



## Die MKH-Story

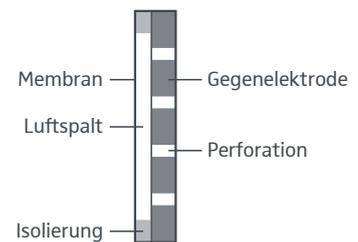
Manfred Hibbing

Die professionellen Kondensatormikrofone von Sennheiser mit der Typbezeichnung „MKH“ arbeiten nach dem Hochfrequenzprinzip, sind jedoch keine drahtlosen Mikrofone. Das ungewöhnliche Funktionsprinzip sieht man ihnen äußerlich nicht an, aber innerlich unterscheiden sie sich grundlegend von anderen Kondensatormikrofonen. Diese „inneren Werte“ verleihen den MKHs besondere Eigenschaften. Warum das so ist und welche technische Philosophie dahinter steht, soll im Folgenden aus der Sicht des Entwicklers dargestellt werden.

### Hochfrequenz löst ein Problem

Als Ende der 50er Jahre die Umstellung von Röhren- auf Transistortechnik begann, stand dieser Wechsel auch bei den Kondensatormikrofonen zur Debatte. Als Vorteile sah man den geringeren Platzbedarf, den Fortfall der Röhrenheizung und die niedrige Betriebsspannung an. Die Mikrofonkabel konnten einfacher werden und Batteriebetrieb wäre auch möglich. Leider gab es aber ein grundsätzliches Problem: Der direkte Ersatz der Röhre durch den Transistor war nicht möglich, weil dessen niedriger Eingangswiderstand die extrem hochohmige Kondensatorkapsel zu sehr belastet hätte. Um den Transistor optimal ansteuern zu können, musste die Impedanz der Kapsel daher drastisch verringert werden.

Die elektrische Impedanz einer Kondensatorkapsel mit 40 pF Kapazität nimmt von 200 M $\Omega$  bei 20 Hz bis auf 200 k $\Omega$  bei 20 kHz ab, sie verringert sich also mit steigender Frequenz. Im Hochfrequenzbereich, beispielsweise bei 10 MHz, beträgt die Kapselimpedanz nur noch etwa 400  $\Omega$ , ein günstiger Wert für die Ansteuerung von Transistoren. Das war der Schlüssel zur Lösung des Problems. Die Mikrofonhersteller begannen deshalb mit Hochfrequenzschaltungen zu experimentieren. Als aber einige Jahre später die ersten Feldeffekttransistoren (FET) mit ausreichend hohen Eingangswiderständen zur Verfügung standen, deren Eigenschaften denen der Röhren sehr ähnlich waren, verabschiedeten sich alle Mikrofonfirmen – mit einer Ausnahme – wieder von der Hochfrequenztechnik. Sennheiser hatte zu diesem Zeitpunkt bereits die entscheidenden Schwierigkeiten überwunden, die mit dieser Technik verbunden waren. Als Newcomer auf dem Gebiet der Kondensatormikrofone war man noch nicht auf bestimmte technische Konzepte festgelegt, sondern konnte bei der Optimierung dieser Technologie neue Wege gehen.



#### Aufbau des kapazitiven Wandlers

Die Membran bildet zusammen mit der Gegenelektrode einen Kondensator, dessen Kapazität infolge der Membranbewegung verändert wird. Die Perforation der Gegenelektrode ermöglicht das „Atmen“ der Kapsel.

Wie funktioniert nun das Hochfrequenzverfahren? Das Prinzip ist einfach: Der Schall lenkt die Membran der Kondensatorkapsel aus und verändert dadurch die Kapazität zwischen der Membran und der dicht benachbarten Gegenelektrode. Anders als beim Niederfrequenzverfahren werden die Kapazitätsänderungen nicht direkt in Tonfrequenzsignale umgewandelt, sondern sie modulieren zunächst ein Hochfrequenzsignal, das von einem Oszillator im Mikrofon erzeugt wird. Das modulierte Signal wird noch im Mikrofon wieder demoduliert und man gewinnt auf diese Weise ebenfalls ein Tonfrequenzsignal, aber mit einer so niedrigen Quellimpedanz, dass damit problemlos ein Transistorverstärker angesteuert werden kann. Das Hochfrequenz-Kondensatormikrofon enthält gewissermaßen einen Sender und einen Empfänger, die direkt miteinander gekoppelt sind. Die Hochfrequenz bleibt im Innern des Mikrofons, auf die Leitung gelangt nur das Tonfrequenzsignal, wie bei anderen Mikrofonen auch.

Grundsätzlich kann Hochfrequenz in unterschiedlicher Weise moduliert werden. Naheliegender wäre Frequenzmodulation, weil man mit der Kondensatorkapsel und einer Spule den Schwingkreis eines Oszillators aufbauen und mit der Kapselkapazität direkt die Oszillatorfrequenz variieren könnte. Sennheiser wählte aber aus technologischen Gründen die damit verwandte Phasenmodulation, weil sie den Vorteil bot, das Frequenz- und Phasenrauschen des Oszillators mit einem Schwingquarz wirksam zu unterdrücken.

## Erdfrei und störsicher durch Tonaderspeisung

1962 wurde als erstes Hochfrequenz-Kondensatormikrofon die Kugel MKH 104 vorgestellt, der kurze Zeit später die Niere MKH 404 folgte. Die ersten MKHs mit der Endziffer 4 besaßen noch einen unsymmetrischen Signalausgang. Bald danach wurde die 12V-Tonaderspeisung eingeführt. Sie ermöglichte eine symmetrische Signalführung und benutzte die beiden Tonfrequenzadern, um das Mikrofon mit Strom zu versorgen. Sperrkondensatoren verhinderten, dass die Gleichspannung in die Tonfrequenzschaltung gelangte. Der Kabelschirm wurde nicht zur Stromführung benötigt. Die Kondensatormikrofone konnten auf diese Weise ebenso einfach wie dynamische Mikrofone mit zweiadrig abgeschirmten Leitungen betrieben werden. Die MKHs für Tonaderspeisung erhielten die Endziffer 5 (MKH 105, MKH 405 usw.). Später wurde dann noch normgemäß ein „T“ angefügt.



