

Schön-Schablone Typ 2

Tonarmgeometrie-Mess- und Justierschablone System © Walter E. Schön

Mit dieser einzigartigen Tonarm-Justierschablone sind die Prüfung der Tonarmgeometrie des Plattenspielers und der optimierte Einbau des Tonabnehmers (Ausrichtung und Überhang) zur Begrenzung der Abtastverzerrungen auf ein Minimum möglich.

Wie wichtig das für die Klangqualität ist, zeigt ein Vergleich der bei der Schallplattenabtastung vom relativen horizontalen Spurfehlwinkel verursachten harmonischen Verzerrungen (= Klirrgrad k_2) mit denen in der Signalverarbeitung im Phonovorverstärker, Vorverstärker und Endverstärker: Sie sind mindestens um eine bis zwei Zehnerpotenzen größer! Bei nicht optimaler Tonarmgeometrie, wie sie leider sehr häufig ist, oder bei unkontrolliertem Einbau des Tonabnehmersystems kann der von einem zu großen relativen Spurfehlwinkel verursachte Klirrgrad k_2 Werte über 3 % erreichen. Demgegenüber erreichen alle elektronischen Komponenten der HiFi-Anlage zusammen Werte unter 0,1 % oder sogar unter 0,01 %. Die Optimierung der Tonarmgeometrie mit einer guten Justierschablone kann also einen viel höheren Klanggewinn bringen als drei- oder vierstellige Investition in bessere Elektronik. Doch bevor Sie erfahren, wie Sie mit der „Schön-Schablone“ diesen Klanggewinn erzielen können, sollten Sie sich einige Grundlagen zur Tonarmgeometrie aneignen und den Zusammenhang zwischen „Spurfehlwinkel“ und den daraus resultierenden Verzerrungen kennenlernen.

Was ist ein „Spurfehlwinkel“ und wie entsteht er?

Wenn bei der Schallplattenaufzeichnung ein Schneidstichel das Tonsignal als eine wellige Rille in die Lack-schicht graviert, wird er von einem starren Arm auf einem Schlitten parallel so von außen nach innen geführt, dass die Schneidkopfachse von oben betrachtet stets tangential zum Kreisbogen der Rille bleibt.

Soll die Diamantspitze des Tonabnehmers später beim Abspielen der Schallplatte die dem Musiksinal entsprechende Wellenform der Rille unverfälscht abtasten, müsste der Tonabnehmer ebenfalls tangential zum Kreis mit dem Abtastradius ausgerichtet geführt werden. Tangentialtonarme tun das (Abb. 1), erfordern jedoch eine präzise gesteuerte, komplizierte und darum störanfällige motorische Nachführung sowie hohen Aufwand zur Vermeidung störender Rumpelgeräusche, die bei ruckeliger Tonarmnachführung entstehen. Deshalb werden Schwenktonarme benutzt, die weder ein Rumpeln verursachen noch Nachführung erfordern.

Weil aber ein schwenkender Tonarm seine Richtung laufend ändert und nur bei einem einzigen Abtastradius tangential zum Rillenverlauf ausgerichtet wäre (Abb. 2), entstünden weiter außen ein positiver Spurfehlwinkel (d. h. von oben betrachtet eine Winkelabweichung von der Tangente gegen den Uhrzeigersinn) und weiter innen ein negativer Spurfehlwinkel. Beide verursachen gleichermaßen hörbare Verzerrungen.

Wenn man jedoch den Tonabnehmer um einen Winkel von ca. 17° (30-cm-Tonarm) bis ca. 23° (23-cm-Tonarm) zur Plattentellerachse hin abgewinkelt am Tonarm anbringt, ist bei zwei Radien exakt tangentiale Ausrichtung möglich und der Betrag des Spurfehlwinkels im übrigen Abtastbereich erheblich kleiner (Abb. 3 und 4).

Die Radien, an denen tangentiale Ausrichtung und somit kein Spurfehlwinkel vorliegt, heißen „Nullradien“.

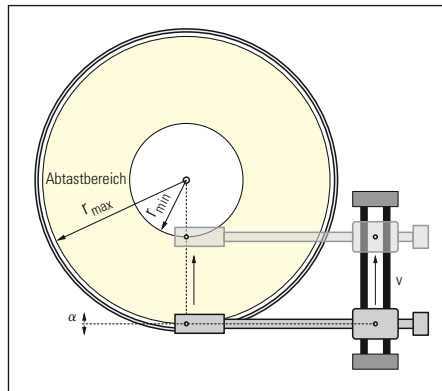


Abb. 1: Ein Tangentialtonarm führt den Tonabnehmer so wie die Plattenschneidemaschine den Schneidstichel entlang einem Radius stets tangential zum Kreisbogen. Der Arm ist zwar um sehr kleine Winkel schwenkbar, doch löst schon ein minimaler Spurfehlwinkel α sofort die motorische Schlittennachführung (Vorschub v) aus.

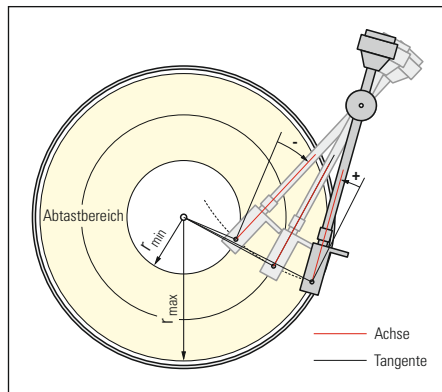


Abb. 2: Ein ungekröpfter Tonarm liefert nur eine Nullstelle und beiderseits größere Spurfehlwinkelbeträge.

Der Amerikaner Percy Wilson stellte 1924 dazu geometrische Überlegungen an und schlug die Konstruktion eines „gekröpften“ Tonarms mit abgewinkelt montiertem Tonabnehmer mit so berechneten Nullstellen vor, dass der Betrag des maximalen (negativen) Spurfehlwinkels dazwischen ebenso groß wie die maximalen (positiven) Spurfehlwinkel in der Außen- und Innenrinne wird. Er erzielte so den kleinstmöglichen maximalen Spurfehlwinkel (sobald man eines der drei gleich großen Maxima durch Nullstellenänderung zu verkleinern versuchte, würde eines der anderen oder würden gar beide größer als bei seiner Optimierung). Leider war das aber noch nicht die bestmögliche Lösung, wie sich erst mehr als ein Jahrzehnt später herausstellte.

Warum erzeugt ein Spurfehlwinkel Verzerrungen?

Der Schwede Erik Løfgren versuchte nämlich 1938 und der Amerikaner H. G. Baerwald auf andere Weise 1941 mit gleichem Ergebnis mathematisch zu ergründen, warum ein Spurfehlwinkel störende Verzerrungen verursacht und welcher Art diese Verzerrungen sind. Beide fanden heraus, dass die aus dem Spurfehlwinkel resultierenden Verzerrungen fast ausschließlich aus der sogenannten „zweiten Harmonischen“ (einer Oberwelle mit der doppelten Frequenz des Grundtons) bestehen. Erfreulicherweise lässt sich dieses Ergebnis ohne viel Mathematik grafisch veranschaulichen (Abb. 5): Wenn die Diamantspitze bei einem Spurfehlwinkel $\neq 0$ die

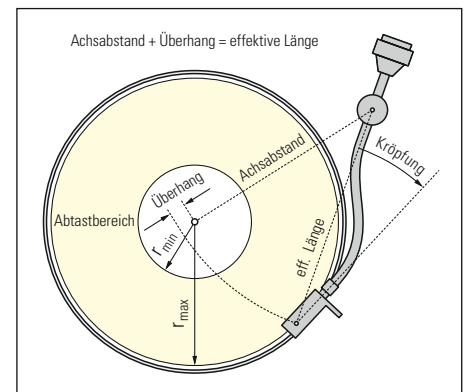


Abb. 3: Ein Schwenktonarm führt die Diamantspitze des Tonabnehmers statt geradlinig auf einem Kreisbogen über die Platte und ändert dabei laufend die Ausrichtung der Tonabnehmerachse. Maßgebende Größen für den verursachten Spurfehlwinkel sind Achsabstand, Kröpfungskreis und effektive Länge oder Überhang.

