

1 Akustik der Aufnahmeräume

- 1.1 Schallwellen, Grundbegriffe
- 1.2 Pegel
- 1.3 Raumakustik, Grundbegriffe
- 1.4 Direktschall
- 1.5 Schallreflexion
- 1.6 Schallabsorption
- 1.7 Hall
- 1.8 Hallradius
- 1.9 Aufnahmestudios
- 1.10 Konzertsäle des 18. Jahrhunderts
- 1.11 Konzertsäle des 19. Jahrhunderts
- 1.12 Konzertsäle des 20. Jahrhunderts
- 1.13 Opernhäuser und Theater
- 1.14 Kirchen

Die akustischen Phänomene des Alltags, vor allem Geräusche und Sprache, und die akustischen Phänomene im Bereich der Kunst und Unterhaltung, vor allem Musik und Sprache, entfalten sich stets in einem – auch hörbaren – Raum; er kann klein oder groß, hallig oder trocken, die Wände können nah oder entfernt sein. Die Akustik eines Raumes hat für die akustische Wahrnehmung eine ähnliche Bedeutung wie das Licht für die Malerei oder Plastik. Räume verändern den Klang, die Beleuchtung verändert das Aussehen der Gegenstände. Raum und Licht sind Medien der Wahrnehmung. Sie sind nicht neutral, sondern verändern, interpretieren die Ereignisse bzw. Gegenstände. So fügt die Raumakustik der Musik oder Sprache Informationen über die Art des Raums hinzu, über seine Größe sowie die Entfernung und Beschaffenheit der Wände. Dies kann zugleich eine Information über die kulturelle und soziale Umgebung sein: Eine typische Kirchenakustik assoziiert die Musik mit einer Kirche, mit ihrer feierlichen Stille, mit ihrer religiösen Besinnlichkeit. Kammermusik kann entsprechend ihrer Bestimmung mit der Akustik eines Wohnraums vermittelt werden. Mit der Akustik eines Konzertsaals mit 2000 Plätzen aber wird sie zur öffentlichen Konzertmusik, was jedoch durchaus angemessen sein kann. Der passende Aufnahmeraum gehört ebenso zu einer historischen Aufführungspraxis wie die historischen Instrumente und die Interpretation der Musik. Weil bei elektroakustischer Wiedergabe der optische Raumeindruck fehlt, gewinnt der akustische Raumeindruck umso mehr Gewicht. Mehr und mehr benutzt man für Aufnahmen deshalb sog. Originalräume und mehr und mehr versucht man, die Akustik durch Mehrkanalton-Aufnahmen besser darzustellen.

Der bei der Aufnahmetechnik von Pop- und Rockmusik, aber gelegentlich auch von Film- und klassischer Musik geübte Verzicht auf den „natürlichen“ Aufnahmeraum und sein Ersatz durch eine mit den Mitteln der Studioteknik erzeugte Raumillusion bedeutet nicht den Verzicht auf die angemessene Akustik, sondern eine sonst oft nur mit großem Aufwand mögliche Optimierung der notwendigen Raumillusion einer Aufnahme. Mit denselben Mitteln können allerdings auch „künstliche“ Aufnahmeräume geschaffen werden; die Raumakustik, der Raum wird damit Teil der bei der Aufnahme gestaltbaren Klangästhetik. Zwischen einer „natürlichen“ und einer „künstlichen“ Raumakustik, die rein physikalisch durchaus auch undenkbar sein kann, gibt es natürlich alle Stufen des Übergangs.

1.1 Schallwellen, Grundbegriffe

Schallausbreitung

Bei der Schallausbreitung in Luft entfernen sich Zonen verdichteter Luft mit erhöhtem Luftdruck abwechselnd mit Zonen verdünnter Luft mit geringerem Luftdruck mit Schallgeschwindigkeit von der Schallquelle weg. Die einzelnen Luftteilchen der Schallwelle schwingen bei der Schallausbreitung nur um ihren Ruhepunkt, die Schallwelle transportiert also nicht Luft, sondern Energie, nämlich Schallenergie. Diese **Dichtewelle** ist die Wellenart, mit der sich Schall in Luft, allgemein in Gasen, aber auch in Flüssigkeiten, ausbreitet. Weil die Schwingung längs der Ausbreitungsrichtung erfolgt, spricht man von Längs- oder Longitudinalwellen (A). Reine Longitudinalwellen entwickeln sich allerdings nur in einem allseitig unbegrenzten Medium; bei der Schallausbreitung im Freien, aber auch in Räumen, ist diese Bedingung für die Praxis ausreichend erfüllt. An einer Wasseroberfläche hingegen schwingen die Wasserteilchen auch quer zur Ausbreitungsrichtung in einer elliptischen Bahn, da das Medium hier begrenzt ist. Das einzelne Teilchen führt also eine Schwingung aus, die Gesamtheit der schwingenden Teilchen bildet eine Welle.

Da sich Schall von einer punktförmigen Schallquelle – oder einer im Vergleich zur Wellenlänge kleinen Schallquelle – in Luft in alle Richtungen von der Schallquelle aus in gleicher Weise ausbreitet, stellen sich z. B. die Zonen mit Luftverdichtung als konzentrische Kugelschalen dar, die sich von der Schallquelle entfernen und sich dabei zunehmend vergrößern; eine solche Schallwelle wird **Kugellwelle** genannt. In großem Abstand von der Schallquelle wird die Wölbung der Kugelschalen immer geringer, bis die Kugellwelle in eine **ebene Welle** übergeht (B). Bei der Kugellwelle nimmt die Stärke der Wellenbewegung, also ihre Amplitude, mit der Entfernung ab, bei der ebenen Welle bleibt sie weitgehend konstant, es gibt nur geringe Verluste z. B. durch Reibung und damit Wärmebildung. Direkt um die Schallquelle hat eine Schallwelle komplizierte Eigenschaften mit Folgen für die Mikrofonierung (s. Kap. 3.5, Nahbesprechungseffekt). In der Praxis gibt es noch weitere Einflüsse auf die Schallausbreitung (s. Kap. 1.4).

Bei der **Schallausbreitung in Festkörpern** entstehen neben der Dichtewelle auch andere Wellenformen, denn Körper sind begrenzt, bei Musikinstrumenten handelt es sich z. B. um Saiten und Stäbe, hier entstehen Biege- und Torsionswellen, oder Membranen und Platten, hier entstehen Biege- und Torsionswellen (A).

Kennwerte einer Schallwelle

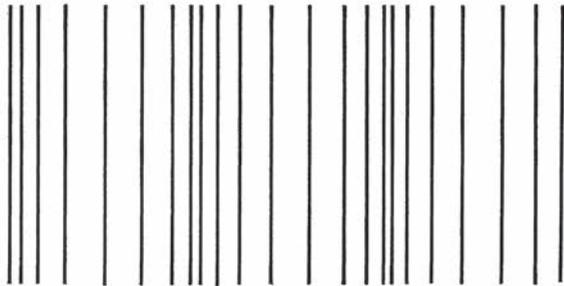
Bei der Ausbreitung einer Schallwelle ändern sich mehrere physikalische Größen: der Ort der Luftteilchen im Raum, die Dichte der Luft, der Schalldruck, d. h. die Änderung des Luftdrucks durch die Schallwelle, die Schallschnelle, d. h. die Bewegungsgeschwindigkeit der Luftteilchen, der Schalldruckgradient, d. h. der Luftdruckunterschied zwischen zwei Raumpunkten, und die Temperatur. Mikrofone reagieren entweder auf den Schalldruck, auf den Schalldruckgradienten oder auf die Schallschnelle (s. Kap. 3). Die Kennwerte dieser Schwingungen werden durch die Begriffe Wellenlänge, Frequenz, Amplitude und Phase erfasst (C).

Die **Wellenlänge** einer Schallwelle ist der Abstand, nach dem sich das Schwingungsbild wiederholt. Die Wellenlängen, die für Tonaufnahmen von Bedeutung sind, reichen von rund 20 m für die tiefsten hörbaren Frequenzen mit 16 Hz bis rund 1,5 cm für die höchsten hörbaren Frequenzen mit 20 kHz (E). Viele akustische Phänomene zeigen eine Abhängigkeit von der Frequenz bzw. der Wellenlänge, dazu gehören die Schallreflexion, die Schallbeugung, die Schallabstrahlung der Musikinstrumente und Lautsprecher, die Schallabsorption und – wichtig für die Tonaufnahme – das Verhalten der Mikrofone im Schallfeld.

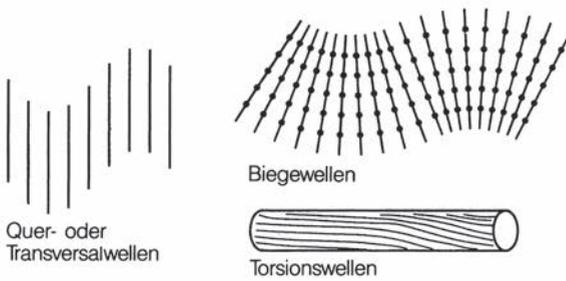
Die **Frequenz** mit dem Formelzeichen f ist die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, Frequenz und Wellenlänge hängen von einander ab. Die Dauer einer Schwingung ist die **Periodendauer** T , $T = 1/f$ (C).

Die **Amplitude** ist die größte Auslenkung einer Schwingungsgröße aus ihrer Ruhelage, ihr Effektivwert ist bei Sinusschwingungen $\frac{1}{2} \sqrt{2} \approx 0,7$.