Sennheisers erstes HF-Kondensatormikrofon, das MKH 104 (Kugel)

Die gesamte Mikrofonschaltung war erdfrei, obwohl die Kapsel mit dem Mikrofongehäuse verbunden war. Die erforderliche galvanische Trennung zwischen der Kapsel und der Schaltung wurde durch getrennte Wicklungen in den Hochfrequenzspulen erreicht. So ermöglichte die Tonaderspeisung zusammen mit dem Hochfrequenzverfahren einen erdfreien Signalausgang ohne Verwendung eines Tonfrequenz-Übertragers. Die MKHs wurden also von Anfang an trafolos gebaut. Auf diese Weise konnte nicht nur Platz eingespart werden, es entfielen auch die mit Übertragern verbundenen Signalverzerrungen. Diese erdfreie Technik erwies sich als so störsicher, dass das Institut für Rundfunktechnik (IRT) seinerzeit eine Empfehlung für die Tonaderspeisung aussprach.

## Mehr Bass und weniger Rauschen aus kleineren Kapseln

Die Ausgangsimpedanz der Hochfrequenzschaltung ist niedrig und von der Tonfrequenz unabhängig. Deshalb ist auch das Eigenrauschen niedrig und das Rauschspektrum fast „weiß“, störende tieffrequente Funkelanteile treten nicht auf. Diese Eigenschaften ermöglichen es, bei Bedarf Frequenzgangkorrekturen mit elektrischen Mitteln im Mikrofon vornehmen zu können, ohne störendes Rauschen zu verursachen. So lässt sich beispielsweise der Übertragungsbereich von Druckgradientenmikrofonen bei den tiefen Frequenzen erweitern. Auf diese Weise kann man auch mit kleinen Kapseln eine Tiefenwiedergabe erreichen, wie sie sonst nur mit größeren Kapseln möglich ist. Kleine Kapseln weisen aber günstigere Richteigenschaften bei den hohen Frequenzen auf, da der sogenannte Druckstauereffekt erst später einsetzt. Frequenzgangkorrekturen lassen sich auch bei den hohen Frequenzen vornehmen, so dass man keine akustischen Resonatoren benötigt. Das verbessert das Impulsverhalten und vermeidet klangliche Verfärbungen. Der Phasengang des Mikrofons wird übrigens durch die elektrischen Korrekturen nicht negativ beeinflusst, denn durch die Linearisierung des Frequenzgangs wird zugleich auch der Phasengang linearisiert. Das gilt grundsätzlich für alle minimalphasigen elektrischen und akustischen Netzwerke.

Die elektrische Frequenzgangkorrektur wurde bei den MKHs von Anfang an zur Verbesserung der Mikrofoneigenschaften eingesetzt. Außer zur Linearisierung des Frequenzgangs diente sie auch dazu, das Eigenrauschen der Mikrofone zu verringern. Der Gedankengang war folgender: Jede Mikrofonkapsel enthält akustische Wirkwiderstände, mit denen der Frequenzgang und die Richteigenschaften beeinflusst werden können. Wird der Frequenzgang mit rein akustischen Mitteln linearisiert, dann müssen diese Widerstände relativ groß gewählt werden. Akustische Widerstände erzeugen aber, ebenso wie elektrische Widerstände, zusätzliches Rauschen. Das Rauschen kann verringert werden, wenn man die akustischen Widerstände verkleinert. Damit erreicht man zugleich noch eine bessere Anpassung des Wandlers an das Schallfeld und eine höhere Empfindlichkeit. Das Nutzsignal wird größer und drängt den Einfluss des Verstärkerrauschens zurück. Beide Effekte unterstützen sich, so dass mit diesem „niederohmigen“ akustischen Konzept ein ungewöhnlich niedriges Eigenrauschen erreicht werden kann. Außerdem lässt sich durch eine geeignete akustische Dimensionierung die Empfindlichkeit der Kapsel im Frequenzbereich zwischen etwa 2 kHz und 8 kHz erhöhen, der für die subjektive Bewertung des Rauschens durch das Gehör eine besondere Bedeutung besitzt. Der Frequenzgang ist mit dieser „hörphysiologischen Optimierung“ nicht mehr gerade, kann aber elektrisch linearisiert werden. Dieses Konzept führte bereits bei den ersten MKHs zu einem ungewöhnlich niedrigen Eigenrauschen.

### Feuchtigkeit ist kein Problem

Das Hochfrequenzverfahren bietet noch einen weiteren für die Praxis wichtigen Vorteil. Die niedrige elektrische Impedanz der Kapsel macht die Hochfrequenz-Kondensatormikrofone besonders unempfindlich gegen Feuchtigkeitseinflüsse, weil der Isolationswiderstand auch dann noch um Größenordnungen über der Kapselimpedanz liegt, wenn er durch Feuchtigkeit herabgesetzt wird. Während andere Kondensatormikrofone beim Außeneinsatz häufig Probleme bereiten, da die Ladung der hochohmigen Kapsel über die beeinträchtigte Isolierung abfließen kann, was zu Knistern und Knacken führt, arbeiten die MKHs auch hier einwandfrei. So wurde der Außenübertragungsbereich schnell zu einer Domäne der MKHs, insbesondere nachdem auch Richtrohrmikrofone mit guter Störschallausblendung zur Verfügung standen. Die kurzen Richtrohre MKH 415 und MKH 416 wurden hier bald unverzichtbar und setzten einen neuen Standard.



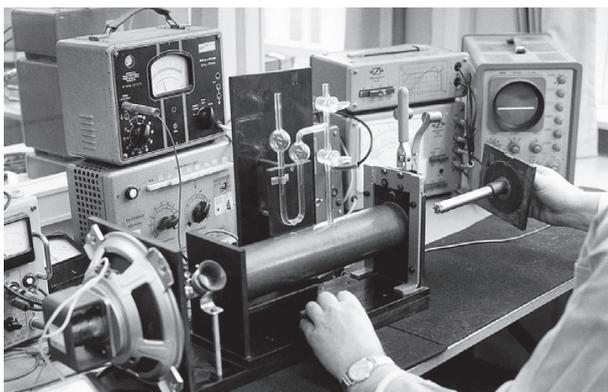
Das kurze Richtrohrmikrofon MKH 415

### Universell durch Phantomspeisung

Neben der Tonaderspeisung wurde alternativ die Phantomspeisung eingeführt, die sich im Laufe der Zeit als Standardspeisung für Studio-Kondensatormikrofone durchsetzte. Heute gibt es kaum noch einen Mikrofoneingang, der diese Speisung nicht bietet. Bei dieser Speisungsart wird der Betriebsstrom dem Mikrofon je zur Hälfte über beide Adern des Mikrofonkabels zugeführt. Der Rückfluss erfolgt über den Kabelschirm. Vorteilhaft ist, dass auch dynamische Mikrofone an phantomgespeisten Leitungen betrieben werden können, ohne die Speisung abschalten zu müssen. Da beide Kabeladern auf demselben Spannungspotential liegen, tritt keine Gleichspannung zwischen ihnen auf, die zu einem Stromfluss durch die Schwingspule des dynamischen Mikrofons führen könnte.

