



Neue Produktionsanlage für die Air-Motion-Transformer-Fertigung bei Mundorf

Dieter Michel

Der Kölner Audiokomponenten-Hersteller Mundorf gilt im Marktsegment hochwertiger Komponenten für den Frequenzweichenbau seit Jahrzehnten als *der* Industrielieferant, wenn es um beste Qualität geht – Mundorf-Spulen und -Kondensatoren gelten weltweit als Spitzenprodukte und werden sowohl in hochwertigen High-End-Audio und Studio-Lautsprechern, als auch in zahlreichen namhaften PA-Systemen verbaut (siehe auch Berichte in PROSOUND). Darüber hinaus entwickelt und fertigt Mundorf seit ca. 15 Jahren ebenso erfolgreich hochwertige elektroakustische Wandler: den Mundorf Air Motion Transformer (AMT). Bekanntester High-End-Anwender dürfte die Berliner Edelschmiede Burmester sein, die für ihre höchsten Ansprüche an Fertigungs- und Klangqualität bekannt ist. An dieser Stelle gilt unser Interesse allerdings eher den Varianten für den professionellen Einsatz: Die Mundorf ProAMT-Serie zählt nicht erst seit heute zu den seltenen Vertretern des magnetostatischen Wandlerprinzips, die die Ansprüche professioneller Beschallungssysteme hinsichtlich Belastbarkeit und maximalem Schalldruckpegel problemlos erfüllen. Nachdem man bei Mundorf die bauarttypischen Probleme des magnetostatischen Prinzips mit teilweise patentierten Verfahren löste, zieht heute eine zunehmende Anzahl von Herstellern den Mundorf ProAMT dem klassischen Druckkammer-Treiber vor. Mundorf konnte die Komponenten eines Air Motion Transformers, also Magnetstruktur und insbesondere die Folienmembran, in Stückzahlen von – je nach Typ – 500-1000 Stück im Manufakturbetrieb in engsten Toleranzen herstellen und plante als nächsten Schritt, die Fertigungsverfahren auf industrielle Produktionsprozesse umzustellen. So sollten deutlich höhere Stückzahlen möglich werden. Der folgende Artikel soll die Herausforderungen/Schwierigkeiten erläutern, die diese Umstellung, wie jedwedes Firmen-Wachstum, mit sich bringt.

Bei einem Besuch der neuen Fertigungsstätte in Hürth bei Köln erläuterte mir Geschäftsführer Raimund Mundorf, dass diese Umstellung auf eine industrielle Produktion kein Sonntagsspaziergang ist. Denn bei praktisch allen Prozessschritten muss man genau darauf achten, dass auch bei größeren Fertigungsladungen sichergestellt bleibt, dass alle Fertigungstoleranzen des Endproduktes innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte bleiben – ein Anspruch, den man oft nur durch Einsatz aufwändigster Technik erfüllen kann.

Um zunächst noch einmal kurz zu rekapitulieren: Ein Air Motion Transformer funktioniert nach einem ähnlichen Prinzip wie ein Magnetostat, hat aber gegenüber diesem einige Vorteile. Beim klassischen Magnetostaten strahlt eine Flachmembran den Schall direkt ab. Auf der isolierenden Membranfolie sind meist mehrere Leiterbahnen aufgebracht. Diese Membran befindet sich im Feld eines starken Permanentmagneten, dessen Feldlinien parallel zur Membranfläche verlaufen. Ein Stromfluss durch



Raimund Mundorf bei unserem Gespräch am Firmensitz in Köln

die Leiterbahnen bewirkt im Magnetfeld eine Kraft, die senkrecht sowohl zur Stromflussrichtung, als auch zu Richtung des Magnetfeldes wirkt, in diesem Fall also senkrecht zur Membranfläche. Dadurch wird die Membran ausgelenkt und kann so Schall abstrahlen.

