

Harte Schweizer Köpfe

Einblick in eine wenig bekannte Herstellungstechnik

radio tv
electronic

Sonderdruck aus Heft 11/1974

Marcel Siegenthaler

Tonköpfe gehören zu jenen wenigen Bauelementen der Elektroakustik, deren Herstellung selbst vielen Fachleuten der Audiotechnik weitgehend unbekannt geblieben ist. Dies mag zum Teil daran liegen, dass es ohne das Vorhandensein gewisser technischer Einrichtungen und des entsprechenden Know-how unmöglich ist, einen Magnetkopf selbst herzustellen. Es sind deshalb auch durchwegs spezialisierte Firmen oder Spezialabteilungen renommierter Hersteller, die sich mit der Serienfertigung von Tonköpfen befassen. Der vorliegende Bericht führt in reportageartiger Form in eine solche Spezialabteilung, deren Erfahrungen in die Anfangszeit des Amateurtonbandgerätes zurückreichen.

Nebenstehendes Farbbild

Mit einer Genauigkeit von Bruchteilen eines Tausendstelmmillimeters werden die Spalteinlagen aus Siliziummonoxid aufgedampft. Zur Steuerung des Aufdampfvorganges wird im Hochvakuum gleichzeitig ein schwingender Referenzquarz beschichtet; die Frequenzdrift der Oszillatorschaltung ist dabei ein direktes und sehr exaktes Mass für die Schichtdicke. Noch präziser ausgedrückt: 1 Hz Abweichung bedeutet eine Schichtdicke von 1 Å (Ångström), das sind 10^{-10} m oder 10^{-4} μ m.



Parallel zur Entwicklung der Tonbänder mit laufend verbesserten Eigenschaften haben auch die Entwickler von Tonköpfen neue Ideen verwirklicht. Dabei ging es im wesentlichen um die Verfeinerung der Fertigungsverfahren, um den Einsatz neuer Materialien und um die Beherrschung extremer Präzisions- und Zuverlässigkeitsanforderungen. Interessanterweise waren es dann die Kopfspezialisten, die mit ihren hochwertigen Bauelementen eine ganz neue Ära in der Tonaufnahmetechnik erst möglich machten, denn

mit der Entwicklung von Mehrspurköpfen wurde die heute kaum mehr wegzudenkende 4-, 8-, 16- und 24-Spur-Aufnahmetechnik lanciert. Diese Technik wird insbesondere in der modernen Schallplattenproduktion angewandt und ist mittlerweile bereits auch in Rundfunk- und Fernsehstudios vorgedrungen.

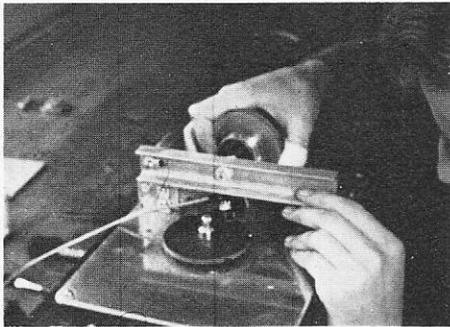
Der Autor ist Leiter der Abteilung Technische Information der Firma WILLI STUDER, Regensdorf ZH. Sämtliche Bilder sind Verkaufsaufnahmen, hergestellt vom Photographen von Studer-Revox, J. F. Mueller.

Von besonderem Interesse sind deshalb die heutigen Mehrspurtonköpfe; deren Konzeption hat denn auch die Entwicklung der Tonköpfe für Amateurgeräte massgeblich beeinflusst. Einen Einblick in beide Herstellerprozesse ermöglichen die Spezialabteilungen der Firma *Willi Studer*, wo die kontinuierliche Erfahrung auf diesem Gebiet bis in das Jahr 1949 zurückreicht. Hier werden Tonköpfe für höchste Ansprüche, sowohl für *REVOX*-Tonbandgeräte wie auch für die professionellen Magnettonmaschinen *Studer* gefertigt.