A. Schallwellen in Luft und in Festkörpern

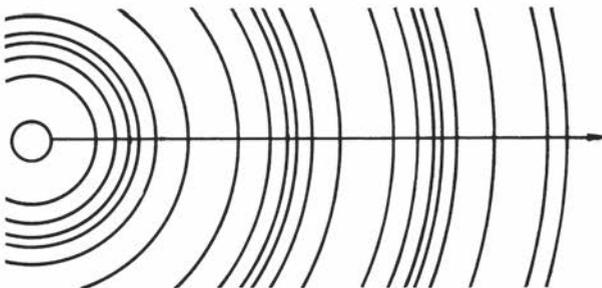


Schallausbreitung in Luft: Längs- oder Longitudinalwellen

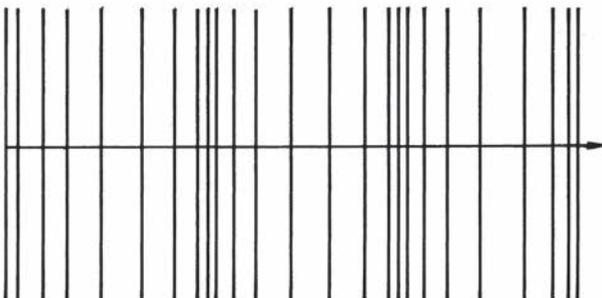


Schallausbreitung in Festkörpern

B. Kugelwelle im Nahfeld und ebene Welle im Fernfeld einer Schallquelle

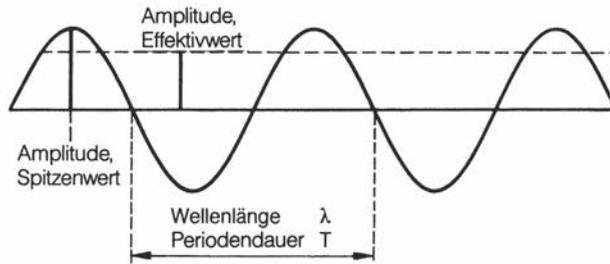


Kugelwelle im Nahfeld



ebene Welle im Fernfeld

C. Schallwellen, grundlegende mathematische Zusammenhänge



$$\lambda = c \cdot T$$

$$= \frac{c}{f}$$

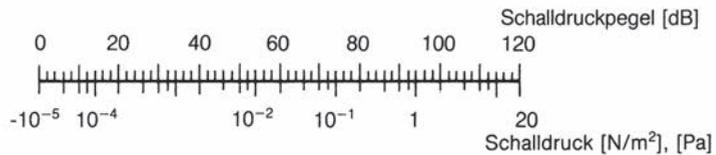
$$f = \frac{1}{T} \quad c = 343 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \text{Wellenlänge [m]}$$

$$c = \text{Schallgeschwindigkeit [m/s]}$$

$$T = \text{Periodendauer [s]}$$

$$f = \text{Frequenz [Hz]}$$



für die ebene Welle:

$$\frac{p}{v} = Z$$

$$Z = \rho \cdot c$$

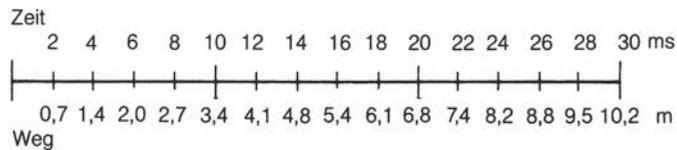
$$p = \text{Schalldruck [N/m}^2\text{] oder [Pa]}$$

$$v = \text{Schallschnelle [m/s]}$$

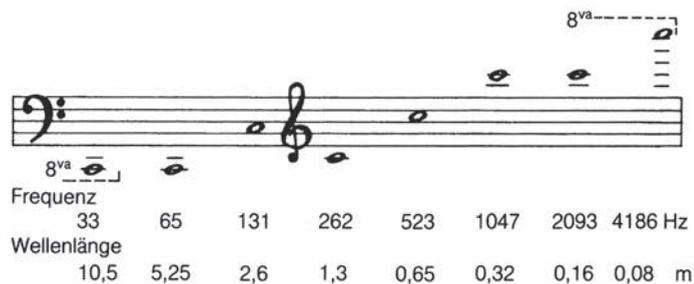
$$Z = \text{Schallkennimpedanz [Ns/m}^3\text{]}$$

$$\rho = \text{Luftdichte [kg/m}^3\text{]}$$

D. Zusammenhang von Laufzeit und zurückgelegtem Weg bei der Ausbreitung einer Schallwellen in Luft



E. Zusammenhang von Frequenz und Wellenlänge sowie ihrer musikalischen Notation bei einer Schallwelle in Luft



Die **Phase** ist der Zustand einer Schwingung zu einem Zeitpunkt, bei einer Welle zu einem Zeitpunkt und an einem Ort. Bei einer Sinusschwingung, bei der sich z. B. der Druck, die Schnelle und der Gradient sinusförmig in Abhängigkeit von der Zeit ändern, gilt für den Augenblickswert $a(t) = \hat{a} \sin \omega t$ (t = Zeit, \hat{a} = Amplitude, $\omega = 2\pi f$ = Kreisfrequenz). Nach jeder Periodendauer T oder nach dem Abstand einer Wellenlänge λ wiederholt sich hier derselbe Schwingungszustand. Schalldruck, Schallschnelle und Schalldruckgradient sind in der ebenen Schallwelle, also im Fernfeld, in Phase und einander proportional. Im Nahfeld üblicher Schallquellen stellt sich zwischen Druck und Schnelle bei Annäherung an die Schallquelle eine zunehmende Phasenverschiebung bis 90° ein. Schalldruck und Schallschnelle sind hier nicht mehr proportional.

Der **Schalldruck** überlagert sich als Wechseldruck dem atmosphärischen Gleichdruck. Seine Druckschwankungen sind so gering, dass sie z. B. in 1 m Entfernung von einem Sprecher etwa den millionsten Teil des atmosphärischen Luftdrucks betragen, weit weniger als wetterbedingte Druckschwankungen. Der Schalldruck wirkt stets in alle Richtungen in gleicher Weise, eine bestimmte Richtung – wie sie etwa die Luftteilchenbewegung kennzeichnet – gibt es nicht. Ein Mikrofon, das auf Schalldruck reagiert, ist deshalb stets in alle Richtungen gleich empfindlich, es hat Kugelrichtcharakteristik, wenn es klein gegenüber der Wellenlänge ist. Die Größe des Schalldrucks kann durch verschiedene Messgrößen angegeben werden, meist durch den Effektivwert, gemessen in Pascal [Pa] oder Newton pro m^2 [N/m^2], $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$. In vielen Fällen erweist sich der Schalldruckpegel, angegeben in Dezibel oder dB und bezogen auf die genormte Hörschwelle von 0 dB entsprechend $20 \cdot 10^{-6} \text{ N}/\text{m}^2$ als praktische Größe des Schalldrucks (s. Kap. 1.2). Leise Geräusche liegen bei 30 bis 40 dB, laut wird es ab 80 dB.

Die **Schallschnelle** ist die Bewegungsgeschwindigkeit der Luftteilchen. Im Gegensatz zum Schalldruck hat die Teilchenbewegung eine Richtung. Bändchenmikrofone sprechen auf die Schnelle an, sie können Schall also gerichtet empfangen. Man benutzt den Begriff Schnelle, um eine Verwechslung mit der Schallgeschwindigkeit c , die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle, zu vermeiden. Die Schallschnelle zeigt im Nahfeld ein anderes Verhalten als der Schalldruck. Während der Schalldruck unabhängig von der Wellenlänge in dem Maß ansteigt, wie der Abstand zur Schallquelle abnimmt, steigt die Schallschnelle überproportional an. Die Schallschnelle von Luftschall ist sehr gering, selbst bei sehr lautem Schall geht es nur um einige mm/s.

Der **Schalldruckgradient** ist die Druckdifferenz zwischen zwei Punkten im Schallfeld, er hat wie die Schnelle eine Richtung und verhält sich im Nahfeld wie die Schnelle. Richtmikrofone mit Ausnahme der Bändchenmikrofone reagieren auf den Druckgradienten, es können verschiedene Richtwirkungen realisiert werden.

Schallkennimpedanz ist das Verhältnis von Druck zu Schnelle, Formelzeichen Z . Sie ist im Nahfeld eine komplexe Größe, im Fernfeld eine Konstante der Luft, der akustische Widerstand der Luft.

Schallgeschwindigkeit, Formelzeichen c , bezeichnet die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle in Luft. Sie ist eine Konstante, die nur von den atmosphärischen Bedingungen bestimmt wird, und beträgt bei 20°C auf Meereshöhe $343,8 \text{ m/s}$, bei 10°C $337,8 \text{ m/s}$, bei 0°C $331,8 \text{ m/s}$, in Wasser bei 15°C 1498 m/s . Die für einen bestimmten Weg s [m] benötigten Laufzeit t [s] bei der Ausbreitung einer Schallwelle in Luft ergibt sich aus $t = s/c$ (D).

Man unterscheidet in der Akustik Töne und Klänge. Töne sind sinusförmige Schwingungen oder Wellen, Klänge sind zusammengesetzt aus Tönen, deren Frequenzen ganzzahlige Vielfache einer Grundfrequenz sind (s. Kap. 2.1).

1.2 Pegel

Die physikalischen Größen der Akustik haben generell einen sehr großen Wertebereich, der Schalldruck z. B. beträgt bei einem 1000 Hz-Ton an der Hörschwelle nur 0,0000002 Pascal, bei großer Lautstärke etwa 20 Pascal, entsprechend große unübersichtliche Wertebereiche ergeben sich bei den elektrischen Größen wie Spannung und Strom in der Tonstudioteknik. Die Verwendung des Pegelmaßes löst dieses Problem, das hat wichtige Vorteile:

- Als Pegel ausgedrückt bleiben die Größen in einem wesentlich kleineren Wertebereich, die Zusammenhänge sind anschaulicher darstellbar und besser abschätzbar; der Schalldruck z. B. nimmt als Schalldruckpegel nur Werte zwischen rund 0 und 150 dB an.
- Der rechnerische Umgang mit Werten wird einfacher. Während z. B. die Verstärkung einer Signalamplitude eine Multiplikation mit dem Verstärkungsfaktor erfordert, wird bei einem Pegel aus der Multiplikation eine Addition von Pegelwerten, aus einer Division bei der Dämpfung wird eine Subtraktion von Pegelwerten.
- Das Pegelmaß ist dem Lautstärkeempfinden des menschlichen Gehörs viel besser angepasst, denn das Gehör komprimiert die großen Wertebereiche ungefähr wie das Pegelmaß. So empfinden wir eine Verdopplung der Signalamplitude, also eine Erhöhung des Pegels um 6 dB, keineswegs als doppelt so laut, erst bei 10 dB Erhöhung des Pegels empfindet man die doppelte, bei 20 dB die vierfache Lautstärke, nicht bei 12 dB entsprechend der vierfachen Amplitude.