Bei einem Air Motion Transformer gibt es die Komponenten Folienmembran, Leiterbahnen und Magnetfeld ebenfalls, die Geometrie ist aber eine andere, was unter anderem Vorteile beim Wirkungsgrad bringt. Die Membran ist wellenförmig aufgefaltet, und die Leiterbahnen verlaufen mäanderförmig so, dass sie jeweils auf den Flanken der Falten zu liegen kommen. Der Stromfluss verläuft so bei benachbarten Flanken, beziehungsweise Leiterbahnen, gerade entgegengesetzt. Die Magnetstruktur ist so konstruiert, dass die Feldlinien senkrecht auf dieser Membranstruktur stehen. Stromfluss durch die Leiterbahnen bewirkt nun ebenfalls eine Kraft senkrecht zu Stromflussrichtung und Magnetfeld. Durch die aufgefaltete Struktur der Membran und die Anordnung der Leiterbahnen bewirkt der Stromfluss, dass die Flanken der Membran aufeinander zu oder voneinander weg bewegt werden und so die Luft aus den Falten herausdrücken oder ansaugen. Auch hier werden also Druckunterschiede erzeugt, die letztendlich zu einer Schallabstrahlung führen. Im Gegensatz zur direkt abstrahlenden Membran ist die effektive Membranfläche aber größer, so dass sich letztendlich ein höherer Wirkungsgrad und ein höherer maximaler Schalldruckpegel ergibt, wie man ihn speziell für den Einsatz in der professionellen Beschallungstechnik braucht.

Im Gegensatz zu einem Kompressionstreiber kommt ein Air Motion Transformer ohne eine Druckkammer (Schnelletransformator) aus. Das hat den Vorteil, dass auch in der Nähe der Membran nicht so hohe Schalldrücke/Schallschnellen wie innerhalb eines Kompressionstreibers auftreten, die allein schon durch die nichtlinearen Eigenschaften des Mediums Luft bei höheren Pegeln Verzerrungen erzeugen können. Gleichzeitig ist die effektive Fläche der stromdurchflossenen Leiterbahnen größer als die der Schwingspule eines Kompressionstreibers, so

ISE 2019

Besuchen Sie uns auf der ISE 2019

05.02.–08.02.2019

Halle 7, Stand E-230



MONACOR-DT, praktisch zukunftsweisend ...

Audio-over-IP-Lösungen mit Dante®-Schnittstellen zu realisieren wird dank der DT-Serie der Marke MONACOR nun komfortabel und preislich äußerst attraktiv. Wir stellen Ihre Anforderung in den Mittelpunkt unserer Lösung.

Lassen Sie sich inspirieren von der Broschüre

Commercial Audio Solutions 2019.

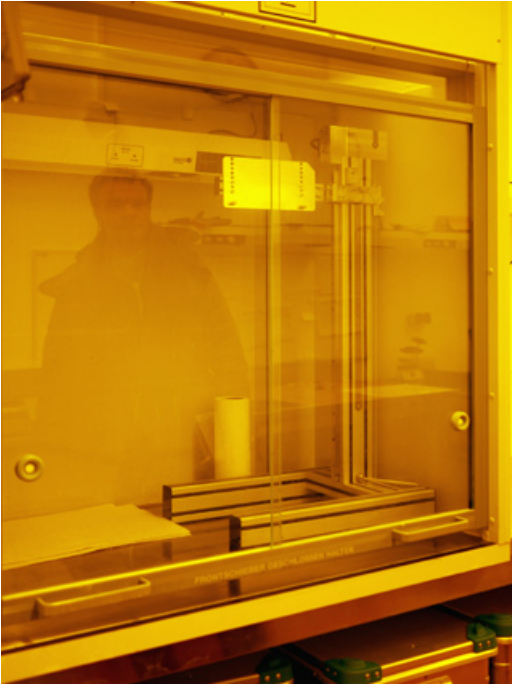
Einfach, kostenfrei und unverbindlich hier erhältlich:

www.monacor-international.de/service



MONACOR

www.monacor.com



Links: Vorrichtung zur Tauchbeschichtung der Membranfolie mit Fotoresist-Lack – im Bild ohne Küvette und Folie. Die beschichtete Folie wird in Wärmeschränken (rechts) getempert, die je Einschub einen eigenen Temperatursensor haben. Übrigens ist bei diesen und den nachfolgenden Fotos nicht etwa der Weißabgleich schiefgegangen – es werden vielmehr alle Arbeiten im Zusammenhang mit dem unentwickelten, UV-empfindlichen Fotolack in gelbem Licht durchgeführt, das keine kurzwelligen Anteile enthält, die die Lackschicht vorbelichten könnten.

dass es einfacher ist, die im Hochlastbetrieb entstehende Wärme abzuführen. De facto ist sogar eine Zwangskühlung durch einen Lüfter möglich, was aufgrund der engen Geometrie in einem Kompressionstreiber-Luftspalt sehr schwierig ist und meines Wissens bisher nur bei einem kommerziell erhältlichen System tatsächlich gemacht wurde und sich nicht durchgesetzt hat.

