Nostalgiegeräten mit Nostalgiemessgeräten aufgefunden werden. Das schliesst ein modernes DMM oder ein digitales Speicheroszilloskop nicht aus.

## 1.4.2 Elementare Prüfung

Bei einem Verstärker, der keinen Laut von sich gibt, überprüfen wir zunächst, ob Netzstecker und Apparatkabel in Ordnung sind. Danach kontrollieren wir die Gerätesicherungen. Bei Geräten mit Netzteilen kommen oft mehrere Spannungen vor. Bei Röhrengeräten ist eine intakte Heizspannung bereits am Glühen der Röhren ersichtlich. Auch der Lautsprecher ist zu prüfen. Beim ohmischen Durchmessen sollte ein Knackgeräusch zu hören sein. Unsere Inspektion ergänzen wir durch eine Sichtprüfung der Bauelemente. Diese Vorgehensweise mag simpel erscheinen, aber oft lässt sich bereits mit diesen wenigen Schritten der Fehler auffinden.

Ist bis hierher – soweit zu erkennen – noch alles in Ordnung, geht es ans Eingemachte. Dafür benötigen wir das Schaltungsschema des Verstärkers. Ist keines vorhanden, müssen wir uns

<sup>14</sup> Heathkit Bausatz

im Internet nach Ersatz umsehen. Irgendwo werden wir schon fündig.

### 1.4.3 Signalprüfung

Logisches Vorgehen von der Vorstufe bis zur Endstufe ist gefragt.

Wenn alle Betriebsspannungen vorhanden sind und der Lautsprecher intakt ist, beginnen wir mit der "Fingerprobe". Dabei halten wir einen Finger an das Steuergitter einer Röhre oder an die Basis bzw. das Gate eines Transistors. Bei Gitarrenverstärkern legen wir den Finger an die Klinkenbuchse (Mic und/oder Line). Daraufhin sollte ein "Netzbrumm" aus dem Lautsprecher ertönen und damit anzeigen, dass der Signalweg grundsätzlich intakt ist.

Feinprüfungen erfolgen Schritt für Schritt mit dem Signalverfolger. So sehen wir bald einmal, bis wohin das Tonsignal unverfälscht durchkommt. Besitzen wir keinen Signalverfolger, so tut es auch ein Signalgenerator – zusammen mit dem Oszilloskop. Fehlt der Ton resp. das NF-Signal bereits nach der Vorstufe, so ersetzen wir probeweise die erste Röhre. Gleiches gilt für die Endstufe und eine Phasenumkehrstufe bei Gegentaktverstärkern. Dieses Vorgehen bedingt allerdings, dass die gebräuchlichsten Röhren bei uns am Lager sind. Ein adäquates Vorgehen gilt für transistorisierte Schaltungen. Die gebräuchlichsten Dioden und Transistoren sollten nebst einem Sortiment von Widerständen und Kondensatoren auch in einer Heimwerkerbude vorhanden sein.

### 1.4.4 Bauteileprüfung

Wo erforderlich messen wir punktuell die einzelnen Spannungen, die uns Hinweise auf das Funktionieren einer Schaltung liefern.

Bei schadhafte Widerständen ist ausser einem Ohmmeter unser Geruchssinn gefragt. Verfärbte Widerstände verweisen auf eine Überlastung und sind zu ersetzen. Dasselbe gilt für aufgeblähte Elkos in Netzteilen und Verstärkerstufen.

Röhren beklopfen wir mit gebührender Sorgfalt mit einem "Röhrenhammer". Erfolgt keine Reaktion und ist die Heizung in Ordnung, so scheint die Röhre intakt zu sein. Transistoren können wir mit einem Kältespray testen. Normalisiert sich nach einem Schuss Spray das Signal, so liegt ein thermisch bedingter Fehler vor und das betreffende Bauteil ist zu ersetzen.

Gesockelte Transistoren lassen sich leicht entfernen und durchmessen. Einige Multimeter besitzen zu diesem Zweck einen Prüfsockel. Ansonsten messen wir bei ausgebauten Bipolartransistoren ohmisch zwischen Basis und Emitter. Bei richtiger Polung muss bei einem Zeigerinstrument ein Ausschlag erfolgen. Zwischen Emitter und Kollektor muss der Transistor in beiden Richtungen – unabhängig von der Polarität – sperren.



Abb. 1-19: Transistorprüfung am Beispiel eines NPN-Transistor

Digitale Messinstrumente zeigen in Durchlassrichtung Werte im Ohmbereich an, in Sperrrichtung dagegen im Megohmbereich. Die meisten DMM besitzen eine Diodenmessung. Bei intakter Basis-Emitterstrecke resultiert eine Schleusenspannung von 0,5 V bis 0,7 V.

Etwas schwieriger wird es bei Feldeffekttransistoren. Wenn wir genügend Zeit oder Geduld besitzen, könnten wir auf einem Steckboard eine Versuchsschaltung aufbauen. Schneller ist vermutlich der Austausch des verdächtigen Bauteils.

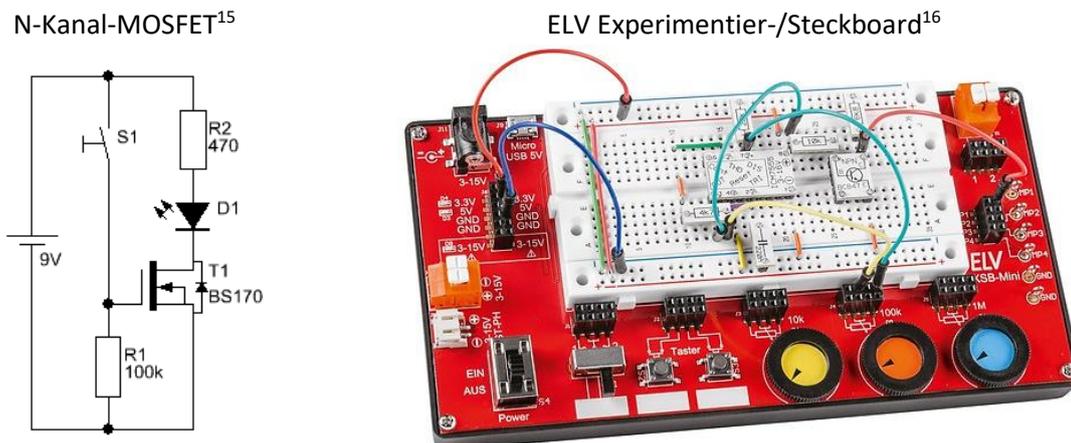


Abb. 1-20: MOSFET-Prüfung mittels Testschaltung

Lässt sich der anstehende Fehler noch immer nicht beheben, müssen wir uns gezielt auf einzelne Bauteile konzentrieren. Bei älteren Geräten liegt es oft an kalten Lötstellen oder oxidierten Kontakten.

## 1.5 Quellenverweise

### 1.5.1 Fachbücher

- Rudolf Huttary: Haushaltselektrik und Elektronik (Franzis).
- Günter Wahl: Electronic Hits (TOPP Buchreihe Elektronik, Verlag Frech).
- Herbert A. Matzdorf: Unterhaltungs-Elektronik (TOPP Buchreihe Elektronik, Verlag Frech).

### 1.5.2 Weblinks

- <http://www.hifimuseum.de/>
- <https://www.elexs.de/kap5.htm>
- <https://audiosaul.de/hifi-handbuch/>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Klangregler>
- <https://www.b-kainka.de/roehren/gegentakt.htm>
- <http://www.sengpielaudio.com/Amplitudenstatistiken.pdf>
- [http://www.amateurfunkbasteln.de/kuehIk\\_berechnen/index.html](http://www.amateurfunkbasteln.de/kuehIk_berechnen/index.html)
- [https://www.elektroniktutor.de/analogverstaerker/class\\_ab.html](https://www.elektroniktutor.de/analogverstaerker/class_ab.html)
- [https://www.elektroniktutor.de/analogverstaerker/qu\\_kompl.html](https://www.elektroniktutor.de/analogverstaerker/qu_kompl.html)
- <https://www.electronics-tutorials.ws/de/verstarker/einfuehrung-verstaerker.html>

<sup>15</sup> <http://www.dieelektronikerseite.de/>

<sup>16</sup> <https://ch.elv.com/elv-experimentier-steckboard-exsb-mini-fertiggeraet-155627?fs>

## 2 Plattenspieler

Auch die schon fast vergessene Vinyl-Schallplatte feiert ihr Revival. Inzwischen sind wieder eine Reihe von Plattenspielern auf dem Markt, die meisten mit Bluetooth-Schnittstelle und weiteren Features.

Beim Plattenspieler geht es vorwiegend um Einstellungen (Tonarm, Tonabnehmer). Ausser einem Antriebsmotor und diversen Schaltern ist nicht viel vorhanden. Allenfalls ist ein Vorverstärker eingebaut.

### 2.1 Kurzer historischer Exkurs

Als Vorläufer eines Plattenspielers gilt der von Thomas Alva Edison 1878 entwickelte *Phonograph*, bei dem eine an einer Membran befestigte Nadel im Rhythmus der Schallwellen einer Tonquelle in eine Staniolfolie einstach. Die Folie war auf einem sich drehenden Zylinder angebracht, so dass die resultierende Tonspur eine Schraubenlinie beschrieb. Wurde die Nadel an den Anfang der Tonspur gesetzt und der Zylinder mit derselben Geschwindigkeit angetrieben, so erklang nun schwach, aber noch deutlich hörbar, der ursprünglich gesprochene Text oder Gesang.

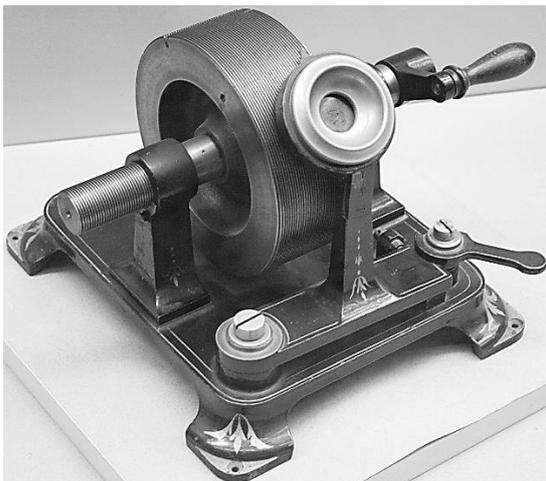


Abb. 2-1: Zinnfolien-Phonograph<sup>17</sup>



Abb. 2-2: Grammophon<sup>18</sup>

Zur Zeit des Ersten Weltkrieges verdrängte das von Emil Berliner erfundene *Grammophon* mit der Schallplatte als Tonträger den Edison-Phonographen. Schallplatten waren wesentlich einfacher zu handhaben und als Massenprodukt abzusetzen als mit Staniol umwickelte Walzen.

Berliner hatte bereits 1887 ein Patent für einen scheibenförmigen Tonträger angemeldet. Diese von ihm als Schallplatte bezeichnete Scheibe aus Hartgummi (später aus einem Gemisch mit Schellack) enthielt eine schneckenförmig von aussen nach innen verlaufende Rille, in

<sup>17</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Phonograph>

<sup>18</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Grammophon>

welche in Seitenschrift der Schwingungsverlauf einer Tonquelle eingeritzt war. Bestandteil des Patents war auch ein Aufnahme- und Abspielgerät, das als "Grammophon" bezeichnet wurde.

## 2.2 Tonabnehmer (Pick-up)

Als Tonabnehmer wird ein elektroakustischer Wandler bezeichnet, welcher die mechanischen Schwingungen einer Abtastnadel in eine elektrische Spannung (das Ton- oder Audiosignal) wandelt. Die Nadel bewegt sich in den durch das Audiosignal bei der Aufnahme eingepprägten Rillen einer Schallplatte. Die heute übliche *Mikrorille* einer Vinyl-Schallplatte ist unmoduliert  $\approx 40 \mu\text{m}$  breit, der Rillengrund besitzt einen Radius von  $\approx 8 \mu\text{m}$ . Der Verrundungsradius einer sphärischen Nadel beträgt  $\approx 15 \mu\text{m}$ .<sup>19</sup>

Tonabnehmer bestehen aus mehreren Einzelteilen. Neben dem Gehäuse und dem Wandler findet man einen flexibel gelagerten Nadelträger und die Nadel (Stylus) selbst. Die Spitze der Plattennadel wird meist aus Diamant gefertigt. Es gibt aber auch Nadeln aus Saphir und Rubin. Am verbreitetsten ist die Diamantnadel mit einer Spielzeit von etwa 1'000 Stunden. Dies entspricht dem Hören einer Schallplatte pro Tag über einen Zeitraum von ungefähr drei Jahren. Im Gegensatz dazu hat die Saphirnadel eine Spielzeit von nur etwa 50 Stunden. Auch beim Schliff der Nadeln gibt es Unterschiede. Eliptisch geschliffene Nadeln sind lauter und haben ein sehr hohes Frequenzspektrum, dafür nutzen sie die Platte stärker ab. Im Unterschiede dazu sind sphärisch geschliffene Nadeln leiser und nutzen die Platte weniger ab.

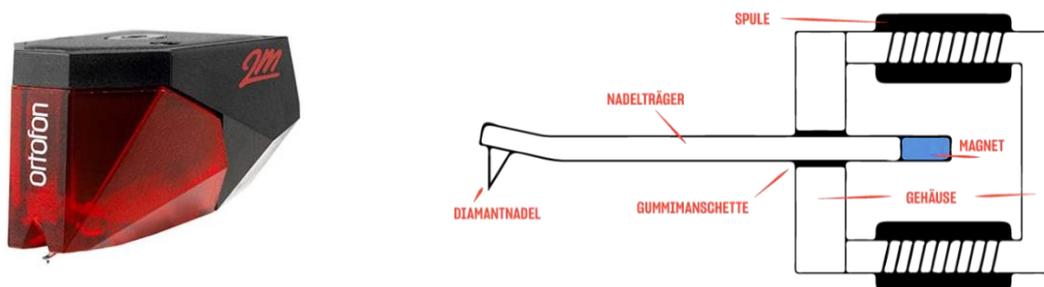


Abb. 2-3: MM-Tonabnehmer<sup>20</sup>

Entwicklungsbedingt sind unterschiedliche Systeme bekannt.

- **Kristalltonabnehmer** → ein piezoelektrischer Tonabnehmer, nur noch bei älteren oder sehr billigen Geräten anzutreffen.
- **MM Tonabnehmer** (Moving Magnet) → ein elektromagnetischer Wandler; im Unterschied zum Moving-Coil System ist der Magnet fest mit der Nadel verbunden.
- **MC Tonabnehmer** (Moving Coil) → ein elektrodynamischer Wandler; die bewegte Spule ist fest mit der Nadel verbunden. Der Austausch der Nadel gestaltet sich etwas komplizierter als bei einem MM-Wandler.

Die Klangqualität eines MC-Tonabnehmers ist besser als beim MM-System, dafür ist der Ton-

<sup>19</sup>  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} = 1/1000 \text{ mm}$

<sup>20</sup> <https://www.hifiklubben.de/inspiration/plattenspieler/der-tonabnehmer/>

abnehmer aber teurer. Einer der Nachteile von MC-Tonabnehmern ist ihre vergleichsweise geringe Ausgangsspannung von etwa 0,5 mV. Folglich ist ein – meist im Plattenspieler integrierter – Vorverstärker erforderlich. Es gibt auch MC-Tonabnehmer, die eine Ausgangsspannung von 5 mV und mehr aufweisen wie ein Magnetsystem (bspw. das Modell Denon DL-110). Die Spulen dieser Systeme besitzen mehr Windungen, hinzu kommen stärkere Dauermagnete.

Um auch Stereoaufnahmen abzuspielen, werden zwei separate Tonkanäle benötigt. Folglich sind zwei Wandler vorhanden, welche durch die gemeinsame Nadel ausgelenkt werden. Um die nötige Entkopplung zu gewährleisten, sind die Wandler gegenüber dem Lot um 45° geneigt, gegeneinander also um 90°.

## 2.3 Antrieb

1) Bei Plattenspielern kommen – je nach Modell – unterschiedliche Antriebe zum Einsatz.

a) **Direktantrieb** → Die Motorwelle ist zugleich die Spindel des Plattentellers. Mit elektronisch geregelten Vierpolmotoren sind niedrige Gleichlaufschwankungen erzielbar.

b) **Riemenantrieb** → Der Motor treibt den Plattenteller über einen Riemen an.