Auch die MKH-Familie bekam Zuwachs durch Geschwister für 12V- und 48V-Phantomspeisung, die durch die Endziffer 6 und die Typbezeichnung „P12“ bzw. „P48“ gekennzeichnet wurden (MKH 106 P12 etc.). Der erdfreie Signalausgang der Hochfrequenzschaltung ermöglichte auch bei dieser Speisungsart einen erdfrei symmetrischen Ausgang ohne Transformator. Die Schaltung der tonadergespeisten Modelle wurde in diesem Zuge ebenfalls überarbeitet und mit der Endziffer 6 versehen (MKH 106 T etc.). So gab es Mitte der 70er Jahre für Tonader- und Phantomspeisung jeweils eine Kugel (MKH 106), eine Niere (MKH 406), ein kurzes Richtrohr (MKH 416) und ein langes Richtrohr (MKH 816). Damit konnte sich der Anwender frei zwischen den Speisungsarten entscheiden. Später wurde der Schwingquarz der Mikrofone durch einen LC-Schwingkreis ersetzt, wodurch sie noch robuster wurden.

Nachdem die Phantomspeisung de facto Standard geworden war, gingen die Fertigungszahlen der tonadergespeisten Mikrofone nach und nach zurück. Nur das MKH 416 T überlebte, da weiterhin Aufnahmegeräte eingesetzt werden, die nur diese Speisung zur Verfügung stellen. Ende der 90er Jahre wurden die Richtrohrmikrofone MKH 416 T und MKH 416 P48 vollständig überarbeitet, um neue Fertigungsmethoden und engere Herstellungstoleranzen zu realisieren, ohne dabei die wesentlichen akustischen Eigenschaften der Mikrofone zu verändern.



Messaufbau für das Tiefton-Kondensatormikrofon MKH 110

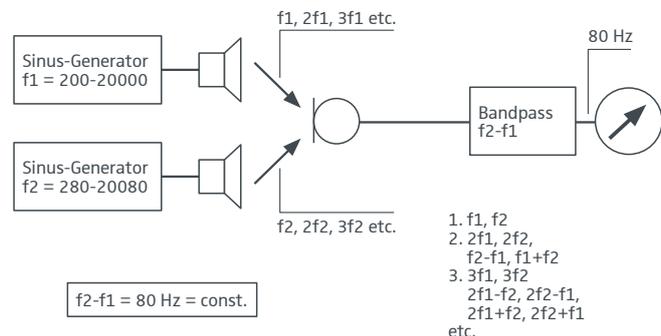
### Tieftonmikrofone hören Infraschall

Da das Hochfrequenzverfahren ohne Einschränkungen bis 0 Hz herab arbeitet, wurden auch spezielle MKHs mit einem erweiterten Übertragungsbereich für Infraschallmessungen entwickelt. Das MKH 110 reichte bis 1 Hz herab und das MKH 110-1 sogar bis 0,1 Hz. Normalerweise wird aber der Übertragungsbereich der Mikrofone durch eine entsprechend dimensionierte Ausgleichsöffnung in der Kapsel nach unten begrenzt, um das Mikrofon vor Infraschallsignalen zu schützen.

## Die digitale Aufnahmetechnik hält Einzug

Eine neue Herausforderung an die Mikrofonentwicklung ergab sich Anfang der 80er Jahre, als die digitale Aufnahmetechnik in die Tonstudios einzog und die Schallplatte von der CD verdrängt wurde. Nun war der Musikfreund erstmals in der Lage, klangliche Feinheiten so zu hören, wie es bisher nur dem Tonmeister vergönnt war. Das bedeutete aber zugleich auch, dass Unvollkommenheiten der Mikrofone wahrnehmbar waren, die bisher durch die Störgeräusche und Verzerrungen von Tonband und Schallplatte verdeckt wurden. Bei Sennheiser forschte man zu dieser Zeit nach den Ursachen für die klanglichen Unterschiede bei Studiomikrofonen, um die Eigenschaften einer zukünftigen Mikrofon-Linie optimieren zu können. Dazu wurden nicht nur die Frequenzgänge und Richtcharakteristiken gängiger Studiomikrofone untersucht, sondern auch umfassende akustische Verzerrungsmessungen durchgeführt.

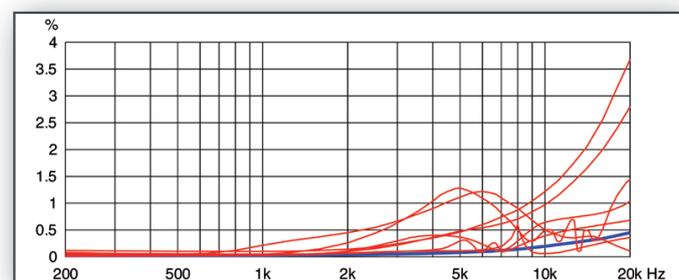
Verzerrungsmessungen an Mikrofonen galten bis dahin als problematisch, da keine ausreichend verzerrungsarmen Schallquellen verfügbar waren. Deshalb bezogen sich die spezifizierten Verzerrungen nur auf den eingebauten Verstärker, die Verzerrungen der Kapsel wurden nicht erfasst. Bei Sennheiser überwand man die messtechnischen Schwierigkeiten, indem statt des Klirrfaktors der Differenztonfaktor gemessen wurde. Dazu wurden die Mikrofone gleichzeitig mit zwei Tönen beschallt. Die Schallpegel beider Töne waren gleich groß und betragen jeweils 104 dB (3 Pa). Die Tonfrequenzen unterschieden sich um 80 Hz. Der im Mikrofon durch Intermodulation erzeugte 80-Hz-Differenzton wurde aus dem Ausgangssignal herausgefiltert und gemessen. Dieser Differenzton konnte im akustischen Testsignal nicht vorhanden sein, weil die beiden Töne getrennt von je einem Lautsprecher abgestrahlt wurden. Auch die von den Lautsprechern erzeugten Obertöne (Klirrfaktor) konnten das Messergebnis nicht verfälschen, weil sie außerhalb des Filterbereichs lagen. Um die Frequenzabhängigkeit der Mikrofonverzerrungen zu erfassen, wurde das Zweiton-Signal gleitend von 200 Hz bis 20000 Hz variiert, wobei die Differenz der beiden Tonfrequenzen auf 80 Hz konstant gehalten wurde. Im Gegensatz zum Klirrfaktorverfahren erlaubt das Differenztonverfahren Verzerrungsmessungen bis an die obere Grenze des Übertragungsbereichs, da der Differenzton stets im Übertragungsbereich bleibt.