Eine Anwendung in der professionellen Beschallungstechnik, die sozusagen die natürliche Domäne von Air Motion Transformern

sein sollte, ist der Einsatz als Hochtonsystem für Line-Arrays. Hier muss der Lautsprecherentwickler ja mit einem gewissen Aufwand dafür sorgen, dass der von einer oder mehreren kreisflächen- beziehungsweise ringförmigen Treibermembranen erzeugte Schallfluss so auf eine rechteckige Schallaustrittsfläche transformiert wird, dass sich über die gesamte Austrittsfläche eine konphase Abstrahlung ergibt. Bei einem Air Motion Transformer ergibt sich diese konphase Abstrahlung quasi schon durch das Arbeitsprinzip des Wandlers, so dass

man als Entwickler an dieser Stelle eigentlich gar nichts mehr machen muss.

Bei der Entwicklung eines Air Motion Transformers für professionelle Ansprüche steckt der Teufel in allen möglichen Details. So hat natürlich die Geometrie der Magnetstruktur sowie die Größe und Form der Schallaustrittsöffnungen in der Polplatte Einfluss auf die Performance – ebenso wie Größe und Dämpfung des Volumens hinter der Membran. Dies alles soll aber nicht Gegenstand dieses Beitrags sein, weil die grundsätzlichen Probleme ja bereits gelöst sind.

Industrielle Fertigung

Die große Herausforderung beim Aufsetzen einer industriellen Fertigung besteht darin, alle Fertigungsschritte, die im Maßstab eines Manufakturbetriebs bereits funktionieren, so zu skalieren, dass auch größere Stückzahlen in konstanter Qualität zu fertigen sind. Was die Magnetstruktur betrifft, kann man das noch ganz gut outsourcen.

Die Membranproduktion ist allerdings die absolute Schlüsseltechnologie bei der AMT-Fertigung, und sie hat gleich-



Blick auf die Wärmeschränke



UV-Belichtungsgerät mit Vakuumsaugung der Belichtungsmaske

DAS HÖRERLEBNIS VERBESSERN

JETZT
ANMELDEN

Tauchen Sie ein in Pro Audio auf der ISE 2019

ISE ist das europäische Tor zur globalen AV Industrie – entdecken Sie Konzepte, Produkte und Lösungen, die die Zukunft von Pro Audio und Live Events prägen werden.

WWW.ISEUROPE.ORG

5-8 February 2019
Amsterdam, RAI, NL

Integrated
Systems
Europe

A JOINT VENTURE
PARTNERSHIP OF



CEDIA



Anlage zur Entwicklung und Wässerung der belichteten Folie

zeitig so viele qualitätsbeeinflussende Prozessparameter, dass eine Skalierung der Produktion ein zeit- und ressourcenaufwändiger Vorgang ist. Schließlich betritt man mit einer solchen Fertigung Neuland – es gibt keine fertig kaufbaren Produktionsanlagen und ebensowenig Dienstleister, bei denen man eine solche Fertigung outsourcen könnte.

Membranfertigung

Die Herstellung einer AMT Membran umfasst mehrere Prozessschritte. Die Membran selbst besteht aus einer hoch temperaturfesten Folie aus Kapton, einem Polyimid-Kunststoff, der im Dauerbetrieb thermisch bis 230°C (kurzzeitig bis 400°C)



Automatische Titrationsanlage zur Bestimmung der Ätzmittelkonzentration

stabil bleibt. Auf diesen Kaptonträger wird eine Aluminiumfolie aufgebracht, aus der in einem fotochemischen Verfahren später die Leiterbahnen freigelegt werden. Aluminium verwendet man hier, weil es mit einem Wert von 71,8 Ohm·kg/m² den niedrigsten massenspezifischen elektrischen Widerstand hat – die an der Luft nicht stabilen Erd-/Alkalimetalle einmal ausgenommen. Der Wert für Kupfer liegt mit 149 Ohm·kg/m² deutlich höher – Leiterbahnen aus Aluminium sind bei vorgegebener Geometrie und Nenn-Impedanz also wesentlich leichter als solche aus Kupfer. Solche Aluminium-Kapton-Folien kann man allerdings nicht fertig kaufen, so Raimund Mundorf, sondern muss sie speziell fertigen lassen.