Der **relative Pegel** gibt das Verhältnis zweier Größen mit gleichen Einheiten zueinander an als ein Vielfaches ihres 20-fachen Zehnerlogarithmus', er ist damit dimensionslos, eine reine Zahl. Diese erhält den Zusatz dB, die Abkürzung von Dezibel, entstanden aus deci Bel = 1/10 Bel, um sie als Pegelangabe, als Pegelmaß, kenntlich zu machen. Benannt wird diese Hilfseinheit nach Alexander G. Bell. Der Multiplikator 20 hat einen historischen Hintergrund. Wenn man einer dieser Größen des Zahlenverhältnisses einen vereinbarten Bezugswert zuweist, z. B. den Schalldruck 20 μ Pa oder die Spannung 0,775 V, kann man mit einer Pegelangabe auch den Wert einer Amplitude eines einzelnen Signals als **absoluten Pegel** angeben (A). Die Zuordnung von Pegel zu den Verhältnissen der Größen, also z. B. Schalldruck oder Spannung, zeigt B für einige in der täglichen Praxis relevante Werte, C für genaue Werte. Welcher Bezugswert jeweils gemeint ist, wird an einem Zusatz zu dB erkennbar, z. B. dB SPL für den Schalldruck oder dBu für die Spannung, beide bezogen auf die o. g. Bezugswerte. In der Akustik und Tonstudioteknik sind mehrere absolute Pegelmaße gebräuchlich (D).

Die Pegelangaben bei der **Analogtechnik im Funkhaus** können einerseits in dBu gemacht werden; der vereinbarte Pegel für Vollaussteuerung beträgt dabei +6 dBu entsprechend 1,55 V. Vollaussteuerung ist der maximal zugelassene Programmpegel. Da sich praktisch alle Pegelverhältnisse der Übertragungskette im Funkhaus aber auf den Wert bei Vollaussteuerung beziehen, liegt es nahe, eben diesen Wert als neuen Bezugswert mit 0 dB oder 0 dBr = +6 dBu als Funkhauspegel festzusetzen, alle Pegelangaben sind dann relative Pegel bezogen auf 0 dB, im Allgemeinen haben sie Werte unter Vollaussteuerung (100%), also Werte mit negativem Vorzeichen. Da diesen 0 dB über die Angabe +6 dBu ein fester Bezugswert zugeordnet ist, kann man den Funkhauspegel auch als absoluten Pegel eben mit dem Bezugswert 1,55 V betrachten. Die Aussteuerung wird gemessen mit dem in DIN 45 405 genormten Spitzenspannungsmesser. Man kann eine solche Pegelangabe als abgeleiteten absoluten Pegel bezeichnen, so wie auch der Studiopegel mit 0 dB = +4 dBu in USA, Canada, UK u. a. oder der Pegel im Bereich Homerecording mit 0 dB = -10 dBV von vereinbarten Bezugspegeln abgeleitet sind (D). Mit Einführung der Digitaltechnik im Rundfunk, zunächst in der Produktion, inzwischen normalerweise auf dem gesamten Übertragungsweg bis hin zum Sender, mussten die zu verwendenden Pegel neu überdacht werden; Grundsatz hierbei war, sich den bisherigen Pegelführungen möglichst anzupassen. Im deutschsprachigen Rundfunk, aber auch europäischen, wurde für digitale Signale das Pegelmaß dBFS (dB Full Scale) eingeführt, um einen problemlosen

$$p = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}$$

relativer Spannungspegel p: $U_1, U_2 =$ zu vergleichende Spannungen, Effektivwerte,
z.B. Eingangs- und Ausgangsspannung [V]

absoluter Spannungspegel p: $U_1 = 0,775$ V, Bezugswert für Spannungspegel, Effektivwert
 $U_2 =$ als Pegel anzugebende Spannung [V]

A. Definitionen von relativem und absolutem Spannungspegel

dem Werteverhältnis	1	1,4	2	3,2	4	5,8	10	20	40	100	1.000
entsprechen ca. ... dB	0	3	6	10	12	15	20	26	32	40	60

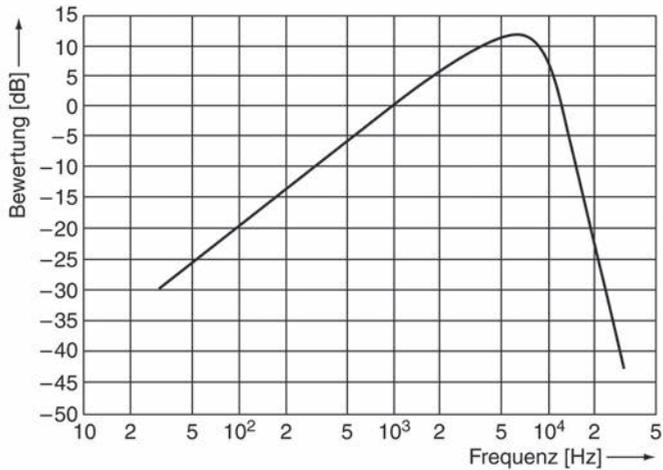
B. Zuordnung von Pegelwerten zu Spannungs- oder Schalldruckverhältnissen, einige wichtige Werte, abgerundet

dB	,0	,2	,4	,6	,8
0	1,000	1,023	1,047	1,072	1,096
1	1,122	1,148	1,175	1,202	1,230
2	1,259	1,288	1,318	1,349	1,380
3	1,413	1,445	1,479	1,514	1,549
4	1,585	1,622	1,660	1,698	1,738
5	1,778	1,820	1,862	1,905	1,950
6	1,995	2,042	2,089	2,138	2,188
7	2,239	2,281	2,344	2,399	2,455
8	2,512	2,570	2,630	2,692	2,754
9	2,818	2,884	2,951	3,020	3,090
10	3,162	3,236	3,311	3,388	3,457
12	3,981	4,074	4,169	4,266	4,365
14	5,012	5,129	5,248	5,370	5,495
16	6,310	6,457	6,607	6,761	6,918
18	7,943	8,128	8,318	8,511	8,710
20	10,0				

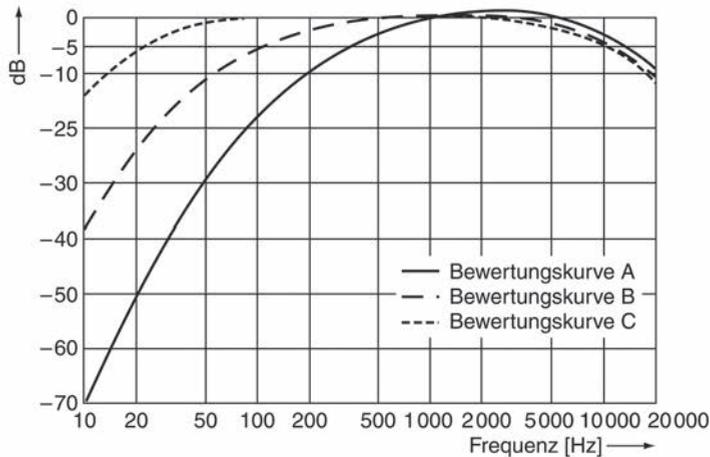
C. Zuordnung von Pegelwerten zu Spannungs- oder Schalldruckverhältnissen, exakte Werte

Abkürzung	Benennung	Bezugswert
dB	Schalldruckpegel, unbewertet	$20 \mu\text{Pa} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2$
dBA (B, C)	Schalldruckpegel, bewertet mit den genormten Filterkurven A, B, C	$20 \mu\text{Pa} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2$
dBmV	Spannungspegel USA	1 mV
dBqs, dBqps	Störpegel, unbewertet und bewertet	0,775 V
dBr	Funkhauspegel	1,55 V
dBre	Pegel mit Bezugswertangabe	nach Angabe
dB SPL	Schalldruckpegel	$20 \mu\text{Pa} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2$
dBu	Spannungspegel	0,775 V
dBV, dBv	Studiopegel USA, U.K., Canada u. a.	1 V

D. Einige in der Akustik und analogen Tonstudientechnik gebräuchliche absolute Pegelmaße



E. Bewertungskurve für den Störpegel nach DIN 45 405



F. Bewertungskurven A, B und C für die Messung des bewerteten Schallpegels nach DIN IEC 651

Signale	Phasendifferenz	Pegeldifferenz	Gesamtpegel
zwei Sinussignale mit gleichem Pegel und gleicher Frequenz	0°	0 dB	+6 dB
	90°	0 dB	+3 dB
	120°	0 dB	0 dB
	180°	0 dB	-∞ (ausgelöscht)
zwei Sinussignale mit unterschiedlichen Frequenzen und Pegeln oder zwei komplex zusammengesetzte Signale mit unterschiedlichen Pegeln	Phasendifferenz ständig wechselnd	0 dB 1 dB 2 dB 4 dB 6 dB 9 dB unter 10 dB	3,0 dB 2,5 dB 2,1 dB 1,4 dB 0,9 dB 0,5 dB nicht relevant

G. Gesamtpegel zweier Signale nach ihrer Überlagerung oder Mischung

Programmaustausch zwischen den Rundfunkanstalten zu gewährleisten. 0 dBFS ist der Pegel, der im Programmablauf eigentlich nie erreicht werden soll und grundsätzlich auch nicht überschritten werden kann.

Bewertete Pegel

Um die subjektive Störwirkung von Störspannungen zu berücksichtigen, ist eine frequenzunabhängige Messung des Störsignals nicht sinnvoll, vielmehr wird vor dem Messvorgang ein Filter eingeschaltet, das die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs nachbildet. Die Filter- oder Bewertungskurve für den Störpegel muss also einen Verlauf haben (E), der spiegelbildlich zu den Kurven gleicher Lautstärkepegel im Bereich kleiner Pegel liegt (s. Kap. 2.2). Der **Störpegel** wird mit dBqps gekennzeichnet. Bedauerlicherweise gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, durch die Anwendung überholter oder nicht anzuwendender Messvorschriften, „geschönte“ Messergebnisse zu erzeugen, deshalb müssen Angaben zu Störspannungen und -pegeln stets genau geprüft werden.

Auch in der Akustik ist die Einführung eines Pegelmaßes, das die Schallwahrnehmung berücksichtigt, sinnvoll, es ist der absolute **bewertete Schalldruckpegel**, vereinfacht oft nur Schallpegel genannt, gemessen meist in dBA, selten dBB oder dBC, mit genormten Filtern mit den Filterkurven A, B bzw. C nach DIN IEC 651. Dabei werden alle Frequenzen bei einer Lautstärke- oder Geräuschmessung weniger oder nicht berücksichtigt, die weniger oder nicht hörbar sind, das betrifft Frequenzen unter 1 kHz und über 5 kHz (F). Filterkurve A ist für geringe Lautstärken vorgesehen, B für mittlere und C für hohe; meist wird allerdings unabhängig von der tatsächlichen Lautstärke mit der Kurve A gemessen, weil sie bei größeren Lautstärken geringere Werte ergibt, was für Lärmmessungen z. B. ein „schöneres“ Ergebnis liefert.