Abb. 2-4: Antrieb mit innenliegendem Riemen beim OVATION (Clearaudio)<sup>21</sup>

c) **Reibradantrieb** → Zwischen Motorachse und Lauffläche an der Innenseite des Plattentellers befindet sich ein Reibrad aus Hartgummi.

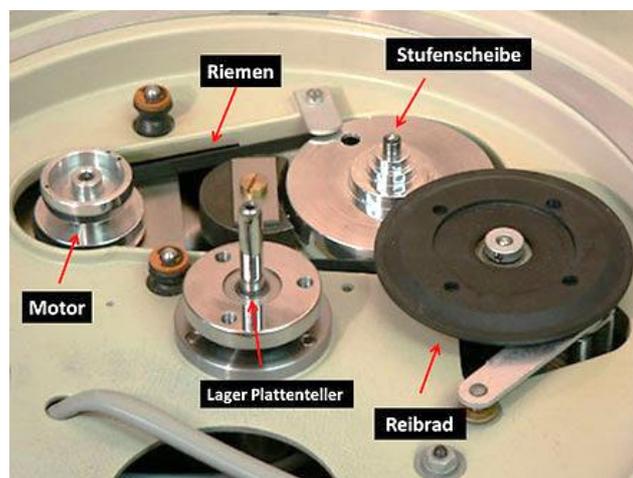


Abb. 2-5: Antrieb beim Thorens TD 124<sup>22</sup>

<sup>21</sup> <https://www.good-vinyl.de/lexikon/8-plattenspieler/technik/>

<sup>22</sup> Ebenda

Die obige Grafik zeigt einen Hybridantrieb (eine Kombination aus Riementrieb und Reibradantrieb). Der Riemen treibt eine Stufenscheibe an, so dass unterschiedliche Drehzahl möglich sind. Die Stufenscheibe bewegt das Reibrad und dieses den Plattenteller.

2) Als Motoren kommen in Frage:

- Spaltpolmotoren
- Wechselstrommotoren mit Hilfsphase
- Selbstanlaufende Synchronmotoren
- Bürstenlose DC-Motoren mit Ansteuerelektronik

2) Vorteilhaft in Bezug auf die Laufruhe sind schwere Plattenteller. Als Tellerlager kommen meist Gleitlager zum Einsatz. Geschliffene Stahlachsen laufen in Büchsen aus Bronze, Sintermetall oder Kunststoff.

## 2.4 Einstellungen

1) Als erstes überprüfen wir, ob der Plattenspieler "im Wasser" bzw. "im Lot" ist. Diese Ausdrücke stammen aus dem Bauhandwerk und dienen der Überprüfung der korrekten Lage im Raum. Dazu dient eine kleine Wasserwaage oder eine Dosenlibelle. Es gibt auch spezielle Tonarmwaagen von Ortofon mit denen die Auflagekraft eines Tonabnehmers auf eine Schallplatte bestimmt werden kann.

2) Nun kann der **Tonarm** ausgerichtet werden. Nach internationaler Norm soll der Abtastdiamant die Tonrinne mit einer Vorwärtsneigung von genau  $20^\circ$  abtasten. Dieser Winkel kann nur stimmen, wenn der Tonarm bei abgesenktem Tonabnehmer parallel zu Schallplatte ausgerichtet ist. Ist dies der Fall, wird der **Azimut** (die seitliche Abweichung) der Nadel überprüft. Normalerweise ist die Nadel orthogonal (im rechten Winkel) zur Schallplatte befestigt. Bei Verzerrungen des Klangbildes ist eine Korrektur nötig.

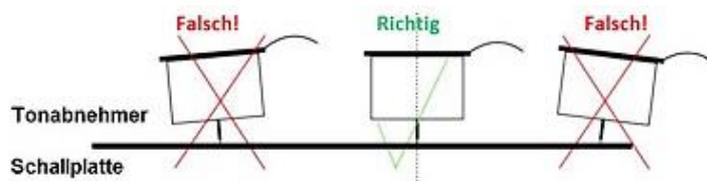


Abb. 2-6: Azimut-Korrektur mit Blick auf die Vorderseite des Tonabnehmers<sup>23</sup>

3) Danach erfolgt die Justierung des **Kröpfungswinkels**. Die Hersteller liefern dazu eine Justierschablone.

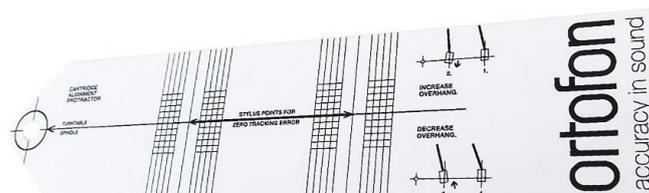


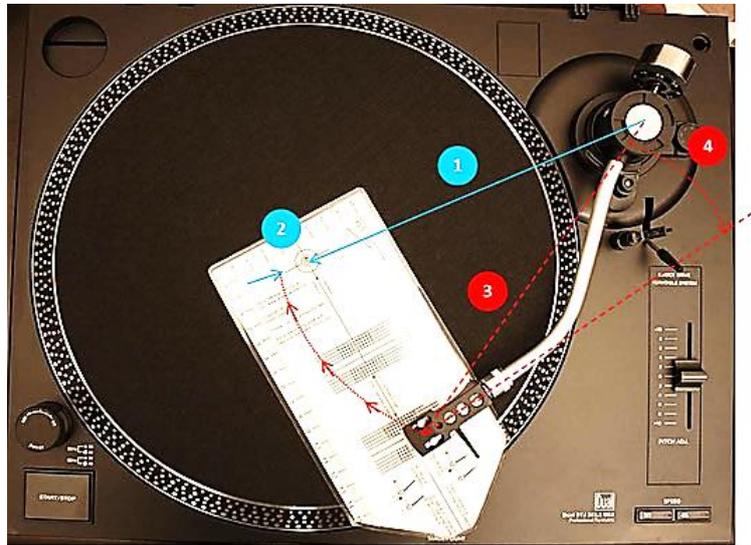
Abb. 2-7: Justierschablone für den Tonarm

Den richtigen Kröpfungswinkel stellt man ein, indem der Tonabnehmer an den parallel verlauf-

<sup>23</sup> <https://www.good-vinyl.de/lexikon/8-plattenspieler/aufstellung-und-justierung/>

fenden Linien auf der Schablone ausgerichtet wird, während er auf den eingezeichneten Punkten aufliegt. Auf den Schablonen sind immer zwei Punkte eingezeichnet, es ist daher wichtig, dass der Tonabnehmer an beiden Punkten parallel verläuft.

Um den **Überhang** einzustellen, muss die zugehörige und auf der Schablone eingezeichnete Linie parallel zum Tonabnehmer verlaufen.



- |   |             |   |                  |
|---|-------------|---|------------------|
| 1 | Achsabstand | 3 | Eff. Tonarmlänge |
| 2 | Überhang    | 4 | Kröpfungswinkel  |

$$\text{Effektive Tonarmlänge} = \text{Achsabstand} + \text{Überhang}$$

Abb. 2-8: Kröpfung und Überhang<sup>24</sup>

5) Nun wird das **Auflagegewicht** gemäss den Angaben des Herstellers justiert. Zuerst muss der **Nullwert** bestimmt werden. Das ist der Fall, wenn sich der Tonarm frei in der Luft befindet. Daraufhin kann das Gewicht eingestellt werden.

6) Danach wird das **Antiscating** eingestellt. Als Faustregel gilt, dass 75 % der Auflagekraft, welche zuvor eingestellt wurde, als Wert für das Antiscating verwendet werden.

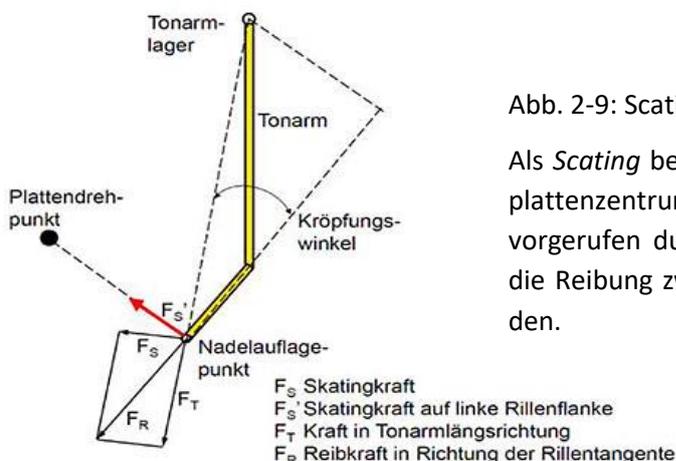


Abb. 2-9: Scating-Effekt beim gekröpften Tonarm<sup>25</sup>

Als *Scating* bezeichnet man eine gegen das Schallplattencentrum gerichtete Ablenkung (Drift), hervorgerufen durch die Kröpfung des Tonarms und die Reibung zwischen Nadelspitze und Rillenwänden.

<sup>24</sup> <https://www.good-vinyl.de/lexikon/8-plattenspieler/aufstellung-und-justierung/>

<sup>25</sup> <https://www.good-vinyl.de/lexikon/8-plattenspieler/aufstellung-und-justierung/>

Bei einigen Plattenspielern ist für das Antiscating ein kleines, an einer dünnen Schnur befindliches Ausgleichsgewicht (offenes System) vorhanden. Andere Hersteller benutzen ein Hebel-Feder-System (geschlossenes System), bei dem mit einem Stellrad mit Skala die Antiscatingkraft einstellbar ist.

7) Als letztes Kriterium überprüfen wir mit einer Stroboskopscheibe und einer mit Wechselstrom (50 Hz) betriebenen Glühlampe die Drehzahl des Plattentellers. Sie soll der Nennzahl von bspw.  $33\frac{1}{3}$  Umdrehungen pro Minute entsprechen und ohne Schwankungen sein.

Einige Modelle besitzen eine integrierte Stroboskoplampe und einen Plattenteller mit Markierung am Tellerrand. Bei korrekter Drehzahl muss die Markierung scheinbar stillstehen. Eilen die Inkremente vor, so ist die Drehzahl zu hoch, eilen sie nach, ist sie zu niedrig.



Abb. 2-10: Drehzahlkorrektur mit Pitch-Potentiometer<sup>26</sup>

Motoren mit Ansteuerlektronik besitzen meist ein Potentiometer (Pitch ADJ), mit dem die Drehzahl korrigiert werden kann.

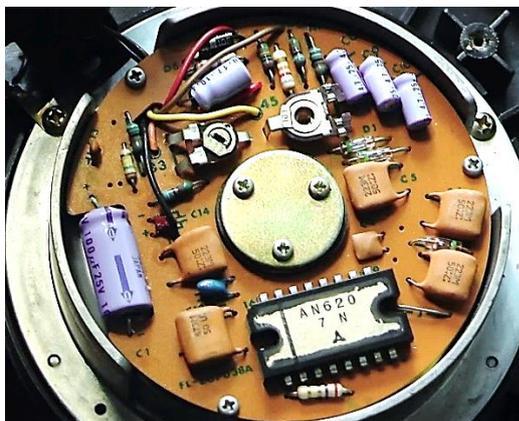


Abb. 2-11: Steuerplatine mit Drehzahl-Trimmer<sup>27</sup>



Abb. 2-12: Abgleichschraubendreher

Es gibt auch Motoren mit integrierter Steuerelektronik, bei welchen sich auf einer kleinen Platine ein Trimmer für die Drehzahlkorrektur befindet. Zur Verstellung des Trimmers muss die Gehäuseabdeckung entfernt werden. Bei einigen Motortypen befindet sich im Gehäuse ein kleines Loch für die Einführung eines Abgleichschraubenziehers.

<sup>26</sup> <https://www.heise.de/select/make/2017/3/1279260705133316>

<sup>27</sup> Ebenda

## 2.5 Quellenverweise

### 2.5.1 Fachbücher

- Karl-Heinz Finke: Fono- und Tonbandgeräte-Service (VEB).
- Richard Zierl: Phonotechnik - Geschichte, Selbstbau und Restaurierung (vth).

### 2.5.2 Weblinks

- <https://33eindrittel.com/>
- <https://www.fairaudio.de/lexikon/>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Tonabnehmer>
- <http://www.vono.ch/akustik/ersteHilfe/plattenspieler/>
- <https://ratgeber.pcgameshardware.de/tonabnehmer-test>
- <https://www.plattenspieler-guru.de/tonabnehmer-im-test/>
- <https://www.good-vinyl.de/lexikon/8-plattenspieler/aufstellung-und-justierung/>

## 3 Tonbandgeräte

### 3.1 Ein kurzer historischer Überblick

Die ersten Magnettongeräte arbeiteten nicht einem magnetisierbaren Band als Speichermedium, sondern mit einem magnetisierbaren Draht. Es waren also Drahttongeräte. Als Erfinder gilt der dänische Ingenieur Valdemar Poulsen, der auch in der Funktechnik mit dem Lichtbogensender Pionierarbeit leistete. Ende 1898 bekam Poulsen für sein *Telegraphon* ein deutsches Patent.

Von einer Vorratsspule wurde ein Stahldraht mit der Geschwindigkeit von 20m/s auf eine leere Aufwickelspule transportiert. Auf seinem Wege lief der Draht zwischen den Polen eines Elektromagneten, dem Tonkopf, hindurch. Der Elektromagnet wurde durch den Wechselstrom eines Mikrofons erregt. Das im Rhythmus des Tonsignals wechselnde Magnetfeld prägte sich dem vorbeiziehenden Draht ein. Später erfolgten auch Versuche mit magnetisierbarem Stahlband. Audioverstärker waren zu dieser Zeit noch unbekannt, so dass die Tonqualität alles andere als befriedigend ausfiel.

Poulsens Telegraphon stiess zwar auf Interesse, vermochte sich aber gegenüber der wesentlich einfacher zu handhabenden Schallplatte nicht durchzusetzen. Erst 1928 wurde die Idee erneut aufgegriffen, indem der aus Dresden stammende Erfinder Fritz Pfleumer anstelle eines Stahldrahtes einen mit Eisenoxidpulver belegten Papierstreifen verwendete. Inzwischen waren Röhrenverstärker im Einsatz, so dass die klangseitigen Mängel eliminiert werden konnten. Trotzdem dauerte es nochmals sieben Jahre, bis das erste serienmässige Tonbandgerät von AEG auf der Funkausstellung in Berlin (1935) einem staunenden Publikum präsentiert werden konnte. Beim "Magnetophon K1" war der heikle Papierstreifen durch ein Band aus Acetylcellulose von 6,25 mm Breite ersetzt worden. Ein weiterer Meilenstein erfolgte mit der HF-Vormagnetisierung (Bias) durch Braunmühl und Weber im Jahre 1940.

### 3.2 Geräteaufbau

Tonbandgeräte sind einiges komplizierter als Plattenspieler. Die folgende Grafik vermittelt einen Eindruck davon. Unverzichtbare Bauteile sind der Aufnahme- und Wiedergabekopf (einzeln oder kombiniert), welche mit dem Aufnahme- und Wiedergabeverstärker verbunden sind. Dazu kommt der Löschkopf, der von einem Oszillator angesteuert wird. Geräte mit Mikrofonanschluss besitzen zudem einen Mikrofonvorverstärker.

Für den Bandantrieb und die beiden Wickelteller werden Motoren benötigt. Einfachere Geräte besitzen nur einen Motor. Die Kraftübertragung an die einzelnen Antriebselemente erfolgt mit Riemen oder gummierten Rollen. Heimgeräte der gehobenen Preisklasse haben bis zu drei Motoren. Hinzu kommt eine komplizierte Mechanik mit Gestängen, Hebeln, Andruckrollen usw. Der Reparateur sollte demzufolge eine gewisse Erfahrung in elektromechanischen Belangen mitbringen. Zur Instandsetzung schadhafter Geräte sind auch gute Kenntnisse der Elektronik und Messtechnik erforderlich. In der Regel genügen zur Fehlersuche – nebst dem erforderlichen Handwerkzeug – ein TRMS-Multimeter und ein Zweikanal-Oszilloskop. Von Vorteil ist zweifellos auch ein Schaltschema.