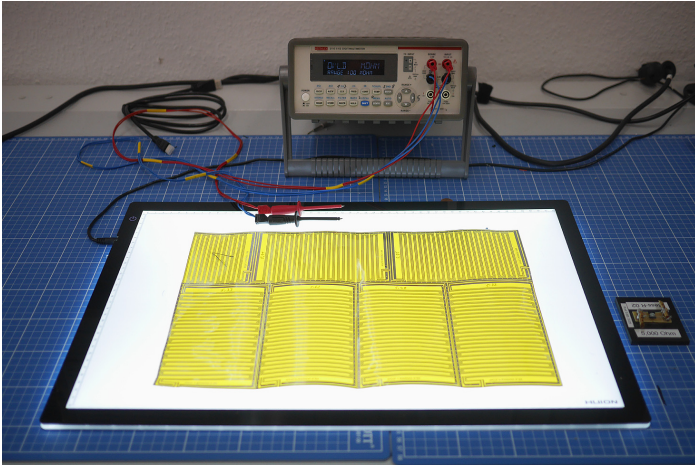
Dabei kommt es im Detail auch auf die Aluminiumlegierung an, denn die Leiterbahnen sind ja Teil des schwingungsfähigen Systems und werden als solche auch mechanisch belastet. Die Auslenkungen sind zwar bei einem Hochtöner nicht besonders groß, allerdings sind die Frequenzen relativ hoch, so dass man als Hersteller dem Thema Materialermüdung schon eine gewisse Aufmerksamkeit zukommen lassen sollte, speziell wenn es um einen viele Jahre dauernden Betrieb der Lautsprecherkompo-



Ätzanlage mit Abzug und Abluftfiltersystem



Steuerung der Zu- und Abluftanlage



Kontrolle und Dokumentation der fertig geätzten Membranen

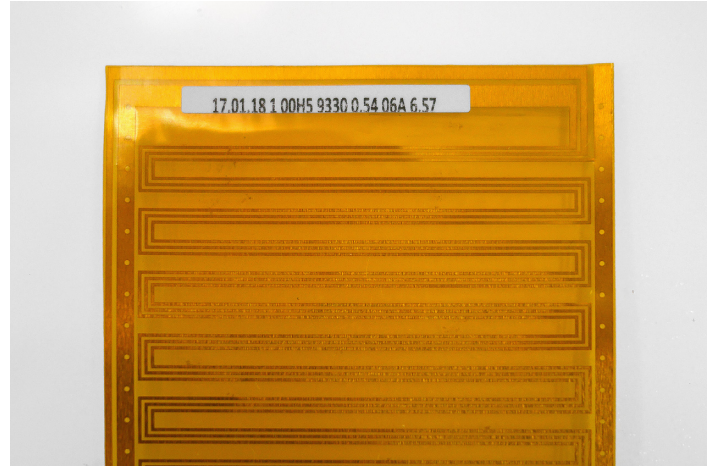
nente im professionellen Umfeld geht. Dass es Mundorf gelungen ist, diese Anforderungen an die Langlebigkeit der Membran zu erfüllen, zeigen Anwendungen wie z.B. in der Hausanlage der Royal Albert Hall. Hier sind Mundorf AMT seit 2012 störungsfrei im Einsatz. Aber auch im rauen Clubbetrieb, z.B. der Kulturfabrik Kofmehl in Solothurn, arbeiten Mundorf AMT seit nunmehr fast einem Jahrzehnt im täglichen Dauereinsatz ohne Ausfall.

Um Probleme durch Materialermüdung gar nicht erst entstehen zu lassen, kommen hier also nur spezielle Aluminiumlegierungen infrage, die aber natürlich auch auf dem Markt verfügbar sein müssen, um eingesetzt werden zu können.

Daher handhabt Mundorf es so, dass wenn am Weltmarkt gerade Chargen der benötigten Alu-Legierung mit besonders hoher Zugfestigkeit und Bruchfestigkeit verfügbar sind, der Dienstleister, mit dem man für die Erstellung der Alu- und Kaptonfolie zusammenarbeitet, gleich den Jahresbedarf ankauft und auf Lager legt. Dadurch kann man eine gleichbleibende Qualität der AMT-Membranen sicherstellen, schon was die Eigenschaften der Basismaterialien angeht.