Rechnen mit Pegeln

Verstärkung und Dämpfung im Pegelmaß: Diese Rechnungen können durch einfache Addition oder Subtraktion durchgeführt werden: Ist der Ausgangspegel z. B. eines Mikrofons -30 dB und der nachfolgende Verstärker hat eine Verstärkung von 20 dB, so wird der Ausgangspegel -30 dB + 20 dB = -10 dB. Hat z. B. eine ankommende Leitung einen Pegel von $+6$ dB, der nachfolgende Pegelsteller eine Dämpfung von 10 dB, ergibt sich ein Pegel von $+6$ dB - 10 dB = -4 dB.

Überlagerung von Sinussignalen: Bei der Überlagerung, also bei der Mischung von zunächst zwei Signalen im tonstudiotekhnischen Sinne können sich die Signale in einem bestimmten Augenblick addieren oder subtrahieren, abhängig von den augenblicklichen Amplitudenwerten und der jeweiligen Phasendifferenz. Es ergibt sich als Summe mit zeitlicher Mittelwertbildung ein statistischer Wert, ein Durchschnittswert. Bei Sinussignalen mit gleichen Pegeln und gleichen Frequenzen bestimmt nur die Phasendifferenz den resultierenden Pegel, bei der Überlagerung von Signalen mit unterschiedlichen Frequenzen und Pegeln kann es nur einen statistischen Mittelwert geben (G).

Überlagerung beliebiger Audiosignale: In der Praxis geht es um unterschiedliche, komplexe Signale mit unterschiedlichen und ständig wechselnden Frequenzgemischen und Pegeln ohne definierbare Phasendifferenzen. Möglich sind dann nur noch statistische Aussagen über den Gesamtpegel nach der Mischung. Der nach der Überlagerung resultierende Gesamtpegel ist im Durchschnitt überraschend wenig höher als der höhere der beiden Pegel (G). Es kann bzw. kommt allerdings vor, dass kurzzeitig, aber gleichzeitig sich Pegelspitzen ohne Phasendifferenz addieren; haben sie gleiche Pegel, so ergibt sich nicht ein Gesamtpegel von $+3$ dB, sondern $+6$ dB. Damit gibt es keine berechenbare Sicherheit für den Spitzenpegel einer Mischung, insbesondere, wenn mehr als zwei Signale gemischt werden.

2.4 Sprech- und Singstimme

Sprechstimme

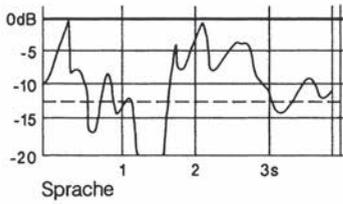
Pegel und Dynamik: Verglichen mit den Schallpegeln von Musikinstrumenten ist die Sprechstimme relativ leise. Als Anhaltspunkt können bei einem Mikrofonabstand von 60 cm die folgenden gemittelten Maximalpegel gelten; bei 120 cm Abstand liegen sie um rund 4 dB niedriger, bei 30 cm Abstand um 4 dB höher:

gemittelte Maximalpegel	normales Sprechen		lautes Sprechen	durchschnittliche Dynamik
	leiser	lauter		
Männer	60 dB	65 dB	76 dB	16 dB
Frauen	58 dB	63 dB	68 dB	10 dB

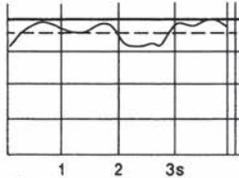
Erscheint das Sprechen halb so laut, so ist ein Pegelrückgang von 6 bis 7 dB damit verbunden. Gemurmelt Sprechen liegt nochmals rund 5 dB unter leisem Sprechen, sehr lautes Sprechen rund 5 dB über lautem Sprechen. Die Dynamik liegt mit den extremen Formen des Sprechens bei Männern um etwa 25 dB bzw. 20 dB bei Frauen. Diese Werte gelten für die „Mikrofonstimme“, also für eine Sprechweise, die, anders als die „Bühnenstimme“, auf die expressive Heraushebung einzelner Worte verzichtet und Satzenden nicht „ausblendet“. Bei der Tonaufnahme führen starke Pegelschwankungen zu einem niedrigeren Durchschnittspegel und zu geringerer Sprachverständlichkeit und einer zusätzlichen Problematisierung des Lautstärkeverhältnisses von Sprache zu Musik bei der Aussteuerung.

Pegelstruktur: Der Pegelverlauf des gesprochenen Wortes ist ausgeprägt impulsartig: Zeitlich sehr kurze Pegelspitzen von Explosivlauten bestimmen die höchsten Pegelwerte, Kurzpausen zwischen Sätzen, Satzteilen, Wörtern, Silben und Phonemen unterbrechen den Pegelverlauf. Dagegen ist der Pegelverlauf von Musik weitaus gleichförmiger (A). Dadurch ergibt sich ein Durchschnittspegel, der weit unterhalb des Spitzenpegels liegt, im Durchschnitt um 12 dB darunter. Der Durchschnittspegel populärer Musik wird im Allgemeinen bei rund 6 dB unter dem Spitzenpegel angesetzt, bei klassischer Musik liegt dieser Wert bei 18 dB. Da die Lautstärke annähernd dem Durchschnittspegel folgt, wirkt Sprache erheblich leiser als Musik bei denselben Spitzenpegeln. Eine Lautstärkebalance zwischen Sprache und Musik ist deshalb durch Vergleich der abgelesenen Pegelwerte nicht möglich; vielmehr müssen die genannten Durchschnittswerte, die aus den Spitzenwerten ableitbar sind, annähernd gleich sein (B). Eine ungefähre Lautstärkegleichheit z. B. zwischen klassischer Musik und Ansage ist also dann voraussichtlich gegeben, wenn die Musik voll, die Ansage aber auf -6 dB ausgesteuert wird. Selbstverständlich können solche Angaben nur als Anhaltspunkte gewertet werden, Sprechweise und Stil der Musik haben dabei großen Einfluss, ebenso das Maß der Komprimierung von Sprache und Musik.

Frequenzumfang: Die durchschnittlichen Spektren von männlicher und weiblicher Sprache bei verschiedenen Sprechweisen scheinen zunächst sehr ähnlich (C). Tatsächlich bleiben mit abnehmender Sprechstärke zunehmend mehr hohe Komponenten unter der Hörschwelle. Die Abstrahlung von Frequenzen unter 100 Hz bei Männern bzw. 200 Hz bei Frauen sind bei den normalen Sprechweisen weitgehend unabhängig von der Sprechlautstärke; sie hängen hauptsächlich vom Abstand ab. Bei Wiedergabelautstärken, die von der Lautstärke am Mikrofon bei der Aufnahme abweichen, stört deshalb besonders die damit verbundene Änderung der tiefen Komponenten der Stimme, bei zu großer Lautstärke vor allem als Dröhnen. Mit Frequenzkomponenten auch über 15000 Hz haben die Zischlaute – also besonders F, S, SCH, Z – den größten Frequenzumfang (D). Ohne nennenswerte Einschränkung der Verständlichkeit ist nur ein Frequenzband bis etwa 5000 Hz für die Übertragung erforderlich, was von Fernsprechkanälen genutzt wird.



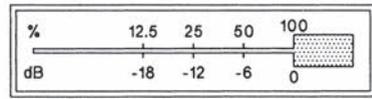
Sprache



Musik

Momentan-
pegel

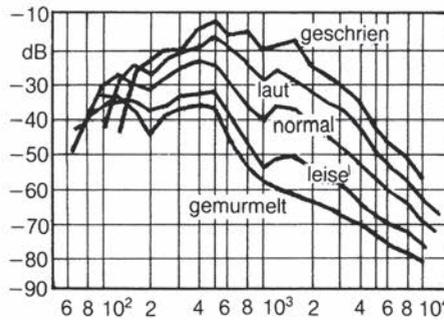
Durch-
schnitts-
pegel



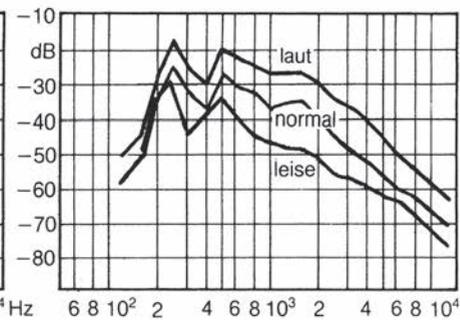
Durchschnittspegel von
populärer Musik
Sprache
klassischer Musik
bei Vollaus-
steuerung der Pegel-
spitzen
6dB 6dB 6dB

A. Pegelverläufe im Vergleich von Sprache und Musik

B. Durchschnitts- und Spitzenpegel von Musik und Sprache im Vergleich

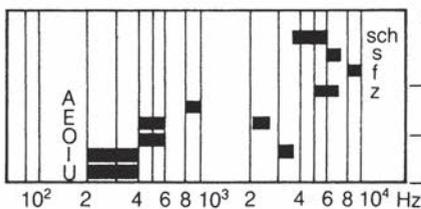


Männer

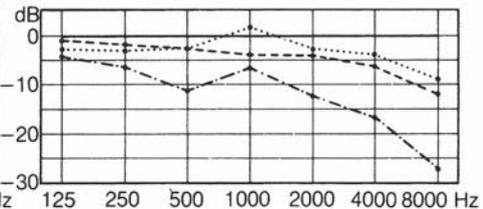


Frauen

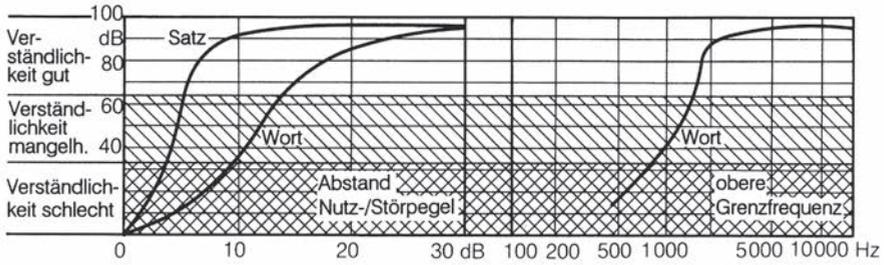
C. Spektren der Sprechstimme als Durchschnittswerte



