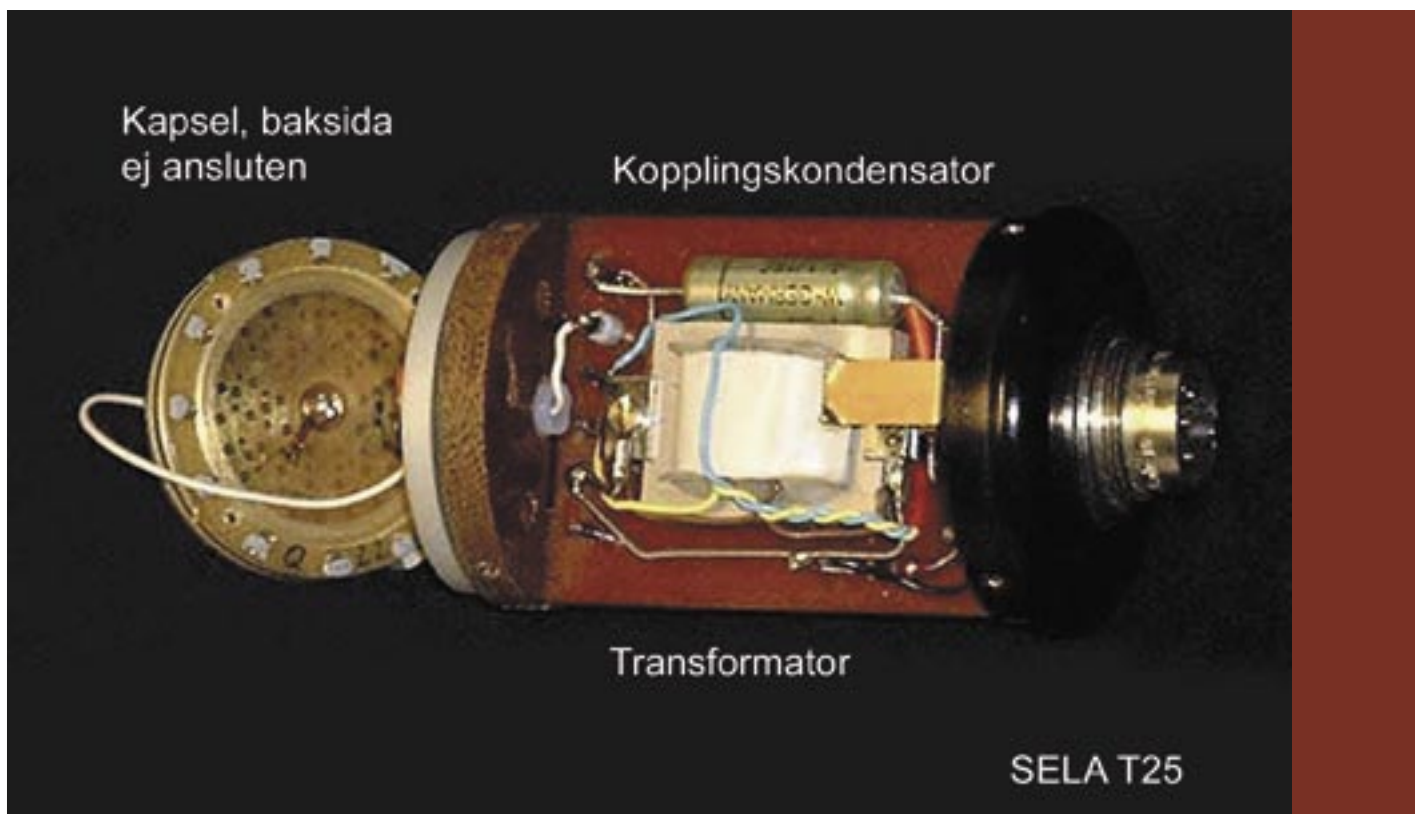


# Optimal kompromiss för bästa ljud



För att öka förståelsen för mikrofonernas möjligheter och begränsningar kan det vara intressant att veta något om mikrofonkonstruktörens vedermödor och känna till tankarna bakom verktygen du använder. Mikrofontekniken har haft relativt lång tid på sig för att utvecklas och kan betraktas som en mogen teknik som man fortsätter att vässa för att den skall motsvara eller vara bättre än övriga komponenter i ljudkedjan, vilket den faktiskt har varit under hela utvecklingsförloppet. I en kommande artikel tänker jag ge en historisk överblick över mikrofonteknikens historia. Här och nu kommer jag att begränsa mig till konstruktion av mikrofoner, och då enbart dynamiska och kondensatormikrofoner eftersom de är de vanligaste typerna i studiosammanhang.