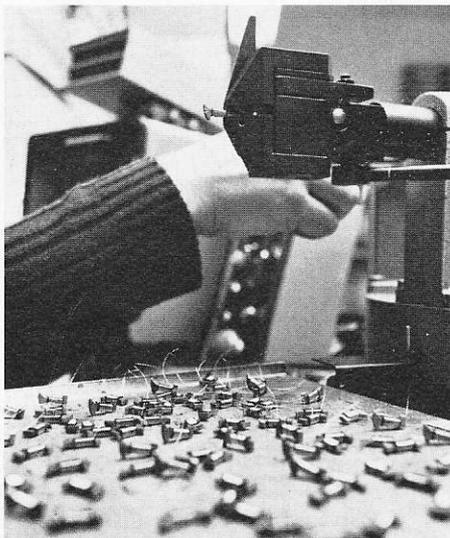
Ringkern-Metallköpfe

Das Prinzip der magnetischen Aufzeichnung darf als bekannt vorausgesetzt werden. Wenn wir uns direkt dem Tonkopf zu. Der Ringkopf mit ringförmig geschlossenen Kernpaketen, eingebettet in ein metallisches Gehäuse, stellt die üblichste der modernen Tonkopfvarianten dar. Die Kernpakete bestehen aus fein lamellierten Hälften, auf die Erregerspulen gewickelt sind. Zusammengefügt ergeben diese Hälften ein magnetisches System pro Spur; eines der Hauptmerkmale dieses Systems bildet der definierte Spalt an dem die beiden Kernhälften aneinanderstossen. Dieser Spalt stellt einen genau bemessenen magnetischen Widerstand dar, und in dieser magnetisch aktiven Zone bewegt sich das Tonband. Aus der Tatsache, dass die «Breite» dieses Spaltes nur wenige Tausendstelmmillimeter beträgt und die Toleranzen bei der Serienfertigung ausserordentlich eng bemessen sind, lässt sich ableiten, wie sorgfältig die entsprechenden Arbeitsvorgänge ausgelegt sein müssen.

Zur Anfangszeit der Tonkopferstellung für Amateurgeräte genügten einfachere Mittel, wemgleich die präzise Handarbeit auch damals schon ausschlaggebend war. (REVOX-Archivbild aus dem Jahre 1949, ab einem 16-mm-Film.)



Das winzig kleine Kernpaket in der Einspannvorrichtung des Transferwickelautomaten.

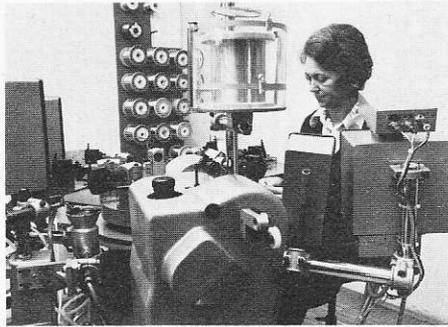


Auf der Doppel-Läppmaschine werden gleichzeitig 160 Kernpakete beidseitig exakt planparallel auf genaues Dickenmass geläppt. Die Zuverlässigkeit der Kopffertigung ist nur gewährleistet, wenn hier Toleranzen von wenigen Tausendstelmmillimetern eingehalten werden.

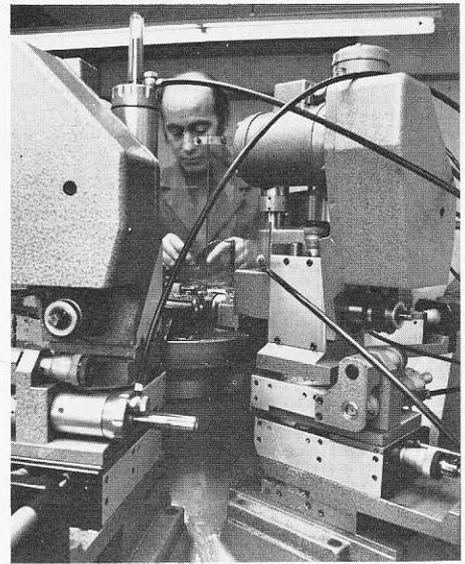
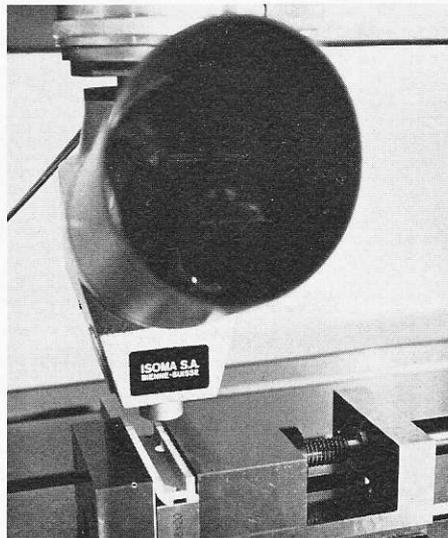
Der Kern der Sache