Ein besonders wichtiger, aber auch kritischer Prozessschritt ist die Herstellung der Leiterbahnen. Dies erfolgt in einem Ätzverfahren aus der Halbleiterindustrie, das auch für die Herstellung von VLSI-Chips für integrierte Schaltungen eingesetzt werden könnte. Da es kein fertiges, mit Fotolack beschichtetes Aluminium-Kapton-Laminat mit den erforderlichen mechanischen Eigenschaften zu kaufen gibt, besteht der erste Prozessschritt darin, das Laminat mit Fotoresistlack zu beschichten.

Bei Mundorf geschieht dies in einem Tauchverfahren, das es erlaubt, auch größere Flächen mit konstanter Schichtdicke zu beschichten. Dieser Vorgang hält verschiedene Fallstricke bereit, die ein Fertigungsprozess mit dem Ziel konstanter Produktqualität in den Griff bekommen muss. Dazu gehört beispielsweise eine Tauchprozedur mit konstantem, vibrationsfreiem Transport des zu beschichtenden Mediums in Verbindung mit einer Kontrolle der Luftströmung an der noch feuchten Lackschicht, weil diese das Verdunstungsverhalten der Lösungsmittel im Lack und damit indirekt auch die beim Beschichtungsvorgang entstehende Dicke der Fotolackschicht beeinflusst. Eine



Jede Membran wird in einer Datenbank erfasst und bekommt ein individuelles Label, u.a. mit Seriennummer und gemessener Impedanz.

Entlüftung ist natürlich in jedem Fall erforderlich, weil es sich bei den verwendeten Lösungsmitteln um potentiell gesundheitsschädliche Substanzen handelt, die abgesaugt und in entsprechenden Filtersystemen im Abluftweg entfernt werden müssen.

Vor dem eigentlichen Ätzvorgang wird die Fotolackschicht in speziellen Trockenschränken getempert (pre oder soft bake), dabei wird der Rest-Lösungsmittelgehalt unter einen vorgegebenen Wert gesenkt. Dies verbessert die Lackhaftung am Substrat, verhindert die Fehlstellenbildung während der Belichtung und reduziert insbesondere auch den sogenannten Dunkelabtrag (dark erosion) während der Entwicklung, ein Vorgang bei dem unvermeidlich auch Lackschicht an Stellen teilweise reduziert wird, die eigentlich stehenbleiben sollen. Bei diesem Tempervorgang ist die Optimierung der Rest-Lösungsmitteldichte über die Tiefe der Lackschicht wichtig, deshalb muss die Temperatur und der Luftstrom über den zu tempernden Folien sehr genau geregelt werden. Die bei Mundorf eingesetzten Trockenschränke haben daher Temperatursensoren auf jeder einzelnen Einschubebene, so dass die optimalen Bedingungen für den Tempervorgang sehr genau eingehalten werden können. Vergleichbares gilt übrigens auch für das thermische Aushärten der Lackschicht nach Belichtung und Entwicklung.

Nach dem Tempern wird aber erst einmal die aktuelle Dicke der Fotoresist-Lackschicht nachgemessen, weil diese die nachfolgenden Prozessschritte beeinflusst, so beispielsweise die Auswirkungen des bereits erwähnten Dunkelabtrags und das Ausmaß der Unterätzung auf die im späteren Ätzprozess tatsächlich erzeugte Leiterbahnbreite. Tatsächlich geht die Prozesskontrolle bei Mundorf so weit, dass in Abhängigkeit von der tatsächlichen Fotolack-Schichtdicke verschiedene Belichtungsmasken mit geringfügig unterschiedlich breiten Leiterbahnen verwendet werden, damit die Leiterbahnbreite im späteren Endprodukt immer innerhalb der vorgegebenen Toleranzen liegt. Das ist wichtig, weil auf der Membran relativ viele Leiterbahnabschnitte nebeneinander liegen, die es auf eine erkleckliche Gesamtlänge bringen, so dass Abweichungen in der Breite sich durchaus merklich auf die Gesamtimpedanz auswir-