Principen för den dynamiska mikrofonen är att en elektrisk ledare, vanligtvis en koppartråd eller, i en bandmikrofon, ett aluminiumband, rör sig i ett starkt magnetfält och på så sätt åstadkommer en elektrisk ström. Magnetfältet bör vara så starkt som möjligt. Det innebär stor vikt och volym på magneten, så här måste man göra en kompromiss mellan vikt och volym å ena sidan och magnetfältets styrka å andra sidan. Nästan all teknikkonstruktion innebär kompromisser, och man måste välja en optimal kompromiss. Bättre material kan medge att denna kompromiss blir mer gynnsam och att man kan vässa tekniken ett steg till. Exempel på detta är moderna magnetiska material som ger starkare magnetfält. Man kan då göra mikrofoner ännu mindre med bibehållen känslighet.



Den klassiska M-7-kapseln som konstruerades av Georg Neumann under tidigt 30-tal. Membranet är av guldbelagd PVC. Lägg märke till den smala limmade plastringen. Kapseln på bilden är från 1950-talet.

*"En av de första riktigt bra mikrofonerna med omställbar"*

## Grundkonstruktion

Den traditionella dynamiska mikrofonen har en spole av koppartråd upphängd i ett magnetfält, och fäst vid spolen sitter ett membran som sätts i rörelse av ljudets tryckvariationer. Den rörliga delen, membranet och spolen, har jämfört med en kondensatormikrofons membran stor massa. Magneten väger också, och detta sammantaget gör att det blir svårt att göra en dynamisk mikrofon liten och lätt, men samtidigt kan den göras robust och tålig. Konstruktionen påminner starkt om en högtalare eller hörlur. Det går faktiskt att använda en dynamisk mikrofon som hörlur och omvänt en högtalare som mikrofon, även om detta inte blir optimalt.

## Riktverkan

Den dynamiska mikrofonen kan ges riktverkan genom att man inför ytterligare öppningar bakom membranet med avstämde kanaler. Med rätt längd och därmed fördröjning kan man fasa ut ljud från icke önskat håll. Vi kommer tillbaka till principerna för riktverkan.

## Fjädrande upphängning inne i mikrofonen

För att isoleras mot handljud och stativbuller måste den aktiva delen av mikrofonen monteras fjädrande, skild från kåpan. Rundtagande mikrofoner är mindre känsliga för buller från höljet än riktade. Det finns en mängd andra metoder med luftkuddar och kanaler för att jämna ut vibrationer så att de inte påverkar membranet. Detta är speciellt viktigt för handmikrofoner för scenbruk.

## Puff- och vindskydd

Talar man nära en mikrofon kan "plosiva" ljud åstadkomma överstyrning i förstärkare och mikrofon. Dessutom kan vind ha samma effekt och åstadkomma dunsar och muller. Skyddsgallret kompletteras med ett tunt och tätt galler eller tyg i flera lager. Detta är viktigast på riktade mikrofoner som är känsligast för vind. Man skall också komma ihåg att dynamiska riktade mikrofoner kan ha öppningar och kanaler i bakändan där vind kan komma åt och åstadkomma vindbrus. Det yttre skyddsgallret är det som skyddar mot mekanisk åverkan och stötar.

## Kondensatormikrofonen

Kondensatormikrofonen bygger på en helt annan princip. Dess membran är mycket tunt och lätt och gör det möjligt att bygga mikrofoner med god bandbredd för jämn och linjär återgivning. Som vanligt finns kompromisser och optimeringar att göra. Vilka beror på mikrofonens användningsområde och hur mycket den får kosta.