Die Kernbleche bestehen aus magnetisch weichem Material, das jedoch eine möglichst hohe Abriebfestigkeit aufweisen soll. Für professionelle Köpfe sind Legierungen wie *Alfenol* oder *Vacodur** bekannt geworden, neuerdings treten magnetisch hochwertige Kernmaterialien mit erhöhter Abriebfestigkeit für wesentlich längere Lebensdauer unge-

Die geläppten und mit einer Isolation versehenen Kernpakete erhalten auf diesem Transferwickelautomaten die feine Kernwicklung. Mit einer Taktzeit von 7 Sekunden werden je nach Koptyp Drahtstärken von 3...15 Hunderstelmmillimetern gewickelt, geträufelt und Drahtenden geschnitten. Der Wickelvorgang wird digital gesteuert und angezeigt.



Vermessung der komplizierten Metallgehäuseschalen auf der elektronischen Messmaschine Olivetti Inspector.



Auf diesem Transferautomaten erfolgt die Bearbeitung der Kernprofile. Bei einer Taktzeit von 11 Sekunden entstehen hier - pneumatisch gesteuert - Metallgehäusehälften für REVOX-Tonköpfe. Auf fünf Stationen fräst und bohrt der Automat die Kernprofile nicht nur rationell, sondern auch mit hoher Genauigkeit, denn die Toleranzen liegen hier im Bereich von einem Hunderstelmmillimeter.

ter der Bezeichnung *Recovac** in den Vordergrund; aus diesem hochlegierten Material bestehen beispielsweise die neuen *Revodur*-Tonköpfe von REVOX. Die dünnen Kernbleche werden feingestanz, wobei auf grösste Gratfreiheit zu achten ist, da allfällige Gräte das homogene Gefüge eines Kernpaketes stören würden. Solche Kernbleche durchlaufen einen exakt definierten Glühprozess, um die Konstanz der magnetischen Eigenschaften sicherzustellen, gleichzeitig entsteht dabei auch eine Oxidschicht, die als elektrische Isolation eine wichtige Funktion hat. Die geschichteten Kernbleche ergeben ein Kernpaket, das verklebt und im Ofen ausgehärtet wird. Weitere mechanische Bearbeitungen am Kernpaket erfordern grösste Vorsicht, da eine mechanische Deformation unweigerlich Veränderungen der magnetischen Eigenschaften nach sich ziehen müsste. So werden anschliessend diese verklebten Kernpakete auf die erforderliche Dicke sorgfältigst planparallel geläppt, damit sie sich mit sehr hoher Genauigkeit in die Metallfassungen einpassen lassen.

* VACODUR und RECOVAC sind geschützte Warenzeichen der VACUM SCHMELZE GmbH, HANAU (BRD).

Imprägnieren der Kernwicklungen mittels speziellem Dosiergerät.



Präzisionswickelmaschinen für dünne Drähte

Die mit einer elektrischen Isolation versehenen Kernpakete erhalten eine Wicklung, die je nach Kopffart und geforderter Impedanz aus Drahtstärken von 3...15 Hundertstelmillimetern bestehen. Modernste Transfer-Wickelautomaten besorgen das Bewickeln der sehr kleinen Kernpakete mit konstant hoher Zuverlässigkeit. Wie in der gesamten Kopffertigung muss insbesondere hier streng auf die Qualität geachtet werden, jeder Fertigungsschritt ist durch permanente Prüfung zu kontrollieren. Beim Fertigen der Kernpakete muss die Fehlerquote so niedrig wie nur möglich gehalten werden, denn unerkannte Schwächen können bei der späteren Montage zu Mehrspurköpfen verheerende Folgen zeitigen. Für einen 24-Spurkopf benötigt man 48 Kernhälften; mit nur einem defekten Kernteil wird der ganze Kopf unbrauchbar, das heisst, bei einer Fehlerquote von nur 2% wird es in der Praxis fraglich, ob die Serienfertigung von 24-Spur-Köpfen gelingt. Die Gesamtfehlerquote, die daneben noch viele weitere kritische Fertigungsstufen beinhaltet, muss demzufolge wesentlich niedriger liegen.