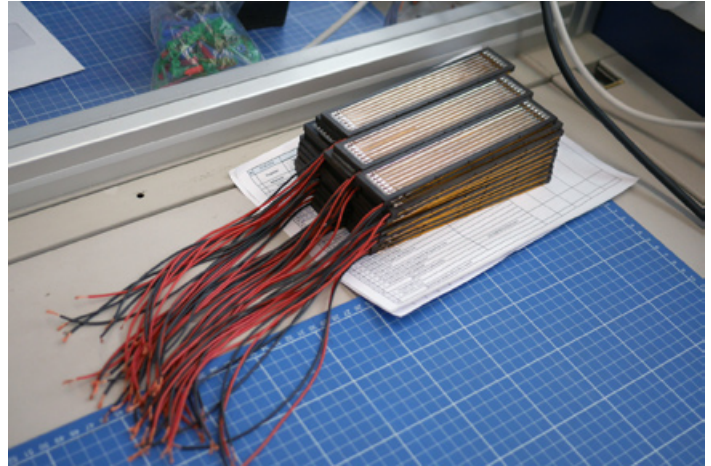
Verlöten der Anschlußleitungen mit der Aluminium-Leiterbahn

ken. Die wiederum ist natürlich ein wichtiger Designparameter für die Lautsprecherentwickler und muss deshalb eng toleriert sein. Die Rede ist da von einem Toleranzbereich von 2-3%, der nur mit viel Aufwand einzuhalten ist, weil viele Faktoren mit jeweils eigenen Toleranzen hier einen Einfluß haben.

Nach dem Belichten schließt sich die fotochemische Entwicklung und ein weiterer Aufenthalt im Wärmeschrank an. Hier wird die Fotolackschicht thermisch ausgehärtet, damit sie den aggressiven Ätzchemikalien standhalten kann. Auch hier ist die Temperaturkontrolle während des Auswertungsprozesses wichtig, damit das Unterätzen während des Ätzvorgangs einen immer gleich bleibenden Einfluss auf die endgültige Leiterbahnbreite hat.

Der eigentliche Ätzvorgang findet in einer Ätzanlage unter einem Abzug statt, damit die entstehenden Gase abgesaugt und einer Filterstufe zugeführt werden können, die die Abluft von schädlichen Substanzen reinigt. Um ein gleich bleibendes Ergebnis zu erzielen, wird das Ätzmittel – eine Kombination aus verschiedenen Substanzen – während des Ätzvorgangs umgewälzt. Da bei jedem Ätzvorgang ein Teil der Chemikalien umgesetzt wird, ermittelt man den tatsächlichen Gehalt des Ätzmittels an den verschiedenen chemischen Komponenten in einer automatischen Titrieranlage und ersetzt verbrauchte Chemikalienmengen, so dass man sicherstellen kann, dass jede Charge mit derselben Stärke/Konzentration der Ätzmittelkomponenten verarbeitet wird.

Nach dem Ätzvorgang wird der Fotolack von der Membranfolie entfernt und der fertige Nutzen, der gleich mehrere AMT-Membranen enthält, der Endkontrolle zugeführt. Hier wird jede Membran auf Ätzfehler und sonstige Problemstellen untersucht und insbesondere der Widerstand der im Ätzvorgang freigelegten Leiterbahnen überprüft. Jede einzelne Membran, die diesen Test besteht, bekommt ein Label mit Seriennummer und tatsächlich gemessener Impedanz. Die Informationen aus der Endkontrolle werden zusammen mit zahlreichen Informationen aus dem Herstellungsprozess in einer Datenbank abgelegt, so dass man eine lückenlose Qualitätsdokumentation bekommt und so bei späteren Qualitätskontrollen oder



Eine Charge fertiger AMT-Membranen mit Herstellungsprotokoll

Servicefällen immer nachverfolgen kann, ob Prozessparameter während der Herstellung oder Eigenschaften der Ausgangsmaterialien möglicherweise ursächlich für Parameterabweichungen oder Ausfälle im Endprodukt sein könnten.