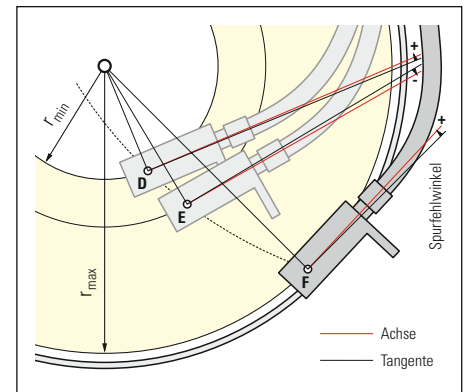


Abb. 4: Der Spurfehlwinkel (Abweichung von der Tangente) ändert seine Größe und seine Richtung (+/-/-+).

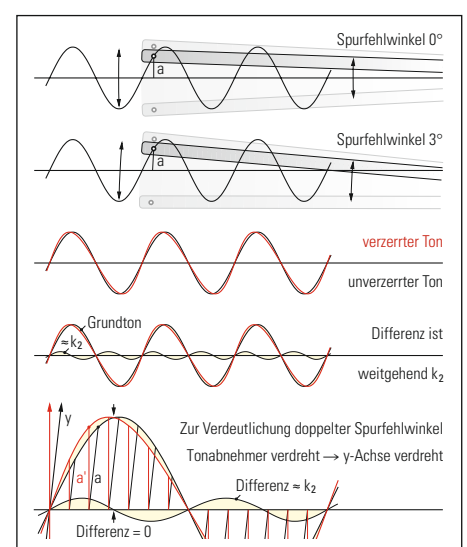


Abb. 5: Bei exakt tangential ausgerichtetem Tonabnehmer folgt die Diamantspitze des Nadelträgers den Wellen in der Rille mit zum Rillenverlauf rechtwinkligen Schwingungen. Liegt ein Spurfehlwinkel vor, tastet sie die Amplitude schräg ab, was zu einem verfälschten elektrischen Signal (rote Kurve) und somit zu Verzerrungen führt. Die als Klirren wahrzunehmenden Verzerrungen sind die Differenz zwischen verfälschtem und korrektem Signal. Sie bestehen größtenteils aus einem Ton doppelter Frequenz (k_2 = zweite Harmonische).

Wellen der Schallplattenrinne schräg statt rechtwinklig zum Rillenverlauf abtastet, erfasst sie die Amplituden (= Schwingungsweiten) so wie in einem Koordinatensystem mit um den Spurfehlwinkel verkippter y-Achse. Wie man sieht (stark vergrößerte Welle ganz unten in Abb. 5), ist die Differenz (gelbe Fläche) zwischen dem elektrischen (rote Kurve) und dem korrekten Sollsignal (schwarze Kurve) eine Kurve doppelter Grundfrequenz mit kleiner Amplitude – genau wie die zweite Harmonische. Weitere darin enthaltene Oberwellenanteile haben so niedrige Pegel, dass sie nicht hörbar werden.

Weil diese Verzerrung wie ein Klirren wahrgenommen wird, nennt man ihren in Prozent angegebenen Anteil Klirrgrad, wenn es die zweite Harmonische ist, Klirrgrad k_2 . Glücklicherweise fällt ein kleiner k_2 in Musik nicht auf, da im Klangspektrum der Instrumente auch Oberwellen enthalten und sogar wichtig sind. Sie und ihr Intensitätsverhältnis lassen uns erkennen, ob z. B. ein Ton von einem Fagott (obertonreich) oder von einer Flöte (obertonarm) stammt. Doch wenn der zugefügte Klirrgrad k_2 einen Wert von ca. 0,2 % bis 0,5 % überschreitet, empfinden ihn auch musikalisch ungeschulte Ohren als lästig und als Unsauberkeit des Klangs.

Wie hängt der Klirrgrad k_2 vom Spurfehlwinkel ab?

Löfgren und Baerwald haben deshalb das Ausmaß der Verzerrungen berechnet und herausgefunden, dass der vom Spurfehlwinkel erzeugte Klirrgrad k_2 nicht allein zum Spurfehlwinkel proportional, sondern auch zum Abtastradius umgekehrt proportional ist. Das bedeutet aber (was Percy Wilson noch nicht bedachte), dass die Verzerrungen in der Innenrinne bei gleichem Spurfehlwinkel viel stärker werden als in der Außenrinne. Mit heutigen Langspielplatten, deren Außenrinne etwa den 2,5fachen Radius der Innenrinne hat, wären somit bei Optimierung nach Percy Wilson die Verzerrungen an der Innenrinne ca. 2,5mal so groß wie an der Außenrinne. Darum muss statt des Spurfehlwinkels der relative Spurfehlwinkel (= Spurfehlwinkel geteilt durch den jeweiligen Radius, angegeben in $^\circ/\text{cm}$) klein bleiben.

Das ist mit einfachem Rechnen zu erklären: Da Schallplatten mit konstanter Drehzahl rotieren ($33\frac{1}{3}$ U/min bei der heutigen LP), muss bei konstanter Tonhöhe der Umfang der Innenrinne ebenso viele Wellen enthalten wie der fast 2,5fach größere Umfang der Außenrinne. Die in die Rinne geschriebenen Wellen (Abb. 5) werden also bei abnehmenden Radien in Längsrichtung zunehmend gestaucht, in der Innenrinne fast um den Faktor $1/2,5$ relativ zu Wellen gleicher Tonhöhe in der Außenrinne. Daher muss sich eine schräge Schwingungsrichtung der Diamantspitzen in der Innenrinne um den Faktor 2,5 verheerender auswirken als in der Außenrinne.

Wie groß kann der maximale Klirrgrad k_2 werden?

Nach Löfgrens und Baerwalds Berechnungen beträgt der Prozentwert des vom Spurfehlwinkel verursachten Klirrgrads k_2 bei Vollaussteuerung (maximale Schnelle = Auslenkungsgeschwindigkeit 10 cm/s) das Vierfache des in $^\circ/\text{cm}$ gemessenen relativen Spurfehlwinkels.

Ein Tonarm üblicher Länge um 230 mm ohne Kröpfung mit gleichem Spurfehlwinkel in der Außen- und Innenrinne (wie in der Zeit vor Percy Wilson üblich) erzeugte in der Innenrinne heutiger Langspielplatten einen Spurfehlwinkel von knapp 11° , was bei 57,5 mm Radius (nach DIN IEC 98) einen relativen Spurfehlwinkel von ca. $1,9^\circ/\text{cm}$ und einen Klirrgrad k_2 von ca. 7,6 % ergibt.

Mit einem gekröpften Tonarm gleicher effektiver Länge nach Percy Wilsons Vorschlag ließe sich außen und innen ein identischer Spurfehlwinkel von minimal $1,4^\circ$ erzielen (mit Nullstellen bei 65,8 mm und 127,7 mm). Das ergibt dann innen einen relativen Spurfehlwinkel von $0,243^\circ/\text{cm}$ und einen Klirrgrad k_2 von ca. 0,97 %.