Das Gehäuse gibt dem Metallkopf den Namen

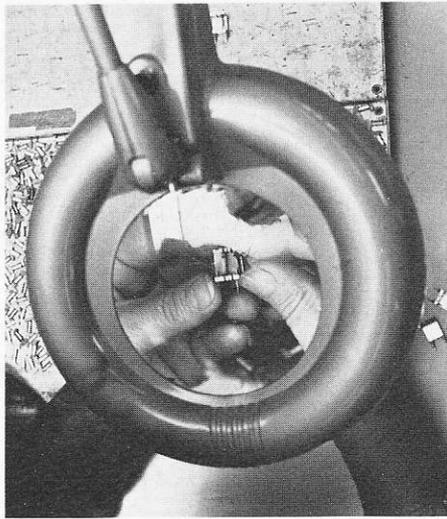
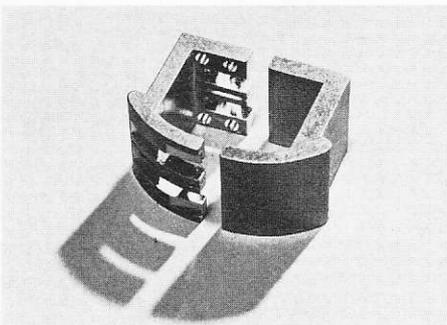
Ein moderner Tonkopf besitzt ein vollständig umschliessendes Metallgehäuse. Gegenüber der früher angewandten Kunststofftechnik besitzt die Metallfassung eine Reihe wichtiger Vorteile, die ursprünglich nur für professionelle Tonköpfe erschwinglich waren. Um diesen technischen Fortschritt - der eine wesentlich höhere Präzision und Datenkonstanz in der Kopffertigung brachte - für die grossen Serien der Amateurgeräte zu ermöglichen, war eine massive Investition in Form teurer Spezialmaschinen erforderlich.

Die Metallgehäuse bestehen aus zwei Schalen mit sehr präzise eingefrästen Nuten; bei Amateurköpfen werden diese in Profilmaterial eingearbeitet, Mehrspurkopfhälften für professionelle Anwendungen werden hingegen aus dem Vollen gefräst. Als Ausgangsmaterial dient aus technischen Gründen hochlegiertes Aluminium, dessen Abriebfestigkeit auf das verwendete Kernmaterial abgestimmt ist. Die mit Fertigungstoleranzen im Bereich von einem Hundertstelmillimeter bearbeiteten Schalen erhalten anschliessend eine Eloxalschicht.

Exakte Handarbeit ist entscheidend

Die Kopffherstellung ist ein Paradebeispiel für die Bedeutung der Handarbeit im Zusammenspiel mit exakter maschineller Bearbeitung, aber auch dafür, dass die Qualität des Endproduktes in direktem Zusammenhang mit der Qualität der Fertigung steht.

Kernpaketträger als Rohprofil und nach dem Verlassen der Transfermaschine.

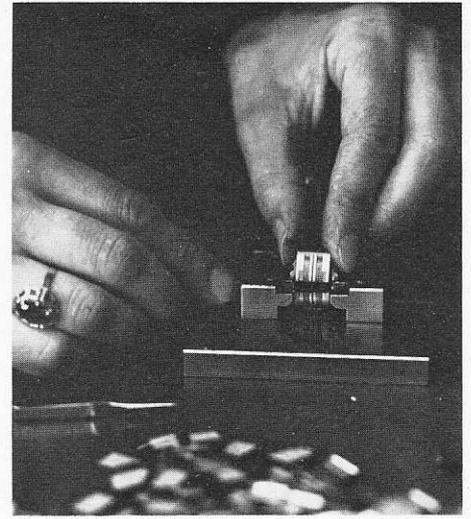


Unter der Lupe werden die Kernpakete in das Metallgehäuse eingefügt. Die ganze Tonkopffertigung wird charakterisiert durch den hohen Anteil feinsten Handarbeit.

Wenn es gilt, feinste Drähte von wenigen Hundertstelmillimetern mit der Pinzette zu befestigen und anschliessend zu löten, so sind wiederum ruhige, feine Frauenhände besonders geschätzt.

