

**Bild 5.3**  
Grundsätzlicher Aufbau eines Bändchenmikrofons (Schalldruckgradientenempfänger)

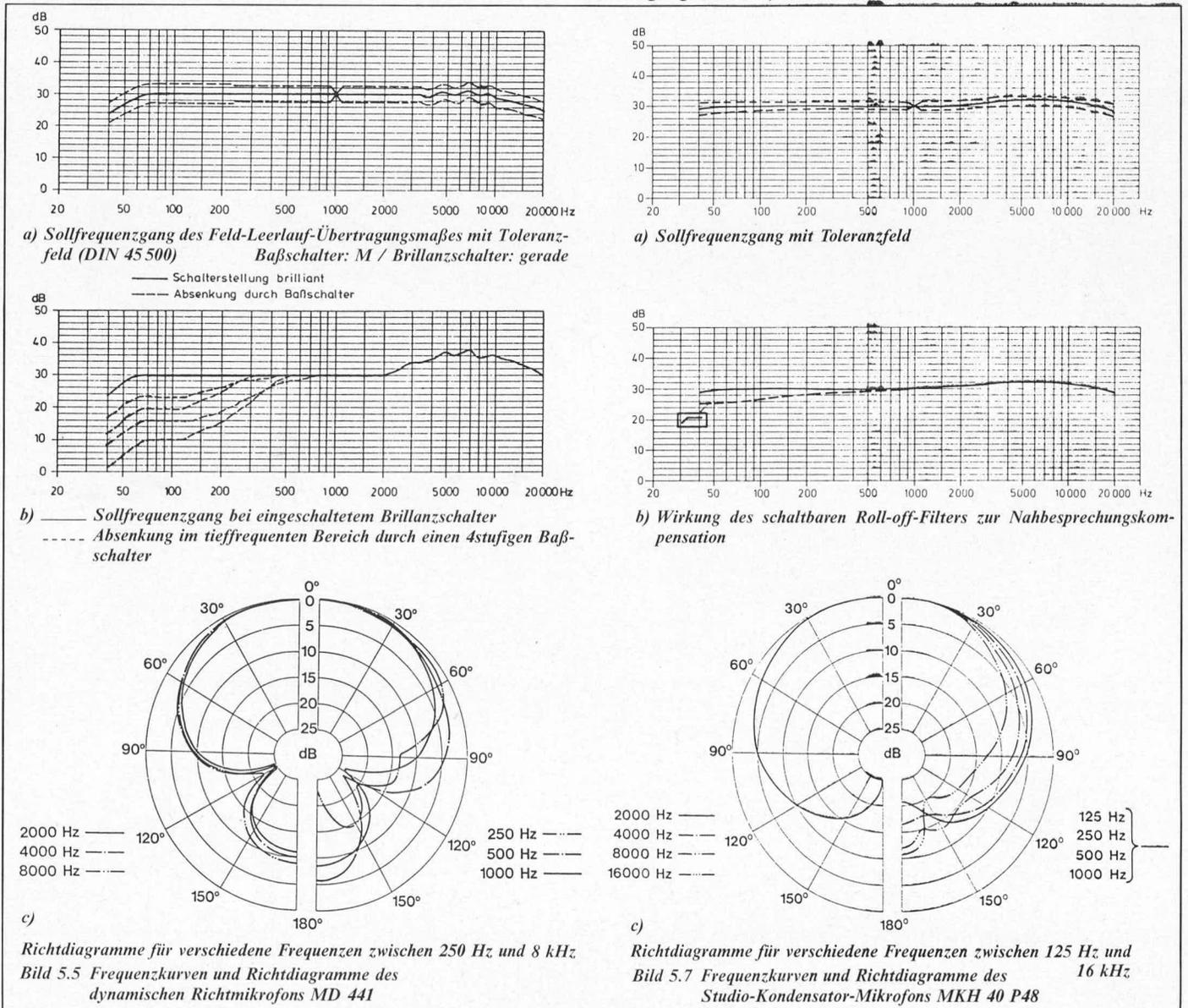
Eine wesentlich größere Bedeutung für die Praxis haben dagegen die sogenannten Tauchspulenmikrofone erlangt. Ihr grundsätzlicher Aufbau wurde schon im Bild 4.2 gezeigt. Moderne Ausführungen von Tauchspulenmikrofonen bestehen aus einer leichten und freitragend gewickelten Schwingenspule, die an einer ebenfalls möglichst leichten Kunststoffmembran befestigt ist und in den Luftspalt eines Ringmagneten