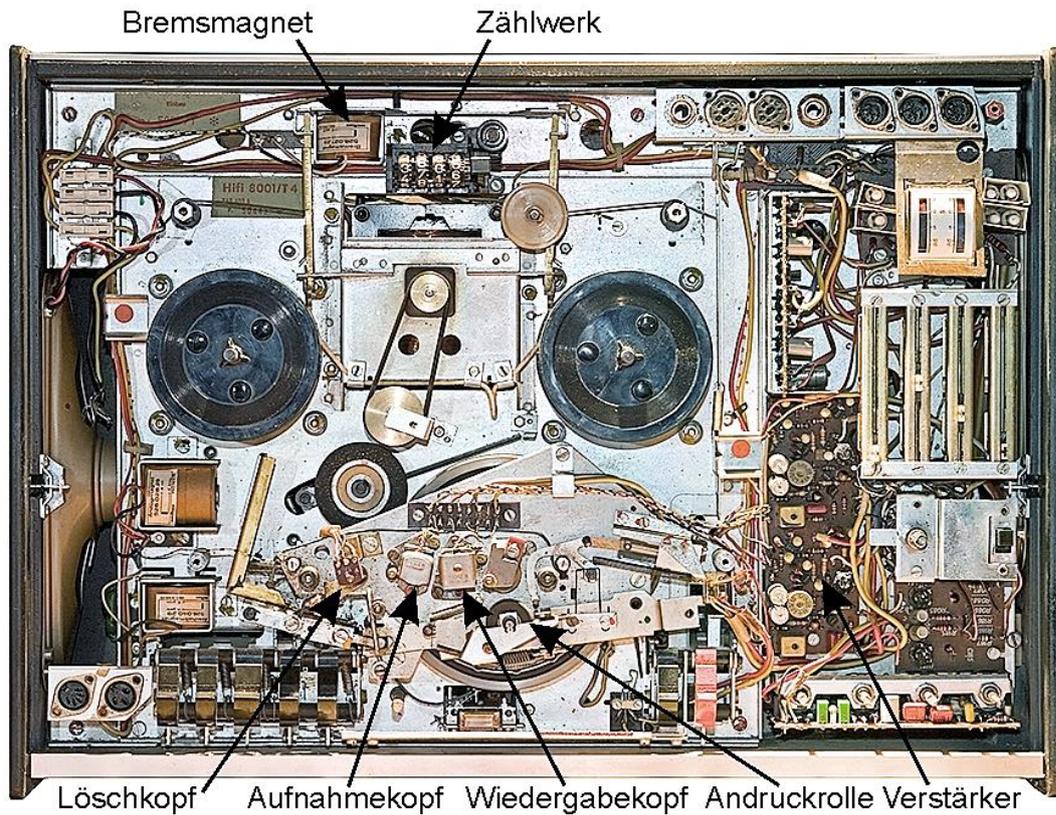


Abb. 3-1: Innenansicht eines Tonbandgerätes von Nordmende<sup>28</sup>

Generell kann unterschieden werden zwischen Bandmaschine, Tapedeck und Kassettenrecordern. Generell sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen diesen Geräten vorhanden. Kommen Besonderheiten vor, wird im Text darauf hingewiesen.

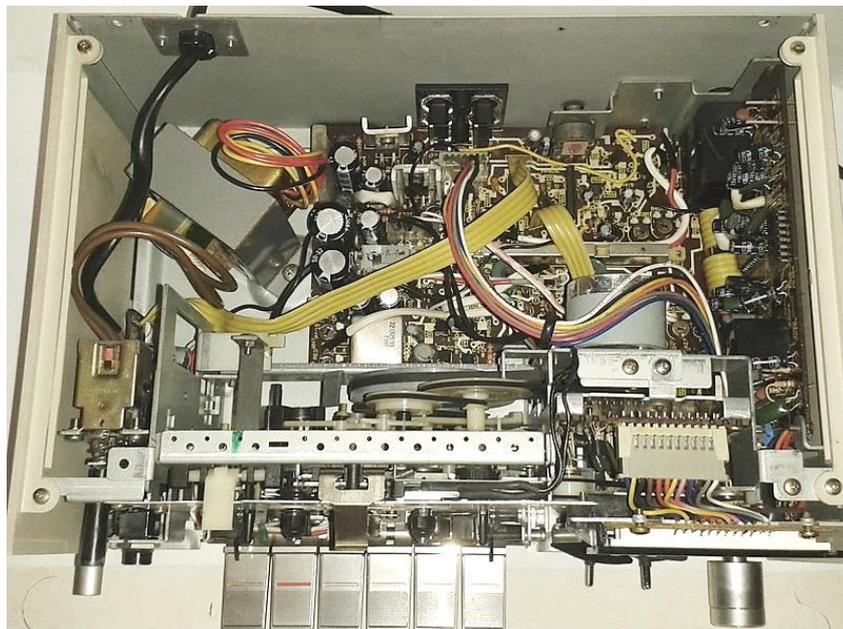


Abb. 3-2: Blick in ein Tapedeck<sup>29</sup>

<sup>28</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Tonbandger%C3%A4t>

<sup>29</sup> <https://old-fidelity-forum.de/thread-43979.html>

Bis in die 1990er Jahre war ein mit Kompaktkassetten betriebenes Tape-Deck ein regulärer Bestandteil einer aus Einzelgeräten (Tuner, Plattenspieler, HiFi-Verstärker) bestehenden Stereoanlage.

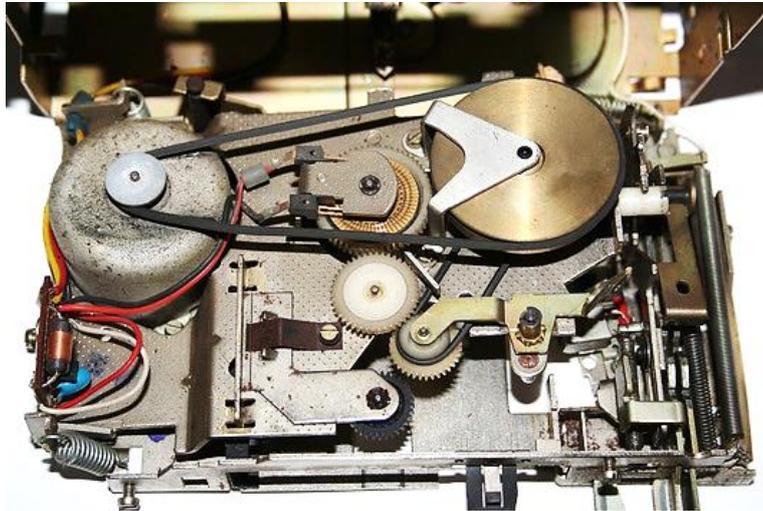


Abb. 3-3: Kassettenlaufwerk (Grundig AC 125)<sup>30</sup>  
Die Laufwerksmechanik erweckt einen komplizierten Eindruck.

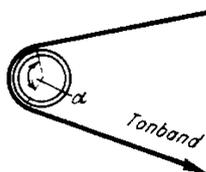
In den 1980er Jahren begannen Taschengeräte wie der kassettenbasierte *Walkman* von Sony die früheren Kassettenrecorder zu verdrängen.

### 3.3 Gerätemechanik

#### 3.3.1 Bandlauf

Die Bandgeschwindigkeit soll möglichst konstant bleiben. Um dies zu erreichen wird eine präzise gefertigte Tonwelle (Capstan) verwendet. Beträgt der Durchmesser der Tonwelle bspw. 10 mm und die Drehzahl 6 Umdrehungen pro Sekunde, so resultiert daraus eine Bandgeschwindigkeit von  $\approx 19$  cm pro Sekunde. Durch gerade Teilung sind auch kleinere Geschwindigkeiten wie 9,5 cm/s und 4,25 cm/s möglich.

a) Umschlingung, Band wird durch Reibung mitgeführt



b) Bandtransport mit Gummiandruckrolle

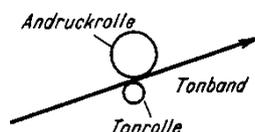


Abb. 3-4: Bandtransport<sup>31</sup>



Abb. 3-5: Capstan und Pinchroller<sup>32</sup>

Ein konstanter Bandtransport resultiert aus dem Zusammenwirken von Tonwelle, Gummiandruckrolle und Aufwickeltrieb.

<sup>30</sup> <https://www.bandmaschinen Seite.de/kassettenger%C3%A4te/grundig-ac-125/>

<sup>31</sup> Junghans: Tonbandgeräte-Praxis (Franzis).

<sup>32</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Andruckrolle>

Hochwertige Geräte besitzen einen Doppel-Capstan-Antrieb, der das Band vor und nach dem Tonkopf gleichmässiger transportiert. Zur Verbesserung des Gleichlaufes ist bei vielen Geräten ein Schwungrad vorhanden. Durch die in der rotierenden Scheibenmasse gespeicherte kinetische Energie werden kurzzeitige Drehzahlschwankungen ausgeglichen.

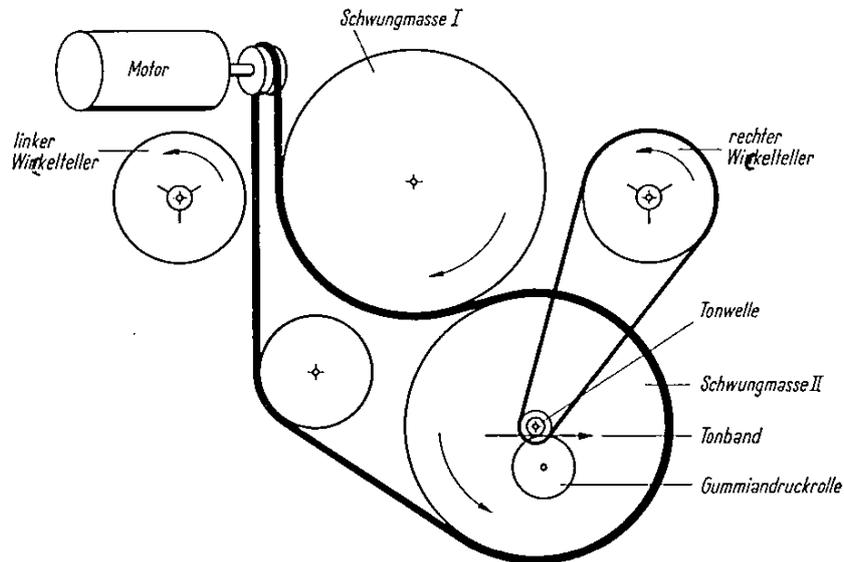


Abb. 3-6: Antrieb eines Batteriegerätes mit zwei gegenläufigen Schwunghmassen<sup>33</sup>

Weil die Geschwindigkeit der Bandabwicklung vom Spulendurchmesser abhängig ist, erfolgt mittels einer "Feinfühlautomatik" eine kontinuierliche Korrektur. Auf der Aufwickelseite geschieht dasselbe mit einer Rutschkupplung. Auf diese Weise wird die durchmesserabhängige Drehzahl der beiden Tonspulen laufend an die durch die Tonwelle bestimmte Bandgeschwindigkeit angeglichen.

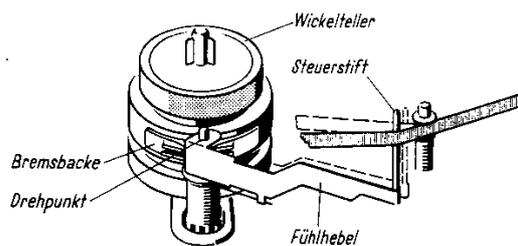


Abb. 3-7: Bremsung des linken Wickeltellers mit einem Fühlhebel mit Steuerstift<sup>34</sup>

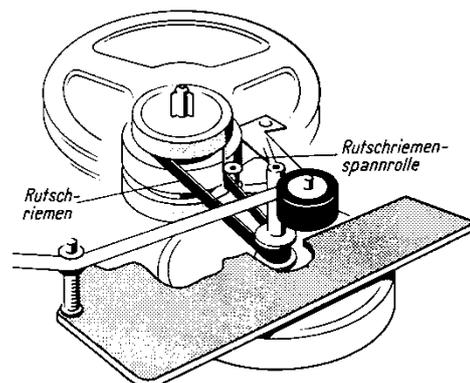


Abb. 3-8: Bremsung des rechten Wickeltellers mit einer Rutschkupplung

Ausser der in Abb. 2-7 dargestellten Rutschkupplung, welche lageunabhängig arbeitet, werden auch gewichtsabhängige Rutschkupplungen verwendet. Das Gerät muss in diesem Fall in horizontaler Lage betrieben werden.

<sup>33</sup> Warnke: Tonbandtechnik (Franzis).

<sup>34</sup> Ebenda; aus derselben Quelle stammen Abb. 2-16 und Abb. 2-17.

### 3.3.2 Schneller Vor- und Rücklauf

Für den schnellen Bandtransport beim Vor- oder Rückspulen werden zuschaltbare Zwischenräder verwendet, die unmittelbar auf den jeweiligen Wickelteller einwirken.

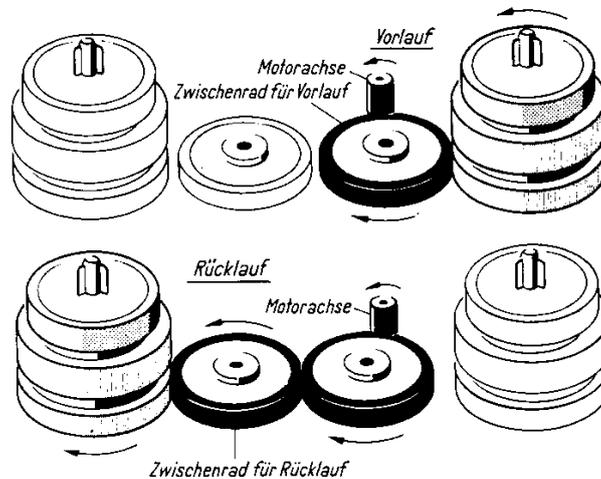


Abb. 3-9: Mechanik für schnelles Vor- oder Rückspulen

Bei einer automatischen Endabschaltung wirkt ein Elektromagnet auf die Stoppvorrichtung ein. Aktiviert wird der Elektromagnet durch eine leitende Beschichtung am Bandende, welche sensorisch erfasst wird. Andere Systeme bedienen sich eines Fühlhebels, der bei einem schlaffen Band anspricht.

### 3.4 Aufnahme-, Wiedergabe- und Löschvorgang

1) Das Band fährt zuerst am Löschkopf vorbei, danach am Sprechkopf (Aufnahme) und zuletzt am Hörkopf (Wiedergabe).

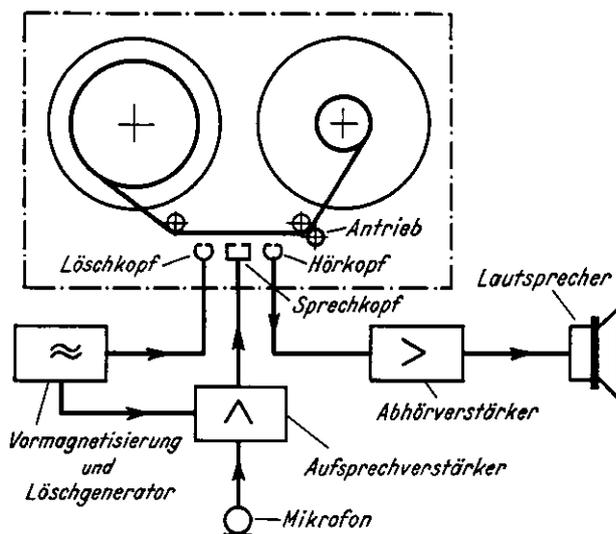


Abb. 3-10: Prinzipielle Anordnung von Lösch-, Sprech- und Hörkopf<sup>35</sup>

Beim Kombikopf befinden sich Aufnahme- und Wiedergabespule im selben Gehäuse. Danach folgt die für einen konstanten Bandtransport zuständige Tonwelle.

2) Das von einem Mikrofon oder einem Plattenspieler generierte Signal muss zuerst in einem Vorverstärker aufbereitet werden, bevor es dem Sprechkopf zugeführt wird.

<sup>35</sup> Junghans: Tonbandgeräte-Praxis (Franzis).

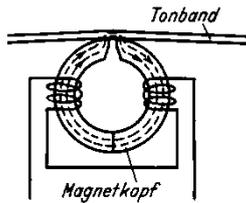


Abb. 3-11: Konstruktionsprinzip eines Ringkernmagnetkopfs<sup>36</sup>

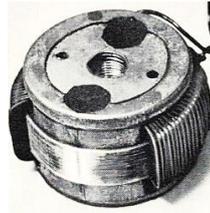


Abb. 3-12: Praktische Ausführung eines Ringkernmagnetkopfs

Der Ringkernmagnetkopf wurde 1934 von Eduard Schüller erfunden. Später befasste sich Schüller mit der Aufzeichnung von Videosignalen mittels dem Schrägspurverfahren.