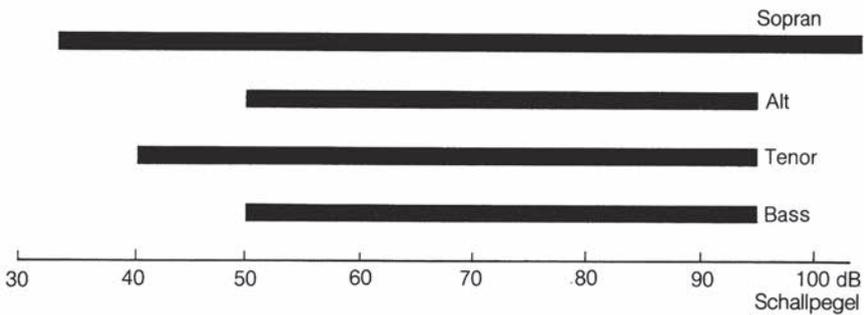
D. Formanten der Sprachlaute



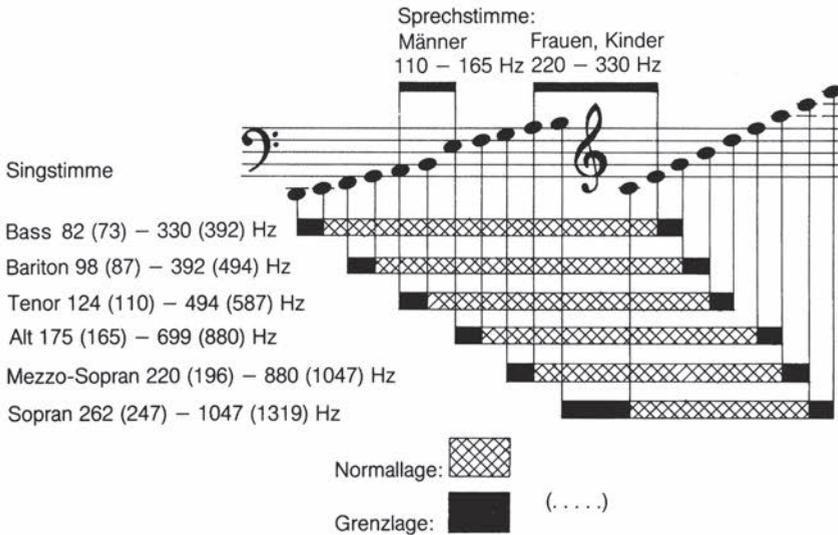
E. Klangfärbung der Sprechstimme in verschiedenen Richtungen



F. Wort- und Satzverständlichkeit bei Hintergrundgeräuschen und eingegengtem Übertragungsbereich



G. Dynamik und Schallpegel der Singstimme



H. Tonbereiche der Singstimme, sog. Stimmlagen

Klangstrukturen: Die Vokale (A, E, I, O, U) sind die „musikalischen“ Bestandteile der Sprache, sie haben ein harmonisches Linienspektrum. Formanten, die von einander (D). Die stimmhaften Laute L, M, N, NG, R setzen sich aus einem Linien- und einem kontinuierlichen Geräuschspektrum zusammen. Die Explosivlaute B, P, G, K, D, T, QU und die Zischlaute S, SCH, CH, F, X, Z sind durch reine Geräuschspektren, teilweise mit Formantstrukturen, charakterisiert. Die relativ hohen Pegel von S und SCH im Frequenzbereich über 10.000 Hz können bei Schallspeichern und Übertragungsstrecken mit Preemphase, also der Anhebung hoher Frequenzkomponenten, auch bei korrekter Aussteuerung zu Übersteuerungen führen. Emotionen wie Freude, Wut usw. drücken sich im Spektrum unterhalb 3700 Hz messbar aus.

Abstrahlcharakteristik: Wegen der gerichteten Schallabstrahlung der Stimme ist der Pegel um rund 5 dB niedriger in seitlicher Richtung und um 10 dB niedriger in rückwärtiger Richtung; bei gleichem Mikrofonpegel wie bei Aufnahme von vorne ergibt dies einen um 5 dB höheren Diffusschallpegel bei seitlicher bzw. um 10 dB bei Aufnahme von hinten. Dabei wird der Klangcharakter erheblich geändert: Frequenzen über 1000 Hz werden zur Seite und nach hinten mit geringerem Pegel abgestrahlt (E). Der größere Hallanteil und die Verringerung höherer Klanganteile wirken ähnlich wie ein wesentlich größerer Abstand bei Aufnahme von vorne. In Räumen mit wenig Diffusschall und besonders bei geringem Mikrofonabstand kann seitliche Aufnahme aber die Übersteuerung der Zischlaute vermeiden helfen, ebenso die Übersteuerungen des Mikrofons durch die Poplaute P und B.

Verständlichkeit: Der Geräuschpegelabstand und die obere Grenzfrequenz des Übertragungssystems beeinflussen die Wort- und Satzverständlichkeit. Nahezu 100 Prozent Wortverständlichkeit ergibt sich schon bei einer oberen Grenzfrequenz von 5000 Hz und einem Geräuschabstand von nur 30 dB.

Singstimme

In akustischer Hinsicht sind die Unterschiede zwischen Sprech- und Singstimme weit unerheblicher, als dies vom Höreindruck her erscheint. Besondere Betonung und Dehnung der Vokale, Singformant, Vibrato, größere Lautstärke und Dynamik kennzeichnen rein akustisch im Wesentlichen die Stimme mit besonderer Gesangsausbildung.

Formanten: Da nur Laute mit harmonischen Spektren, also Vokale, eine Tonhöhe besitzen, werden diese im musikalischen Ablauf der Stimmführung besonders hervorgehoben und gedehnt. Während sich die Sprechtonhöhe gleitend und häufig ändert, ist die Singtonhöhe an die Tonstufen des musikalischen Tonsystems gebunden. Die Formantlagen werden der jeweiligen Grundtonhöhe in einem gewissen Rahmen angepasst; im Allgemeinen entsteht daraus eine Verdunklung des Vokalcharakters. Von erheblicher Bedeutung für die Klangfarbe der männlichen Singstimme ist der sog. Singformant zwischen 2800 und 3000 Hz, verbunden mit einer generellen Verstärkung höherer Klangkomponenten, der der Stimme Durchsetzungsvermögen auch gegen ein lautes Orchester gibt; er tritt bei Sprache nicht auf.

Dynamik und Pegel: Dynamik und Höchstpegel der Singstimme hängen selbstverständlich von der Musik und dem jeweiligen Sänger ab. Einen großen Dynamikumfang haben die jeweils hohen Stimmlagen, der Sopran mit bis zu 70 dB, und der Tenor mit bis zu 60 dB, ihre Spitzenpegel liegen bei üblichem Mikrofonabstand entsprechend hoch (G).

Stimmlagen, Ambitus und Stimmfächer: Die Stimmlage kennzeichnet den Tonhöhenbereich, der Ambitus oder Stimmumfang, er beträgt etwa zwei Oktaven (H). Sopran, Alt, Tenor und Bass sind die Hauptstimmlagen. Die Eignung einer Stimme bzw. eines Gesangssolisten für bestimmte Rollentypen kennzeichnet das Stimmfach, z. B. dramatischer Sopran, Koloratursopran, lyrischer Alt, Heldentenor, jugendlicher Liebhaber, Bassbuffo.

5.4 Aufnahmewinkel der Stereomikrofone

Grundlegend für eine gelungene Stereoaufnahme ist die Kenntnis des Winkelbereichs, den ein Stereomikrofon bei der Aufnahme erfasst. Man nennt diesen Winkelbereich Aufnahmewinkel. Ein Stereomikrofon ist jedes Mikrofonsystem, das aus zwei einzelnen Mikrofonen zusammengesetzt ist und Pegel- und/oder Laufzeitunterschiede erzeugt, die die Phantomschallquellen seitlich auslenken.

Entspricht ein bestimmter Schalleinfallswinkel einer Schallquelle α am Stereomikrofon beispielsweise einer Laufzeitdifferenz von 0,4 ms, so ergibt sich dadurch eine Auslenkung der Phantomschallquelle um 50 Prozent, was in der Standard-Zweikanalanordnung einer Richtungsverschiebung um 15° entspricht, die Phantomschallquelle wird auf der Lautsprecherbasis halb seitlich abgebildet (A).

Aufnahmewinkel bei Pegel- oder Laufzeitdifferenzen

Man kann für beliebige stereofone Mikrofonanordnungen, die frequenzunabhängige Pegel- und/oder Laufzeitdifferenzen erzeugen, **Abbildungs-** oder **Lokalisationskurven** bestimmen, die den Zusammenhang zwischen dem Schalleinfallswinkel α und der Phantomschallquellenauslenkung beschreiben. Abbildungskurven von Stereomikrofonen, die frequenzabhängige Pegel- und/oder Laufzeitdifferenzen erzeugen, z. B. Trennkörperverfahren (s. Kap. 5.12), können nur durch Messungen in Versuchsanordnungen mit Testhörern ermittelt werden.

Beispielhaft ist in A eine Abbildungskurve eines Stereomikrofons dargestellt; die Schallquellenrichtung $\alpha = 20^\circ$ ergibt hier eine Auslenkung der Phantomschallquelle um 50 Prozent entsprechend einer Abbildungsrichtung von 15° in der standardisierten Zweikanal-Stereoanordnung. Nur die Schallquellen aus Richtungen bis maximal $\pm 45^\circ$ werden zwischen dem linken und rechten Lautsprecher abgebildet, sie befinden sich innerhalb des Aufnahmewinkels, in diesem Beispiel beträgt er 90° . Innerhalb dieses Winkelbereichs findet eine ausgeglichene Richtungsabbildung statt. Schallquellen, die außerhalb $\pm 45^\circ$ liegen, erzeugen zu große Signalunterschiede und werden in den Lautsprechern L bzw. R zusammengedrängt.

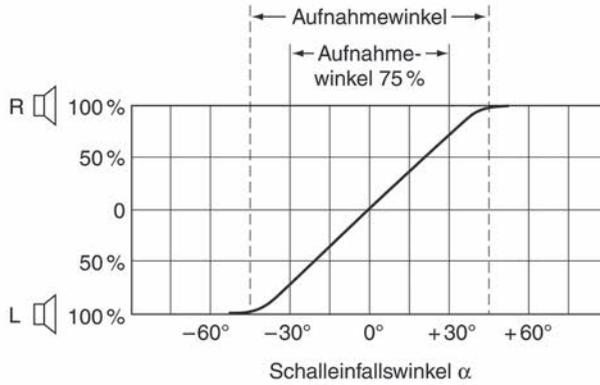
Die Abbildungskurven für Pegel- bzw. Laufzeitdifferenzen (s. Kap. 4.3, D und E) zeigen in den inneren Bereichen bis zu einer Auslenkung von 75 Prozent einen weitgehend linearen Verlauf. Für diese Bereiche gelten die entsprechenden **Auslenkungskoeffizienten** von 7,5%/dB bzw. 13%/0,1 ms. Für größere Werte gibt es Übergangsbereiche, die durch unsichere Wahrnehmung der Richtung nahe der beiden Lautsprecher gekennzeichnet sind; dieser Winkelbereich ist für die Abbildung des stereofonen Klangbilds weniger wichtig.