eintaucht, ähnlich wie das im Prinzip auch vom elektrodynamischen Lautsprecher her bekannt ist. Tauchspulenmikrofone gibt es sowohl als ungerichtete Schalldruckempfänger wie auch als gerichtet empfangende Druckgradientenmikrofone. Bei den Druckempfängern legt man — wie schon weiter oben erwähnt — die Eigenresonanz des schwingfähigen Membran-Tauchspulensystems in die Mitte des zu übertragenden Frequenzbereichs, während man das entsprechende System von Gradientenempfängern, d. h. von Tauchspul-Richtmikrofonen, tiefabgestimmt arbeiten läßt. Letzteres hat leider auch eine Erhöhung der Körperschallempfindlichkeit zur Folge. Dem Einfallreicherum tüchtiger Mikrofonentwickler ist es letztlich zu verdanken, daß im Laufe der Zeit verschiedene Wege und Maßnahmen gefunden wurden, die den Einfluß des Körperschalls wirksam zu kompensieren gestatten.

Bild 5.4 zeigt als praktisches Ausführungsbeispiel ein dynamisches Supernieren-Richtmikrofon (Typ MD 441) sehr hoher Qualität. Sein Übertragungsbereich erstreckt sich von 30 Hz bis 20 kHz, siehe dazu Bild 5.5 a. Die elektrische Impedanz beträgt 200 Ω. Dieses Mikrofon erreicht einen Feld-Leerlauf-Übertragungsfaktor\*\*)

von 1,8 mV/Pa bei einer Toleranzbreite von ±2 dB. Es besitzt einen vierstufigen Baßschalter mit einer Tiefenabsenkung um ca. 4...6 dB je Schaltstufe bei 50 Hz — und einen Brillanzschalter, der für eine Anhebung des Frequenzgangs oberhalb von etwa 2...5 kHz sorgt (Bild 5.5 b). Im Bild 5.5 c sind die Richtdiagramme für Frequenzen zwischen 250 Hz und 8 kHz dargestellt. Dank seiner hervorragenden elektroakustischen Eigenschaften findet dieses Mikrofon bevorzugten Einsatz in Rundfunk- und Fernsehstudios, als Rednermikrofon im Zusammenwirken mit sehr hochwertigen Ela-Anlagen sowie als Gesangs- und Instrumentalmikrofon bei besonders anspruchsvollen Solisten. Hinsichtlich des elektrischen Anschlusses gibt es das MD 441 in drei verschiedenen Versionen: a) mit einem 3poligen verschraubbaren Stecker nach DIN 41524 (kleiner Tuchel-Stecker), b) mit einem 3poligen verschraubbaren Stecker nach DIN 41624 (großer Tuchel-Stecker) und c) mit einem 3poligen XLR-3 Stecker (System Cannon).

\*\*\*) Unter dem Feld-Leerlauf-Übertragungsfaktor versteht man den Quotienten aus dem Effektivwert der elektrischen Mikrofonspannung  $\bar{u}$  und dem effektiven Schalldruck  $\bar{p}$ , gemessen im freien Schallfeld und bei elektrischem Leerlauf des Mikrofons, d. h. ohne Belastung durch einen Abschlusswiderstand.