Der Ringkern eines Sprechkopfes besteht aus lamelliertem Mu-Metall oder gesintertem Ferrit mit hoher Anfangspermeabilität, niedriger Koerzitivfeldstärke, hoher Sättigungsinduktion und hohem spezifischem Widerstand.



Abb. 3-13: Lösch-, Sprech- und Hörkopf<sup>37</sup>

Als Mu-Metall (Permalloy) wird eine Nickel-Eisen-Legierung mit 72 bis 80 % Nickel sowie Anteilen von Kupfer, Molybdän, Kobalt oder Chrom mit hoher magnetischer Permeabilität bezeichnet. Mu-Metall wird u.a. zur Abschirmung niederfrequenter Magnetfelder und zur Herstellung der Magnetkerne von Tonköpfen, NF-Übertragern und Stromwandlern eingesetzt.

3) Beim Aufsprechvorgang wird das Band zuerst mittels Wechselstrom-Vormagnetisierung gelöscht bzw. entmagnetisiert. Dafür zuständig ist der Löschkopf, welcher aus einem Oszillator mit einer Hochfrequenz von ca. 100 kHz erregt wird. Der Verlauf des Streufeldes wird durch die Spaltbreite von ca. 0,2 mm mitbestimmt. Beim Passieren der Spaltzone wird die Magnetisierung zunächst bis in die Sättigung getrieben, um sie dann durch die stetige Abnahme der Feldstärke beim Verlassen des Spalts zum Verschwinden zu bringen.

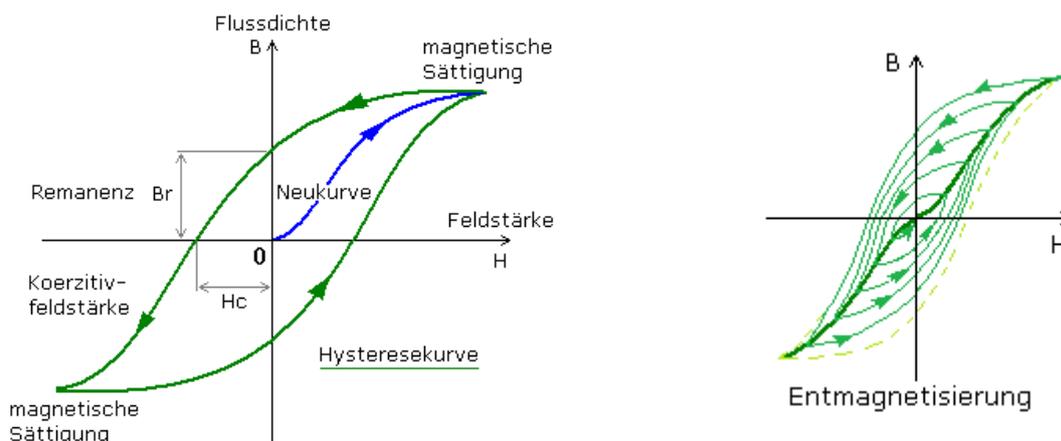


Abb. 3-14: Magnetisierungskurve eines ferromagnetischen Werkstoffes<sup>38</sup>

Mittel einer kontinuierlich abnehmenden und die Polarität periodisch wechselnden Feldstärke kann die Magnetisierung zum Verschwinden gebracht werden.

<sup>36</sup> Ebenda

<sup>37</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Tonbandger%C3%A4t>

<sup>38</sup> <https://www.elektroniktutor.de/elektrophysik/magkurve.html>

4) Im Wiedergabe- resp. Hörkopf wird durch das vorbeistreichende magnetisierte Band gemäss dem Induktionsgesetz ein Signal von wenigen mV erzeugt, das zuerst verstärkt werden muss, bevor es einem Lautsprecher zugeführt werden kann. Der Kopfspalt ist hier schmaler, damit eine möglichst hohe Grenzfrequenz erreicht wird.

### 3.5 Aufnahme- und Wiedergabeverstärker

Bei Tonbandgeräten in Röhrentechnik kommen gelegentlich zwei separate Verstärker für Aufnahme und Wiedergabe vor. Gleiches gilt bei Transistorgeräten.

#### 3.5.1 Aufnahmeverstärker

Zur Vorverstärkung des Eingangssignals (Mikrofon, Radio) diente eine rauscharme EF 86. Die als Pentode konzipierte EL 95 wurde beim Aufsprechvorgang zur Erzeugung des hochfrequenten Löschsignals benutzt, das auch zur Vormagnetisierung diente.

Als Abstimmmanzeige (magisches Band) wurde die EM 84 eingesetzt.

Ins Gegenkopplungsnetzwerk war als "Doppeltriode" eine ECC 83 eingebunden. Diese Schaltung diente dem Zwecke, die mittleren Frequenzen abzuschwächen, indem diese als Gegenkopplung auf den Verstärkereingang zurückgeführt wurden. Dadurch wurden die höheren und tieferen Frequenzen hervorgehoben und der Klang verbessert.

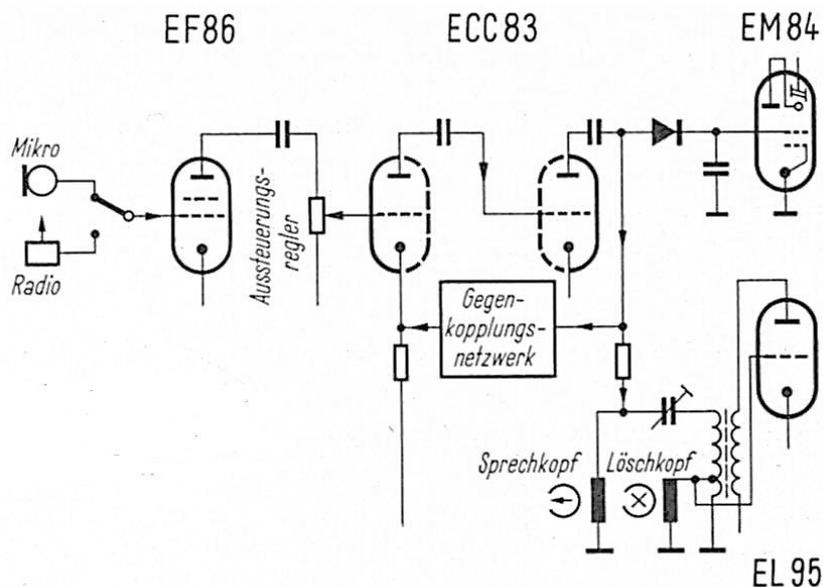


Abb. 3-15: Prinzipschaltung eines röhrenbestückten Aufnahmeverstärkers

#### 3.5.2 Wiedergabeverstärker

Wiedergabeverstärker mit Röhren waren im Eingangskreis ähnlich aufgebaut wie der zuvor skizzierte Aufnahmeverstärker.

Für die Endstufe wurde vielfach eine EL 95 mit 3 W Ausgangsleistung verwendet. Für grössere Leistungen wurden zwei EL 95 in Gegentaktschaltung eingesetzt; damit konnte die Ausgangsleistung auf 9 W gesteigert werden, so dass sich selbst ein Schulzimmer problemlos beschallen liess.

Auch beim Wiedergabeverstärker wurde eine Klangverbesserung mittels Gegenkopplung realisiert.

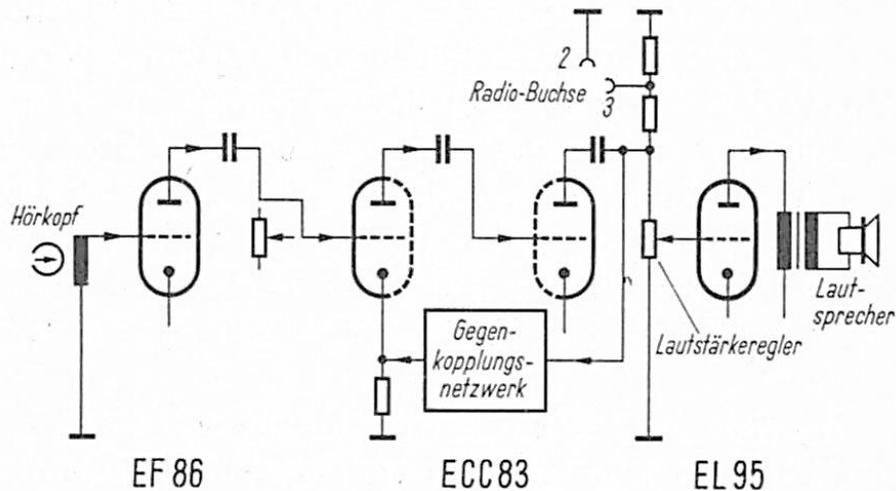


Abb. 3-16: Prinzipschaltung eines röhrenbestückten Wiedergabeverstärkers

An der Radio-Buchse konnte das vorverstärkte Audiosignal von ca. 1 V für einen Radioapparat oder einen externen Verstärker abgenommen werden.

### 3.5.3 Transistorverstärker

1) Neuere Geräten in Transistortechnik enthalten meist nur noch einen Verstärker, bei dem die unterschiedlichen Signalwege für Aufnahme oder Wiedergabe mit dem A/W-Schalter festgelegt werden. Lediglich in Spitzengeräten werden getrennte Verstärker eingesetzt.

Die folgende Grafik zeigt das Schema eines Transistor-Kassettengerätes für Monobetrieb.

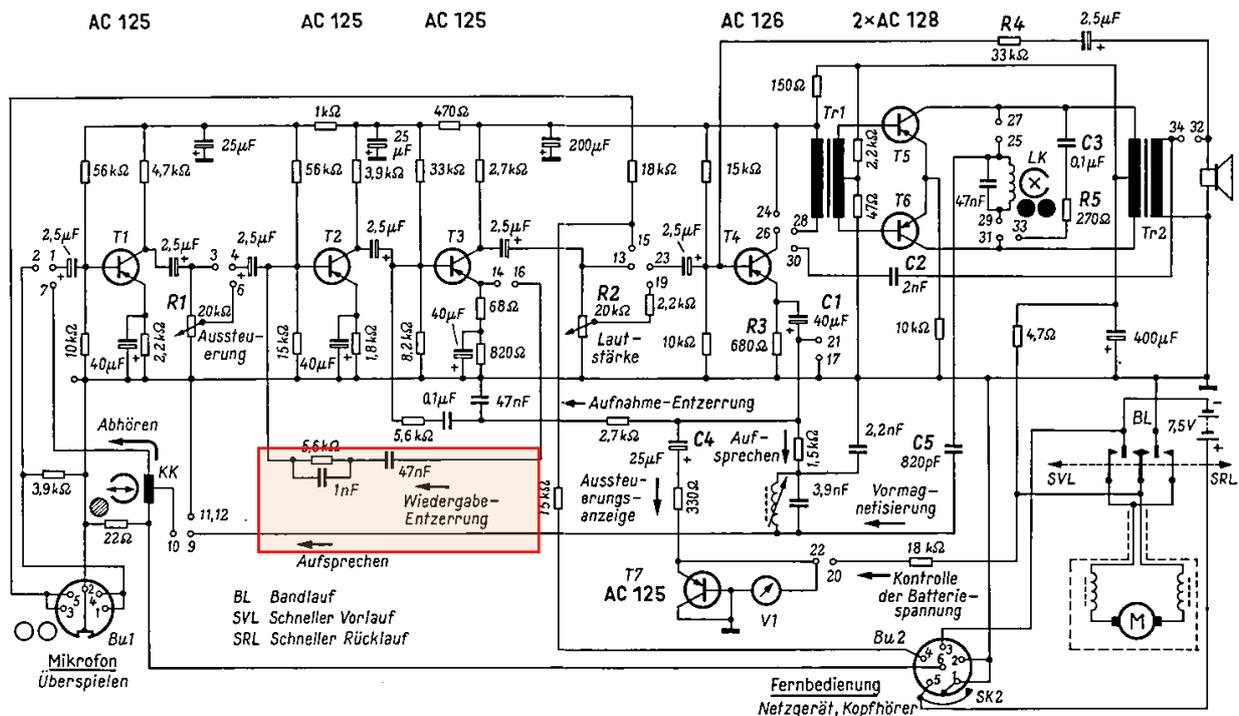


Abb. 3-17: Philips-Taschenrecorder 3300<sup>39</sup>

<sup>39</sup> Warnke: Tonbandtechnik (Franzis).

Die Entzerrung des Audiosignals wurde mit RC-Gliedern realisiert.

2) Im Laufe der Zeit verdrängten integrierte Schaltungen die zuvor mit diskreten Bauelementen aufgebauten Schaltungen, was bei den beengten Raumverhältnissen ein erheblicher Vorteil war.

Die folgende Grafik zeigt den als Vorverstärker konzipierten Baustein TAA 310.

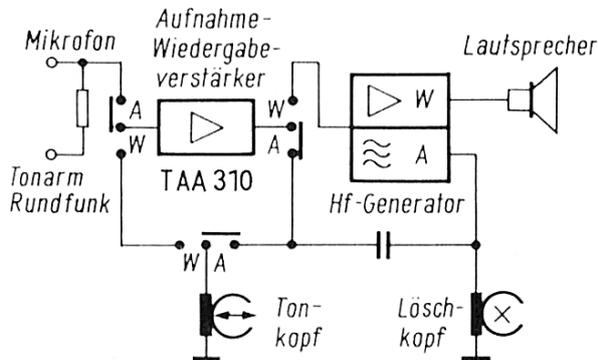


Abb. 3-18: Gemeinsamer A/W-Vorverstärker<sup>40</sup>

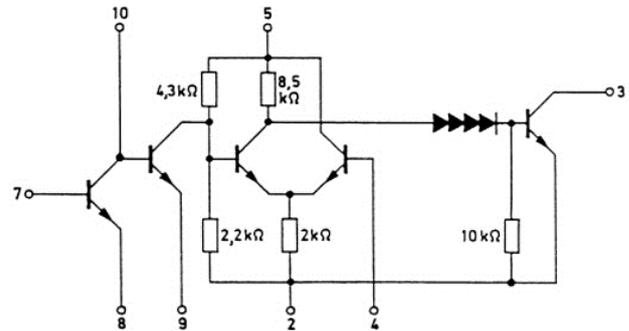
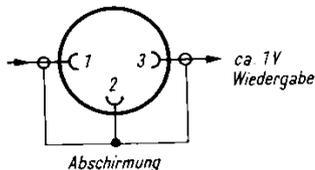


Abb. 3-19: Beschaltung des TAA 310

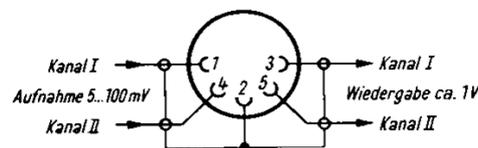
### 3.6 Schnittstellen

Zur Verbindung der Audiokabel mit externen Geräte (Radio, Plattenspieler usw.) sind Steckvorrichtungen vorhanden. Die als DIN-Steckverbinder ausgeführten Diodenanschlüsse<sup>41</sup> wurden im Laufe der achtziger Jahre von anderen Steckersystemen wie Cinch (RCA) und Klinkenstecker (6,3 mm und 3,5 mm) verdrängt.

a) Buchsenstecker für Mono-Betrieb



b) Buchsenstecker für Stereo-Betrieb



c) Diodenkabel für Mono-Betrieb



Abb. 3-20: Drei- und fünfpolige DIN-Steckverbinder

### 3.7 Fehlerbehebung

Was auf den ersten Blick ziemlich kompliziert aussieht, muss in praxi nicht immer schwierig sein. Eines kann bereits gesagt werden: Je kompakter die Geräte im Laufe der Zeit wurden, desto schwieriger ist in der Regel die Reparatur.

Bei Kassettenrecordern für den Massenmarkt ist eine Instandsetzung oft nicht mehr wirtschaftlich, weil ein neues Gerät weniger als eine Reparaturstunde kostet.

<sup>40</sup> Junghans: Tonbandgeräte-Praxis (Franzis).

<sup>41</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Diodenanschluss>

Die folgende Grafik zeigt die funktionalen Zusammenhänge eines Kassettengerätes für Stereo-betrieb.