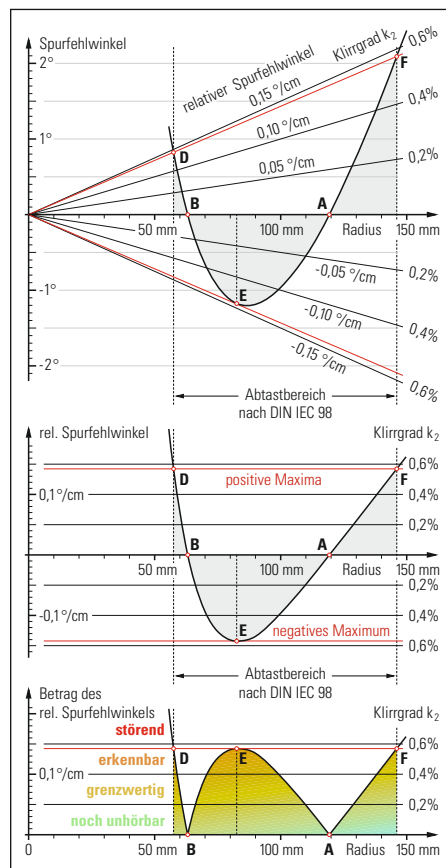


Abb. 6: Der Verlauf des Spurfehlwinkels und des resultierenden, auf 10 cm/s Schnelle bezogenen Klirrgrads eines konventionell optimierten 230-mm-Tonarms. Mit kleiner werdendem Abtastradius wachsen die Verzerrungen. Nur der Betrag des relativen Spurfehlwinkels (= Spurfehlwinkel dividiert durch Abtastradius) ist proportional zum jeweiligen Klirrgrad. Daher gibt die mittlere Zeichnung links auf der y-Achse statt des absoluten den relativen Spurfehlwinkel an. Der Klirrgrad ist vom Vorzeichen des relativen Spurfehlwinkels (positiv oder negativ) unabhängig. Ganz unten ist deshalb nur der Betrag des relativen Spurfehlwinkels angegeben und der unter der x-Achse liegende Teil der Kurve zwischen den Nullstellen A und B nach oben geklappt.

Weil nach den Berechnungen Löfgrens und Baerwalds die Verzerrungen zum relativen Spurfehlwinkel proportional sind, folgt, dass eine Optimierung auf geringstmögliche Maximalverzerrungen über drei gleich große maximale Beträge des relativen und nicht des absoluten Spurfehlwinkels vorzunehmen ist. Beide konnten dafür auch mathematische Formeln herleiten, die nach wie vor für alle um eine vertikale Achse im Abstand a von der Plattentellerachse schwenkende Tonarme gültig sind – unabhängig von ihrer Bauweise (z. B. gerade

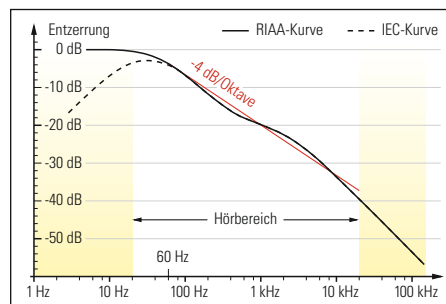


Abb. 7: Da bei der Schallplattenaufnahme zur Rauschunterdrückung der Pegel um durchschnittlich 4 dB pro Oktave angehoben wird, muss er bei der Wiedergabe umgekehrt wieder abgesenkt werden. Das reduziert ab ca. 60 Hz den vom relativen Spurfehlwinkel erzeugten Klirrgrad k_2 um 4 dB auf 63 % (= gewichteter Klirrgrad). Die IEC-Entzerrung senkt zusätzlich das Rumpeln ab. Weil diese Reduzierung der Verzerrungen fast nie berücksichtigt wird, wird in den hier gezeigten Grafiken ebenfalls stets der ungewichtete Klirrgrad angegeben.

oder S-förmig), der effektiven Länge und vom Material (z. B. Carbon-Verbundmaterial, Alu- oder Magnesiumlegierung). Sie gelten für alle Maximal- und Minimal-Abtastradien, alle Plattendrehzahlen sowie Mono und Stereo. Die damit erzielten Ergebnisse hängen nur von der effektiven Tonarmlänge, vom Achsabstand und den zugrundegelegten Außen- und Innenrillenradien ab.

Für den Abtastbereich nach DIN ISO 98 liefern diese Formeln die Nullstellen 63,1 mm und 119,2 mm. Damit lässt sich der Klirrgrad k_2 theoretisch auf knapp unter 0,6 % (kurzer 23-cm-Tonarm, siehe Abb. 6) bis knapp über 0,4 % (langer 30-cm-Tonarm) reduzieren. Das ist nur noch ca. 60 % des Klirrgrads bei der Optimierung nach Percy Wilson, also eine weitere Verbesserung.

Reduzierung des Klirrgrads durch RIAA-Entzerrung

So wie bei der Tonband- oder Cassettenaufzeichnung das Dolby-System durch eine (dort dynamikabhängige) Höhenanhebung und bei der Wiedergabe durch entgegengesetzte Höhenabsenkung das störende Rauschen vermindert, wird auch bei der Schallplattenaufnahme durch Anhebung und bei der Wiedergabe durch dazu entgegengesetzte Absenkung der Höhen eine rauschärmere Wiedergabe (sowie zugleich eine kleinere Amplitude der Bässe für engere Rillenabstände und somit längere Spielzeit) erzielt. Das hat zwar zunächst nichts mit unserer Optimierung der Tonarmgeometrie zu tun, aber es wirkt sich indirekt aus: Weil die Höhenabsenkung bei der Wiedergabe mit einer Kurvensteilheit von durchschnittlich 4 dB/Oktave erfolgt (Abb. 7) und unser Klirrgrad k_2 als zweite Harmonische genau eine Oktave höher als der vom Spurfehlwinkel verzerrte Grundton liegt, wird auch er um 4 dB abgesenkt. Die Einheit dB bedeutet Dezibel und ist ein dimensionsloses logarithmisches Maß zur Angabe von Größenverhältnissen, z. B. hier zwischen dem Klirrgrad k_2' nach der Höhenabsenkung und dem Klirrgrad k_2 davor.

Nach Umformung der Gleichung $4 \text{ dB} = 20 \cdot \lg(k_2'/k_2)$ erhalten wir $k_2' = 10^{0,2} \cdot k_2 = 0,63096 k_2 \approx \text{ca. } 63 \% k_2$.

Das bedeutet, dass die Höhenabsenkung gemäß RIAA-Entzerrungskurve den vom Spurfehlwinkel verursachten Klirrgrad k_2 auf ca. 63 % reduziert. Der durch diese „Gewichtung“ gemäß RIAA-Kurve erhaltene Klirrgrad heißt „gewichteter Klirrgrad“ und gibt den tatsächlich für die hörbaren Verzerrungen maßgeblichen Wert an.

Weil aber üblicherweise in Diagrammen (wie Abb. 6), die den relativen Spurfehlwinkel in Abhängigkeit vom Abtastradius angeben und zusätzlich eine Skalierung für den Klirrgrad k_2 enthalten, nicht der später im Entzerrer-Vorverstärker reduzierte gewichtete Klirrgrad k_2' angegeben wird, sondern der vom Spurfehlwinkel erzeugte ungewichtete, bleiben auch wir aus Gründen der korrekten Vergleichbarkeit beim ungewichteten k_2 . Für die Optimierung der Tonarmgeometrie spielt es ja keine Rolle, welche Zahl wir an der Skala ablesen. Es kommt nur auf einheitliche Skalierung und darauf an, dass alle drei Maximalwerte (in der Außenrinne, Innenrinne und am negativen Maximum zwischen den Nullstellen) gleich groß und somit kleinstmöglich werden.