**Bild 5.5** Frequenzkurven und Richtdiagramme des dynamischen Richtmikrofons MD 441

**Bild 5.7** Frequenzkurven und Richtdiagramme des Studio-Kondensator-Mikrofons MKH 40 P48

## 5.2 Elektrostatische Mikrofone

Elektrostatische Mikrofone sind im Prinzip Kondensatoren, deren Kapazität durch die auf ihre Membran auftreffenden Schallwellen variiert wird. Die grundsätzliche Funktion wurde bereits im vorangegangenen Teil 4 dieser Reihe erläutert, s. a. Bild 4.4. In der konventionellen NF-Schaltung benötigen Kondensatormikrofone zur Erzeugung eines elektrostatischen Gleichfeldes stets eine Polarisationsspannung  $U_0$ . Bei den Elektret-Kondensatormikrofonen ist ein derartiges Gleichfeld bereits permanent im Elektretmaterial vorhanden, s. a. Abschnitt 4.1.4. Eine andere sehr elegante Möglichkeit zum Betreiben von Kondensatormikrofonen, bei der man ohne Gleichfeld auskommt, ist die sogenannte Hochfrequenz- oder HF-Schaltung. Darüber wird nachfolgend noch berichtet werden. Zuvor aber noch einige ganz allgemeine Anmerkungen zur Frage der Abstimmung der mechanischen Systemresonanz: Bei den elektrostatischen Mikrofonen gibt es ebenfalls Druck- und Druckgradientenempfänger. Ihre konstruktiven Unterscheidungsmerkmale sind im Prinzip die gleichen, wie sie schon in der Einleitung dieser Beitragsfolge an Hand des Bildes 5.1 erläutert wurden. Geht man davon aus, daß auch bei den elektrostatischen Mikrofonen bei Beschallung mit konstantem Schalldruck ein ebener Übertragungsfrequenzgang erzielt werden soll, so ist beim Druckmikrofon die mechanische Systemresonanz ( $\approx$  Membranresonanz) oberhalb des zu übertragenden Frequenzbereichs zu legen (= „Hochabstimmung“), während man beim elektrostatischen Druckgradientenmikrofon die Membranresonanz in die Mitte des Übertragungsbereichs legt und entsprechend bedämpft. —

Die Wandlerkapazität  $C$  der heute üblichen Kondensatormikrofonkapseln liegt zwischen etwa 30... 50 pF. Bei 30 Hz z. B., d. h. am unteren Ende des mit derartigen Mikrofonen übertragenen Frequenzbereichs, bewegt sich der kapazitive Kapsel-Innenwiderstand somit zwischen etwa 106 und 177 M $\Omega$ . Jeder NF-Verstärker, den man einer solchen Kondensatorkapsel sinnvollerweise nachschalten müßte, sollte daher einen Eingangswiderstand von mindestens 100... 200 M $\Omega$  haben. Das aber war in der Anfangszeit der Halbleitertechnik ein sehr ernsthaftes Problem, und rauscharme Feld-effekt-Transistoren gab es damals noch nicht. Die mit normalen Transistor-Verstärkern erreichbaren Eingangswiderstände waren einfach zu niederohmig. In dieser Situation besann man sich auf die zwar bekannte aber in jener Zeit kaum verwendete HF-Schaltung, da diese mit den verfügbaren Halbleiterbauelementen realisierbar war. Ihre Funktion ist im Prinzip folgende: Ein — meist quarzstabilisierter — HF-Generator schwingt mit einer bestimmten Frequenz, z. B. mit 8 MHz. Die Kapazität  $C$  der Mikrofonkapsel ist in den Oszillatorschwingkreis mit einbezogen, so daß die im Falle einer Beschallung auftretenden Kapazitätsschwankungen die Frequenz des HF-Oszillators entsprechend modulieren. Eine nachfolgende Demodulatorschaltung liefert an ihrem Ausgang das gewünschte