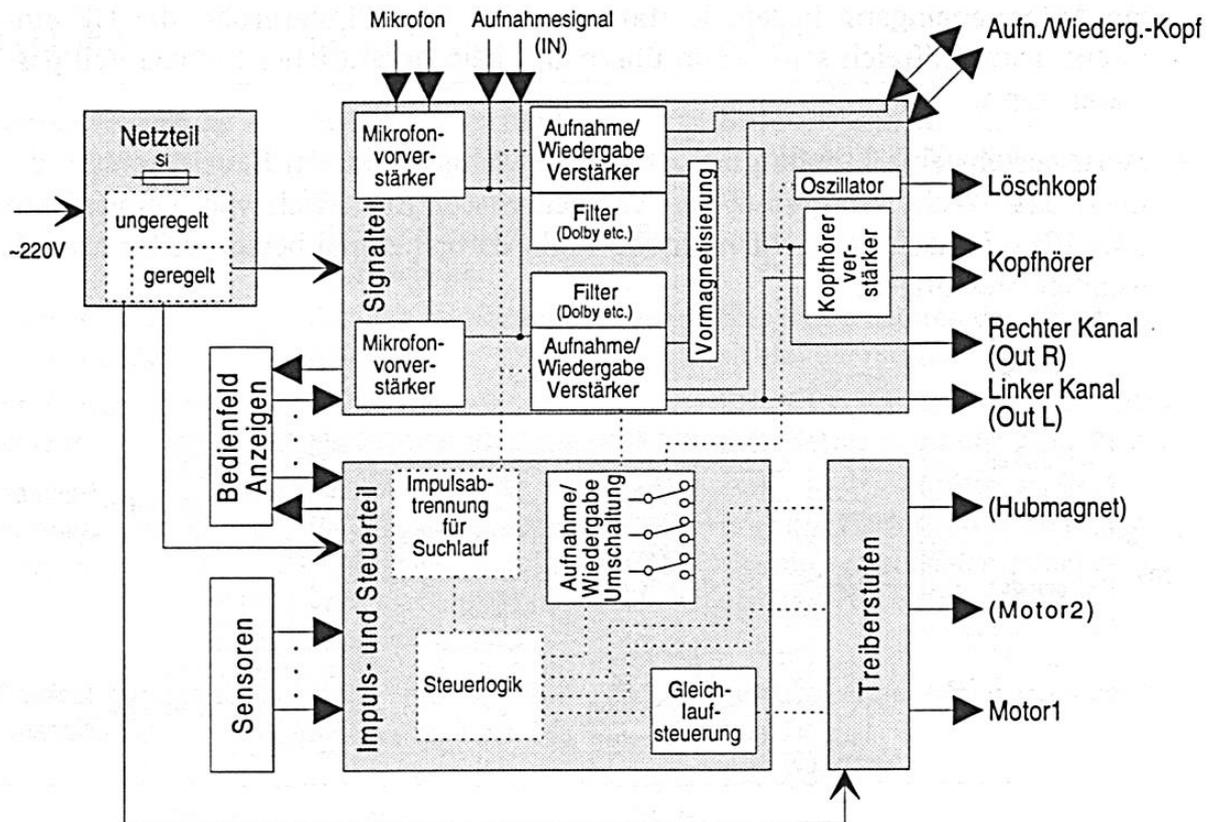


Abb. 3-21: Blockschaltbild eines Kassettengerätes<sup>42</sup>

### 3.7.1 Reinigung mechanischer Elemente

Vielfach liegt es an lapidaren Dingen wie verschmutzten Tonköpfen oder abgeriebenen Andruckrollen. Drop-outs (Lautstärkeschwankungen oder Aussetzer des Tones) entstehen durch unzureichenden Andruck des Magnetbandes an den Tonkopf, Fehler im Bandmaterial oder durch Schmutz zwischen Kopf und Band. Das Reinigungsmittel (Spiritus) wird auf ein Watte-stäbchen oder ein weiches Baumwolltuch aufgebracht, um so z.B. den Kopfspiegel eines Tonkopfes zu reinigen.

### 3.7.2 Fehlendes oder gestörtes Audiosignal

1) Dumpf klingende Wiedergabesignale mit geringem Höhenanteil verweisen auf einen verschmutzten Tonkopf.

2) Durch Abnutzung entstandene Unregelmässigkeiten der Tonwelle machen sich als "Flutter" bemerkbar. Tonwelle (Capstan) und Andruckrolle werden während des Laufes bei mässigem Andruck gereinigt. Ist die Tonwelle im Laufe der Zeit glänzend oder speckig geworden, so kann sie mit Poliertuch von der störenden Oberflächenschicht befreit werden.

3) Bei zu hoher oder zu tiefer Bandgeschwindigkeit muss der Capstan-Antrieb einreguliert werden, indem die Motordrehzahl mit einem Trimmer (auf einer separaten Regelplatine oder im

<sup>42</sup> Huttary: Haushaltselektrik und Elektronik (Franzis).

Motorgehäuse selbst) eingestellt wird. Um die richtige Drehzahl zu finden, wird ein Testband mit definiertem Dauerton von z.B. 1 kHz abgespielt und mit einem korrespondierenden Referenzton eines Tongenerators oder einer PC-Soundkarte verglichen. Sobald beide Töne dieselbe Höhe vorweisen und keine Schwebung mehr zu hören ist, stimmt die Drehzahl.

4) Bei kurzzeitigen Aussetzern oder fehlendem Audiosignal ist die Fehlerursache möglicherweise in einem schadhafte Aufnahme-/Wiedergabeschalter zu finden. Mit etwas Kontaktspray lassen sich oxidierte Kontakte von der unerwünschten Oxidschicht befreien. Hilft das nicht, kommt ggf. Schleifleinen zum Einsatz. Dazu muss der Schalter eventuell ausgebaut werden. Im Worst case hilft nur noch ein Schalterersatz (vorausgesetzt, dass Originalteile überhaupt noch erhältlich sind).

5) Starke Tonhöhenchwankungen haben ihre Ursache meist in einem unregelmässigen Bandzug (linker Wickelteller) oder einer zu streng justierten Rutschkupplung (rechter Wickelteller).

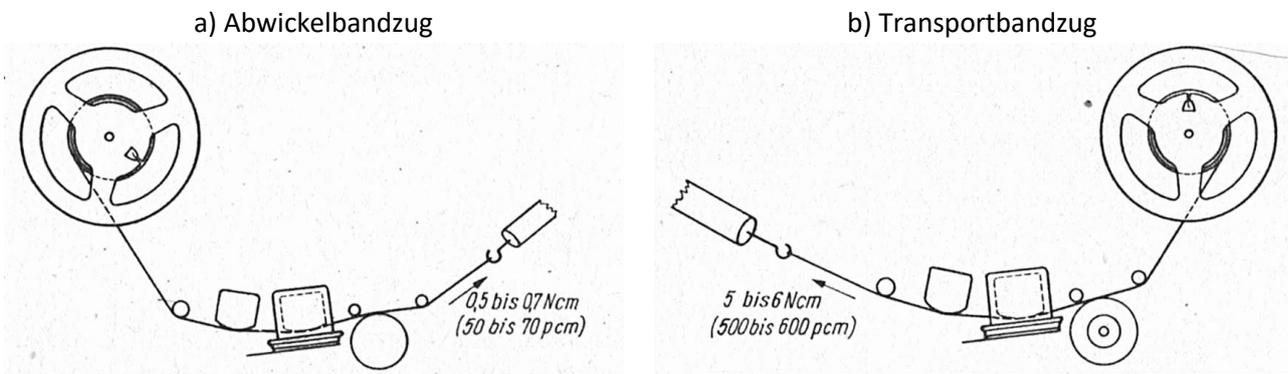


Abb. 3-22: Kontrolle des Bandzugs mit einer Federwaage<sup>43</sup>

In beiden Fällen ist eine sorgfältige Justierung der beteiligten Maschinenelemente erforderlich. Adäquates gilt für Andruckrollen. Auch zeitweise schleifende Gummiriemen gehören in diese Fehlerkategorie und müssen ersetzt werden.

Für die Justage sollte eine Werkstatthanleitung für das betreffende Gerätemodell zur Verfügung stehen. Ansonsten bleibt es beim versuchsweisen Probieren, wodurch ein durchgreifender Erfolg erschwert wird.

6) Bei gänzlich fehlendem Tonsignal oder dem Ausfall eines Kanales bei Stereo-Betrieb müssen die Verstärker überprüft werden. Wie bereits in der Radiotechnik erweist sich in diesem Fall ein Signalverfolger von Nutzen. Gezielte Messungen mit dem Multimeter und Signalkontrollen mit dem Oszilloskop ergänzen die Fehlersuche. Voraussetzung dafür ist ein Schaltungsdiagramm des betreffenden Gerätes.

### 3.7.3 Fehlende oder ungenügende Löschung

1) Überspieleffekte bei Aufnahmen verweisen auf eine Verschmutzung des Löschkopfes oder ein fehlendes Löschsinal.

2) Auch ein instabil arbeitender Löschgenerator hat erwartungsgemäss eine ungenügende Lö-

<sup>43</sup> Warnke: Tonbandtechnik (Franzis).

schung zur Folge. Bei einem "tröpfelnden" Löschgenerator entsteht eine "trillernde" Aufzeichnung. Bei diesbezüglichem Verdacht sollten zunächst Löschfrequenz und Löschamplitude mit dem KO überprüft werden. Anschliessend kann der Arbeitspunkt nachgestellt werden.

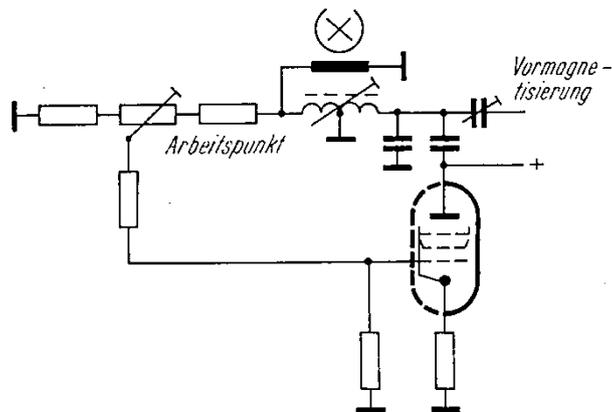


Abb. 3-23: Prinzipschaltung eines Löschgenerators<sup>44</sup>

3) Auch ein verschobener Löschkopf, oft schon von Auge erkennbar, führt zu einem unvollständigen Löschen des Bandes.

#### 3.7.4 Leitungen und Abschirmungen

1) Eine andere Fehlerquelle für sporadische Aussetzer sind fehlerhafte Verbindungen (kalte Lötstellen, Wackelkontakte, lose Drähte). Bei völligem Fehlen der Aufnahme oder der Wiedergabe sollten zuerst die dünnen Litzenleitungen an den Tonköpfen visuell überprüft werden.

2) Auch Abschirmungen kommen als Fehlerquelle in Frage. Bei fehlender Masseverbindung der Schirmung entsteht oft ein störendes Brummen, das sich mit dem Tonsignal unangenehm vermischt. Sichtkontrollen und Durchgangsprüfungen helfen hier weiter.

3) Bei elektrischen Verbindungen zwischen Geräten mit unterschiedlichem Massepotential wird eine "Brummschleife" gebildet, welche an geeigneter Stelle aufgetrennt werden muss, um die Störung zu beseitigen.

Fazit: Bevor eine ausgedehnte Fehlersuche begonnen wird, sollten nach "Ockham's Razor" zuerst die einfacheren Fehlermöglichkeiten in Betracht gezogen werden.<sup>45</sup>

<sup>44</sup> Finke: Fono- und Tonbandgeräte (VEB Verlag).

<sup>45</sup> Okhamsches Prinzip: Von mehreren hinreichenden möglichen Erklärungen für ein und denselben Sachverhalt ist die einfachste Theorie allen anderen vorzuziehen. → [https://de.wikipedia.org/wiki/Ockhams\\_Rasiermesser](https://de.wikipedia.org/wiki/Ockhams_Rasiermesser)

## 3.8 Quellenverweise

### 3.8.1 Fachbücher

- Karl-Heinz Finke: Fono- und Tonbandgeräte (VEB Verlag).
- Rudolf Huttary: Haushaltselektrik und Elektronik (Franzis).
- E. F. Warnke: Tonbandtechnik ohne Ballast (Franzis-Verlag).
- Wolfgang Junghans, Tonbandgeräte-Praxis (Franzis-Verlag, RPB 9/10).
- Richard Zierl: Phonotechnik - Geschichte, Selbstbau und Restaurierung (vth).

### 3.8.2 Weblinks

- <http://www.tonbandmuseum.info/>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Tonkopf>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Capstan>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Andruckrolle>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Tonbandger%C3%A4t>
- <http://www.tonbandgeraetewerkstatt.sittingers.com/Index.html>
- [http://www.magnetbandmuseum.info/magnetband\\_story1.html](http://www.magnetbandmuseum.info/magnetband_story1.html)
- <https://tonbandgeschichte.studerundrevox.de/Kategorie/die-tonbandgeschichte/>

## 4 CD-Player

### 4.1 Historischer Exkurs

#### 4.1.1 Stationäre CD-Player

Anfang der 1980er Jahre erschien mit dem *Discman* von Sony eine revolutionäre Technologie. Noch vor den Japanern hatte Philips mit der optischen Bildplatte (1971) – einer Laser-Disc von 30 cm im Durchmesser – die Grundlagen für die spätere Compact-Disc (CD) geschaffen. Gemeinsam legten beide Firmen die Spezifikationen der "Compact Disc Digital Audio" im "Red Book" fest. Mit der Einführung der Audio-CD (1983) brachten auch andere Hersteller die ersten Consumergeräte auf den Markt.



Abb. 4-1: Discman CDP-101 (1982)<sup>46</sup>

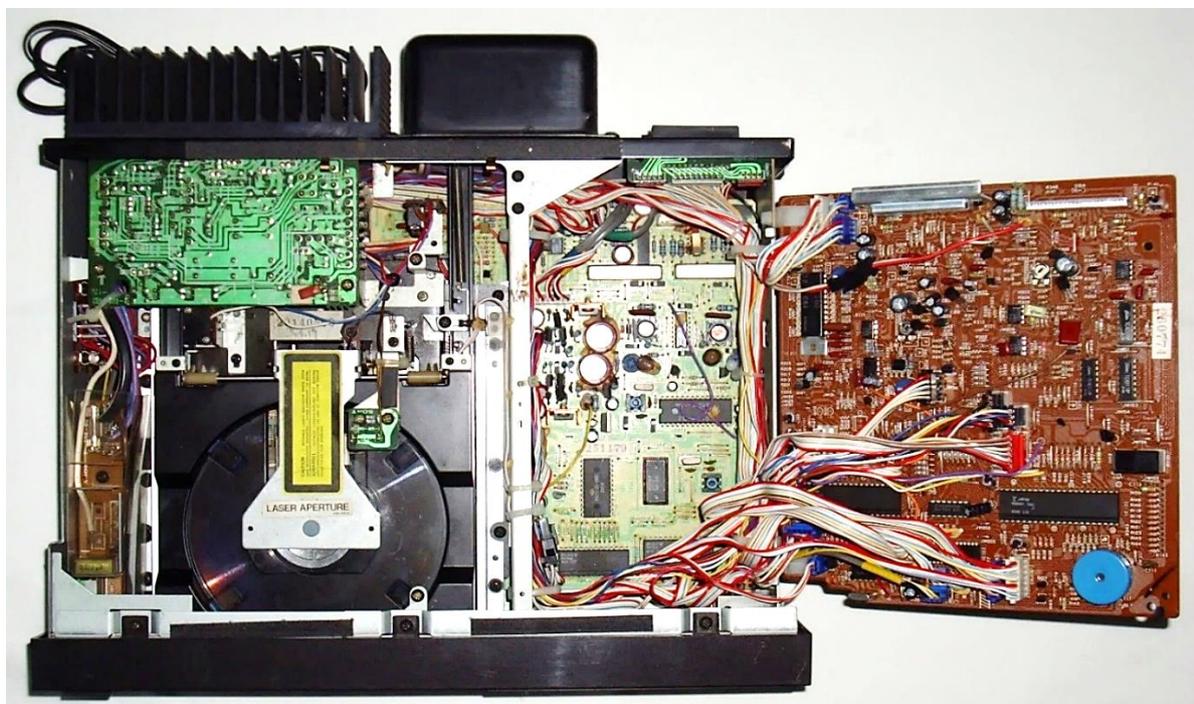


Abb. 4-2: Discman CDP-101 geöffnet

Erstaunlich war, dass die USA – als weltweit grösster Absatzmarkt für Heimelektronik – bei der CD-Entwicklung so gut wie keine Rolle spielten.