### Differenztonmessung an Mikrofonen

Das Mikrofon wird gleichzeitig mit zwei Tönen  $f_1$  und  $f_2$  getrennt aus zwei Lautsprechern beschallt. Der im Mikrofon durch Nichtlinearitäten entstehende Differenzton mit der Frequenz  $f_2 - f_1$  wird selektiv gemessen.

Die Messungen offenbarten, dass die Verzerrungseigenschaften der Mikrofone sehr individuell waren, jedes Mikrofon besaß gewissermaßen eine „persönliche Note“. Zwar waren die Verzerrungen bei den tiefen Frequenzen allgemein sehr niedrig, aber bei den mittleren und hohen Frequenzen stiegen sie erheblich an und erreichten Werte im Prozentbereich. Bei den Großmembranmikrofonen nahmen die Verzerrungen bereits bei den mittleren Frequenzen stark zu, bei den Mikrofonen mit kleinen Kapseln dagegen erst bei höheren Frequenzen. Der Differenztonfaktor nimmt etwa proportional mit dem Schalldruck zu. Da der Schallpegel der Testsignale mindestens 20 dB unter der Aussteuerungsgrenze der Mikrofone lag, kann er bei Vollaussteuerung noch auf das Zehnfache und mehr ansteigen.



Differenztonfaktor des MKH 40 (blau) im Vergleich zu anderen Studio-Kondensatormikrofonen mit Nierencharakteristik

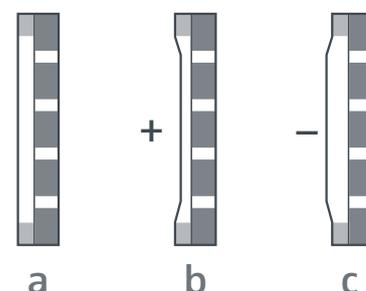
Die Mikrofone wurden nach dem Differenztonverfahren mit zwei Lautsprechern beschallt. Der im Mikrofon erzeugte Differenzton wurde selektiv gemessen.

## Intakt durch Gegentakt

Theoretische und praktische Untersuchungen ergaben, dass die Verzerrungen im Wesentlichen im Luftspalt zwischen der Membran und der Gegenelektrode des Wandlers entstehen. Die Zähigkeit der hier eingeschlossenen Luft verursacht Reibungskräfte, die der Membranbewegung entgegenwirken. Wird der Luftspalt breiter, kann sich die Luft freier bewegen, wird er enger, wird ihre Bewegung erschwert. Der Unterschied bewirkt, dass kein linearer Zusammenhang zwischen der Membranbewegung und der Reibungskraft besteht. Diese Nichtlinearität führt zu Signalverzerrungen. Die Mikrofone fügen den Klängen etwas hinzu und ändern dadurch ihre Feinstruktur. Neben harmonischen Verzerrungskomponenten (Klirrfaktor), die den Ober- tongehalt des Klangs verändern und weniger auffällig sind, entstehen durch Intermodulation auch disharmonische Summen- und Differenz- töne, die wesentlich störender in Erscheinung treten können. Bei hochwertigen Mikrofonen ist dieser Effekt oft nur unterschwellig wahrnehmbar. Man spricht dann nicht direkt von Verzerrungen, sondern von geringerer Transparenz oder von begrenzter klanglicher Auflösung.

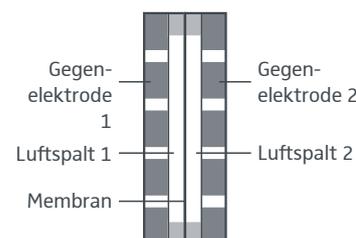
Die Verzerrungen der Mikrofone nehmen mit der Aussteuerung zu. Diese Tendenz war auch charakteristisch für die analogen Tonträger. Daher wurden die Mikrofonverzerrungen im Allgemeinen von den Verzerrungen der Aufzeichnungsmedien verdeckt. Bei der digitalen Signalverarbeitung tritt aber ein gegenteiliger Effekt auf. Die systembedingten Verzerrungen nehmen mit zunehmender Aussteuerung ab, weil die lineare Quantisierung gerade bei großen Signalen eine relativ feine Differenzierung ermöglicht. Deshalb werden die Mikrofonverzerrungen bei großen Schallpegeln nicht mehr verdeckt und können wahrnehmbar werden.

Nachdem die Bedeutung der Mikrofonverzerrungen erkannt und ihre Ursache gefunden war, wurde nach effektiven Gegenmaßnahmen gesucht. Ausgewählt wurde die wirkungsvollste, aber auch aufwändigste Methode, nämlich das symmetrische Gegentaktprinzip. Der Wandler erhielt eine zusätzliche Gegenelektrode, die ebenso beschaffen war wie die bereits vorhandene. Sie wurde so vor der Membran angeordnet, dass sich ein vollkommen symmetrischer Aufbau ergab. So entstanden auf beiden Seiten der Membran gleichartige Luftspalte. Membranbewegungen in beiden Richtungen führten zu gegensinnigen Effekten in beiden Luftspalten, die sich in der Summe nahezu aufhoben und eine praktisch verzerrungsfreie Bewegung der Membran ermöglichten. Zur Unterstützung dieses Effekts wurden die Gegenelektroden besonders transparent gestaltet, indem der Lochflächenanteil sehr groß dimensioniert wurde. Auf diese Weise war der Gegentaktwandler geboren, der das Herz einer neuen verbesserten Studiomikrofon-Linie bilden sollte.