Wie sieht die optimale Spurfehlwinkelkurve aus?

Berechnet man den relativen Spurfehlwinkel anhand konkreter Daten (effektive Tonarmlänge, Achsabstand und Radien der Außen- und Innenrinne), so ergibt sich eine etwas asymmetrische parabelähnliche Kurve, die über den inneren Rillenbereich deutlich steiler verläuft als über den äußeren (siehe mittlere Kurve in Abb. 6) und bei zwei Radien A und B („Nullstellen“) die x-Achse schneidet. Bemerkenswert ist, dass die Lage dieser beiden Nullstellen nicht von den Daten des Tonarms (effektive Länge, Achsabstand), sondern ausschließlich von den Radien der Außen- und Innenrinne abhängt.

Abb. 9: Der nur ca. 5 mm lange Nadelträger macht es schwer, eine eventuelle Schrägstellung relativ zu den Gehäusekanten festzustellen, wenn die Verkipplung nur klein genug ist. Beim Justieren ist der Nadelträger aber gar nicht zu sehen. Man muss sich deshalb nach den äußeren Gehäusekanten richten. Die würden bei einem schräg ausgerichteten Nadelträger aber in eine falsche Richtung weisen. Doch unabhängig davon ist auch am relativ kurzen Tonabnehmer die Parallelität der Gehäusekanten zu den Hilfslinien auf der Justierschablone nicht toleranzfrei auszumachen. Können Sie zweifelsfrei erkennen, ob kein, nur ein oder alle zwei Nadelträger (oben) bzw. Tonabnehmer (unten) verkantet sind, und wenn ja, welche und um welchen Winkel? Die richtige Antwort finden Sie auf der letzten Seite.

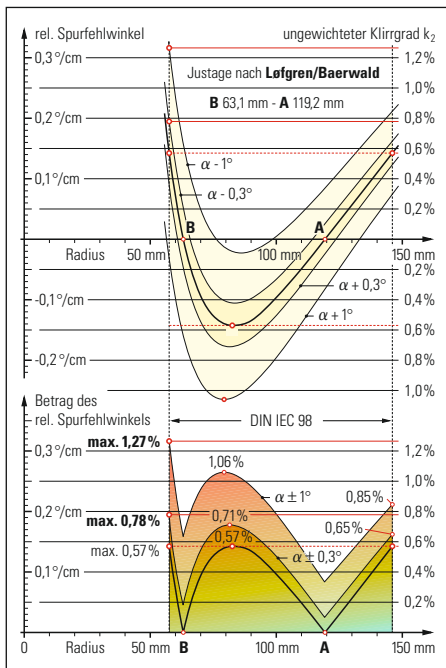


Abb. 10: Die dicke mittlere Kurve zeigt den Verlauf des relativen Spurfelhwinkels für einen 230-mm-Tonarm bei üblicher Optimierung nach Løfgren/Baerwald für den Abtastbereich nach DIN IEC 98 (57,5 mm bis 146,05 mm) mit den Nullstellen A bei 63,1 mm und B bei 119,2 mm. Die gelben Zonen beiderseits der theoretischen Idealkurve geben an, innerhalb welchen Bereichs sich die tatsächliche Kurve bei praxisgerechter mittlerer Winkeltoleranz von $\pm 0,3^\circ$ bzw. $\pm 1^\circ$ verlagern kann: Der ungewichtete Klirrgrad k_2 kann am inneren Abstrahlradius von 0,57 % auf 0,78 % (bei Winkeltoleranz $\pm 0,3^\circ$) bzw. von 0,57 % auf 1,27 % (bei Winkeltoleranz $\pm 1^\circ$) steigen.

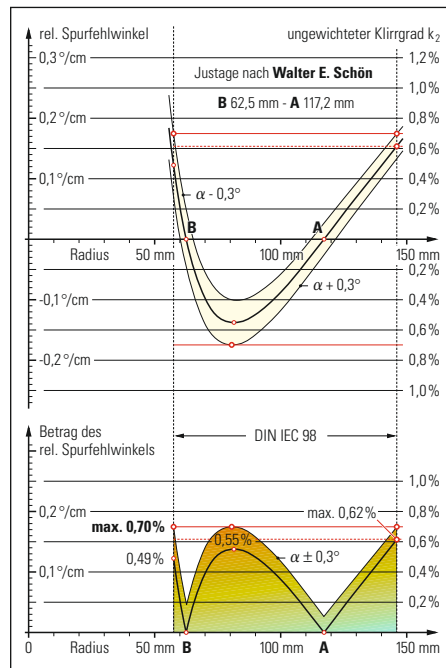


Abb. 11: Hier der Verlauf des relativen Spurfelhwinkels für den gleichen 230-mm-Tonarm und den gleichen Abtastbereich bei Optimierung für Winkeltoleranz $\pm 0,3^\circ$ mit den Nullstellen A bei 62,5 mm und B bei 117,2 mm. Der innere Maximalwert liegt deutlich und der mittlere Maximalwert etwas niedriger; nur der äußere liegt etwas höher. Die um -0,6 mm bzw. -2,0 mm verschobenen Nullstellen liefern statt für die theoretische Idealkurve für die praxisnahe Toleranzzone gleich große Maxima, also in der selbst bei größtmöglicher Sorgfalt nie toleranzfreien Praxis ein etwas besseres Ergebnis von im ungünstigsten Falle nur 0,70 % statt 0,78 % Klirrgrad k_2 .

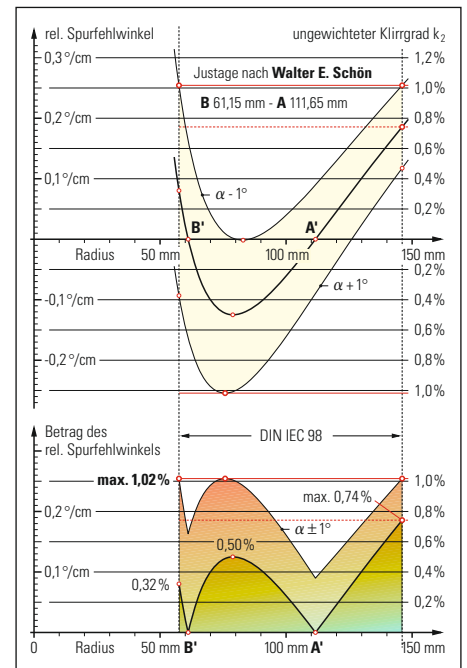


Abb. 12: Wenn bei Tonabnehmern mit nicht rechtwinkligen ebenen, sondern konischen oder gewölbten Gehäuseflächen mit einer noch größeren Winkeltoleranz von $\pm 1^\circ$ gerechnet werden muss, führt die Optimierung zu den Nullstellen A' bei 61,15 mm und B' bei 111,65 mm. Für die mittlere Kurve liegt dann der äußere Maximalwert zwar mit 0,74 % um 0,14 % höher, die anderen Maxima liegen jedoch niedriger als in der Standardkurve. Entscheidend ist jedoch wieder der Maximalwert für die Begrenzungskurven des Toleranzbereichs, und die liefern auch hier ein besseres Ergebnis von im ungünstigsten Falle nur 1,02 % statt 1,27 % für den Klirrgrad k_2 .

der Nadelträgerrichtung abweichender Gehäusekanten möglich ist (Abb. 9) und diese oft nicht geradlinig und rechtwinklig, sondern gerundet oder konisch sind (was die Tonabnehmerhersteller vermeiden sollten!).