<sup>46</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Sony\\_CDP-101](https://de.wikipedia.org/wiki/Sony_CDP-101)

#### 4.1.2 CD-ROM, CD-R und CD-RW

Nach der Audio-CD folgten weitere Formate, deren Spezifikationen im "Yellow Book" und im "Orange Book" festgelegt wurden.

CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory)	Daten sind nur lesbar
CD-R (Compact Disc Recordable)	Einmal beschreibbare CD
CD-RW (Compact Disc ReWritable)	Wieder beschreibbare CD

1) Ein grosser Vorteil war, dass sich CD-ROM Laufwerke beinahe beliebig in unterschiedliche Geräte einbauen liessen. Bald befanden sich in jedem Personalcomputer nebst einer Festplatte auch CD-ROM Laufwerke, so dass sich ein einigermaßen versierter PC-User seine eigene Musik-CD brennen konnte.

2) Ein weiteres Argument zugunsten der Compact-Disc bestand darin, dass sich beschreibbare CD-Rohlinge (CD-R, CD-RW) "brennen" liessen. Dafür musste ein passendes Laufwerk mit entsprechender Brenner-Software beschafft werden.

#### 4.1.3 Transportable CD-Player

In einem nächsten Entwicklungsschritt folgten auf der Hardwareseite die ersten tragbaren CD-Player mit Ohrhörern. Insbesondere bei jungen Menschen fanden diese Geräte enormen Anklang, bevor sie nach der Milleniumswende allmählich durch MP3- und DVD-Spieler ihren Rang einbüssten.



Abb. 4-3: Aufgeklappter CD-Player mit SMD-Bauteilen<sup>47</sup>

In den vergangenen Jahren schien es dem Schreibenden, als ob die tragbaren CD-Player beinahe vom Markt verschwunden seien. Offensichtlich aufgrund einer anhaltenden Nachfrage investierten namhafte Firmen wie bspw. Lenco erneut in diese Gerätetechnologie, so dass zur Zeit wieder ein breites Angebot an CD-Playern vorhanden ist.

## 4.2 Speichermedium

Auf einer Audio-CD (CD-DA) kann über eine Stunde Musik gespeichert werden. Als Speicher-

<sup>47</sup> <http://square-2.com/>

medium dient ein Scheibe aus Polycarbonat, in welcher Audiosignale in digitaler Form enthalten sind. Diese Scheibe ist 1,2 mm dick und besitzt einen Durchmesser von 12 cm. Die Daten befinden sich auf einer von innen nach aussen laufenden Spirale in Form von Vertiefungen (Pits) und Erhebungen (Lands), die mit einer aufgedampften Aluminiumschicht versiegelt sind. Darüber befindet sich zum Schutz eine Lackschicht, auf der abschliessend das Label angebracht wird.

Die einzelnen Spuren (Tracks) haben einen Abstand von  $\approx 1,6 \mu\text{m}$ . Ein Laserstrahl mit einer Wellenlänge von  $\approx 780 \text{ nm}$  tastet die Spuren von der Scheibenunterseite durch das transparente Substrat hindurch ab. Aus dieser Perspektive wirken Pits wie Erhebungen (Bumps). Jeder Übergang von Pit nach Land oder von Land nach Pit wird als logisch 1 interpretiert. Der Rest gilt als logisch 0. Im Unterschied zu einem Plattenspieler erfolgt die Bewegung der Abtasteinheit von innen nach aussen.

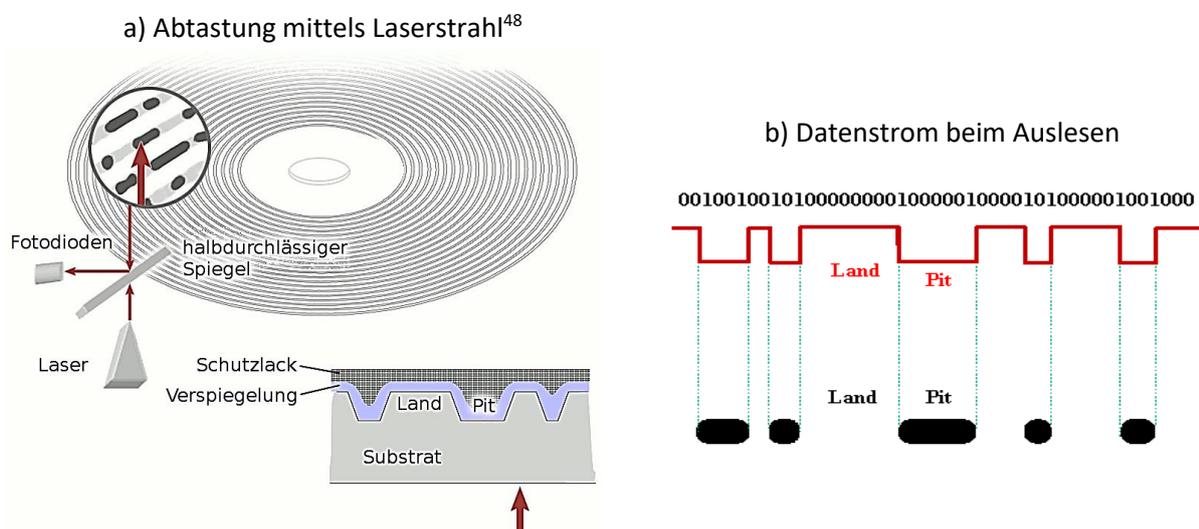


Abb. 4-4: Prinzipieller Aufbau einer Compact Disc

Um einen konstanten Datenstrom (174,4 KByte/s) zu erzeugen, wird das CLV-Verfahren (Constant Linear Velocity) angewandt, bei welchem die Drehzahl in Abhängigkeit vom Abtastpunkt des Laser-Pickups verändert wird. Der Auslesevorgang beginnt innen mit 500 rpm<sup>49</sup> und endet am Scheibenrand mit 200 rpm.

Als Fehlerkorrekturverfahren wird der Cross-Interleaved Reed-Solomon Code (CIRC) verwendet. Gegen Ende der komplexen Verarbeitungskette wandelt ein DA-Wandler die Bitfolgen in ein analoges Audiosignal um.

### 4.3 Laufwerk

Zu einem CD-Laufwerk gehören alle mechanischen und elektronischen Bauteile zum Laden und Abtasten der CD. Bei sämtlichen Geräten findet sich ein Teller- und ein Schlittenantrieb. Bei den stationären Geräten kommt ein Schubladenantrieb hinzu. Ferner Maschinenelemente wie Spindeln, Zahnräder und Antriebsriemen.

<sup>48</sup> <http://square-2.com/>

<sup>49</sup> rpm = Rounds (Umdrehungen) pro Minute.

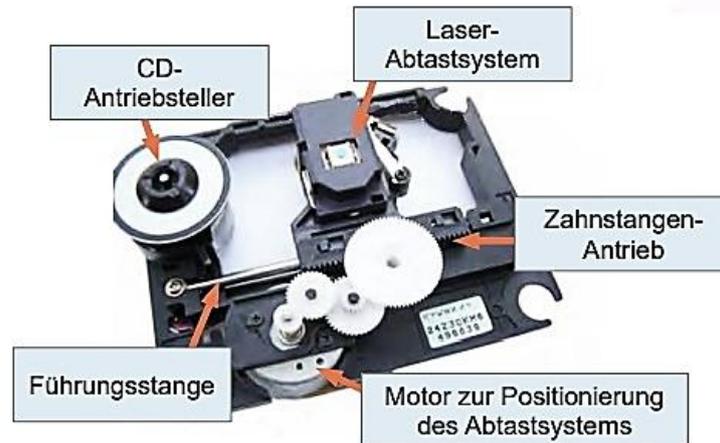


Abb. 4-5: Laufwerk<sup>50</sup>

- 1) Bei stationären Geräten wird die CD über eine motorgetriebene Schublade auf den Antriebsteller abgesenkt. Bei transportablen Geräten wird sie manuell auf den Antriebsteller gelegt und durch das Schließen des Gerätedeckels gesichert.
- 2) Der "Spindle Motor" treibt einen Teller an, dessen Drehzahl fortzu von einem Steuerprozessor berechnet wird. Je weiter vom Zentrum entfernt sich eine CD-Datenspur befindet, desto langsamer läuft der Motor.
- 3) Die in der Datenspur enthaltenen Informationen werden durch eine Abtasteinheit (Optical-Pickup) ausgelesen, welche durch den "Sled-Motor" entlang von Führungen verschoben wird. Einige Geräte besitzen anstelle des Sled-Motors einen Linearmotor.

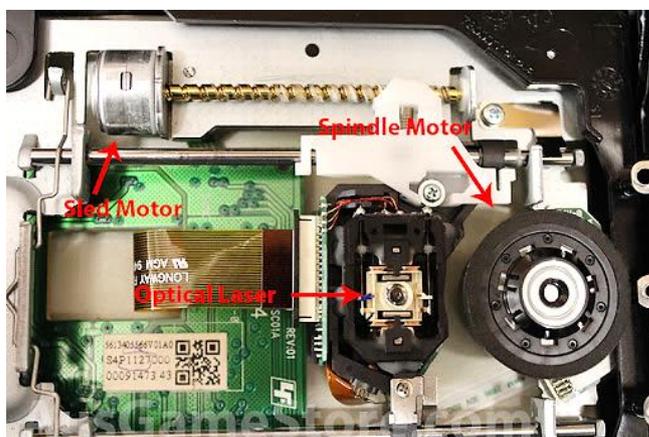


Abb. 4-6a: Sled-Motor mit Antriebsspindel

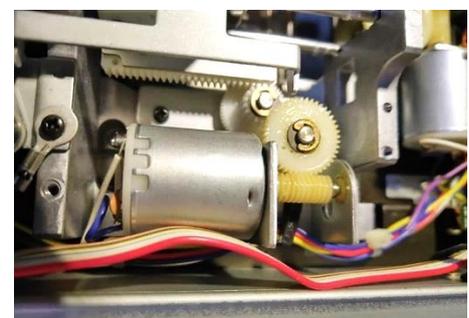


Abb. 4-6b: Sled-Motor mit Zahnstangengetriebe<sup>51</sup>

## 4.4 Laser-Optik

In dem auf einem Schlitten befestigten Abtastsystem befindet sich ein Diodenlaser und ein aus Fotodioden bestehendes Matrixelement. Hinzu kommt eine federnd in einem Galvanometerantrieb befindliche Fokussierlinse. Der Galvanometerantrieb (auch als "Zweiachselement bezeichnet und aus Spulen und Permanentmagneten bestehend) dient der Feinjustierung von

<sup>50</sup> [https://germering.feg.de/RepairCafe/wp-content/uploads/2017/04/Reparatur\\_CD-DVD-Player-red.pdf](https://germering.feg.de/RepairCafe/wp-content/uploads/2017/04/Reparatur_CD-DVD-Player-red.pdf)

<sup>51</sup> <https://old-fidelity-forum.de/thread-35649.html>

Fokuslage und Tracking. Die Schlittennachfachführung wird mit dem Sled-Motor in radialer Richtung, d.h. von innen nach aussen, bewerkstelligt. Bei einigen Geräten wird konstruktionsbedingt eine Schwenkbewegung wie bei einem Plattenspieler durchgeführt.



Abb. 4-7a: Objektiv mit Tracking- und Fokusserspulen<sup>52</sup>

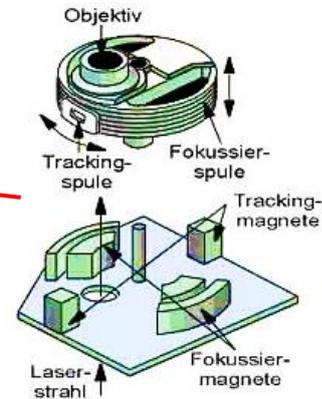


Abb. 4-7b: Galvanometerantrieb

Vor der Laserdiode befindet sich ein Strahlbeugungselement, welches den Laserstrahl in einen Hauptstrahl und Nebenstrahlen aufspaltet, die zur Spurnachführung verwendet werden. Der aufgesplittete Laserstrahl wird durch ein halbdurchlässiges Spiegelprisma, den Kollimator und ein rechtwinkliges Spiegelprisma zum "Zweiachselement" (Fokussierlinse) und von diesem zur Datenspur gelenkt.

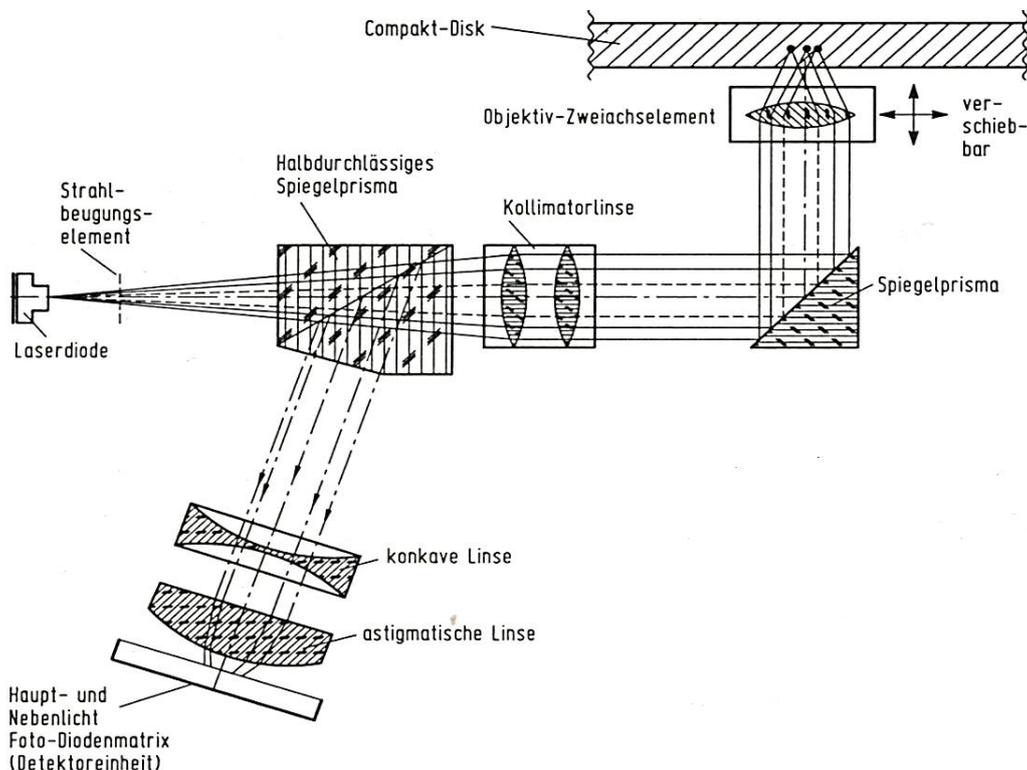


Abb. 4-8: Flat-Optical-Pickup (FOP)<sup>53</sup>

Das reflektierte Licht gelangt in umgekehrter Richtung zum halbdurchlässigen Spiegelprisma

<sup>52</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/CD\\_player](https://en.wikipedia.org/wiki/CD_player)

<sup>53</sup> Rodekurth: Erfolgreicher CD-Player Service (Franzis).

zurück und von dort über zwei Linsen auf die Fotomatrix. Die konkave Linse weitete den Strahl auf, die astigmatische Linse bündelt das Licht auf einer Brennpunktlinie. Die Fotodioden sind so angeordnet, dass ausser dem Datensignal auch Steuersignale für die Fokus- und Trackingregelung gewonnen werden.

## 4.5 Regelkreise

In jedem CD-Spieler gibt es mehrere Servoregelkreise, welche die Spindeldrehzahl des Discmotors, die Fokussierung des Lasers und die Spurhaltung steuern und regeln.