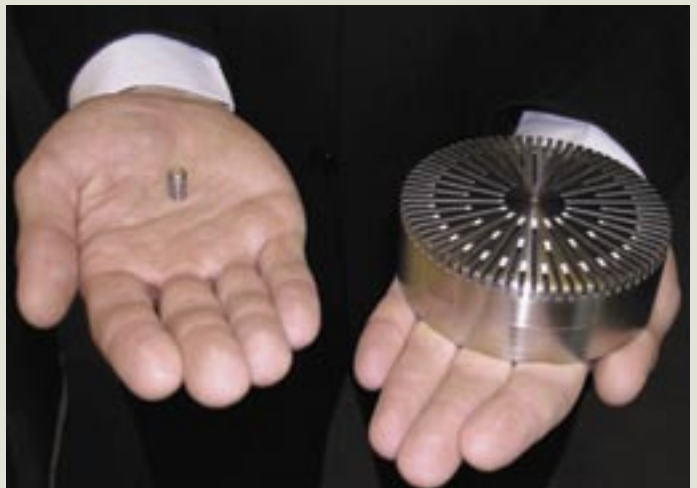
Kapseln har störst betydelse för hur en kondensatormikrofon låter. Utformningen av kapselns närmaste omgivning, det vill säga kapselhållaren och skyddsgallret är viktigt ihop med följande tre viktiga faktorer.

- Mikrofonkroppens storlek, som genom diffraktion påverkar frekvensgången.

- Elektroniken i kondensatormikrofonen: är det halvledarelektronik eller rör?
- Transformatorn, om sådan finns på utgången.

## Stor eller liten mikrofonkapsel?

Skall mikrofonkapseln vara stor eller liten? Det är en kompromiss mellan önskemål om lågt brus och stor bandbredd. Det stora membranet har hög känslighet och därmed också lågt brus, men begränsad bandbredd. Den lilla har stort frekvensomfång men högt brus.

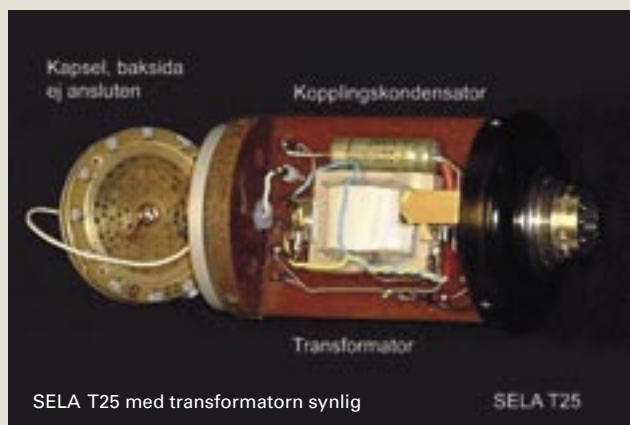


Det danska företaget GRAS tillverkar mätmikrofoner. Här visas två extremer: Till vänster en 6 mm-kapsel och till höger en 100 mm-kapsel. Den lilla kapseln klarar frekvensområdet 20 Hz till 100 kHz, alltså långt över vad ett normalt öra hör. Nackdelen är en låg känslighet och därmed högt brus. Den stora mikrofonen har frekvensområdet 0,5 Hz till 2 kHz, vilket inte är användbart för studioändamål, men däremot för speciella mätningar. Den har också låg brusnivå.

Med hjälp av ljudmätningar går det att åstadkomma andra optimeringar när man tillverkar studiomikrofoner. När det gäller studiomikrofoner har storlekar mellan 12 och 25 mm blivit en god kompromiss mellan brus och bandbredd. Frekvensomfånget begränsas till stor del av storleken på mikrofonmembranet relaterat till ljudvåglängden. Den begränsningen ligger för 25-millimeters studiokapslar runt 10 kHz, och därefter återges en halv oktav till. I normalfallet får man sålunda en frekvensgång upp till 15 kHz där nivån fallit till -3 dB. Över 10 kHz är det vanligt med ojämnheter i frekvensgången som korrigeras med små kaviteter bakom membranet (se bild 11).

Brusnivåerna hos moderna mikrofoner med 25 mm-kapslar ligger numera ofta under 10 dB. Den vanligaste storleken på membran för små studiomikrofoner är 12 mm. Då blir begränsningen 20 kHz, vilket innebär en mycket god och jämn frekvensgång i det hörbara området. Brusnivån för denna typ av mikrofon ligger cirka 6 dB högre än för den mikrofon som har en 25 mm-kapsel. Det finns tillverkare som kombinerat stor- och småmembranskapslar i en och samma

# Optimal kompromiss för bästa ljud



mikrofon för att få både lågt brus och jämn frekvensgång i diskanten. Ett sådant fabrikat är japanska Sanken.