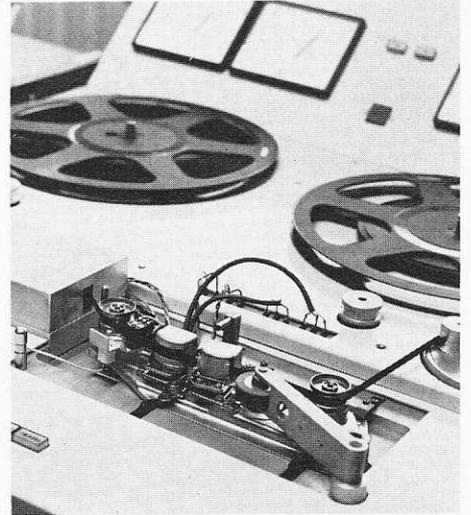


Die im Rohzustand fertigen Elemente, die Kernpakete und die Kerngehäusehälften, werden nun zusammengefügt. Unter grösster Sorgfalt passen ruhige und feine Frauenhände die einzelnen Kernpakete unter der Lupe in die gefrästen Nuten ein. Durch den definierten Anschlag im Metallgehäuse sind die einzelnen Pakete abschliessend mit einer Genauigkeit von $\frac{1}{100}$ mm eingepasst. Diese hohe Präzision ist erforderlich, weil insbesondere bei Mehrspurköpfen von der exakt identischen Spalttiefe nicht nur die Lebensdauer, sondern - bei Aufnahmeköpfen - auch der Frequenzgang und, was bei der Mehrspurtechnik besonders wichtig ist (für Aufnahme- und Wiedergabeköpfe), die Phasenlage mitbestimmt wird. Die solchermassen vorbereiteten rohen Kopfhälften wandern zur Aushärtung der Klebmittel wiederum in den Ofen. Der nächste Arbeitsgang hat die Bearbeitung der Spaltfläche zum Ziel. Damit die Spaltbreiten von wenigen Tausendstelmillimeter realisierbar sind, ist es notwendig, diese Flächen exakt plan und parallel zu bearbeiten. Dafür werden die Kernsegmente gleichzeitig in einer Läppmaschine auf Planheit und Oberflächengüte mit einer Rautiefe von $0,1 \mu\text{m}$ bearbeitet. Die Planlage der Läppfläche wird laufend überprüft, wobei die Genauigkeit indirekt nach der Lichtinterferenzmethode kontrolliert wird. Beim Zu-



Nach dem Einlegen der Spaltfolien werden die beiden Kopfhälften zusammengefügt und mechanisch arretiert.

Zur Höhen- und Azimuteinstellung von REVOX-Tonköpfen wird der fertig bestückte Kopfträger auf eine Spezialmaschine (modifiziertes A-80-Chassis) montiert und eingemessen.

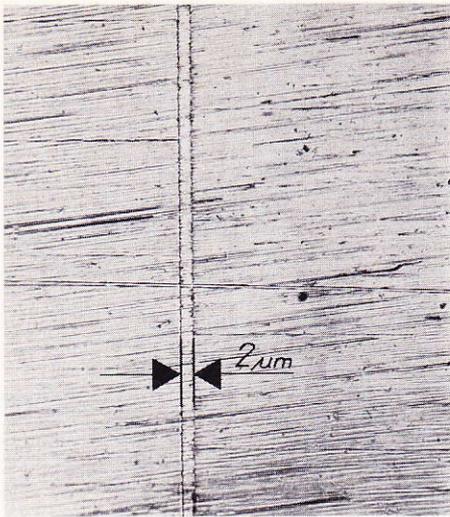


sammenbau der Kernhälften bedarf es wiederum ruhiger Hände für das Einlegen der hauchfeinen Spalteinlagen aus Berylliumbronze oder Tantal, die eine «Dicke» von nur $2 \mu\text{m}$ (Aufnahmeköpfe $8...10 \mu\text{m}$) aufweisen. Wird aus Versehen aus der Depotflüssigkeit, in der diese Folien schwimmen, eine Doppelfolie aufgelegt, ist der Kopf unbrauchbar!