Um für Mikrofonanordnungen zuverlässige und eindeutige Angaben über deren Aufnahmewinkel machen zu können, wurde von Theile und Wittek der **Aufnahmewinkel 75%** für den Winkelbereich der Lautsprecherbasis von $\pm 75\%$ eingeführt. Der Aufnahmewinkel 75% beträgt bei der Abbildungskurve in D 60° . Dies ist der Bereich, in dem die einzelnen Schallquellen linear und deutlich lokalisierbar nebeneinander abgebildet werden, also eine gute Basis für die Planung einer Aufnahme.

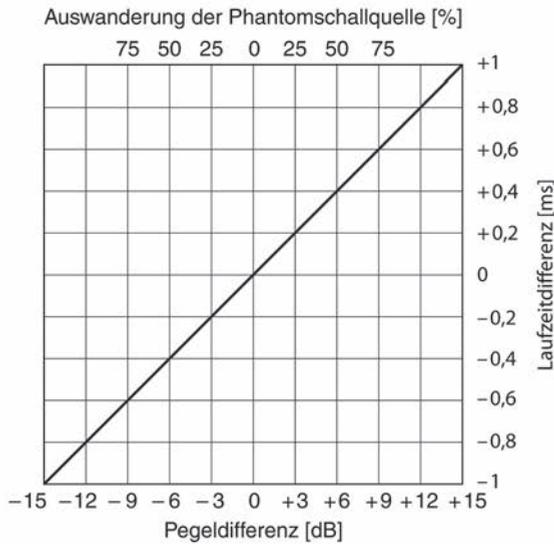
Aufnahmewinkel bei gleichsinnigen Pegel- und Laufzeitdifferenzen

Es besteht im Auslenkungsbereich $\pm 75\%$ eine Gleichwertigkeit von Pegel- und Laufzeitdifferenzen gemäß der beiden Auslenkungskoeffizienten von 7,5%/dB bzw. 13%/0,1 ms: 1 dB Pegelunterschied erzeugt demnach etwa dieselbe Auslenkung wie 60 μ s Laufzeitunterschied (B). Für Auslenkungsbereiche über 75%, also für die äußeren Flanken der Stereobasis, sind diese Äquivalenzen nicht mehr zuverlässig anwendbar. Tragen die Pegel- und Laufzeitdifferenzen etwa gleich viel zur Auslenkung bei, so spricht man von **Äquivalenz-Mikrofonverfahren**.

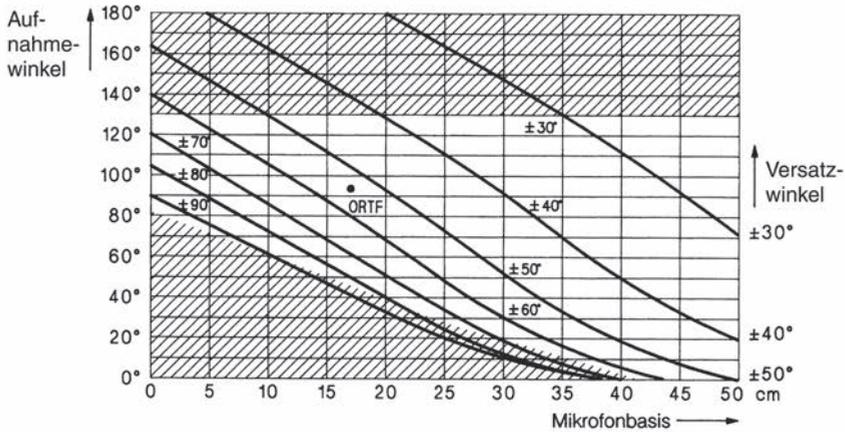
Die Abbildungskurven und Aufnahmewinkel sind auch für Stereomikrofone bestimmbar, bei denen Pegel- und Laufzeitdifferenzen gleichsinnig zusammen wirken. Wird eine Phantomschallquelle aufgrund von



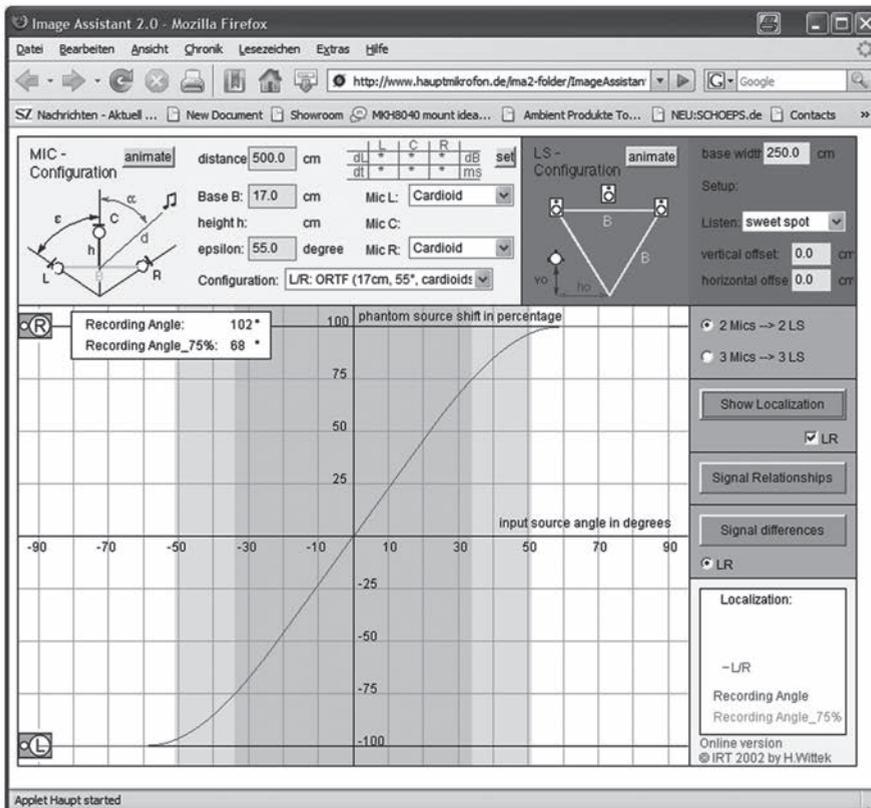
A. Aufnahmewinkel eines Stereomikrofons und zugehöriger Abbildungswinkel



B. Äquivalenzen von Laufzeit- und Pegeldifferenzen bei der Auslenkung von Phantomschallquellen und zugehörige Auslenkung der Phantomschallquellen



C. Zusammenhang von Aufnahme-winkel, Versatzwinkel und Mikrofonbasis für zwei Nierenmikrofone nach Williams, eingetragen die sog. ORTF-Anordnung als Beispiel, ungeeignet Einstellungen für Aufnahmen in den schraffierten Flächen



D. Image Assistant, Screenshot, Darstellung von Abbildungskurve und Aufnahme-winkel, hier ORTF-Anordnung (www.hauptmikrofon.de)

Pegeldifferenzen gebildet und zusätzlich durch Laufzeitdifferenzen in gleicher Richtung ausgelenkt, so ist die gesamte Auslenkung gleich der Summe der beiden einzelnen Auslenkungen.

Grundsätzlich gibt es eine unendliche Anzahl möglicher Kombinationen von Mikrofonanordnungen, die gleichzeitig Pegel- und Laufzeitdifferenzen erzeugen; einige dieser sog. **gemischten Verfahren** haben sich besonders bewährt und werden später vorgestellt (s. Kap. 5.11). In der Praxis lassen sich die Aufnahmewinkel für beliebige Anordnungen nicht abschätzen, man muss sie im Einzelnen berechnen. Aus diesem Grund hat sich auch eine Auswahl spezieller Kombinationen quasi als Standards in der Praxis bewährt wie etwa das ORTF-Verfahren, ihre Aufnahmewinkel sind dem Praktiker bekannt.

Systematisch hat Michael Williams die Aufnahmewinkel für alle Richtcharakteristiken errechnet, das Ergebnis sind die sog. **Williams-Diagramme**. C zeigt als Beispiel die Zusammenhänge der drei Größen Aufnahmewinkel, Versatzwinkel und Mikrofonbasis für eine Mikrofonanordnung aus zwei Nieren. Als Beispiel sind die Werte für eine in der Praxis viel benutzte Anordnung, die ORTF-Anordnung, eingetragen. Die Mikrofonbasis beträgt hier 17,5 cm und die Versatzwinkel $\pm 55^\circ$. Der dazu gehörige Aufnahmewinkel beträgt 95° (s. Kap. 5.11). Die Zusammenhänge für Mikrofonkombinationen mit den Richtcharakteristiken Acht/Acht und Superniere/Superniere können ebenfalls in solchen Kurvenscharen dargestellt oder eben im Einzelfall errechnet werden.

Ein nützliches **Berechnungswerkzeug** zur Ermittlung der Aufnahmewinkel, der dazu gehörigen Mikrofonbasis und Versatzwinkel für beliebige Anordnungen mit Mikrofonen aller Richtcharakteristiken ist der "Image Assistant" (D), eine Java-Applikation, die im Internet frei verfügbar ist. Er wurde von Helmut Wittek entwickelt und ist in Hörversuchen bestätigt worden. Er ermöglicht zusätzlich die Berechnung der vom Schalleinfallswinkel abhängigen Pegel- und Zeitdifferenzen zwischen den Kanälen, den Gesamtschallpegel für jede Mikrofonanordnung in Abhängigkeit von den Richtcharakteristiken Kugel, breite Niere, Niere, Superniere und Acht.