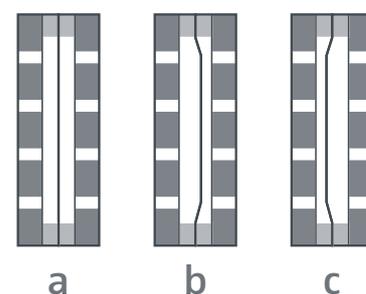
**Arbeitsweise des kapazitiven Wandlers**

- a Membran in Ruhelage
- b Überdruck vor der Membran bewegt die Membran zur Gegenelektrode hin. Der Luftspalt wird enger und die Kapazität wird größer.
- c Unterdruck vor der Membran bewegt die Membran von der Gegenelektrode weg. Der Luftspalt wird weiter und die Kapazität wird kleiner.



**Symmetrischer Gegentaktwandler**

Die Membran ist in der Mitte zwischen zwei gleichartigen Gegenelektroden angeordnet. Es entstehen zwei gleichartige Luftspalte mit gleichen Kapazitäten.



**Arbeitsweise des Gegentaktwandlers**

- a Membran in Ruhelage
- b,c Membranauslenkungen in beiden Richtungen erzeugen gegensinnige Änderungen der Luftspaltweiten und der zugehörigen Kapazitäten. Dadurch ist eine lineare Wandlung möglich.

## Eine neue Studiomikrofon-Linie entsteht

Zu Beginn der 80er Jahre wurde eine neue Mikrofon-Linie entwickelt, deren einzelne Modelle sich im Wesentlichen nur durch ihre Richteigenschaften unterscheiden sollten. Alle anderen Daten sollten so wenig wie möglich voneinander abweichen. Das bedeutete beispielsweise gleiche Empfindlichkeiten (Übertragungsfaktoren) und gleiche Frequenzgänge für alle Typen. Außerdem sollten sich die Mikrofone klanglich neutral verhalten, also nichts hinzufügen oder weglassen.

Die Hochfrequenzschaltung wurde für die neue Mikrofontype grundsätzlich überarbeitet. Statt Phasenmodulation kam nun Amplitudenmodulation zum Einsatz. Das bot sich an, weil der Gegentaktwandler zwei Kapazitäten enthält, die sich gegensinnig ändern, wenn sich die Membran bewegt. Die Gesamtkapazität bleibt dabei konstant. Die Kapsel arbeitet in einer Hochfrequenz-Brückenschaltung gewissermaßen als „kapazitives Potentiometer“ mit der Membran als „Schleifer“. Der induktive Zweig der Brücke wird durch eine symmetrisch aufgebaute, mittenangezapfte Spule gebildet. Für den Feinabgleich der Brücke können die beiden Induktivitäten der Spule mit dem Abgleichkern gegensinnig verändert werden. Diese Schaltung ergibt zusammen mit der symmetrischen Kapsel eine hervorragende Linearität.

### Die Niere MKH 40



Als erstes Mikrofon mit dem neuen Konzept ging 1985 die Niere MKH 40 in Serie. Dieses Mikrofon verkörperte bereits alle gemeinsamen Eigenschaften der zukünftigen Mikrofonlinie. Der Frequenzgang war von 40 Hz bis 20 kHz praktisch gerade, die Richteigenschaften waren in einem weiten Frequenzbereich stabil, die Verzerrungen lagen an der Nachweisgrenze und auch der Ersatzgeräuschpegel von 20 dB(CCIR) bzw. 12 dB(A) setzte einen

neuen Meilenstein. Der hohe Übertragungsfaktor von 25 mV/Pa sorgte dafür, dass die Mikrofonsignale ungestört über die Leitungen gelangten und das Rauschen des Mikrofoneingangs ohne Bedeutung blieb. Das MKH 40 erhielt Schalter für eine Vordämpfung und eine Tiefenabsenkung zur Kompensation des Nahbesprechungseffektes.

Das Echo der Tonmeister war sehr positiv. Das zeigte, dass der technische Aufwand nicht nur zu messtechnischen, sondern auch zu hörbaren Verbesserungen führte und das nicht nur unter extremen Bedingungen, sondern auch in ganz normalen Aufnahmesituationen.

### Die Kugel MKH 20



Das war ein klares und unmissverständliches Signal, auf diesem Weg weiterzugehen. Viele Tonmeister wünschten sich als nächstes Mikrofon eine Kugel. Dieser Mikrofontyp, der lange Zeit eher ein Schattendasein geführt hatte, wurde im Zeitalter der digitalen Aufnahmetechnik wiederentdeckt. Man erhoffte sich, mit einer besonders rauscharmen Kugel die Raumakustik noch authentischer als bisher einbeziehen zu können. Das MKH 20, 1986 vorgestellt, erfüllte diese Erwartungen. Es ermöglichte ein tiefes Hineinhören in den Raum, um auch feinste klangliche Strukturen aufnehmen zu können.

Bei Kugelmikrofonen besteht oft das Problem, sich zwischen einer freifeld- oder einer diffusfeldoptimierten Version entscheiden zu müssen. Das MKH 20 löst dieses Problem mit einem eingebauten Schalter, der eine einfache Anpassung an die unterschiedlichen Aufnahmesituationen ermöglicht. Mit einem aufsteckbaren Druckstauring kann zusätzlich eine Feinabstimmung der Höhen vorgenommen werden.

## Die Acht MKH 30



Das Kugelmikrofon als reiner Druckempfänger repräsentiert den einen Eckpunkt auf der Richtcharakteristikskaala. Den anderen Eckpunkt bildet die Achtercharakteristik des reinen Druckgradientenmikrofons. Deshalb lag es nahe, eine Acht zu entwickeln. Ein weiterer Grund hierfür war, dass der Gegentaktwandler aufgrund seines symmetrischen Aufbaus für die Realisierung dieses Richtcharakteristik-Typs geradezu prädestiniert erschien.