Zur Abschätzung der Gesamt toleranzen hat der Autor bereits 1981 eine Testreihe von Klirrgradmessungen an ca. 70 Tonabnehmern und Messergebnisse in mehreren HiFi-Zeitschriften ausgewertet. Die Klirrgradmessungen wurden in einem HiFi-Testlabor durchgeführt, nachdem drei verschiedene Labortechniker die Tonabnehmer jeweils völlig neu justiert hatten. Aus den erhaltenen k_2 -Schwankungen für die drei Justierpositionen jedes der 70 Tonabnehmer wurde sodann eine mittlere Schwankung des relativen Spurfelhwinkels und daraus die mittlere Winkeltoleranz bei der Justage dieser Tonabnehmer als ca. $\pm 0,3^\circ$ berechnet. Wenn die Justage nicht durch erfahrene Techniker erfolgt, sind eher größere Toleranzen wahrscheinlicher.

Die Auswertung von Messergebnissen diverser HiFi-Zeitschriften führte auf gänzlich andere Weise zu sehr ähnlichen Toleranzwerten. Für die Tonarme der dort getesteten Plattenspieler waren die im Testlabor dieser Zeitschriften gemessenen effektiven Tonarmlängen und Kröpfungswinkel sowie die Radien der Nulldurchgänge der Spurfelhwinkelkurve angegeben. Nun lässt sich aber aus den angegebenen Nullstellen r_A und r_B sowie der effektiven Tonarmlänge t_{eff} nach der Formel

$$\alpha = \arcsin [(r_A + r_B) / 2 t_{\text{eff}}]$$

der Kröpfungswinkel α berechnen, und wie zu erwarten war, wich der angegebene gemessene von dem aus den anderen Daten berechneten Wert stets etwas ab, und zwar bis zu $0,8^\circ$ in einem und sogar bis zu $0,9^\circ$ in einem anderen Falle. Als mittlerer Fehler aller so überprüften Angaben ergab sich ein Fehler knapp über $0,3^\circ$. Dies scheint dem Autor Grund genug zu sein, auch bei der Justage per Justierschablone von einer mittleren Toleranz von mindestens $\pm 0,3^\circ$ ausgehen zu dürfen.

Bei Toleranzen muss die Optimierung anders sein

Wenn die tangentielle Ausrichtung des Tonabnehmers bei der Justage an den Nullstellen A und B fehlerbehaftet ist, erhalten wir in der Praxis nicht die Spurfelhwinkelkurve nach den Formeln von Løfgren/Baerwald, sondern eine leicht verformte, verschobene und höher oder tiefer verlaufende Kurve. Wenn wir von der mittleren Toleranz $\pm 0,3^\circ$ ausgehen, liegt die reale Kurve irgendwo innerhalb einer Toleranzzone um die Idealkurve (Abb. 10), welche sie wie ein Schlauch umgibt. Die Toleranzzone bleibt jedoch nicht über den Abtastbereich gleich weit, sondern ihre obere und untere Begrenzungen laufen von der Außen- zur Innenrinne, also von rechts nach links, immer weiter auseinander.

Dass die Toleranzzone von außen nach innen, also von der Außenrinne (F) über das negative Maximum (E) bis zur Innenrinne (D) stetig weiter wird, ist daran zu sehen, dass die Maxima der Idealkurve (Abb. 10) alle denselben relativen Spurfelhwinkel bzw. Klirrgrad 0,57 % haben, während die Maxima der Toleranzzone ansteigen (Klirrgrad k_2 steigt von 0,65 % über 0,71 % bis 0,78 %).

Wie wir bereits von der theoretischen Idealkurve wissen, ergibt sich das kleinstmögliche Maximum dann, wenn alle drei Maxima gleich groß sind. Weil die positiven Maxima der Außen- und Innenrinne auf der oberen Grenzkurve der Toleranzzone liegen, das negative Maximum jedoch auf der unteren Grenzkurve liegt, ist das anhand der unteren Darstellung mit nach oben geklapptem negativen Kuventeil deutlicher zu sehen: Bei einer vom Autor für eine Toleranz von $\pm 0,3^\circ$ berechneten Optimierung auf gleiche Toleranzbereichs-Maxima zeigt die Kurve (Abb. 11) drei identische Klirrgradmaxima von nur 0,70 % statt von 0,78 % (in Abb. 10). Auch wenn das zugegebenermaßen keine sehr große Änderung ist, ist es ohne Zweifel eine Verbesserung.

Der Farbverlauf unter diesen Kurven zeigt, wie störend der Klirrgrad wird: Grün = unter der Hörschwelle, Rot

= lästiges Klirren hörbar. Der nicht für alle Menschen exakt gleiche Übergang ist fließend. Bei kleineren Radien wird das Klirren schneller hörbar – verdeutlicht durch etwas schrägen Farbverlauf –, weil sich dort zu dem vom Spurfelhwinkel verursachten Klirrgrad zunehmend weitere Verzerrungen (u. a. Pinch-Effekt, Materialverformung wegen „gestauchter“ Wellen) addieren.

Schön-Schablone liefert die bestmögliche Justage

Als erste und bisher einzige Tonarm-Justierschablone basiert die Schön-Schablone einerseits auf den nach wie vor gültigen Formeln von Løfgren/Baerwald und dem oben als zweckmäßig nachgewiesenen Abtastbereich nach DIN IEC 98 von 57,5 mm bis 146,05 mm, sie berücksichtigt jedoch andererseits auch die bei jeder Justage unvermeidbaren Toleranzen. Diese sind teilweise schon herstellerteilig gegeben (Parallelität der Nadelträgerachse zu beiden seitlichen Gehäusekanten bzw. Rechtwinkligkeit zur Tonabnehmer-Stirnfläche) und vergrößern sich wegen der nach nur unvollkommenem Augenmaß vorzunehmenden Ausrichtung des Tonabnehmers am Tonarm (Headshell) anhand sehr kurzer und eventuell sogar konisch geformter oder gewölbter Gehäusekanten. Die auf der Schön-Schablone benutzten und dank gravierten Rillen (zur Vermeidung des Skating-Effekts) beim Justieren präzise einhaltbaren Nullstellen B bei 62,5 mm und A bei 117,2 mm sind so berechnet, dass sich bei einer mittleren Winkeltoleranz von $\pm 0,3^\circ$ (die sich durch Auswertung umfangreicher Messreihen als sehr realistisch erwiesen hat) die kleinstmöglichen Klirrgrad-Maxima ergeben.