Aufdampfen der Spalteinlage im Hochvakuum

Beim Zusammenbau von Mehrspurköpfen, die bis 24 Kanäle (Bandbreite 2") aufweisen können, ist es technisch nicht mehr sinnvoll, mit Spaltfolien zu arbeiten, ganz einfach deshalb, weil es praktisch unmöglich ist, derart kleine Folien zwischen die Spurabschirmung mit der geforderten Zuverlässigkeit einzulegen. Hier kommt eine technisch höchstwertige - jedoch entsprechend kostspielige - Methode zur Anwendung. Die Spalteinlage, in diesem Fall Siliziummonoxid, wird *aufgedampft*. Dazu gelangen die Kopfhälften in eine Hochvakuumaufdampfanlage (Vakuum 10^{-6} Torr). Die Pumpzeit kann dabei, abhängig von Gasresten im Klebmittel, im Kupferdraht und in der Isolation bis zu 1,5 Stunden betragen. Die eigentliche Aufdampfzeit beträgt hingegen nur wenige Minuten. Von höchster Bedeutung ist dabei die exakte Einhaltung der geforderten Aufdampfschicht-

FL 100 75



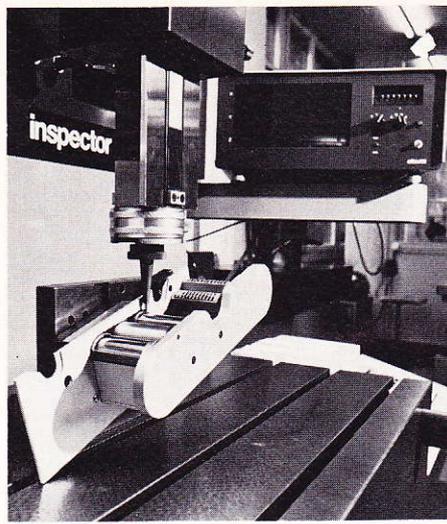
Kopfspiegelausschnitt bei 1000facher Vergrößerung. Unter dem Mikroskop wird die Spaltgeometrie, das heisst die Linearität und Beschaffenheit der Spaltkanten, geprüft. Das Bild gibt auch Aufschluss über die Übergangszonen zwischen den einzelnen Kernlamellen sowie über die Beschaffenheit der Kopfspiegeloberfläche.

Mit Hilfe eines Messmikroskopes werden hier die Tonköpfe eines Studer-4-Spur-1/2"-Kopfrägers so eingestellt, dass deren Spiegel, respektive Spaltpositionen, an der geometrisch richtigen Stelle liegen, damit das Tonband exakt tangential über den Spalt abläuft.



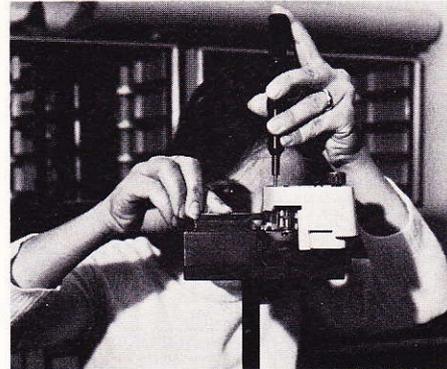
dicke, wobei die Grössenordnungen der Toleranzen nur *Bruchteile von Tausendstel millimetern* zulassen. Zur Kontrolle dieses Vorganges bedient man sich einer ausgeklügelten Methode. Gleichzeitig mit dem Bedampfen der Kopfhälften wird auch ein Quarzkristall, der sich innerhalb eines schwingenden Kreises befindet, mitbedampft. Hervorgerufen durch die dicker werdende Aufdampfschicht verändert sich die Resonanzfrequenz des Referenzquarzes, was eine exakte Steuerung der Schichtdicke zulässt. Die Nachkontrolle der Schichtdicke wird mit einer Messuhr (Auflösung 1/10000 mm) durchgeführt.

Sinnreiche Vorrichtungen, geschickte Hände und viel Know-how machen erst die präzise Serienfertigung von Tonköpfen und Kopfrägern möglich.



Die extremen Genauigkeitsforderungen, die insbesondere an professionelle Mehrspurköpfe gestellt werden, erfordern ebenso exakte Präzisionsmesseinrichtungen. Hier wird ein 24-Spur-Kopfräger auf einer elektronischen Präzisionsmessmaschine ausgemessen. Auflösung in allen drei Ebenen: 1 µm. Die Werte werden digital angezeigt und können gleichzeitig ausgedruckt werden. Für wiederkehrende Messreihen lässt sich die Anlage programmieren, wobei die Bezugspunkterfassung automatisch erfolgt und Positionierungsgenauigkeiten elektronisch kompensiert werden.