## Skyddsgallret

Skyddsgallret har tre viktiga funktioner:

- Det skyddar mot mekanisk överkan på kapseln.
- Det skyddar mot elektriska fält – det fungerar som en Faradays bur.
- Det skyddar mot vind och luftstötter.

Ur akustisk synpunkt vore det idealiska att inte ha något skyddsgaller alls, eftersom ju tunnare och genomsläppligare desto bättre, men det kommer i konflikt med punkterna ovan. Så vanligen innebär det ett kompromissande, och det läggs ner mycken möda på att konstruera skyddsgallret. Man gör mätningar och ändringar och åter nya mätningar för att finna den optimala utformningen.

## Mikrofonkroppen

Giraff är bättre än elefant, det gäller även i mikrofonvärlden.

## MIKROTEKNIK

Mikrofonkonstruktion omfattar flera teknikområden som elektronik, kemi, akustik och finmekanik. När man bygger mikrofoner arbetar man med små dimensioner och därför krävs hög precision, speciellt vid konstruktion av mikrofonkapseln som är den viktigaste delen. För att förstå vilka dimensioner man arbetar med när man bygger kapslar till kondensatormikrofoner är följande siffror intressanta som exempel:  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ . • Ett hårstrå är  $70 \mu\text{m}$  tjockt. • Exempel på membran tjocklekar: Polyester:  $5 \mu\text{m}$ , Stål:  $1 \mu\text{m}$  (B&K) Nickel:  $0,7 \mu\text{m}$  (Gefell) • Avstånd till bakplattan:  $20 \mu\text{m}$  • Membranets amplitud vid 14 dB:  $10^{-12} \text{ m}$  • Membranets amplitud vid 94 dB:  $10^{-8} \text{ m}$  • Membranets amplitud vid 134dB:  $10^{-6} \text{ m}$  (=  $1 \mu\text{m}$ ) • Storlek på en 1/2"-kapsel: 12 mm För att förstå dessa dimensioner kan man göra tankeexperimentet att multiplicera alla fysiska dimensioner med 1 miljon. Kapseln blir då 12 km stor. Hårstrået blir 70 m tjockt. Avståndet mellan membran och bakplattan blir 20 m. Polyestermembranet blir 5 m tjockt Amplituden vid 94 dB blir endast 10 mm Detta beskriver de mikroskopiska rörelser som mikrofonmembranet gör vid normala ljudnivåer och därmed hur stora kraven är på tillverkningsprecision och renhet i tillverkningsprocessen.

En stor kropp nära membranet påverkar frekvensgången drastiskt på grund av diffraktion. Därför är det lättare att få rak frekvensgång i en liten mikrofon. Kan inte mikrofonen göras liten så är det bättre att låta mikrofonen få en lång hals så att kapseln kan fungera i ett ostört ljudfält.

## Elektroniken

Elektroniken i en kondensatormikrofon fyller främst funktionen som impedansomvandlare från miljoner ohm till några hundra ohm. Rör lämpar sig väl med sin höga ingångsimpedans, men de kräver både anodspänning och glödspänning. Vidare är livslängden på rör begränsad: mellan 1 000 och 10 000 timmar i bästa fall. Lämpliga rör är svåra att anskaffa. Rör har också ofta en oönskad egenmikrofoni. Röret AC701k, som tillverkades av Telefunken från mitten av 50-talet till slutet av 60-talet, var specialkonstruerat för mikrofonändamål. Bokstaven "A" står för 4 volts glödspänning och "C" betyder att det är en triod. Bokstaven "k" står för "klingarm", tyskans ord för låg mikrofoni.

Insidan av den svenska mikrofonen SELAT25 med Neumannkapseln KK47.



SELA25 med röret AC701k synligt.



MM10 från Neumann Gefell, en mätmikrofon

*"Nästan all teknikkonstruktion innebär kompromisser, och man måste välja en optimal kompromiss."*

# En kompromiss för bästa ljud

I halvledarmikrofoner är oftast det första förstärkarsteget en fälteffekttransistor som också har lämpligt hög inimpedans, gärna efterföljt av ytterligare en eller två transistorer. Denna lösning är billigare och mycket driftsäkrare och har synnerligen lång livslängd. Hör man någon skillnad mellan rör och halvledare? Vissa hävdar det, men det är mycket små skillnader. Jag anser att halvledarna är den driftsäkraste och modernaste lösningen. I halvledarmikrofoner får man ibland ta till likspänningsomvandlare för att få en tillräckligt hög polarisationsspänning på mikrofonkapseln, kanske 80 volt genom att omvandla den standardiserade 48-volts fantomspänningen. Högre spänning ger bättre känslighet och bättre överstyrningsreserv.