Für alle, die ihrem Augenmaß weniger vertrauen, hatte die alte Schön-Schablone noch zwei alternative, nach diesem Prinzip für die Winkeltoleranz $\pm 1^\circ$ berechnete Nullstellen B' bei 61,15 mm und A' bei 111,65 mm. Sie wurden bei der Schön-Schablone Typ 2 weggelassen, da sie nicht benutzt wurden und die Schablone ohne die zusätzlichen Nullstellen übersichtlicher ist. ☺

So wird gemessen und justiert

Manchen Plattenspielern oder Tonarmen liegt eine Justierschablone bei, die auf ungünstigen Nullstellen oder auf einem praxisfremden Abtastbereich basiert. Manche Einbauschablone teurer Tonarme gibt einen falschen Achsabstand an. Oft ist der Krüpfungswinkel nicht korrekt auf die effektive Tonarmlänge abgestimmt, sondern scheint nur zum „Design“ passend gewählt zu sein. Es führt also kein Weg an einer guten Justierschablone vorbei. Mit dieser Schön-Schablone haben Sie das bestmögliche Werkzeug für die präzise Optimierung der Tonarmgeometrie, um den maximalen relativen Spurfelhwinkel und damit die Verzerrungen minimal zu halten. Ferner bietet sie Ihnen zahlreiche Messmöglichkeiten wie keine andere Justierschablone:

1. Das Optimierungskriterium ist, das Maximum des relativen Spurfelhwinkels zu minimieren („Minimax-Prinzip“), da er Ursache von Verzerrungen ist, die ab einer bestimmten Größe störend hörbar sind.
2. Diese Optimierung ist für alle Tonarmlängen mathematisch korrekt. Manche Schablonen sind nur für eine einzige Tonarmlänge brauchbar und liefern bei anderen Längen mehr oder weniger große Abweichungen, was der Schablonenanbieter aber leider verschweigt.
3. Als Abtastbereich ist nicht der gängige IEC-Bereich von 60,325 mm bis 146,05 mm zugrundegelegt, der bei Schallplatten mit kleinem Innenrillenradius zu einem gewaltigem Klirradanstieg führt, sondern der praxisgerechtere Bereich nach DIN IEC 98 von 57,5 mm bis 146,05 mm. Eine kleine Erhöhung des maximalen Klirrgrads, z. B. bei 230 mm Tonarmlänge von 0,52 % auf 0,57 %, stört viel weniger, als wenn er bei Platten mit langer Spielzeit eskaliert, in diesem Falle auf 0,89 %.
4. Nur die Schön-Schablone berücksichtigt Toleranzen, die beim Justieren unvermeidlich sind. Die beim Ausrichten des kleinen Tonabnehmers an den parallelen Linien der Schablone wegen des beschränkten Augenmaßes selbst bei größter Sorgfalt auftretenden Winkelfehler und die Tonabnehmer-Fertigungstoleranzen von zusammen ca. $\pm 0,3^\circ$ sind nur bei dieser Schablone in die Berechnung einbezogen: Da sich die Toleranzen bei kleinen Abtastradien viel stärker auswirken als bei großen, führt die mathematische Berechnung der Nullradien zu den kleineren Werten 62,5 mm und 117,2 mm statt sonst zu 63,1 mm und 119,2 mm für DIN IEC 98.
5. Eine präzise Messmöglichkeiten und damit die Kontrolle von Herstellerangaben sowie den Vergleich des relativen Spurfelhwinkels vor und nach Ihrer Justage (Erfolgskontrolle) bietet Ihnen ebenfalls nur die Schön-Schablone. Sie können die effektive Tonarmlänge, den Achsabstand, den Überhang (auch wenn der Tonarm nicht bis zur Plattentellermitte schwenkbar ist!) und sogar den Verlauf des relativen Spurfelhwinkels über den vollen Abtastbereich messen und danach die entsprechende Kurve für Ihren Tonarm aufzeichnen.

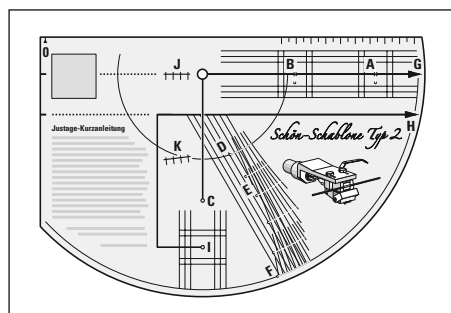


Abb. 13: Die neue Schön-Schablone Typ II zur Justage des Tonabnehmers und zur Messung der Tonarmgeometrie ist jetzt noch vielseitiger und übersichtlicher.

Effektive Tonarmlänge (Nadelspitze zu Tonarmachse)

Die effektive Tonarmlänge ist der horizontale Abstand der Nadelspitze von der vertikalen Tonarm-Schwenkachse. Markieren Sie vor der Messung mit einem feinen Faserschreiber durch je einen Punkt auf dem Tonarmlager die Position der Schwenkachse und auf dem Tonabnehmerträger (Headshell) die Stelle genau über

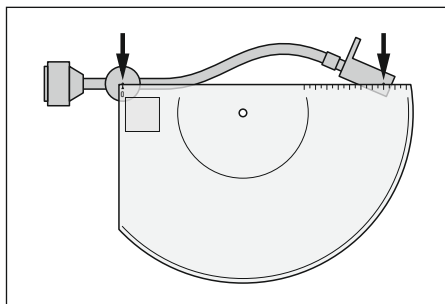


Abb. 14: Zur Messung der effektiven Tonarmlänge die Nullmarke links oben über die Tonarm-Schwenkachse halten und am markierten Punkt über der Abtastspitze auf dem Tonabnehmerträger die Tonarmlänge ablesen.

der Nadelspitze. Mit der Nullmarke der Schablone an der Tonarm-Schwenkachse (siehe Abb. 14) und der Millimeterskala über der Nadelspitze messen Sie die effektive Länge von Tonarmen bis 250 mm (ca. 10").

Für noch längere Tonarme nehmen Sie bitte ein Lineal.

Achsabstand (Plattentellerachse zu Tonarmachse)

Mit derselben Millimeterskala können Sie den Achsabstand messen. Die horizontale Richtung ist einfacher einzuhalten, wenn Sie einen rechtwinkligen Gegenstand wie z. B. ein Buch so auf den Plattenteller stellen, dass eine senkrechte Kante von links an den Mittelzapfen des Plattentellers stößt (siehe Abb. 15).

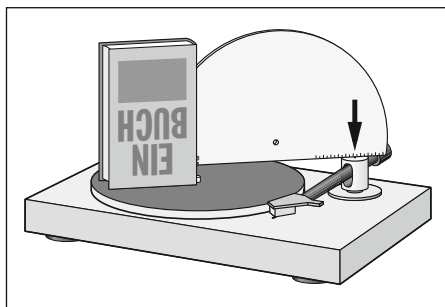


Abb. 15: Zur Messung des Achsabstandes die Nullmarke über die Plattentellerachse halten (ein gegen den Mittelzapfen angelegtes Buch ist hilfreich) und an der Tonarm-Schwenkachse die Tonarmlänge ablesen.

Wenn Sie nun die Schablone an die senkrechte Kante anlehnen, fluchtet die Nullmarke mit der Achse des Zapfens, und die lange Kante mit dem Millimetermaß verläuft waagrecht. An der vorher durch einen Punkt markierten Mitte (Achse) des Tonarmlagers können Sie den Achsabstand auf der Millimeterskala ablesen.

Überhang (Arm über Plattentellermittel schwenkbar)

Der Überhang gibt an, um wieviel die effektive Länge des Tonarms größer ist als der Achsabstand. Er ist für die Tonarmjustage eine sehr kritische Größe. Mit ihm erfolgt später die Feinabstimmung der effektiven Tonarmlänge auf den Achsabstand (siehe auch Abb. 18).

Legen Sie die Schablone wie eine Schallplatte auf den Plattenteller. Wenn Ihr Tonarm über die Plattentellermittel schwenkbar ist (andernfalls gibt es eine weitere Messmethode gleich anschließend), drehen Sie den

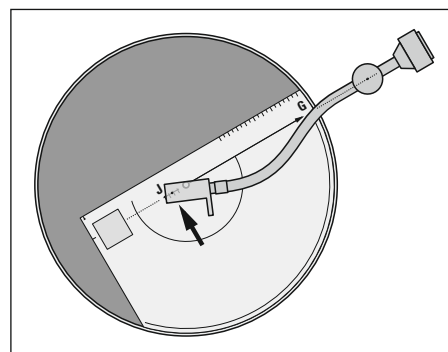


Abb. 16: Zur direkten Überhangmessung Linie G auf die Tonarm-Schwenkachse ausrichten, Abtastspitze über die Plattentellermittel zur Überhangskala J schwenken und unter der Abtastspitze den Überhang ablesen.