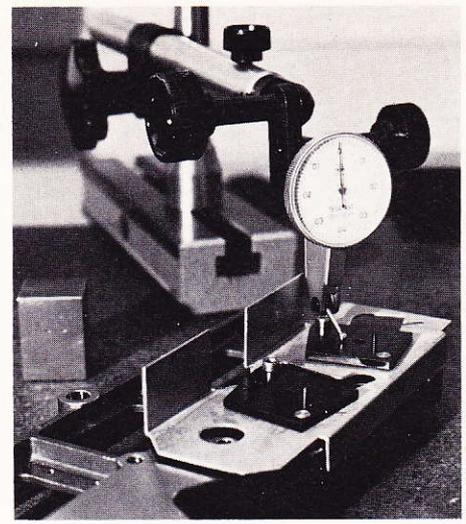
Visuelle Höhen- und Senkrechtereinstellung an einem STUDER-B-62-Kopfräger.



Beim Zusammenbau der Kopfhälften ist wiederum das Know-how entscheidend, denn es gilt, den auf Bruchteile eines Tausendstel millimeters exakt definierten Spalt unter keinen Umständen zu verformen, das heisst, auf eine Länge von 50 mm (2") darf keine messbare Veränderung auftreten! Die wichtigste Forderung, die an einen Mehrspurkopf gestellt wird, ist die Phasenlage der einzelnen Kanäle zueinander; diese hingegen hängt ganz direkt von der mechanischen Präzision und Stabilität des Spaltes und letztlich auch des Kopfrägers ab.

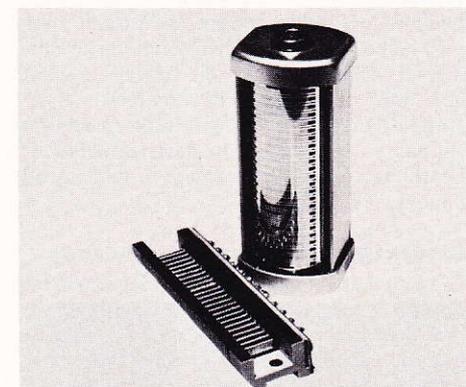
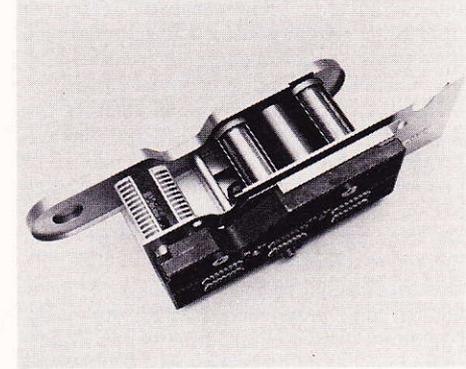
Die montierten Köpfe werden überschleift, wobei der Kopfspiegel, beispielsweise der

Zur Höhen- und Azimuteinstellung von REVOX-Tonköpfen wird der fertig bestückte Kopfräger auf eine Spezialmaschine (modifiziertes A-80-Chassis) montiert und eingemessen.



Als Trägereinheit für professionelle Mehrspurköpfe dient ein stabiler Präzisionsstahlguss. Die Höheneinstellung der Taulmetplatten erfolgt auf einer Richtplatte mit Messuhr. Toleranz der Einstellung: 1/100 mm.

Der komplette 24-Spur-Kopfräger für professionelle STU-DER-Studio-Tonbandmaschinen mit 2"-Band enthält (von links nach rechts) 2 Löschköpfe, Aufnahme- und Taktspurwiedergabekopf, Zwischenberuhigungsrolle und Wiedergabekopf auf einem massiven Stahlgussträger. Gewicht: 2,2 kg. Preis: rund 14 000 Franken (in Worten: vierzehntausend)!



Fertiger 24-Spur-Kopf für 2"-Band im Abschirmgehäuse und davor liegend eine Kopfplatte mit aufgedampfter Spalteinlage.

professionellen Tonköpfe, auf eine Oberflächengüte (Rautiefe) von weniger als ±0,1 µm bearbeitet wird.

Die arbeitsintensive Tonkopferstellung wird abgeschlossen durch eine Reihe von Kontrollen. Diese umfassen die Sichtkontrolle unter dem Mikroskop bei 1000facher Vergrößerung, wobei die Spaltbreite und -linearität geprüft werden. Weiter werden die einzelnen Systeme auf ihre mechanischen und elektrischen Toleranzen überprüft, und abschliessend wird jeder einzelne Kopf auf Spezialmaschinen über Band getestet.