Dieses Programm hilft nicht nur dem Tonmeister bei der Auswahl und Platzierung der Mikrofone, sondern vermittelt auch die grundlegenden Eigenschaften der verschiedenen Stereomikrofontechniken wie z. B. die Gleichmäßigkeit oder die Stabilität der Abbildung. Außerdem können mit Hilfe des Werts „Aufnahmewinkel 75%“ verschiedene, im Hinblick auf die Abbildungskurve gleichwertige Anordnungen ermittelt werden. Der Tonmeister kann somit fundierter entscheiden, welche dieser Anordnungen seinem Ziel am nächsten kommen, indem er weitere Qualitätsaspekte berücksichtigt wie Klangfarbe, Stabilität, Abbildungsschärfe, aber auch die nicht unwichtige physikalische Ausdehnung der Mikrofonanordnung. Eine einfache Einstellscheibe für die Kombination Niere/Niere ist das „Tonmeister Survival Kit“.

Aufnahmewinkel bei Trennkörper-Stereomikrofonen

Ein Abstand zwischen den beiden Einzelmikrofonen eines Stereomikrofons, also eine Mikrofonbasis größer 0 erzeugt eine Laufzeitdifferenz, die stets frequenzunabhängig ist. Die Pegeldifferenz hingegen kann unabhängig wie bei den Williams-Einstellungen oder aber abhängig von der Frequenz gestaltet werden. Vorbild für eine Frequenzabhängigkeit ist das menschliche Gehör. Dabei wird zwischen zwei ungerichtete Mikrofone ein sog. Trennkörper eingefügt, z. B. beim Kugelflächenmikrofon eine Kugel (s. Kap. 5.12), eine Scheibe oder ein Keil. Die Aufnahmewinkel solcher Anordnungen werden nicht berechnet, sondern im Experiment ermittelt. Die Trennkörper sind so dimensioniert, dass ein Aufnahmewinkel entsteht, der in der Praxis bevorzugt verwendbar ist, üblich sind Werte um 90° . Trennkörper-Stereomikrofone haben also stets einen gegebenen, nicht an die Aufnahmesituation anpassbaren Aufnahmewinkel. Die Anpassung des Aufnahmewinkels erfolgt hier durch Veränderung des Abstands zu den Schallquellen.

5.5 Intensitätsstereofonie mit Koinzidenzmikrofonen

Die Intensitätsstereofonie kennt mit dem MS- und dem XY-Verfahren zwei Mikrofonverfahren (A), die beide mit einem sog. **Koinzidenzmikrofon** (C) als Hauptmikrofon arbeiten: Es besteht aus zwei dicht übereinander angeordneten Kondensatormikrofonen mit einstellbarer Richtcharakteristik; ein Mikrofon ist feststehend, das andere drehbar. Ersatzweise können auch zwei Monomikrofone entsprechend angeordnet werden. Die beiden Mikrofonverfahren unterscheiden sich in den einzustellenden Richtcharakteristiken und deren Ausrichtung sowie in der Weiterverarbeitung der Signale in der Tonregie. Nur unter der Annahme mathematisch exakter, frequenzunabhängiger Richtcharakteristiken und Übertragungsmaße gibt es gleichwertige, äquivalente Einstellungen von Richtcharakteristik-Kombinationen im MS- und XY-Mikrofonverfahren (B). Da diese Voraussetzungen in der Praxis nicht erfüllt sind, ergeben sich Unterschiede zwischen dem MS- und dem XY-Mikrofonverfahren, die das MS-Verfahren dem XY-Verfahren überlegen machen.

Beim **XY-Mikrofonverfahren** sind die Signale X und Y unmittelbar die Signale für den linken bzw. rechten Kanal, also L und R; dieses Stereosignal kann im Regietisch mit zwei Panpots oder ggf. dem Richtungsmischer in Richtung und Breite beeinflusst werden. Die Bezeichnung X/Y gilt stets für die Mikrofon-signale, die Bezeichnung L/R für die Signale in der Tonregieanlage (s. Kap. 5.6).

Beim **MS-Mikrofonverfahren** liefern die Signale M und S erst nach einer Umwandlung z. B. in einer Stereomatrix oder einem Richtungsmischer in der Tonregieanlage unmittelbar nach dem Mikrofonverstärker, d. h. nach einer Summen- und Differenzbildung, die Signale L und R (B). Das M-Signal (Monosignal, Mittensignal, Summensignal, Tonsignal) ist unmittelbar das Monosignal. Das S-Signal (Stereosignal, Seitensignal, Differenzsignal, Richtungssignal) stellt für sich allein genommen kein verwertbares Tonsignal dar; es beinhaltet die Richtungsinformation. MS-Technik wird auch bei der analogen Schallplatte benutzt sowie bei der UKW-Hörfunkausstrahlung, wo das Stereosignal als MS-Signal übertragen und im Empfänger in ein LR-Signal umgesetzt wird (s. Kap.5.7).

Einstellung des Koinzidenzmikrofons: Versatzwinkel und Aufnahmewinkel

Beim Einsatz von Koinzidenzmikrofonen muss der Zusammenhang von Versatzwinkel, Aufnahmewinkel und Richtcharakteristik beachtet werden (D, s. Kap. 4.3):

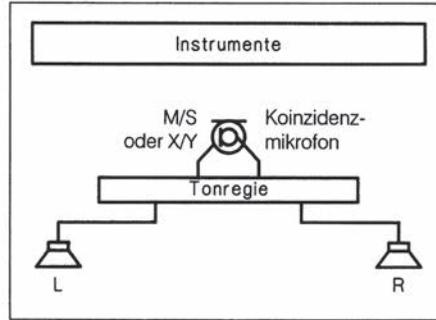
Der **Versatzwinkel** ist derjenige Winkel, um den jede der Mikrofonkapseln des Koinzidenzmikrofons bei dem entsprechenden Mikrofonverfahren aus der Mitte nach außen gedreht werden müssen (C und D).

Beim XY-Verfahren werden die beiden Mikrofone mit gleichen Richtcharakteristiken um den gleichen Winkel, eben den Versatzwinkel, jeweils nach außen gedreht; die eingestellte Richtcharakteristik und der gewünschte Aufnahmewinkel bestimmen den Versatzwinkel, er muss also stets sorgfältig ermittelt werden.

Beim MS-Verfahren zeigt das M-Mikrofon mit einer beliebigen Richtcharakteristik stets nach vorne, sein Versatzwinkel ist also 0° . Das S-Mikrofon hat stets Achterrichtcharakteristik und zeigt stets nach links unter einem Versatzwinkel von -90° .

Unter **Aufnahmewinkel** wird der Winkelbereich verstanden, den – vom Mikrofon aus gesehen – das jeweilige Mikrofonverfahren auf der vollständigen Stereobasis zwischen den Lautsprechern abbildet; in aller Regel soll dies der Ausdehnung des Klangkörpers entsprechen (s. Kap. 5.4). Ist der Aufnahmewinkel oder Aufnahmebereich größer als die Ausdehnung des Klangkörpers, wird die Stereobasis nicht voll genutzt, das Klangbild ist schmaler als die Lautsprecherbasis. Ist der Aufnahmewinkel kleiner als die Ausdehnung des Klangkörpers, werden seitliche Schallquellen außerhalb des Aufnahmewinkels auf den jeweiligen Lautsprechern zusammen geschoben.

A. Koinkidenzmikrofonverfahren



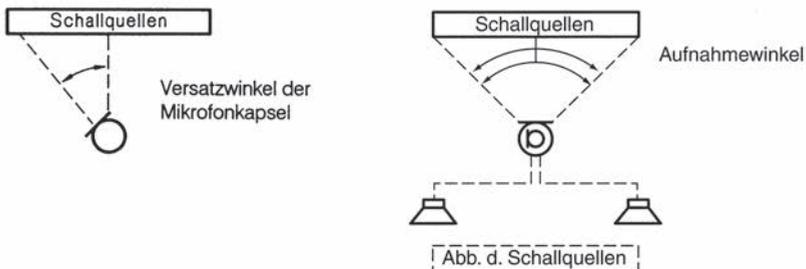
B. Mathematische Beziehungen zwischen den Stereosignalen M, S, L und R

$$M = (L+R) \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \qquad L = (M+S) \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$S = (L-R) \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \qquad R = (M-S) \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Bezeichnung des Systems	Zuordnung der Stereosignale	0°-Richtung des Einzelsystems	MS-Mikrofonverfahren	XY-Mikrofonverfahren
drehbares System System (Kanal) II 	S, Y	Markierung durch schwarzen oder roten Punkt, Firmenzeichen oder Leuchtdiode	S-Signal: Richtcharakteristik: Acht, Ausrichtung stets 90° links	Y-Signal: Richtcharakteristik: Niere, Acht, evt. Superniere, Ausrichtung: nach rechts
feststehendes System System (Kanal) I 	M, X	Markierung durch schwarzen oder roten Punkt oder Firmenzeichen	M-Signal: Richtcharakteristik: Niere, Kugel oder Acht, Ausrichtung: 0° (Mitte)	X-Signal: Richtcharakteristik: wie Y-Signal, Ausrichtung: nach links, Winkel wie Y-Signal

C. Einstellung von Richtcharakteristik und Versatzwinkel



D. Versatzwinkel und Aufnahmewinkel

7.9 Gesangssolisten und Chöre

Gesangssolisten bei populärer Musik

In diesem Musikbereich ist der Mikrofonabstand mit unter 10 cm sehr gering. Bei Live-Auftritten werden drahtlose Handmikrofone mit Poppschutz verwendet, bei Musicals Ansteckmikrofone oder Nackenbügelmikrofone, bei Studioaufnahmen schließlich steht die gesamte Vielfalt an hochwertigen Studiomikrofonen zur Wahl; hier sind Großmembranmikrofone mit Windschirm eine häufig benutzte Mikrofonierung.

Bei **Bühnenauftritten** benötigt der Sänger absolute Bewegungsfreiheit. Das können nur Handmikrofone (s. Kap. 3.6) in drahtloser Übertragungstechnik (s. Kap. 3.12) bieten. Die hinteren Öffnungen des Mikrofons dürfen vom Sänger nicht mit der Hand zugehalten werden, da sich dadurch die Richtcharakteristik, meist Super- oder Hyperniere, in eine Kugelcharakteristik verwandelt.

Wenn der Sänger z. B. zugleich Gitarre spielt, wird ein Stativ für das Mikrofon notwendig oder besser noch ein Ansteck- oder Nackenbügelmikrofon. Bei Musicalaufführungen stört das Handmikrofon die schauspielerische Darstellung, hier werden deshalb Ansteckmikrofone unsichtbar in der Kleidung angebracht, es werden aber auch Ohr- oder Nackenbügelmikrofone akzeptiert, ebenfalls in Funkübertragung.