## Transformatorn

Rörbestyckade kondensatormikrofoner har en transformator på utgången. Den är betydelsefull för ljudkvaliteten. En större transformator av god kvalitet är önskvärd; det finns mycket att vinna med en rätt dimensionerad transformator. Det finns också halvledarbestyckade mikrofoner med transformator på utgången men de har vanligtvis transformatorlös balanserad utgång.

SELA T25 Ojämnheter i frekvensgången korrigeras med små kaviteter bakom membranet.



## Riktverkan

Som jag nämnde i den inledande artikeln i Monitor 7/8-2006 så åstadkoms riktverkan genom att man på olika sätt kombinerar de två komponenterna rundtagande och åtta. Med dessa två kombinerade går det att åstadkomma alla karaktärer däremellan. En av de första riktigt bra mikrofonerna med omställbar riktverkan kom redan på 1930-talet: Western Electric 639B. Det kommer mer om den i den fjärde artikeln om historiska mikrofoner. Principen för den är en rundtagande mikrofon och en bandmikrofon med åttakaraktär i samma kåpa. I mikrofonen blandar man ljud från dessa två och åstadkommer kula, bred kardioid, normal kardioid, hyperkardioid och åtta.

Riktverkan hos kondensatormikrofoner åstadkoms med hjälp av två membran eller två kapslar som placeras rygg mot rygg. Riktverkan av första ordningen får man genom att kombinera fram- och baksida på följande sätt: Åtta: fram- och baksida i motfas. Rundtagande: fram- och baksida i fas och för karaktärsticker däremellan kombinationer av dessa extremer



En Western Electric 639B utan övre delen av skyddskåpan. Nederst syns det blågröna membranet på den rundtagande mikrofonen och ovanför syns det veckade aluminiumbandet i bandmikrofonen.

Tekniken går ut på att man varierar polarisationsspänningen på respektive mikrofonhalva, antingen med en omkopplare på mikrofonen eller, som hos många rörmikrofoner, på nättagregatet.

En annan variant på detta tema kom Rune Rosander, Pearl Mikrofoner, med i mitten av 80-talet när han byggde en mikrofon med separata förstärkare för fram- och baksidan av mikrofonkapseln. Finessen med detta är att man kan göra variationer av upptagningskaraktären i mixerbordet eller rentav i efterarbetet efter att man spelat in materialet .

Rektangulär Pearl-kapsel.

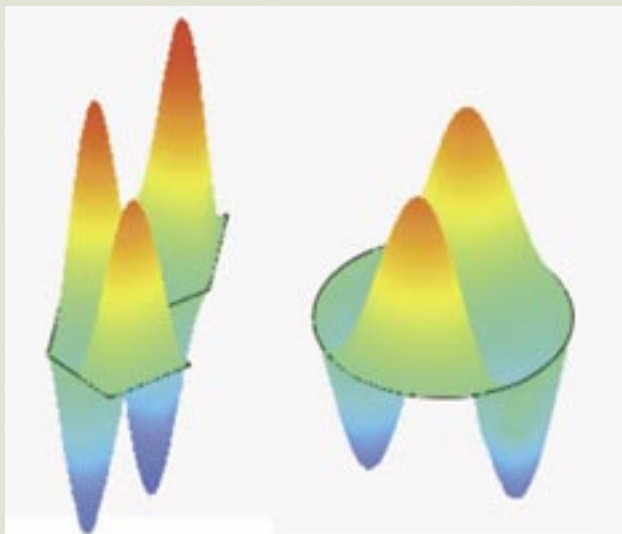


## Membranformer

De allra flesta mikrofonmembran är runda, men man har även prövat andra former. En av de första mikrofontillverkarna som testade en annan form var svenska Pearl som i början av 60-talet kom med en rektangulär kapsel. Den tillverkas fortfarande och har en mycket jämn frekvensgång trots den stora membranytan. En ännu mer extrem form hittar man i Pearls nya mikrofon ELM C, nyligen designad av Bernt Malmkvist. Kapseln har ett längd/bredd-förhållande som är 1:7 och ytan är 30 procent större än i en vanlig 25 mm-kapsel. Det ger den hög känslighet, lågt brus och en unikt jämn frekvensgång i diskanten.