Die seinerzeit verfügbaren Achten waren klanglich nicht immer befriedigend, weil sie einen zu frühen Tiefen- und Höhenabfall zeigten. Es wurde deshalb besonderer Wert darauf gelegt, das 1987 vorgestellte MKH 30 zu einem vollwertigen Studiomikrofon mit einem geraden Frequenzgang und einer weit herabreichenden Tiefenwiedergabe zu machen. Dadurch eignet es sich unter anderem auch hervorragend als Stützmikrofon, das eine besonders wirksame Trennung seitlich benachbarter Klangquellen ermöglicht. Wegen seiner klanglichen Neutralität in allen Raumrichtungen erlaubt es dabei eine stärkere Stützwirkung als andere Mikrofontypen. Dank des hervorragend symmetrischen Polardiagramms ist das MKH 30 außerdem das ideale Seitenmikrofon in einer MS-Stereo-Anordnung.

## Die Superniere MKH 50



Als nächstes Mikrofon stand eine Superniere auf dem Programm. Supernieren galten im Vergleich zu Nieren als klanglich schlanker, da bei ihnen der Tiefenabfall früher einsetzte. Das 1988 vorgestellte MKH 50 brach mit dieser Tradition, es ist ebenso tiefenstark wie die Niere MKH 40. Auch die Richteigenschaften bei den hohen Frequenzen sind besonders ausgeglichen. Der Grund dafür ist die enge Verwandtschaft der Supernierencharakteristik mit der natürlichen Richtcharakteristik, die der sogenannte Druckstau jedem Mikrofon bei den hohen Frequenzen aufprägt, unabhängig davon, welche Richtcharakteristik das Mikrofon nominell aufweisen soll.

Der Druckstau tritt auf, weil die Schallwellen bei den hohen Frequenzen nicht mehr um das Mikrofon herumbeugt, sondern zunehmend von ihm reflektiert werden. Das Mikrofon wird bei den hohen Frequenzen immer mehr zu einem akustischen Hindernis. Als Folge der Reflexion kann sich der Schalldruck an der Mikrofonmembran bei frontaler Beschallung um bis zu 10 dB erhöhen. Dadurch verändern sich die akustischen Verhältnisse im Kapselbereich so stark, dass die Richteigenschaften fast nur noch durch den Druckstau bestimmt werden. Die Übergangsfrequenz für diesen Effekt liegt umso höher, je kleiner das Mikrofon bzw. die Kapsel ist. Eine sorgfältige akustische Abstimmung sorgt beim MKH 50 für den nahtlosen Übergang von der Supernieren- zur verwandten Druckstau-Charakteristik.

## Die Richtrohre MKH 60 / MKH 70



Nachdem vier MKHs mit den gebräuchlichsten Richtcharakteristiken und mit sehr einheitlichen technischen Rahmendaten entstanden waren, sollten auf dieser Basis auch den Richtrohrmikrofonen MKH 416 und MKH 816 Geschwister zur Seite gestellt werden. Die neuen Richtrohrmikrofone MKH 60 (kurz) und MKH 70 (lang) kamen 1991 heraus und waren nicht als Ersatz für die bestehenden Richtrohrmikrofone vorgesehen, sondern als Ergänzung. So wurde das MKH 60 etwas länger als das MKH 416 und das MKH 70 etwas kürzer als das MKH 816 dimensioniert. Das MKH 816 war in vielen

Fällen zu lang und zu schwer, so dass hier von den Anwendern eine eindeutige Wendung zum MKH 70 vollzogen wurde. Das MKH 60 entwickelte sich dagegen zum ergänzenden Partner des MKH 416, wenn etwas mehr Richtschärfe erwünscht war. Es kann auch vorteilhaft als Stützmikrofon für hochwertige Musikaufnahmen eingesetzt werden, wenn keine kurzen Mikrofondistanzen möglich sind. Die Richtrohrmikrofone wurden so leicht wie möglich gemacht, ohne die Robustheit im praktischen Einsatz zu beeinträchtigen. Beide Mikrofone erhielten Schalter für Vordämpfung, Tiefenabsenkung und Höhenanhebung. Die Höhenanhebung kann für eine Akzentuierung sorgen oder Höhenverluste durch Windschirme kompensieren.

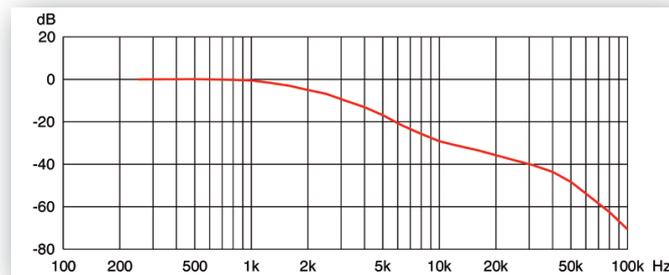


## Das vielseitige MKH 800

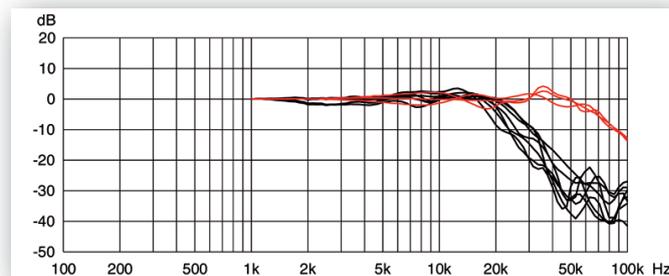
Der Wunsch nach einem Mikrofon mit umschaltbarer Richtcharakteristik wurde 1993 mit dem MKH 80 erfüllt. Es stellte die fünf Richtcharakteristiken Kugel, breite Niere, Niere, Superniere und Acht umschaltbar zur Verfügung und bot außerdem noch mehrstufige Schaltmöglichkeiten für Vordämpfung, Tiefenabsenkung und Höhenanhebung. Dem MKH 80 folgte im Jahr 2000 das MKH 800, das als erstes MKH einen bis über 50 kHz erweiterten Frequenzbereich bot.