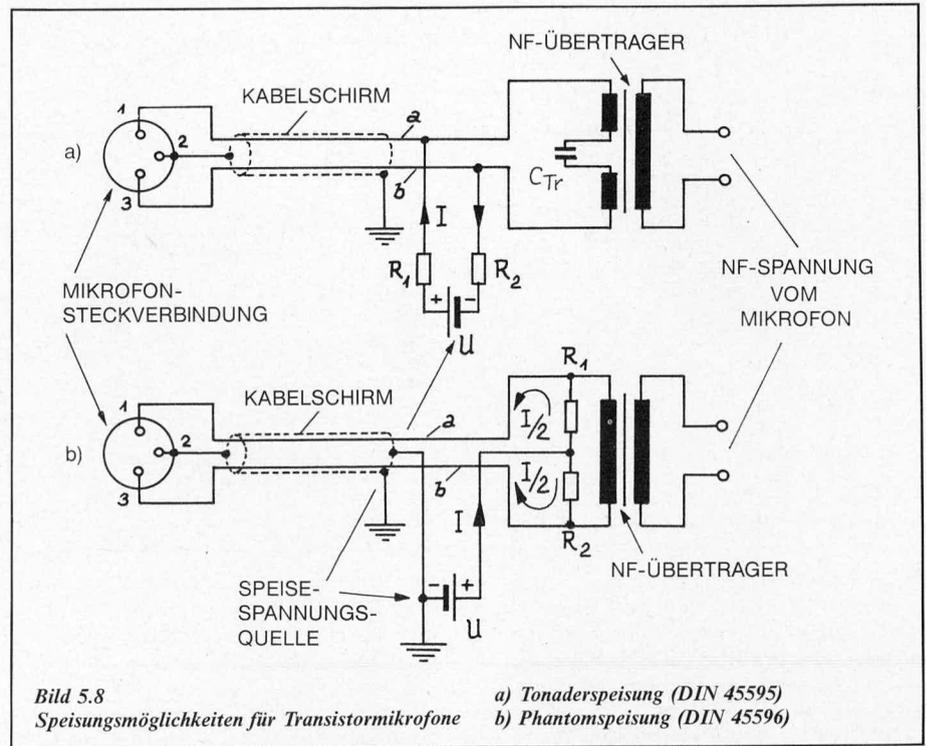


Bild 5.8  
Speisungsmöglichkeiten für Transistormikrofone

a) Tonaderspeisung (DIN 45595)  
b) Phantomspeisung (DIN 45596)

NF-Signal des Mikrofons. Für die praktische Ausführung des HF-Prinzips gibt es verschiedene schaltungstechnische Varianten, allen gemeinsam ist jedoch die Steuerung eines HF-Oszillators durch eine beschaltete Kondensatormikrofonkapsel mit nachfolgender Demodulation. Gegenüber der klassischen NF-Schaltung bietet das HF-Prinzip eine Reihe von Vorteilen. Neben dem Wegfall der Polarisationsspannung sowie spürbar geringeren Anforderungen an die Isolationswiderstände der Kapsel und des Schaltungsaufbaus können mit HF-Kondensatormikrofonen sehr tiefe Frequenzen übertragen werden. Zum Betrieb der HF-Schaltung ist allerdings eine Stromversorgung erforderlich. Da man bei Transistormikrofonen von Anfang an bestrebt war, nur ein 2adriges abgeschirmtes Anschlußkabel zu verwenden, mußte man einen Weg finden, um den speisenden Gleichstrom über die zur Verfügung stehenden Leitungsadern zu leiten, gegebenenfalls auch unter Einbeziehung der Kabelabschirmung. Inzwischen haben sich zwei Speisungsarten etabliert, die auch durch DIN-Vorschriften festgeschrieben wurden. Das sind a) die Tonaderspeisung (DIN 45595) und b) die Phantomspeisung (DIN 45596). Bei der Tonaderspeisung wird die Speisespannungsquelle ( $12\text{ V} \pm 1\text{ V}$ ) über zwei gleichgroße Vorwiderstände  $R_1$  und  $R_2$  von je 180  $\Omega$  gemäß Bild 5.8 a an die Tonadern a und b angeschlossen. Zwischen beiden Tonadern liegt somit die volle Speisespannung. Die Primärseite des in diesem Bild dargestellten NF-Übertragers ist daher durch einen Trennkondensator  $C_{Tr}$  gleichstrommäßig unterbrochen. — Bei der Phantomspeisung sind drei verschiedene Speisespannungen üblich, nämlich ( $12 \pm 1\text{ V}$ ), ( $24 \pm 4\text{ V}$ ) und ( $48 \pm 4\text{ V}$ ). Im Gegensatz zur Tonaderspeisung wird hier der Gesamtstrom  $I$  je zur Hälfte ( $I/2$ ) über jede der beiden Tonadern zum Mikrofon geleitet. Die Rückleitung erfolgt über den Kabelschirm, s. Bild 5.8 b. Beide Tonadern lie-

gen auf gleichem Potential. An phantomgespeisten Mikrofonanschlüssen können daher auch andere Mikrofone betrieben werden, die normalerweise keine Spannung benötigen, z. B. dynamische Kapseln.