... Kontrolle ist besser

Es stellt sich also heraus, dass bei einem vermeintlich einfachen Fertigungsvorgang – früher haben doch viele unserer elektronikaffinen Leser vermutlich auch schon mal selbst Leiterplatten geätzt – enorm viele Parameter das Endergebnis beeinflussen. Wenn man in einem industriellen Fertigungsprozess eine konsistente Produktqualität bei nennenswerten Stückzahlen abliefern will, muss man also auf der einen Seite alle Prozessparameter unter Kontrolle halten, die einen Einfluss auf die Qualität des Endproduktes haben – und das sind erstaunlich viele, so Raimund Mundorf bei unserem Besuch in Hürth. Auf der anderen Seite muss die Qualitätskontrolle des Endproduktes so beschaffen sein, dass Produktionsmängel erstens schnell erkannt werden und zweitens zuverlässig zu ihrer Ursache zurückverfolgt werden können, so dass man vermeiden kann, viel Ausschuss zu produzieren, bevor eine Fehlerquelle abgestellt wird.

Wie bereits eingangs bemerkt, ist es bei der AMT-Membranproduktion so, dass es sich hier nicht um einen Standard-Fertigungsprozess handelt, bei dem die Fertigungsschritte und die Auslegung der Fertigungsanlagen von vornherein bekannt ist. So eine Produktion aufzusetzen, ist also nicht allein eine Frage der Finanzierung von Fertigungsanlagen bekannten Zuschnitts, vielmehr handelt es sich auch hier um Entwicklungsarbeit, bei der die einzelnen Fertigungsschritte samt notwendiger Anlagen konzipiert, errichtet, getestet und gegebenenfalls modifiziert werden müssen, bis sich ein Fertigungsprozess für größere Stückzahlen in konsistenter und dokumentierter Produktqualität ergibt.

Arbeits- und Umweltschutz

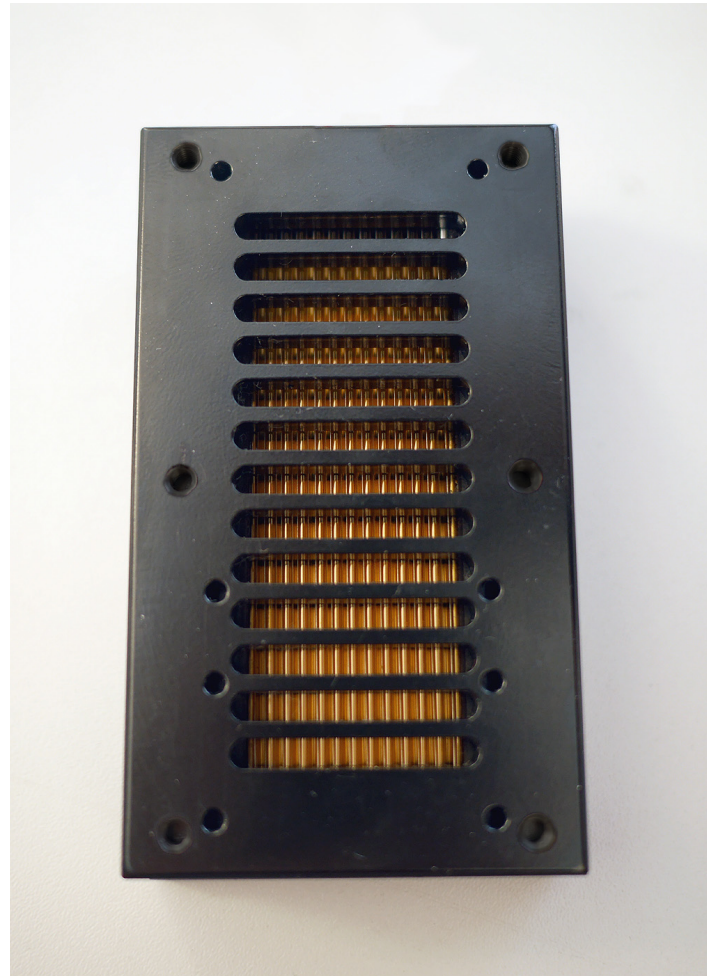
Darüber hinaus gilt es selbstverständlich auch, die einschlägigen Arbeits- und Umweltschutzvorschriften einzuhalten und