Plattenteller mit der Schablone so, dass die durch das Zentrierloch verlaufende Linie mit der Pfeilspitze G genau zur Tonarm-Schwenkachse zeigt. Schwenken Sie den Tonarm zur Plattentellermittel, ohne die Schablone dabei zu verdrehen. Unter der Nadelspitze können Sie dann auf der Millimeterskala J den Überhang ablesen.

Überhang (Arm nicht über Tellermittel schwenkbar)

Wenn sich Ihr Tonarm nicht bis zur Plattentellermittel schwenken lässt, drehen Sie die auf den Plattenteller gelegte Schablone so, dass die etwas tiefer liegende Linie mit der Pfeilspitze H genau zur Tonarm-Schwenkachse ausgerichtet ist (Abb. 17). Dann schwenken Sie

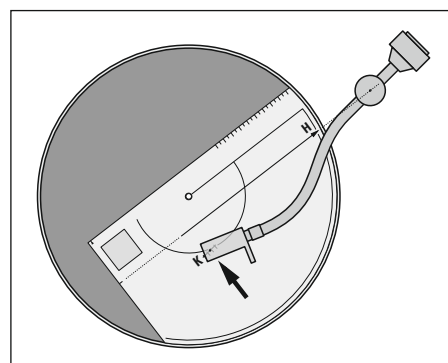


Abb. 17: Zur indirekten Überhangmessung die Linie H auf die Tonarm-Schwenkachse ausrichten, Abtastspitze zur Überhangskala am Innenrillenkreis schwenken und genau unter der Abtastspitze den Überhang ablesen.

den Tonarm, ohne die Schablone zu verdrehen, bis zur zweiten Überhangskala K und setzen dort die Nadelspitze ab. Prüfen Sie, ob die Linie mit der Pfeilspitze H noch exakt zur Tonarm-Schwenkachse zeigt und korrigieren Sie die Ausrichtung bei Bedarf. Dann lesen Sie am Aufsetzpunkt der Nadelspitze den Überhang ab.

Diese indirekte Überhangmessung ist bei mittellangen Tonarmen ebenso exakt wie die direkte Messung.

Bei sehr kurzen oder sehr langen Tonarmen ergibt sich eine sehr geringfügige Abweichung, die aber weniger als 1/100 mm beträgt, also sehr weit unter der Ablesegenauigkeit liegt und daher völlig vernachlässigbar ist.

Anpassung des Achsabstands an die Tonarmlänge

Beim Einbau eines separaten Tonarms in ein Plattenspielerlaufwerk muss ein auf die effektive Tonarmlänge abgestimmter Achsabstand recht genau eingehalten werden. Ist der Achsabstand zu klein oder zu groß, so dass dieser Fehler nicht durch Überhangänderung behoben werden kann (der Verschiebeweg des Tonabnehmers in den Langlöchern ist leider begrenzt!), ist die tangentielle Ausrichtung nicht an beiden Nullradien erzielbar. Ein falscher Überhang kann später nicht durch den Krüpfungswinkel kompensiert werden, sondern es bleibt dann nur ein mäßig guter Kompromiss!

Messen Sie darum vor dem Tonarmeinbau zuerst die effektive Tonarmlänge. Dabei soll der Tonabnehmer in mittlerer Langlochposition angeschraubt sein, um später, falls nötig, zur Überhangkorrektur nach vorn und hinten verschoben werden zu können. Ermitteln Sie im folgenden Diagramm (Abb. 18) den exakt zur gemessenen effektiven Tonarmlänge passenden Überhang.

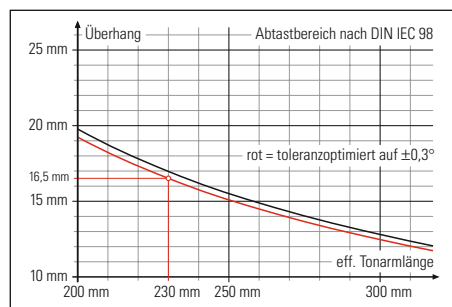


Abb. 18: So hängt der optimale Überhang des Tonarms von der effektiven Länge ab (die schwarze Kurve gilt ohne, die rote mit Berücksichtigung der Toleranzen). Achsabstand = effektive Tonarmlänge minus Überhang.

Das markierte Beispiel zeigt für 230 mm effektive Tonarmlänge einen Überhang von 16,5 mm. Der richtige Achsabstand ist effektive Länge minus Überhang, also in diesem Beispiel $230 \text{ mm} - 16,5 \text{ mm} = 213,5 \text{ mm}$.

Die schwarze Kurve würde für eine Optimierung nach Løfgren/Baerwald ohne Berücksichtigung der Toleranzen mit den Nullstellen 63,1 mm und 119,2 mm gelten.

Messung des relativen Spurfehlwinkels

Der Spurfehlwinkel ist der Winkel, um den die auf die Schallplattenebene projizierte Richtung des Nadelträgers von der tangentialen Richtung zum Kreis mit dem jeweiligen Abstradius abweicht. Für die resultierenden Verzerrungen ist aber der relative Spurfehlwinkel maßgeblich, also der durch den jeweiligen Abstradius dividierte Spurfehlwinkel. Nur die Schön-Schablone bietet Ihnen dafür eine genaue Messmöglichkeit.

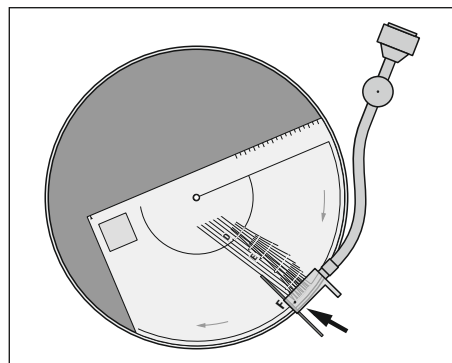


Abb. 19: Zur Messung des relativen Spurfehlwinkels ist die Schablone so aufzulegen, dass der Tonarm über die Skala mit den markierten Rillendurchmesser zwischen Punkt F und der Plattentellermitte geschwenkt werden kann.

Wenn Ihr Tonabnehmer eine ebene Front hat, befestigen Sie dort, andernfalls an der Vorderkante seiner Anschraubplatte, zur Erhöhung der Prüfgenauigkeit die Mine eines Druckbleistifts mit Klebeband oder Haftplast wie auf der Schablone abgebildet. Legen Sie die Schablone auf den Plattenteller und setzen Sie die Nadelspitze des zum Außenrillen-Kreis geschwenkten Tonarms an Punkt F in die eingeprägte Rille (Abb. 19).

Vergleichen Sie dann die Richtung der Bleistiftmine oder, falls Sie keine Mine befestigen konnten, die der Tonabnehmer-Vorderkante mit den parallelen Linien auf der Schablone. Drehen Sie den Plattenteller samt Schablone langsam im Uhrzeigersinn (so, wie sich die Schallplatten drehen), bis die Linien auf der Schablone zur Bleistiftmine bzw. Vorderkante des Tonabnehmers parallel verlaufen. Wo die Nadelspitze aufsitzt, lesen Sie auf der Skala in Grad pro Zentimeter ($^{\circ}/\text{cm}$) ab, wie groß der relative Spurfehlwinkel am Außenradius 146,05 mm ist. Diesen Wert markieren Sie auf einer Kopie der ganz unten abgebildeten Diagramm-Vorlage (Abb. 20) an der entsprechenden Radiuslinie als Punkt.