Kondensatormikrofone nach dem HF-Prinzip gehören heute zu den hochwertigsten Studiomikrofonen. Bild 5.6 zeigt als praktisches Ausführungsbeispiel dafür das extrem rauscharme und hochaussteuerbare Studio-Kondensatormikrofon MKH 40 mit Nieren-Richtdiagramm. Der Übertragungsbereich dieses Gradientenmikrofons liegt zwischen 40 Hz und 20 kHz (s. Bild 5.7a). Der Feld-Leerlauf-Übertragungsfaktor beträgt 25 mV/Pa. Im Bild 5.7c sind die Richtdiagramme für Frequenzen zwischen 125 Hz und 16 kHz dargestellt. Der Grenzschalldruckpegel erreicht bei 1 kHz 134 dB. Bei eingeschalteter Vordämpfung (-10 dB) erhöht sich dieser Wert sogar auf 142 dB. Unter dem Grenzschalldruckpegel versteht man denjenigen Schallpegel, bis zu dem das Mikrofon praktisch noch verzerrungsfrei arbeitet (Klirrfaktor:  $\leq 0,5\%$ ). Die elektrische Nennimpedanz des MKH 40 beträgt 150  $\Omega$ . Der elektrische Anschluß erfolgt über eine Cannon-Steckverbindung. Das Mikrofon ist für eine 48 V-Phantomspeisung ausgelegt. Eine besonders hervorhebenswerte Eigenschaft dieses Mikrofons ist seine exzellente Rauscharmut. Der Äquivalentschalldruckpegel\*\*\* des MKH 40 beträgt nur 12 dB (A-bewertet) bzw. 22 dB (bewertet nach CCIR 468).

\*\*\*) Der Äquivalentschalldruckpegel  $L_{eq}$  (in dB) ist ein Maß für das Eigenrauschen eines Mikrofons. Er ist als 20facher Zehnerlogarithmus des Verhältnisses vom Äquivalentschalldruck  $\bar{p}_{eq}$  zu  $\bar{p}_0 = 20\text{ }\mu\text{Pa}$  definiert. Der  $\bar{p}_{eq}$  ergibt sich als Quotient aus der mit einem Bewertungsfilter gemessenen (Eigen)Geräuschspannung des Mikrofons und dessen Übertragungsfaktor  $B$ .



a) Dynamisches Lavalier-Mikrofon Typ MD 214

b) Lavalier-Ansteck-Mikrofon Typ MKE 10 (mit Elektretmikrofonkapsel)

Bild 5.9

Ausführungsbeispiele von Lavalier-Mikrofonen (Werkfoto: Sennheiser electronic)

### 5.3. Spezielle Mikrofone

Neben den „klassischen“ (Studio)Mikrofonen nach dem elektrodynamischen und elektrostatischen Wandlerprinzip — wie sie in den vorangegangenen Abschnitten besprochen wurden, gibt es noch eine Fülle von weiteren Mikrofonausführungen für spezielle Anwendungszwecke. Es würde den Rahmen dieses Artikels sprengen, wollte man sie hier in ihrer Gesamtheit vorstellen. Stellvertretend für diese Gruppe sollen abschließend nur noch zwei Spezialmikrofone etwas näher betrachtet werden: Erstens das Lavalier-Mikrofon und zweitens das drahtlose Hochfrequenz-Mikrofon.

Lavalier-Mikrofone \*\*\*\*\*) werden in der Hauptsache von Vortragsrednern, Reportern und Sängern benutzt, die sich das Mikrofon entweder um den Hals hängen (Bild 5.9a), oder dasselbe auch an der Kleidung befestigen (Bild 5.9b), um sich so während des Sprechens oder Singens ohne Rücksicht auf das Mikrofon möglichst frei bewegen zu können. Das Mikrofon wird dabei ständig vor der Brust getragen, wo es erstens nur von der Seite besprochen und von der Brustkorbresonanz beeinträchtigt wird sowie zweitens den Reibegeräuschen an der Kleidung ausgesetzt ist. Beim Sprechen