möglichst zu übertreffen, denn der Produktionsprozess nutzt und erzeugt ja auch potentiell gesundheitsschädliche Substanzen. Um all dem Rechnung zu tragen, muss auch die Produktionsstätte entsprechend ausgestaltet sein, was gegebenenfalls enorme Investitionen in die benötigte Infrastruktur, wie etwa Be- und Entlüftungsanlagen, Filtersysteme usw. erfordert. Für die Auslegung der hier relevanten Einrichtungen arbeitete man mit einem externen Büro für Arbeitssicherheit zusammen, weil auch hier Details eine große Bedeutung haben, mit denen man als Lautsprecherkomponentenhersteller normalerweise nicht viel Erfahrung hat. Beispielsweise muss die Regelung der Raumklimatisierung dafür sorgen, dass in den Räumen immer Überdruck herrscht, auch wenn in einem Abzug Luft abgesaugt wird. Das dient dem Zweck, zu verhindern, dass Abgase aus dem Abzug in den Raum dringen können, sondern immer aktiv in den Abzug gedrückt und dort abgesaugt werden. Die Raumklimatisierung muss also immer nachregeln, um trotz Druckverlust durch die Absaugung im Abzug den Rauminnen- druck aufrechtzuerhalten.

Nach längerer Suche, so Raimund Mundorf, fand man schließlich in einem Gewerbegebiet in Hürth bei Köln einen Standort, der zuvor von der Degussa und einem Chemielabor genutzt worden war und bereits über eine Be- und Entlüftungsanlage verfügte. Diese war zwar nicht direkt für den AMT-Produktionsprozess nutzbar, allerdings konnten einige Komponenten und die vorhandene Verrohrung sowie die Anbindung zur Heizanlage zwecks geregelt konstanter Zuluftzufuhr weiter genutzt werden. Für die erforderliche Steuerung und Regelung der Klimatechnik musste allein hier jedoch bereits ein gut sechsstelliger Betrag investiert werden.

Wer jemals einen industriellen Fertigungsprozess – ob nun in der Elektronikfertigung oder in der chemischen Industrie – aufgesetzt hat, wird sicherlich bestätigen können, dass so etwas nicht an ein paar Tagen erledigt ist, wenn man sicherstellen will, dass man alle Einflussgrößen im Griff hat, die die Qualität des Endprodukts beeinflussen können. Wenn es zusätzlich darum geht, den Herstellungsprozess für ein neues Produkt für einen industriellen Maßstab zu entwickeln, wird man feststellen, dass im Verlauf dieses Projektes verschiedene Schritte einen Trial-and-Error-Charakter haben werden, solange man Art und Ausmaß aller Einflussgrößen des hochskalierten Prozesses noch nicht komplett kennt und unter Kontrolle hat. Raimund Mundorf spricht in dem Zusammenhang übrigens eher von einem Technikumsmaßstab, was in der chemischen Industrie ein Zwischenschritt zwischen dem Labormaßstab und der großindustriellen Fertigung ist, um gut skalierbare Produktionsstätten zu entwickeln.

In dem Zusammenhang muss man sich aber vor Augen führen, dass praktisch alle Hersteller in unserer Branche, also der professionellen Beschallungstechnik, nach den Maßstäben beispielsweise der chemischen Industrie bestenfalls kleine mittelständische Betriebe sind. Will heißen: Eine Fertigung in einem sehr viel größeren Maßstab würde man erst dann brauchen,



Prototyp eines Mundorf AMT aus der umfangreichen AMT-Produktpalette, der mit einer Tiefe der Magnetstruktur von nur 21mm besonders flach baut. Er würde sich z.B. als Komponente von Lautsprechern für Flat-Panel-Displays eignen, vorausgesetzt, man setzt ebenfalls sehr flache Tiefmitteltöner ein.

wenn wirklich jeder Lautsprecher in der professionellen Beschallungstechnik mit einem Mundorf-AMT ausgestattet wäre. Die jetzige Anlage ist aber bereits so implementiert, dass eine weitere Hochskalierung ohne wesentliche Änderung der Prozessschritte möglich wäre.

Seit dem erfolgreichen Test der AMT-Produkte auch für den professionellen Einsatz ist also einige Zeit vergangen, die man bei Mundorf für die Implementierung des industriellen Produktionsprozesses verwendet hat. Mit dem jetzigen Fertigungsverfahren hat man nun einen Stand erreicht, der es erlaubt – je nach Membrangröße – bis zu 4.000-10.000 AMTs pro Monat (nach anstehender Revision der Ätzanlage sogar etwa doppelt so viele) zu fertigen.

Mundorf hat demzufolge in nennenswertem Umfang in die Skalierung des Produktionsprozesses und die erforderlichen Fertigungsanlagen investiert – Hut ab übrigens für diese Entscheidung und das damit verbundene Engagement – man darf also auf die weitere Entwicklung sehr gespannt sein.