Messen Sie ebenso den relativen Spurfehlwinkel für die anderen Radien 140 mm, 130 mm usw. bis 50 mm (50 mm ist zwar nicht relevant, verbessert jedoch die Kurvengenauigkeit bei den kleinen Radien). Nach dem Markieren aller Messpunkte zeichnen Sie eine Kurve, die möglichst gut dem Verlauf Ihrer Messpunkte folgt.

Weil Ihre Messungen (wie die Justage) nicht toleranzfrei sind, können Ihre Messpunkte teils über und teils unter der glatt verlaufenden Kurve liegen. Orientieren Sie sich beim Zeichnen an den blassfarbigen Idealkurven eines 230-mm- und eines 300-mm-Tonarms.

Schnelle Justage der Tonarmgeometrie für Eilige

Die schnellste Möglichkeit zur Justage von Überhang und Kröpfwinkeln bietet die Schön-Schablone bei Ausrichtung der Linie H zur Tonarm-Schwenkachse mit dem Justierpunkt I (Abb. 21), wenn Sie dort die Nadelspitze absetzen und die Bleistiftmine montiert haben.

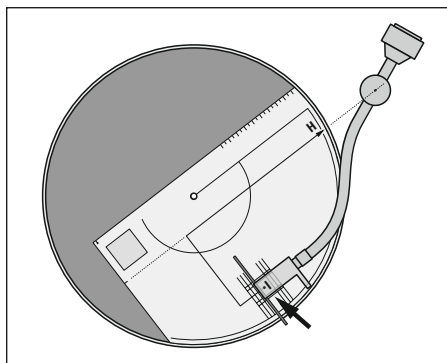


Abb. 21: Zur Schnelleinstellung oder Abschlussprüfung Linie H zur Tonarmachse richten. Tonabnehmer so verschieben und verdrehen, dass mit der Nadelspitze auf Punkt I die Bleistiftmine parallel zu den Linien verläuft.

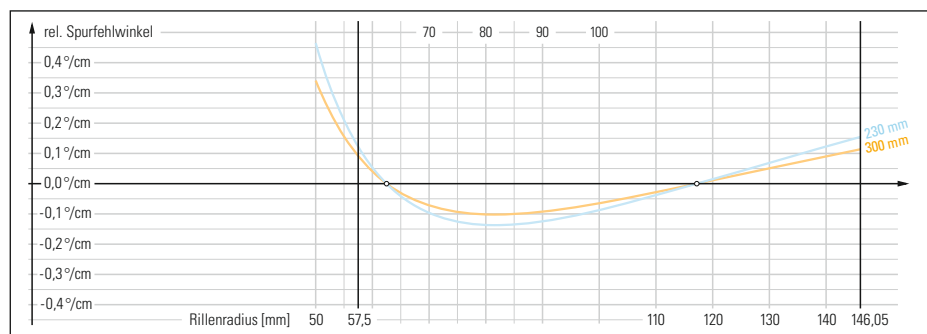


Abb. 20: Zeichnen Sie in dieses Diagramm nichts ein, sondern machen Sie davon Kopien für die Messdaten, damit Sie jederzeit neue Kopien dieses leeren Diagramms für weitere Messungen machen können. Die zartgraue Kurve zeigt Ihnen, wie die Kurve des relativen Spurfehlwinkels bei einem optimal justierten Tonarm mit der effektiven Länge 230 mm idealerweise verlaufen sollte. Ihre gemessenen Kurven sollten nach der Justage ähnlich aussehen.

Exakteste Nullstellen-Justage für Perfektionisten

Stellen Sie zuerst den Überhang grob ein. Drehen Sie hierzu den Plattenteller mit der Schablone so, dass die durch das Zentrierloch verlaufende Linie mit der Pfeilspitze G genau zur Tonarmachse zeigt (Abb. 22). Dann schwenken Sie den Tonarm über die Schablone, ohne sie dabei zu verdrehen, bis zum Punkt C. Falls Sie die Nadelspitze nicht genau auf Punkt C absetzen können, verschieben Sie den Tonabnehmer in den Langlöchern des Tonabnehmerträgers so, dass Sie genau Punkt C treffen. Kontrollieren Sie danach sicherheitshalber, ob die Pfeilspitze G immer noch zur Tonarmachse zeigt.

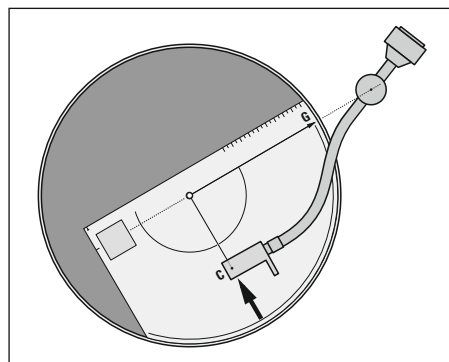


Abb. 22: Zur Überhang-Grobeinstellung oder -Prüfung Schablone so drehen, dass Linie G zur Tonarmachse zeigt. Die Nadelspitze muss auf Punkt C absetzbar sein (andernfalls Tonabnehmer entsprechend verschieben).

Alternativ kann der Überhang aus der effektiven Tonarmlänge im Überhang-Diagramm (Abb. 18) ermittelt und an Überhangsskala J oder K eingestellt werden.

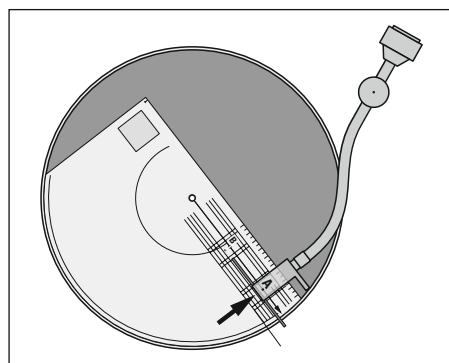


Abb. 23: Zur Justage des Kröpfwinkels ist die Nadelspitze auf Punkt A zu setzen und von oben zu prüfen, ob die Bleistiftmine bzw. die Tonabnehmer-Vorderkante parallel zu den Linien auf der Schablone verläuft.

Setzen Sie die Nadelspitze exakt auf Punkt A (Abb. 23) in der Rille ab. Wenn jetzt die Bleistiftmine bzw. Tonabnehmerkante zu den parallelen Linien auf der Schablone parallel verläuft, ist die Justage abgeschlossen.

Andernfalls lockern Sie die Befestigungsschrauben des Tonabnehmers und verdrehen ihn (ohne ihn zu verschieben!) ein wenig, bis Sie am Punkt A Parallelität erzielen. Ziehen Sie die Schrauben wieder leicht an.

Wenn Sie anschließend die Nadelspitze abwechselnd am Rillenanfang vor Punkt B und vor Punkt A (wo auch je ein Punkt markiert ist) absetzen und die Schablone langsam im Uhrzeigersinn bis zur Parallelität der Mine mit den Linien auf der Schablone drehen, können Sie unter der Nadelspitze auf den beiden Skalen ablesen, um wieviel bei B der Überhang bzw. bei A der Kröpfwinkeln evtl. noch zu korrigieren ist. Bei B dürfen Sie nur den Überhang und bei A nur den Kröpfwinkeln ändern! Wiederholen Sie beide Prüfung so oft, bis die Bleistiftmine bzw. die Tonabnehmerkante bei A und bei B zu den Schablonenlinien parallel verläuft.

Wenn danach alles stimmt, sind Sie fertig und können nun Ihre Musik in bester Klangqualität genießen. ☺