oder Singen werden die hohen Frequenzen vom Mund größtenteils nach vorn abgestrahlt, so daß sie das Mikrofon bestenfalls erheblich geschwächt erreichen. Damit ein solches Mikrofon bei einer Übertragung nicht zu dumpf klingt, muß es entsprechend entzerrt und ansonsten durch konstruktive Maßnahmen gegen Körperschall unempfindlich gemacht werden. Die Entzerrung erfolgt in der Weise, daß die hohen Frequenzen oberhalb von etwa 2 kHz — bei einer Beschallung von vorn gemessen — deutlich angehoben werden und der Bereich zwischen etwa 0,5 ... 1 kHz abgesenkt wird. Im normalen Betriebsfall, d. h. bei Verwendung als Umhänge- oder Ansteckmikrofon, bekommt man so einen ebenen Frequenzgang. Die im Bild 5.9 als Ausführungsbeispiele gezeigten Mikrofone sind beides Druckempfänger mit Kugelcharakteristik. Das Bild a) zeigt einen dynamischen Wandler, der einen Frequenzbereich von etwa 60 Hz bis 15 kHz überträgt, während im Bild b) ein kleines Ansteck-Elektretmikrofon zu sehen ist, dessen Übertragungsbereich von 50 Hz bis 20 kHz reicht. Dieses Mikrofon ist besonders geeignet für den drahtlosen Einsatz zusammen mit einer Mikroport-Übertragungsanlage. Die im Mikrofon MKE 10 enthaltene Elektret-

kapsel ist übrigens, wie alle hochwertigen Elektretmikrofone, in Back-Elektret-Technik hergestellt. Das bedeutet, daß das Elektretmaterial nicht in der Mikrofonmembran steckt, sondern auf der Gegenelektrode (engl.: back plate) aufliegt. Dadurch erzielt man eine wesentlich günstigere Impulstreue und außerdem eine Herabsetzung der Körperschallempfindlichkeit.

Ein letztes Wort noch zu den drahtlosen HF-Mikrofonen. Es gibt Anwendungsgebiete (Hörfunk, Fernsehen, Film), wo ein drahtgebundenes Mikrofon mit seinem Anschlußkabel die Bewegungsfreiheit eines Sprechers oder Sängers soweit behindert oder gar einschränkt, daß seine Verwendbarkeit in Frage gestellt ist. Das gilt insbesondere für den Show-Bereich, wo man zumindest die Strecke zwischen Mikrofon und Mischpult drahtlos überbrücken möchte. Ein für derartige Zwecke hervorragend geeignetes und in der Praxis bewährtes drahtloses Mikrofon (Typ SKM 4031) zeigt das Bild 5.10. Es besteht aus einem Mikrofonteil und einem HF-Sender mit sehr kurzer Antenne. Der Sender wird frequenzmoduliert und arbeitet mit Trägerfrequenzen zwischen 30 ... 45 MHz, 138 ... 250 MHz oder 460 ... 960 MHz. Auf der Empfangsseite gibt es dafür passend abgestimmte Empfänger. Das im SKM 4031 verwendete Mikrofon hat ein Supernieren-Richtdiagramm und gewährleistet allein schon dadurch eine ausgezeichnete Rückkopplungssicherheit. Die Richtwirkung ist weitgehend frequenzunabhängig. Neben einer verzerrungsfreien Übertragung bis zu sehr hohen Schalldruckpegeln zeichnet sich dieses drahtlose Mikrofon auch durch eine sehr große Unempfindlichkeit gegenüber Körperschall und Poppergeräuschen aus.

\*\*\*\*\*) Die Bezeichnung „Lavalier“-Mikrofon hat von ihrem Ursprung her nichts mit der Akustik zu tun, am wenigsten aber mit dem Erfinder desselben. Der Name stammt vielmehr von einer französischen Lebedame, die von einem wohlhabenden Verehrer ein ungewöhnlich geformtes Medaillon geschenkt bekam. Nachbildungen davon sind unter Juwelieren als Lavalier-Medaillons bekannt. Was lag näher, als diese Bezeichnung auch auf all' die Mikrofone zu übertragen, die man sich mit einer Schnur um den Hals hängt?



Bild 5.6: Extrem rauscharmes und hochaussteuerbares Studio-Kondensator-Mikrofon MKH 40 P48 mit schaltbarem Roll-off-Filter und 10 dB-Abschwächer (Werkfoto: Sennheiser electronic). Das MKH 40 ist ein Gradientenmikrofon mit Nieren-Richtdiagramm



Bild 5.10: Drahtloses Hochfrequenz-Mikrofon Typ SKM 4031 (Werkfoto: Sennheiser electronic)