Das Herz beider Mikrofone bildet eine Doppelkapsel mit zwei symmetrischen Gegentaktwandlern. Mit dieser Kapsel wurde ein neuer Weg beschritten, um eine nachteilige Eigenschaft gängiger Doppelmembranmikrofone zu beseitigen. Bekanntlich verbreitern sich die Nieren- und Supernierencharakteristiken dieser Mikrofone bei den tiefen Frequenzen und verursachen bei Aufnahmen mit ausgeprägtem Diffusschallanteil eine Überbetonung der tiefen Frequenzen. Die Doppelkapsel der Mikrofone MKH 80 und MKH 800 erhielt deshalb zusätzliche, speziell dimensionierte akustische Einlässe, um die Richtwirkung bei den tiefen Frequenzen zu stabilisieren. Das erweitert die Einsatzmöglichkeiten dieser Mikrofone erheblich. Da sie auch den tieffrequenten Umgebungsschall neutral übertragen, eignen sie sich beispielsweise auch sehr gut als Stützmikrofone. Auch bei starker Stützwirkung entsteht keine störende Verfärbung des Gesamtklangs.

Die Frequenzbereichserweiterung des MKH 800 bei den hohen Frequenzen war der Beitrag von Sennheiser zur Weiterentwicklung der Aufnahmetechnik auf Basis der neuen optischen Speichermedien SACD und DVD-Audio. Die höheren Abtastraten erweitern den Übertragungsbereich gegenüber der CD um mindestens eine Oktave nach oben. Um diese Verbesserung aufnahmetechnisch nutzen zu können, war eine entsprechende Erweiterung des Übertragungsbereichs der Mikrofone sinnvoll. Zuvor hatten Untersuchungen gezeigt, dass die Spektren der Musikinstrumente auch jenseits von 20 kHz noch merkliche Anteile aufweisen und erst oberhalb von 50 kHz stärker abfallen. Deshalb wurde der Frequenzbereich des MKH 800 bis über 50 kHz erweitert. Die bereits im MKH 80 verwendete Doppelkapsel war aufgrund ihrer akustischen Eigenschaften ohne Änderungen für eine Frequenzbereichserweiterung geeignet, die dann beim MKH 800 durch eine Anpassung der elektrischen Frequenzgangkorrektur nutzbar gemacht wurde. Das daraus resultierende exzellente Impulsverhalten setzte einen weiteren Meilenstein für gesteigerte klangliche Transparenz.



Terzspektrum eines Sinfonieorchesters (Mittelkurve)  
Die spektralen Anteile erstrecken sich mit nur geringem Abfall bis 40 kHz und fallen erst oberhalb von 50 kHz stärker ab.



Frequenzgänge von Studiomikrofonen (schwarz) im Vergleich zum MKH 800 (Kugel – Niere – Acht) (rot)  
Der spektrale Gewinn mit dem MKH 800 beträgt oberhalb von 20 kHz bis zu 20 dB.

Ob Schallinformationen auch jenseits von 20 kHz vom Gehör ausgewertet werden, wurde noch nicht abschließend geklärt. Grundsätzlich sollte dem Gehör diese Information jedoch nicht vorenthalten werden. Deshalb ist man mit dem MKH 800 aufnahmetechnisch auf der sicheren Seite.

## Das universelle MKH 800 TWIN



Viele Tonmeister kennen folgendes Problem: Man hat sich vor der Aufnahme bei der Mikrofonierung für bestimmte Richtcharakteristiken entschieden und stellt dann während oder auch erst nach der Aufnahme fest, dass sie nicht optimal gewählt waren. Nachträgliche Änderungen sind dann aber nicht mehr möglich. Das ist eine unbefriedigende Situation.

Das 2008 vorgestellte MKH 800 TWIN bietet eine elegante Lösung für dieses Problem. Dieses Doppelmikrofon basiert auf dem MKH 800 und enthält die gleiche Doppelkapsel mit Nierencharakteristiken nach vorn und hinten. Die Kapselsignale werden jedoch nicht schon im Mikrofon kombiniert, um die unterschiedlichen Richtcharakteristiken zu erzeugen, sondern sie stehen getrennt am Mikrofonausgang zur Verfügung. Die Kombination der Signale für eine bestimmte Richtcharakteristik erfolgt dann erst unter Abhörbedingungen mit den Reglern am Mischpult. Dabei geht man folgendermaßen vor:

Man legt die Signale der vorderen und hinteren Niere auf benachbarte Regler. Dann stellt man mit dem Regler der vorderen Niere den gewünschten Pegel ein. Diese Einstellung wird im Folgenden nicht mehr geändert. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass der Regler dann bei 0 dB steht und in beiden Kanälen die gleiche Verstärkung eingestellt ist. Ist der Regler der hinteren Niere zu, erhält man die Nierencharakteristik, da nur die vordere Niere aktiv ist, zieht man den Regler bis auf -10 dB auf, erhält man die breite Niere, weil ein Anteil (30%) der hinteren Niere dazukommt, und bei 0 dB ergänzen sich die vordere und die hintere Niere

(je 100%) zur Kugel. Invertiert man die Phase der hinteren Niere, dann ergibt sich bei der Reglerstellung 0 dB die Acht durch Subtraktion beider Nieren und bei 10 dB die Superniere, weil nur ein Anteil (30%) der hinteren Niere subtrahiert wird.

Die Reglerposition der hinteren Niere bestimmt immer die Rückwärtsdämpfung (180°) der resultierenden Richtcharakteristik, die beispielsweise bei der breiten Niere und bei der Superniere 10 dB beträgt. Die Subtraktion der hinteren Niere bewirkt die bekannte Phasenumkehr im rückwärtigen Bereich der resultierenden Supernieren- und Achtercharakteristik. Da der Anteil der hinteren Niere mit dem Regler kontinuierlich verändert werden kann, lässt sich die Richtcharakteristik von der Kugel über die Niere bis zur Acht und damit auch die Rückwärtsdämpfung stufenlos variieren. Das Ergebnis ist unmittelbar hörbar und kann sehr feinfühlig optimiert werden. Auf diese Weise kann der Tonmeister auch während einer Live-Übertragung noch korrigierend eingreifen.