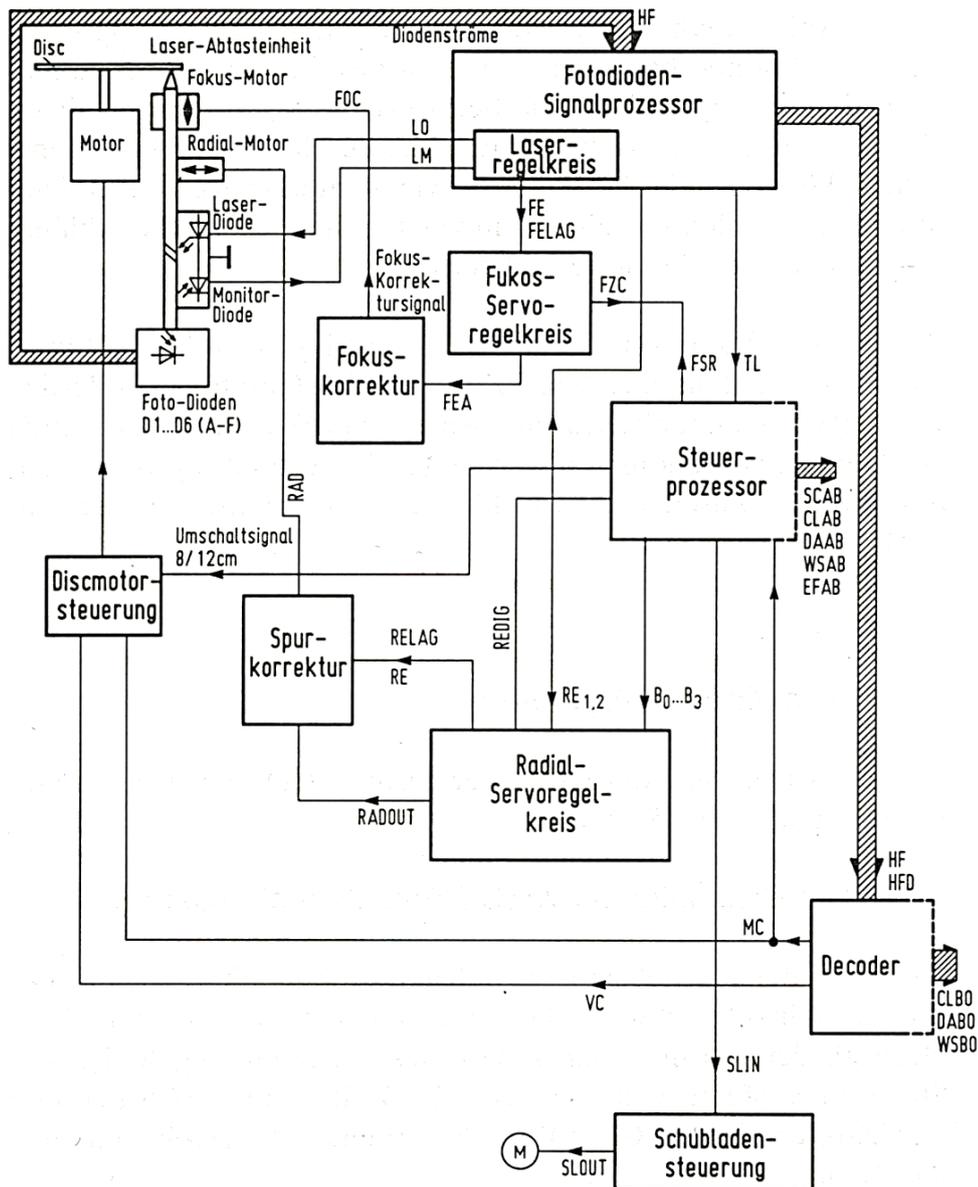


Abb. 4-9: Servoregelkreise<sup>54</sup>

Für den Service relevante Meßpunkte wie "HF", "RF" oder "EFM" finden sich auf der Hauptplatine. Weitere Meßstellen, die von Nutzen sein könnten sind TG (Tracking Gain), TO (Tracking Offset), TB (Tracking Balance), FG (Focus Gain), PDB (Best eye).

<sup>54</sup> Rodekurth: Erfolgreicher CD-Player Service (Franzis).

#### 4.5.1 Disc-Drehzahl-Regelung

Je weiter sich die Laser-Optik zur Peripherie hin bewegt, desto langsamer dreht sich die CD, so dass der ausgelesene Datenstrom zeitlich konstant bleibt. Die Discmotorsteuerung erhält dazu Steuersignale von einem Steuerprozessor, der mit dem Fotodioden-Signalprozessor verbunden ist.

#### 4.5.2 Fokus-Regelung

Die Fokus-Korrektur bekommt ihre Signale vom Fokus-Servoregelkreis, welchem der Laser-Regelkreis im Fotodioden-Signalprozessor vorgeschaltet ist. Erkannte Fokussierungsfehler haben ein Korrektursignal für die nach dem Galvanometerprinzip arbeitenden Fokussierungsspulen zur Folge.

#### 4.5.3 Tracking-Regelung

Die Spurkorrektur erhält ihre Signale vom Radial-Servoregelkreis, der vom Fotodioden-Signalprozessor angesteuert wird. Kleine Spurrhaltungsfehler werden mit dem Radial-Tauchspulenantrieb korrigiert. Bei der Abtastung der spiralförmigen Datenspur nimmt der Tracking-Fehler zu, bis eine Nachführung der Abtasteinheit (FOP) erforderlich wird.

#### 4.5.4 Start-, Hochlauf- und Stopp-Prozedur

Nach eingelegter und verriegelter CD und dem Betätigen der Play-Taste läuft folgender Vorgang ab:

- Der Motor für den Antriebsteller beginnt zu laufen und die CD dreht sich.
- Das Laser-Abtastsystem wird positioniert und läuft zur Innenseite der CD.
- Der Laser wird eingeschaltet.
- Die Laser-Optik wird mit dem Galvanometerantrieb fokussiert (es entsteht eine leichte Auf- und Abbewegung).
- Die Abtastung beginnt und Audiosignale werden abgespielt.

Vor Spielbeginn muss im Display die Anzeige "1" (Spur) und 0,00 (Min. / Sek.) erscheinen. Es darf keine positive Wertanzeige erfolgen. Gerätebedingt kann auch eine negative Zeit angezeigt werden. Nach Beendigung des Abspielbetriebes oder nach dem Betätigen des Aus-Schalters wird der Optikschlitten in die Startposition gefahren. Die Positionsrückmeldung erfolgt mit dem Limitschalter.

Start-, Hochlauf- und Stopp-Phase des Discmotor-Servo zeigt uns das folgende Diagramm.

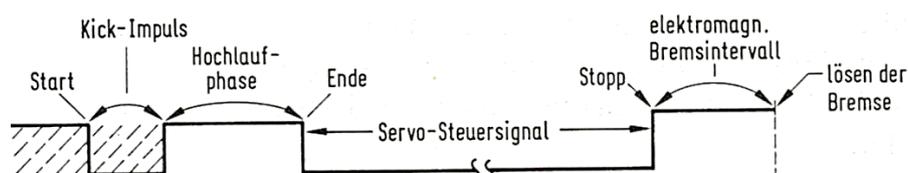


Abb. 4-10: Start, Hochlauf und Motorstopp eines Disc-Motors<sup>55</sup>

<sup>55</sup> Rodekurth: Erfolgreicher CD-Player Service (Franzis).

Beim Start erfolgt für 0,4 s ein "Kickimpuls" und das Steuersignal geht von High (logisch 1) auf Low (logisch 0), um anschliessend während der Hochlaufphase erneut auf H-Pegel zu bleiben. Nach beendetem Hochlauf wechselt das Signal für die Stabilisierungsphase auf L-Pegel. Nun werden die EFMI-Daten<sup>56</sup> von der Disc in die Steuerlogik eingelesen. Fehlen diese Daten, so erfolgt keine Zeitangabe im Display. Aus der Differenz von Einlesetakt und Auslesetakt wird ein impulsbreitenmoduliertes Motorsteuersignal (MC) erzeugt. Bei einem Stopp geht das Signal wieder auf H-Pegel. Gleichzeitig wird ein Bremsintervall für die elektromagnetische Bremse ausgelöst. Nach dem Stillstand wird die Bremse gelöst, so dass die CD für einen neuen Start bereit ist.

## 4.6 Signalverarbeitung

Die Detektoreinheit (Fotodioden-Matrix) erzeugt mehrere Signale, die über einen Differenzverstärker ausgewertet werden.

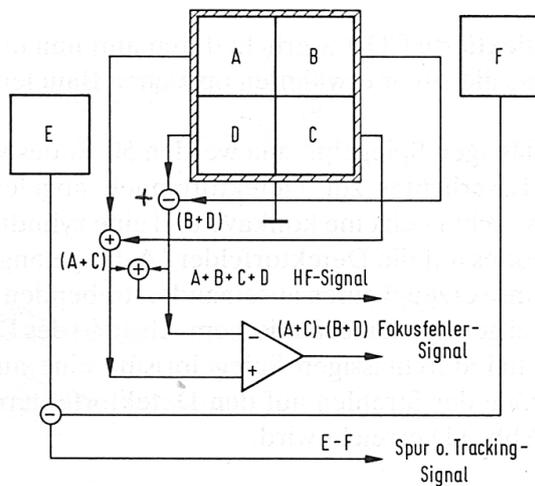


Abb. 4-11: Sechsfach Fotodioden-Matrix<sup>57</sup>

steten Pit befindlichen und von den Nebenstrahlen erfassten Pits zwei gleich grosse gegenphasige Spannungen, die sich zu Null summieren. Bei Spurabweichungen wird eine Nachregelspannung erzeugt, deren Polarität proportional zur Richtung und deren Spannungsbeitrag proportional zur Grösse der Spurabweichung ist.

## 4.7 Fehlersuche und Instandsetzung

Instandsetzungen gestalten sich bei CD-Spielern aufgrund der eingesetzten Mikroelektronik erheblich schwieriger als bei den zuvor behandelten Geräten (Verstärker, Plattenspieler, Tonbandgeräte), so dass ein Reparateur ohne Hintergrundwissen bald einmal an seine Grenzen gelangt. Bei neueren Geräten mit elektronischen Bauteilen in SMD<sup>58</sup>-Technologie ist ein Austausch nur mit Spezialwerkzeug möglich. Eigentlich lohnt sich die Reparatur eines tragbaren CD-Players nicht, weil bereits eine einzige Reparaturstunde den Preis eines Gerätes übersteigt.

<sup>56</sup> EFMI = Eight to Fourteen Modulations-Impulse.

<sup>57</sup> Rodekurth: Erfolgreicher CD-Player Service (Franzis).

<sup>58</sup> SMD = Surface Mounted Device → oberflächenmontiertes Bauteil, welches mittels lötfähiger Kontakte direkt auf eine Leiterplatte gelötet wird. Zuvor werden die Bauteile mit einem Leimtropfen befestigt. Die Montage wird durch einen SMD-Automat durchgeführt, der mit spezifischen Arbeitsprogrammen geladen werden kann.

Auf YouTube findet man diverse Löt- und Entlötbeispiele für vielpolige Chips (eine Tätigkeit, die für ungeduldige Zeitgenossen nicht unbedingt zu empfehlen ist):

- <https://www.youtube.com/watch?v=mLj-KCb4LYo>
- <https://www.youtube.com/watch?v=AfDzir4Xn64>
- <https://www.youtube.com/watch?v=lufub4hR5Ho>

Ohne Spezialkenntnisse beschränkt sich die Tätigkeit des Reparateurs auf die Wartung der Auswurfmechanik, das Säubern der Laserlinse und das Fetten beweglicher mechanischer Teile. Bei älteren stationären CD-Spielern sind zudem Abgleichungen und auch das Ersetzen defekter Bauteile (Widerstände, Kondensatoren, IC's) möglich.

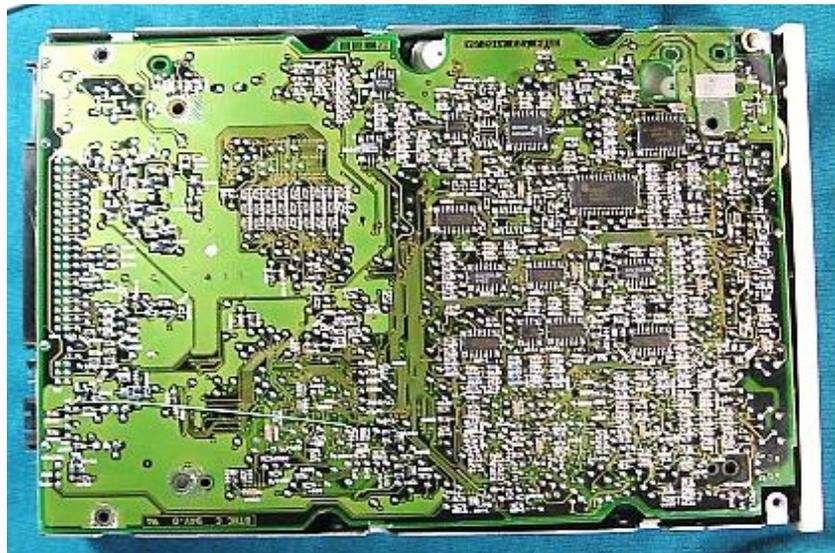


Abb. 4-12: Hauptplatine eines CD-RW-Brenners mit SMD-Technologie<sup>59</sup>

Bei neueren Geräten ist meist ein Service-Modus aktivierbar, so dass sich bestimmte Gerätefunktionen über die Bedientasten ansteuern lassen. Bei ausgeschaltetem Gerät sind dazu die Tasten für Suchlauf, Pause und Repeat gleichzeitig zu drücken. Danach können verschiedene Service-Routinen gestartet werden.

Folgende Fehlernummern werden von verschiedenen Herstellern verwendet:

- 2 Fokusfehler = dISC → Es werden keine Track-Loss-Signale erzeugt.
- 3 Einspuren nicht möglich → der Punkt der minimalen Exzentrizität wurde nicht gefunden.
- 4,5,6 Spurregelfehler → darunter TL-Fehler bei einem Spursprung (während eines Zeitrahmens von 60x8 ms werden keine positiven TL-Flanken generiert).
- 7 Kein Subcode = dEF → Innerhalb von 3 s werden keine gültigen Subcode-Daten ausgelesen.
- 8 Ausserhalb Lead In beim Einlesen des TOC<sup>60</sup> → Inhaltsverzeichnis der CD nicht lesbar.

<sup>59</sup> <https://elektronikbasteln.pl7.de/cd-laufwerke-reparieren-und-reinigen>

<sup>60</sup> TOC = Table of Contents

Für bestimmte Serviceeinstellungen werden von den Herstellern Test-CD's geliefert, meist allerdings nur an Fachwerkstätten. Ein grosse Hilfe ausser Schaltungsschemas sind Fehlersuchdiagramme (siehe dazu Rodekurth, CD-Player Service) und Fehlertabellen.

#### 4.7.1 Spurverlust

Ein häufig auftretender Fehler ist der Spurverlust. Meist stabilisiert sich das System an einer anderen Stelle der Auslesung wieder.

1) Erfolgt der Spurverlust immer an derselben Stelle, so liegt es vermutlich an einer verschmutzten oder zerkratzten CD. Die Reinigung erfolgt mit Spülmittel und lauwarmen Wasser. Kratzer lassen sich nass mit feinem Schleifpapier (800er und 1000er Körnung) und Poliertuch (1200er Körnung) wegschleifen. Die Schleifbewegung soll senkrecht zu den Spuren, also in radialer Richtung, erfolgen.

2) Eine zweite Fehlermöglichkeit, manchmal begleitet von einem schwachen Piepsen, ist eine verschmutzte Linse, die mit einem Wattestäbchen mit Wasser und wenig Spülmittel gereinigt wird.

Fehler, die bei verschmutzter Linse auftreten können:

- Der CD-Player erkennt die eingelegte CD nicht.
- Die CD wird erkannt, aber nicht abgespielt.
- Es werden nicht alle Stücke abgespielt.
- Die CD springt beim Abspielen.

3) Eine zu schwache Laserintensität führt zu ähnlichen Symptomen wie eine verschmutzte Laseroptik. In diesem Fall sollte der Laserstrom erhöht werden. Leider wird durch die Stromerhöhung die Lebensdauer des Lasers herabgesetzt. In einigen Geräten kann die Laserintensität mit einem Potentiometer nachjustiert werden. Problematisch ist das Auffinden dieser Einstellmöglichkeit, da sie sowohl direkt am Laser-Abtastsystem als auch auf der Hauptplatine des Laufwerks platziert sein kann und selten gekennzeichnet ist.

4) Erfolgt der Spurverlust nach einer bestimmten Spielzeit bei allen benutzten CD's, so sollte die Gleitschiene des optischen Abtastsystems mit etwas Lagerfett geringer Viskosität nachgeschmiert werden. Auch geeignet ist ein Teflonspray.

#### 4.7.2 Schubladenantrieb

1) Schliesst oder öffnet die Schublade nicht, sollten folgende Punkte kontrolliert werden:

- Ist der Antriebsriemen in Ordnung?
- Läuft der Schubladenmotor?
- Wird die Schublade mechanisch blockiert?
- Sind die Endschalter in Ordnung?