## Summering

Mikrofondesign innebär långa utvecklingstider, och många prototyper måste tillverkas. Dessutom krävs år och månader i mättrummet. För att vinna tid tar man idag datorkraft till hjälp och man kan också analysera membranrörelser med dopplrelaserterknik.



En dator kan användas för att simulera membranrörelser och analyser görs med dopplrelaserterknik. Här är några bilder från en sådan analys.

Många frågar efter digitala mikrofoner, och de kommer säkert på bred front i framtiden, men ännu kan analog teknik åstadkomma mer dynamik än den digitala – ett exempel är Microtech Gefell M930 med sina 135 dB. Visst vore det mycket praktiskt med en högpresterande USB-mikrofon, och vi kan bara gissa vad utvecklingsavdelningarna hos mikrofontillverkarna har på sina agenda.

Artikelförfattaren är verksam som musiktekniker och föreläsare i ljudteknik och kan kontaktas via e-post: [hakan.lindberg@mikrofonen.se](mailto:hakan.lindberg@mikrofonen.se)

## Hur åstadkommer man en någorlunda hos en dynamisk mikrofon?

### Steg 1 – Jämna ut frekvensgången

Tag som exempel en enkel rundtagande dynamisk mikrofon. Man kallar den också för tryckmikrofon. Vi vet att en massa som är upphängd i en fjäder strävar efter att svänga bäst vid en viss frekvens. Det gäller också membranet i en dynamisk mikrofon. Typiskt för en dynamisk mikrofon är en frekvensgång som har en skarp topp vid resonansfrekvensen för systemet. Den låter med andra ord smalt och spetsigt vid en frekvens – med andra ord inte så användbar. För att hålla ner denna spetsighet är det vanligt att man för in ett akustiskt motstånd. Man kan då trycka ner denna spets och få en lite rakare frekvensgång. Det akustiska motståndet i en mikrofon är ofta en bit filt eller annan luftgenomsläpplig fiber.

Jämför detta med fjädringen på en bil utan stötdämpare eller med dåliga sådana, som egentligen borde heta resonansdämpare. Bilens kaross vill gunga mycket vid en viss frekvens beroende på bilens vikt och fjädringens styvhet. Med ett mekaniskt motstånd, stötdämparen, motverkas denna tydliga resonans; bilens tendens att gunga bara vid en frekvens motverkas och bilen blir behagligare och säkrare att åka i. Man får alltså en rakare frekvensgång, men samtidigt minskas mikrofonens känslighet. Detta blir en ny kompromiss. Men vi har i alla fall fått en mikrofon med hyggliga prestanda som duger för tal i enklare sammanhang. Återgivningen av låga frekvenser är inte den bästa, men det är ändå inte nödvändigt för tal. Diskantåtergivningen kan också förbättras.

### Steg 2 – Förbättra basåtergivningen

En bra metod för att förbättra återgivningen av låga frekvenser är att lägga till ett basreflexrör bakom filt-dämpningen. Rätt dimensionerat kan detta förbättra frekvenskurvan i lågfrekvensregistret. Röret mynnar ofta i bakre delen av mikrofonen

### Steg 3 – Förbättra övre mellanregistret

Den fysiska dimensionen av mikrofonen har betydelse, eftersom det sker en tryckökning vid vissa frekvenser beroende på mikrofonens storlek. Ju större mikrofon, desto lägre frekvens. Detta kan man utnyttja genom att välja lämplig storlek på mikrofonen. Frekvenskurvan påverkas, och då främst i övre mellanregistret där dimensioner omkring några centimeter är aktuella

### Steg 4 – Diskantåtergivning

Genom att montera ett kort rör framför membranet kan man införa en resonans som rätt avstämd kan ge mikrofonen den förstärkning i diskanten som krävs för en rakare frekvensgång. Med de beskrivna åtgärderna kan man få en ganska jämn frekvensgång mellan 40 Hz och 15 000 Hz med en dynamisk mikrofon.

Av ovanstående framgår att konstruktionsarbetet är komplext och fordrar både beräkningar och praktiska mätningar för att verifiera förbättringar. Man söker hela tiden efter optimala kompromisser mellan prestanda, materialval och tillverkningsmetoder. Det är också viktigt att man kan tillverka många mikrofoner med en jämn kvalitet till en rimlig kostnad.