Auch einige Digitalmikrofone ermöglichen die Feineinstellbarkeit der Richtcharakteristik, aber dabei werden die beiden Kapselsignale bereits im Mikrofon wieder zu einem Signal kombiniert und es geht Information unwiederbringlich verloren. Dagegen stellt das MKH 800 TWIN die gesamte Information zweikanalig zur Verfügung. Wenn die beiden Mikrofonensignale getrennt gespeichert werden, ist diese Information auch noch später in vollem Umfang verfügbar. Das eröffnet eine neue Dimension der Aufnahmetechnik. Es bietet die größtmögliche Flexibilität bei der Nachbearbeitung und beseitigt den Zwang, sich bereits vor der Aufnahme endgültig auf eine bestimmte Richtcharakteristik festlegen zu müssen.

Weiterhin ist es möglich, Stereo- und Surround-Produktionen parallel mit unterschiedlichen Richtcharakteristiken abzumischen. Der Tonmeister muss sich nicht mehr vor der Aufnahme entscheiden, ob er die Stereo- oder die Surround-Aufnahme bevorzugen will. Wegen der Mikrofonsymmetrie können mit den beiden Mikrofonensignalen zusätzlich auch nach hinten ausgerichtete Richteigenschaften erzeugt werden. Das ist insbesondere für Surround-Produktionen interessant. Die MS-Kombination mit einer zusätzlichen seitlich ausgerichteten Acht (z.B. MKH 30) bietet weitere Möglichkeiten. Auch Doppel-MS-Anordnungen für Surround-Aufnahmen sind mit einem MKH 800 TWIN und einer Acht möglich. Der Center-Kanal mit beliebiger Richtcharakteristik kann ebenfalls aus den beiden Signalen des MKH 800 TWIN erzeugt werden. Für die Nachbearbeitung müssen nur die drei Original-Mikrofonensignale gespeichert werden.

Der Kreativität des Tonmeisters sind also kaum Grenzen gesetzt. Die gegenüber dem MKH 800 verkleinerte Bauform ermöglicht außerdem einen optisch unauffälligen Einsatz. Deshalb ist das MKH 800 Twin sicher das universellste Mikrofon der MKH-Linie.

## Die neue MKH 8000-Linie



Das lange Richtrohrmikrofon MKH 8070 wurde speziell für weit entfernte Schallquellen entwickelt. Es wurde 2011 zusammen mit dem kurzen Richtrohr MKH 8060 vorgestellt.



Die breite Niere MKH 8090 (vorgestellt 2012)

Im Jahr 2007 kam die neue MKH 8000-Linie heraus, zunächst mit den Modellen MKH 8020 (Kugel), MKH 8040 (Niere) und MKH 8050 (Superniere), weitere Richtcharakteristiken folgten. Für die Entwicklung der neuen MKH-Linie gab es mehrere Gründe, vorrangig war der Wunsch nach kleineren Mikrofonen für einen optisch unauffälligeren Einsatz, beispielsweise bei Video-Produktionen. Weiterhin sollte ein Modulkonzept realisiert werden, um dem Anwender vielfältigere Einsatzmöglichkeiten zu eröffnen. Bei allen Maßnahmen sollten aber die guten technischen Daten der bisherigen MKH-Linie erhalten bleiben oder womöglich noch verbessert werden. Das war eine anspruchsvolle Aufgabe, da die bisherige Mikrofon-Linie auch nach zwanzig Jahren noch Maßstäbe setzte.

Mit den inzwischen verfügbaren kleineren elektrischen Bauteilen (SMD) konnte der Durchmesser der neuen Mikrofone auf 19 mm verkleinert und ihre Länge deut-

lich verkürzt werden. Gleichzeitig konnte eine Anpassung an neue Fertigungstechnologien vorgenommen werden. Die Kapsel wurde modifiziert, um die Membrangröße trotz des verringerten Mikrofondurchmessers zu erhalten und dadurch die guten Rauscheigenschaften bewahren zu können. Die aktive Membranfläche der neuen MKH-8000-Linie (Gehäusedurchmesser 19 mm) ist mit 16 mm genau so groß wie die der Mikrofone MKH 20 – 800 (Gehäusedurchmesser 25 mm). Die mit dem MKH 800 eingeführte Frequenzbereichserweiterung ist auch substanzieller Bestandteil der neuen MKH-Linie. Dazu mussten die Kapseln einer akustischen Feinabstimmung unterzogen werden. Die Schaltungstechnik wurde vom MKH 800 übernommen.

Ein neuer Aspekt bei der Konzipierung der neuen MKH-Linie war die Modularisierung. Die funktionale Trennung sollte nicht wie üblich zwischen der Kapsel und der Elektronik, sondern erst hinter der funktionsfähigen kompletten Mikrofoneinheit erfolgen. Auf diese Weise werden die für die Funktion wichtigen Teile des Mikrofons nicht voneinander getrennt und äußere Störeinflüsse minimiert.

Das Mikrofonmodul kann mit unterschiedlichen Steckermodulen, Kabeln, Stativen etc. kombiniert werden, die ein umfangreiches Zubehörprogramm zur Verfügung stellt. Neu ist auch die Möglichkeit, das Mikrofonmodul direkt auf das Digitalmodul MZD 8000 zu schrauben, um ein Digitalmikrofon zu realisieren. Da das MZD 8000 zweikanalig aufgebaut ist, ermöglicht es auch den gleichzeitigen Betrieb von zwei Mikrofonen oder einem Doppelmikrofon (z.B. MKH 800 TWIN) über entsprechende Adapterkabel. Verbindet man beispielsweise ein MKH 8000-Stereopaar über ein Y-Kabel mit dem Digitalmodul und einem einfachen Anschlusskit, so kann man direkt einen normalen AES3-Digitaleingang nutzen, ohne dass das Aufnahmegerät AES42-fähig sein muss. Wenn nur ein Mikrofon betrieben wird, werden beide Digitalkanäle parallelgeschaltet und so das Signal-Rausch-Verhältnis um zusätzliche 3 dB verbessert.

## Last but not least ...

Die neuen Mikrofone sind das Ergebnis von fünfzig Jahren Erfahrung und haben auch in kritischen Aufnahmesituationen ihre hohe klangliche Kompetenz bewiesen. Das Hochfrequenz-Verfahren, das zunächst lediglich den Übergang von der Röhren- zur Transistortechnologie ermöglichen sollte, ist durch die stetige Weiterentwicklung zu einer wichtigen Grundlage moderner Mikrofontechnik geworden.