2) Wenn der Schubladenantrieb klemmt oder ruckelt, liegt es oft an einem bestimmten Kunststoffzahnrad, das altersbedingt zerbröseln kann. Nach Wegnahme von Geräteabdeckung und Frontverkleidung kann die Schublade ausgebaut und das Gegenlager entfernt werden. Nun wird das alte Zahnrad (oder was davon noch übrig ist) durch ein neues ersetzt. Etwas Feingefühl im

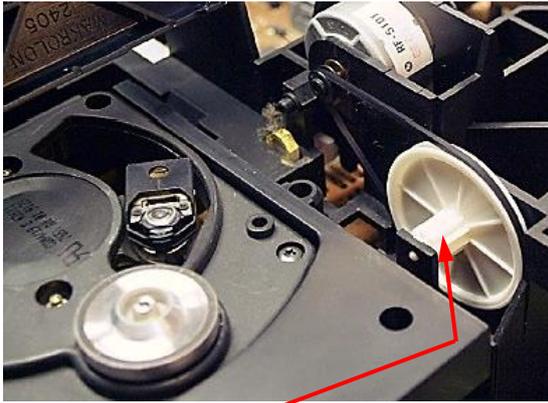


Abb. 4-13: Zahnrad mit Riementrieb<sup>61</sup>

Umgang mit mechanischen Bauteilen ist hier durchaus angesagt (keine Brecheisenmethode also). Vor dem definitiven Zusammenbau sollte auch der Treibriemen kontrolliert werden, weil Riemen aus Kunststoff mit der Zeit ihre Elastizität einbüßen. Wenn nötig ist auch die Riemenscheibe zu reinigen, damit kein störender Schlupf entsteht.

### 4.7.3 Schlittenantrieb

- 1) Wenn der Schlitten bei eingelegter CD sofort wieder ausfährt, liegt es vermutlich an der Endabschaltung, die neu justiert werden muss.
- 2) Wird beim Spielbeginn ein zu hoher Titel (Scan) oder eine positive Zeit angezeigt, muss eine Feineinstellung erfolgen. Dazu ist die Einstellschraube des "Begrenzungsschalters" (Limit-switch) vorsichtig nach rechts zu drehen. Dabei sollte die Ausgangsposition mit einem Filzstift markiert werden, damit die Verstellung ggf. rückgängig gemacht werden kann.

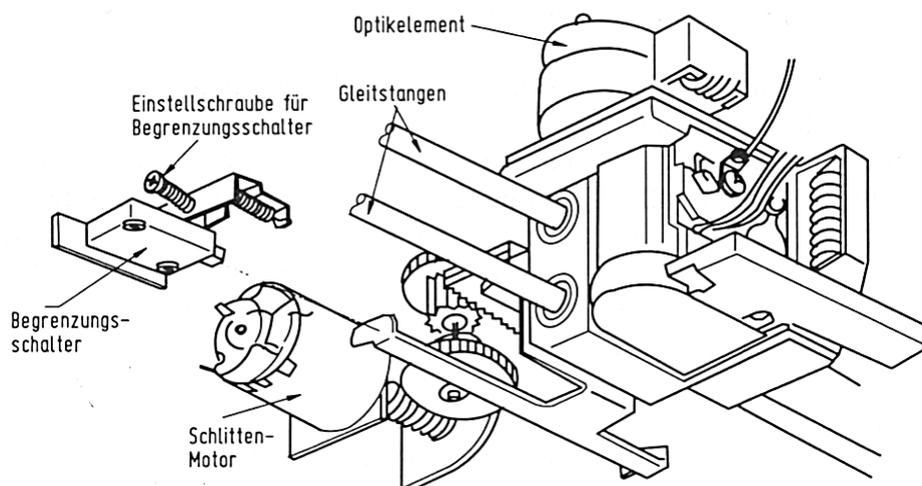


Abb. 4-14: Schlittenantrieb mit Begrenzungsschalter<sup>62</sup>

- 2) Bei einer leiernden CD liegt es möglicherweise an einer fehlerhaften Spurnachführung durch den Sled-Motor. Abhilfe schafft ein Abgleich des Tracking-Servoregelkreises oder der Austausch der Optikeinheit. Ohne Spüezialkenntnisse muss dazu ein Fachbetrieb konsultiert werden.

## 4.8 Arbeitsplatz

Insbesondere neuere CD-Geräte mit SMD-Technologie lassen sich durch Liebhaber von Consu-

<sup>61</sup> Tröszter: Modifikation von alten Philips CD-Playern (Skript, 2021).

<sup>62</sup> Rodekurth: CD-Player Service (Franzis).

mer-Elektronik nur noch mit Schwierigkeiten reparieren. Solche Geräte haben mehr Gemeinsamkeiten mit Computern. Analoge Schaltungen sind nur noch wenige vorhanden, dafür finden sich auf engem Raum hochkomplexe Schaltkreise wie Steuer- und Signalprozessoren.

#### 4.8.1 Werkbank

Wer sich trotzdem (und mit dem nötigen Vorauswissen) an solche Geräte heranwagt, benötigt eine EPA<sup>63</sup>-konforme Arbeitsumgebung. Als erstes sollte ein ESD<sup>64</sup>-tauglicher Arbeitsplatz mit einer ableitfähigen Tischmatte eingerichtet werden. Auch eine ableitfähige Bodenmatte ist empfehlenswert.

Anm.: Durch Potentialdifferenzen entstehende elektrische Entladungen können zur Zerstörung elektronischer Bauteile führen können. CMOS-Schaltkreise sind besonders empfindlich. Potentialunterschiede mit Spannungen bis 50 kV bilden sich durch Reibung nichtleitender Körper (z.B. beim Gehen auf Kunststoffteppichen, Bewegung von Förderbändern, Tablettentransport in nichtleitenden Schläuchen und Gebinden usw.).

Integrierte Schaltungen (Chips) sollten beim Einbau nur an den Pin's berührt werden, wenn der Reparateur mit einem ESD-Armband ausgerüstet ist, welches elektrostatische Ladungen nach Ground ableitet.

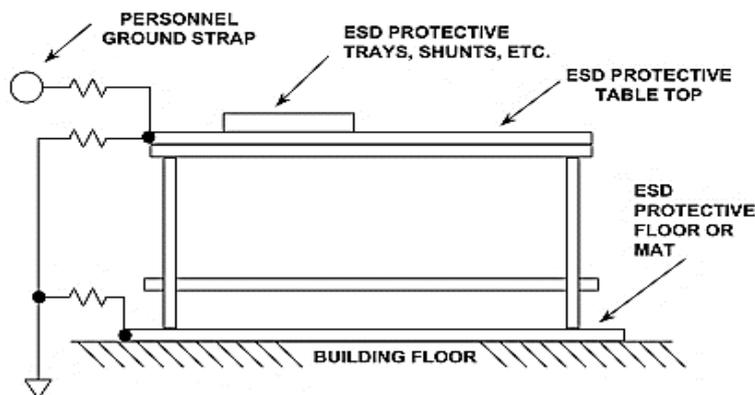


Abb. 4-15: Einfacher ESD-Arbeitsplatz

#### 4.8.2 Werkzeug

Nebst ESD-geprüftem Elektronikerwerkzeug ist ein Satz guter Pinzetten erforderlich. Ferner Lupen mit 5 bis 10-facher Vergrößerung.

Als Lötgerät sollte ein Modell benutzt werden, bei dem die Lötspitze über eine Potentialausgleichsbuchse mit einem Erdungspunkt (CGP<sup>65</sup>) verbunden werden kann. Obwohl inzwischen bleifreies Lot propagiert wird, verwenden Profis noch immer Lot mit Bleianteil (z.B. Sn60 Pb38 Cu2), weil dieses besser fließt und die Löttemperatur niedriger ist. Zum Entlöten von Bauteilen wird Lotsauglitze verwendet. Hilfreich sind zudem spezielle Entlötköpfe für IC's.

Bei Verwendung eines Oszilloskops ist darauf zu achten, dass keine leitende Verbindung zwischen Sondenmasse (GND) und Schutzleiter (PE) existiert. Ansonsten muss ein Trenntransfor-

<sup>63</sup> EPA = Electrostatic Protected Area.

<sup>64</sup> ESD = Electrostatic Discharge.

<sup>65</sup> CGP = Common Grounding Point.

mator zwischen Netz und Oszilloskop geschaltet werden.

Last but not least ist für eine gute Ausleuchtung des Arbeitsplatzes zu sorgen. Gerade wenn ein IC mit 40 oder mehr Pin's aus- oder eingelötet werden soll, muss eine genügende Beleuchtungsstärke vorhanden sein, damit die Augen nicht vorzeitig ermüden.

## 4.9 Anhang

### 4.9.1 Blockschaftbild

Die nachfolgenden Abbildungen zeigt das vollständige Blockschaftbild eines CD-Players.

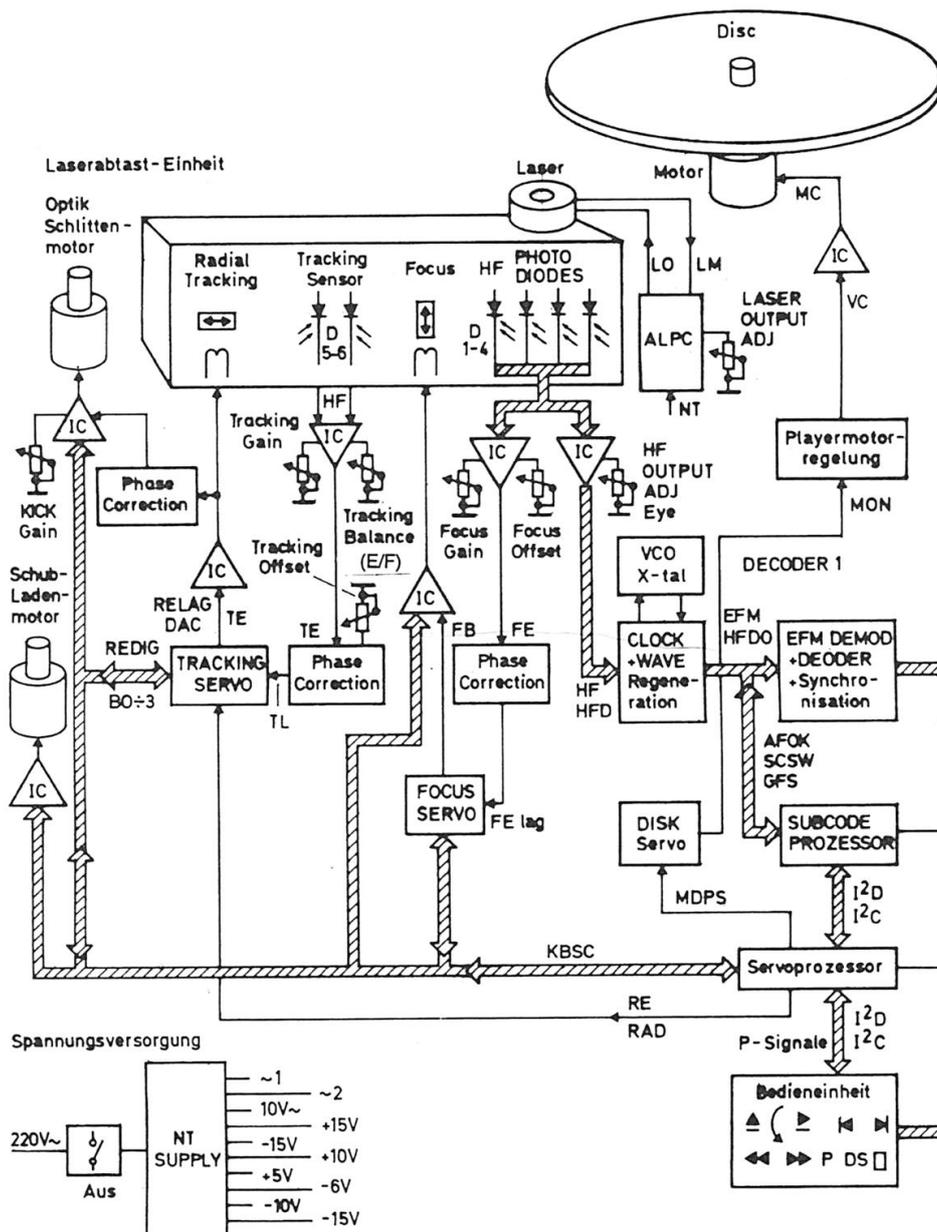


Abb. 4-16a: Blockschaftbild eines CD-Players (Teil A)<sup>66</sup>

<sup>66</sup> Rodekurth: CD-Player Service (Franzis).

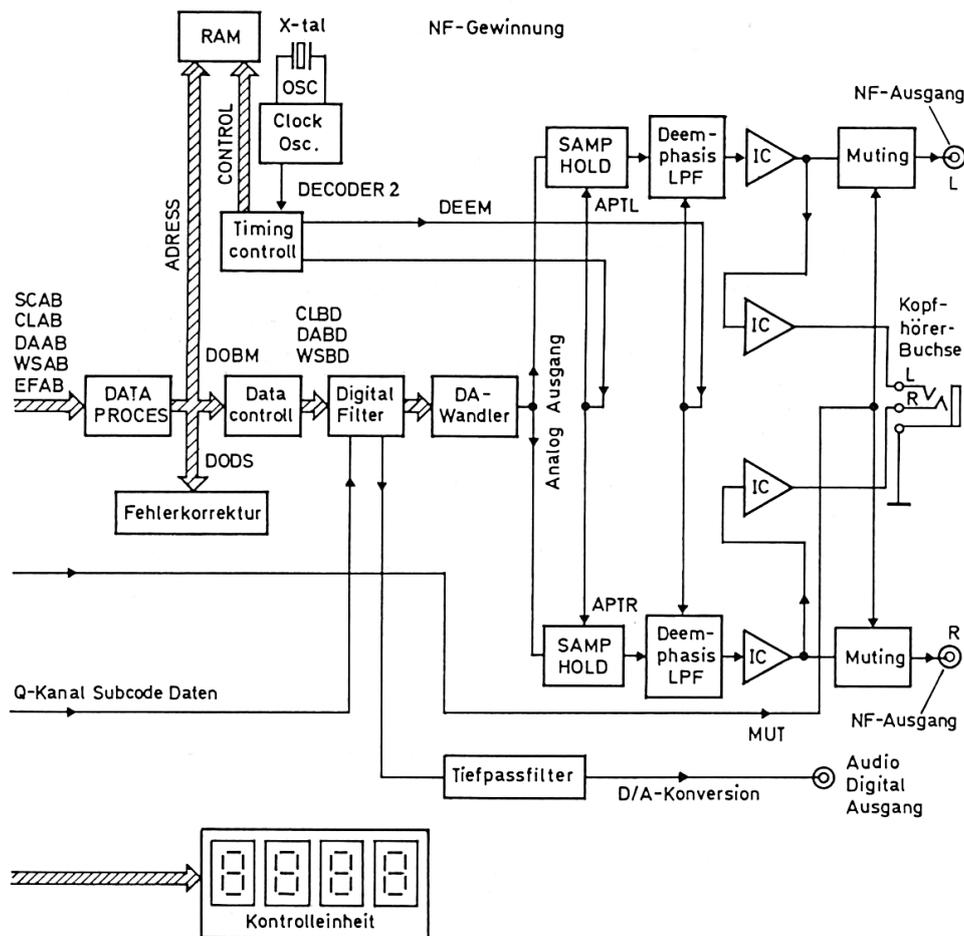


Abb. 4-16b: Blockscha eines CD-Players (Teil B)<sup>67</sup>

## 4.10 Quellenverweise

### 4.10.1 Fachbücher

- Bernd Rodekurth: Erfolgreicher CD-Player-Service (Franzis).
- Dieter Stotz: Erfolgreiche Fehlersuche an CD- Playern (Franzis).

### 4.10.2 Weblinks

- <http://square-2.com/>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/CD-Spieler>
- <https://old-fidelity-forum.de/thread-35649.html>
- <https://kompodium.infotip.de/compactdisc-cd.html>
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Compact\\_Disc\\_Digital\\_Audio](https://de.wikipedia.org/wiki/Compact_Disc_Digital_Audio)
- [https://www.mikrocontroller.net/articles/SMD\\_L%C3%B6ten](https://www.mikrocontroller.net/articles/SMD_L%C3%B6ten)
- <http://alholoun.faculty.udmercy.edu/courses/Group4/cdword.htm>
- <https://elektronikbasteln.pl7.de/cd-laufwerke-reparieren-und-reinigen>

<sup>67</sup> Rodekurth: CD-Player Service (Franzis).