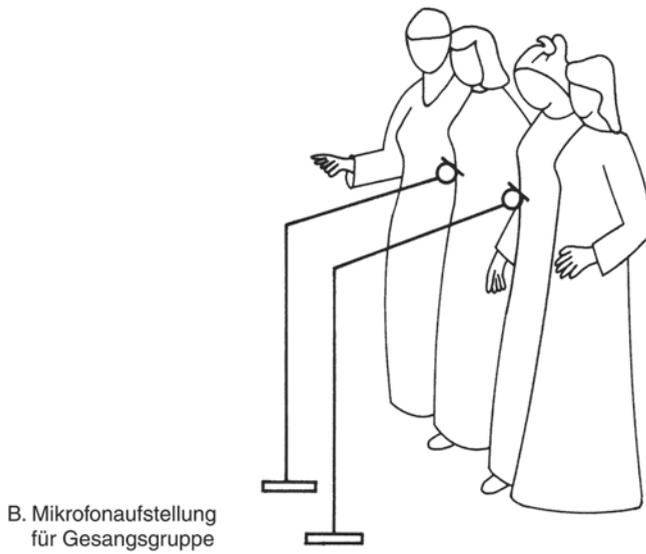
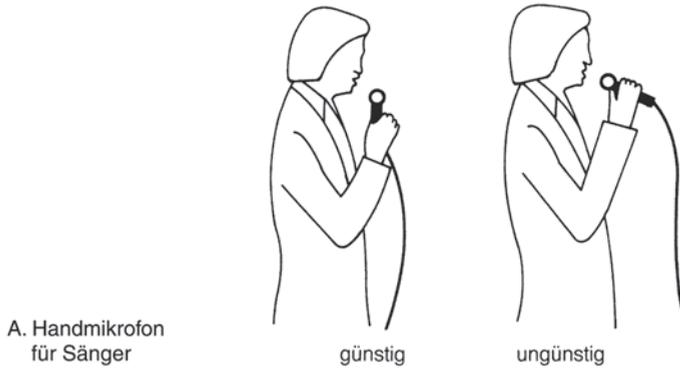
Der geringe Mikrofonabstand bedingt einen hohen Schalldruck, der besonders bei den Explosivlauten B, P, D, T zu Poppstörungen und bei den Zischlauten S, SCH, Z, ß zu einem „Kratzen“ führen kann, beides sind Übersteuerungen. Die Gefahr solcher Störungen kann wesentlich reduziert werden, wenn die Mikrofonmembran nicht senkrecht angesungen wird, sondern seitlich (A). Ein Popp- und Windschutz ist unentbehrlich, gegebenenfalls müssen weitere Maßnahmen gegen Poppschlag ergriffen werden (s. Kap. 3.11).

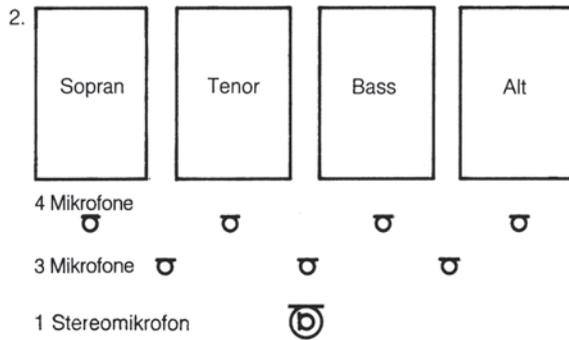
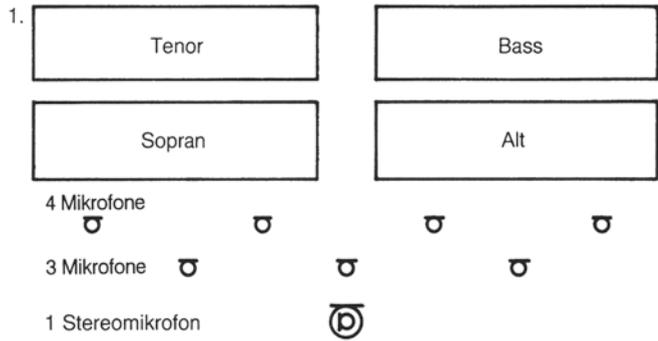
Als Mikrofone für den Gebrauch bei geringem Abstand werden vielfach hochwertige dynamische Mikrofone gewählt. Sie sind übersteuerungsfest und robust; ein Anschlagen oder Herabfallen auf den Boden sollte ein dynamisches Mikrofon ohne Schaden überstehen. Obwohl im Allgemeinen Richtmikrofone verwendet werden, kann auch der Einsatz eines Druckempfängers mit Kugelrichtcharakteristik in Betracht gezogen werden; dessen Vorteile sind: geringere Poppempfindlichkeit und geringere Körperschallempfindlichkeit z. B. bei Reibgeräuschen wegen der höheren Membranspannung, kein Nahbesprechungseffekt. Demgegenüber wiegt der Nachteil allseitiger Empfindlichkeit oft nicht so schwer, weil durch den geringen Mikrofonabstand hohe Pegel zur Verfügung stehen. Bei allen gerichteten Mikrofonen ergibt sich durch den Nahbesprechungseffekt eine mit abnehmendem Abstand zunehmende Bassanhebung. Aus diesem Grund sind die speziellen Solistenmikrofone entweder mit einem Schalter zur Bassabschwächung versehen oder sie haben eine feste, unbeeinflussbare Bassabsenkung. Andererseits kann eine solche Bassverstärkung auch ein gewollter Gestaltungseffekt sein. Neben dynamischen Mikrofonen stehen selbstverständlich auch Kondensatormikrofone als Solistenmikrofone zur Verfügung.

Bei der Aufnahme kleinerer Gesangsgruppen oder Backstage-Sängern auf der Bühne werden Einzelmikrofone für jeden Sänger unter denselben Gesichtspunkten wie für Solosänger verwendet, um die einzelnen Stimmen leicht ausbalancieren zu können. Da bei Studioaufnahmen meist mit Noten gearbeitet wird, sind Stative dann günstiger, wenn umgeblättert werden muss. Zwei Sänger können ein gemeinsames Mikrofon erhalten, wenn sie stimmlich ausgewogen sind (B).

Gesangssolisten bei klassischer Musik

In diesem Bereich wird allgemein ein Mikrofonabstand zwischen 1 und 2 m gewählt. Handmikrofone werden also nicht eingesetzt. Bei der Mikrofonaufstellung muss darauf geachtet werden, dass der Schallweg zum Mikrofon nicht durch ein Notenbuch gestört wird; weiterhin wird bei Live-Aufnahmen mit der Mikrofonaufstellung Rücksicht auf die Konzertsituation zu nehmen sein, das Mikrofon sollte vom Publikum aus gesehen nicht vor dem Gesicht des Solisten sein. Günstig erweist sich ein Mikrofonort etwa in Höhe der Noten (C), was gleichzeitig störende Reflexionen am Notenbuch vermeidet.





D. Verschiedene Anordnungen der Chorstimmen und Mikrofonaufstellung



E. Verschiedene Anordnungen der Chorsänger

Mehrere Solisten können jeweils zu zweit in ein Mikrofon singen (D). Bei Gesangssolisten im Klassikbereich muss trotz des größeren Mikrofonabstands mit hohen Schalldruckpegeln gerechnet werden, besonders bei Sopranen, die Dynamik kann größer als bei den meisten Musikinstrumenten werden.

Chöre

Bei Choraufnahmen richtet sich die Mikrofonierung zunächst danach, ob der Chor entweder „a cappella“ singt, also allein oder auch mit Klavierbegleitung, oder zusammen mit Orchester. Bei a cappella, abgekürzt a. c., steht die Gesamtheit der beschriebenen Aufnahmeverfahren in Stereo oder Surround zur Verfügung. Bei Aufnahmen von Chor zusammen mit Orchester steht der Chor hinter dem Orchester. In diesem Fall muss die Mikrofonierung eine deutliche Trennung der Klangbereiche ermöglichen, um die Balance zwischen Chor und Orchester beeinflussen zu können. Die Mikrofonierung muss rückwärtigen Schall so weitgehend wie möglich unterdrücken. Das ist am besten durch drei oder vier Monomikrofone mit Nierencharakteristik zu erreichen, die auch eine Ausbalancierung der Stimmgruppen ermöglichen.

Für die **Anordnung der Stimmen** innerhalb eines gemischten Chors gibt es verschiedene Möglichkeiten (D), aus denen meist eine paarige Anordnung bevorzugt wird (D, 1). Vorteil dieser Aufstellung ist, dass mindestens die zur Mitte hin stehenden Sänger jeder Stimme einen guten akustischen Kontakt zu den anderen Stimmen haben. In der Aufnahme trägt diese Anordnung zur Homogenität des Chorklangs bei, sie eignet sich für Musik der Romantik. Die sektorielle Stimmenanordnung (D, 2) erlaubt eine deutlichere akustische Unterscheidung der einzelnen Stimmgruppen, führt zu größerer Durchsichtigkeit, erschwert aber andererseits das exakte Zusammenwirken der Chorsänger, im Grunde eine ideale Anordnung für die großen Chorfügen der Barockmusik. Diese sektorielle Aufstellung ist an denselben Gesichtspunkten der Klangsymmetrie orientiert, die auch der deutschen Orchesteraufstellung in der Furtwängler-Variante zu Grunde (s. Kap. 2.9) liegen; denkbar ist auch eine sektorielle Anordnung entsprechend der amerikanischen Sitzweise des Orchesters: Sopran - Alt - Tenor - Bass. Die Sänger sollten möglichst auf Stufen aufgestellt sein, um die freie Schallausbreitung zu den Mikrofonen zu ermöglichen. Auch ein entsprechend hoch angeordnetes Mikrofon kann die Aufstellung auf Stufen nicht voll ersetzen (E).

Es gibt verschiedene **Besetzungen** eines Chors oder einer Chorkomposition:

Bezeichnung	Sonderformen	Besetzung	Stimmen
gemischter Chor	Kammerchor: kleiner Chor A-cappella-Chor: ohne Instrumente Doppelchor: zwei Chöre	Laiensänger	meist 4 (bis 8 Stimmen): Sopran (I und II), Alt (I und II), Tenor (I und II), Bass (I und II)
	Opernchor Rundfunkchor	Berufssänger	
Frauenchor		Laiensänger	meist 3: Sopran I, II und Alt
Männerchor			meist 4: Tenor I, II und Bass I, II
Knaben- bzw. Mädchenchor			1 bis 3: Sopran I, II und Alt