

CHALUPPER, Josef; WIMMER, Hubert [TU München]; SCHMID, Wolfgang
[Gasteig München GmbH]

Sprachübertragung mit Induktionsschleifen:

Messtechnische und psychoakustische Untersuchungen

Speech Transmission by Induction Loops:

Physical and Psychoacoustic Measurements

1. Einleitung

In vielen Versammlungsräumen (Sälen, Kinos, Kirchen...) sind Induktionsschleifen für die Versorgung Schwerhöriger im Einsatz. Dieses Übertragungsprinzip ist altbekannt: Das zu übertragende Programm wird (meist) von einem Mikrofon aufgenommen. Dessen Ausgangsspannung speist über eine Verstärkerkette eine (meist) im Saalboden verlegte Drahtschleife, die ihrerseits ein Magnetfeld produziert. In der kleinen, im Hörgerät eingebauten „Telefonspule“ wird dadurch eine Spannung induziert; diese dient als Eingangssignal für die Signalverarbeitungskette des Hörgerätes.

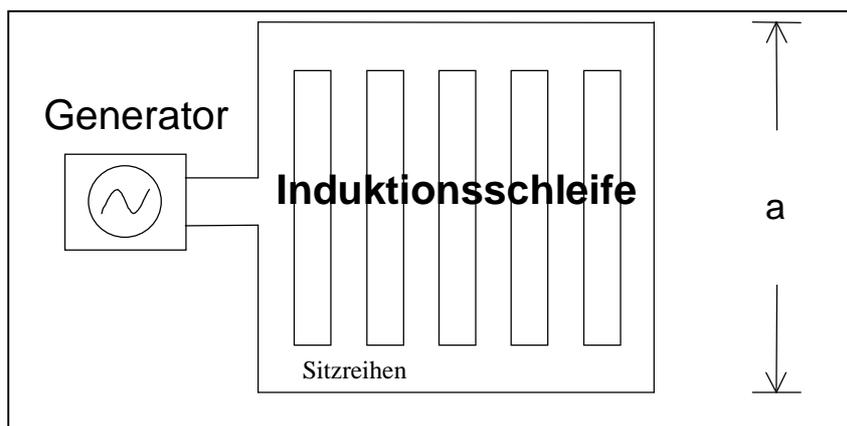


Abb. 1.1
*Prinzip der
Sprachübertragung
über eine
Induktionsschleife*

Dieses Prinzip bewirkt – bei korrekter Auslegung und korrekter Funktion aller Übertragungselemente - eine höhere Sprachverständlichkeit für die schwerhörigen Zuhörerinnen und Zuhörer als es mit Lautsprecherbeschallung insbesondere in halligen Räumen möglich ist, da der hierbei wegen des Empfangs mit dem Hörgerät problematische akustische Teil des

Übertragungswegs zugunsten des elektrischen bzw. magnetischen Übertragungsweges minimiert wird [1].

Weitere drahtlose Übertragungsmethoden sind bekannt und werden auch in der Praxis angewendet: Insbesondere werden für die Übertragungsteilstrecke III (s. Tabelle 2.1) IR-Geräte eingesetzt. Auch wird mancherorts der gesamte Übertragungsweg (I ... IV) mittels FM-Anlagen überwunden.

Etliche Vorteile sprechen jedoch für die Induktionsschleife! Sie wird daher auch (wieder) vermehrt von Planern und Betreibern von Versammlungsstätten bevorzugt:

1. Schwerhörige fragen häufig nach Induktionsschleifen. Sie schätzen die einfache Umschaltung ihres Hörgerätes von „M“ (Mikrofon) auf „T“ (Telefonspule). Dies erspart ihnen das Mitführen zusätzlicher Geräte. (Die in manchen Häusern praktizierte Methode des Bereithaltens geeigneter IR- bzw. FM-Empfangsgeräte bringt allerdings auch Probleme mit sich: u.a. bedeutet die Organisation der Ausleihe der Geräte sowie deren Instandhaltung einen nicht unerheblichen Aufwand; außerdem sind die Empfangsgeräte mit Kopfhörern nicht wie die Hörgeräte auf die jeweilige Art der Hörbehinderung angepasst. Insbesondere aber ist es für die Betroffenen nicht vorteilhaft, dass sie durch das Tragen dieser Kopfhörer ihre Hörschädigung offen zu erkennen geben müssen [5].)
2. Das technische Prinzip „Sprachübertragung über Induktionsschleife“ erscheint einfach und unproblematisch bzgl. der Installation.
3. Die technischen Komponenten des Gesamtsystems erscheinen preiswert.
4. Bedienung und Betrieb des Systems erscheinen einfach. Dieser Aspekt gewinnt immer mehr an Bedeutung: gut geplante, komfortable Mediensteuerungssysteme mit geeigneter Bedienoberfläche ermöglichen in Standardfällen, dass auch Personal, das über keine fachliche Ausbildung verfügt, diejenigen Funktionen einer recht komplexe Anlagen steuern kann, die für den Ablauf einer Veranstaltung bei einer bestimmten Saal- und Medientechnik-Konfiguration erforderlich sind.

Allerdings ergaben gründliche Recherchen [6], dass Schwerhörige trotzdem in sehr vielen Fällen auf die Übertragung der Sprache über Induktionsschleifen verzichten müssen.

Das Spektrum der Auskünfte über den misslichen Umstand ist dabei breit: Betreiber von Versammlungsstätten wissen manchmal gar nicht, ob ein Induktionsschleifensystem eingebaut ist;

oder es herrscht bei Betreibern bzw. beim Personal vor Ort Unkenntnis darüber, wie die Geräte aktiviert werden können, oder es wird vergessen die Geräte zu aktivieren, oder es ist nicht klar, wie bei mangelhafter Funktion die Geräte eingestellt werden können und sollen, oder es ist nicht bekannt, woher Störungen kommen und wie sie beseitigt werden können usw. usw.

Der vorliegende Bericht soll einen kleinen Beitrag leisten, die Probleme etwas zu strukturieren und Planern und Betreibern von Versammlungsstätten Hinweise zur Verbesserung des Service für Schwerhörige zu geben.

Das Datenmaterial hierzu stammt aus physikalischen Experimenten und Messungen, die exemplarisch in einigen Sälen des Kultur- und Kongresszentrums Gasteig in München durchgeführt wurden, sowie aus psychoakustischen Hörversuchen in den Labors der TU München (Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, AG Technische Akustik).

2. Übersicht

In der Praxis der Beschallung und damit auch der Übertragung über Induktionsschleifen treten vier Situationen häufig auf: sie sind in der Tabelle 2.1 beschrieben.

Der Signalübertragungsweg lässt sich grob in die Abschnitte I ... IV einteilen. Die einzelnen Übertragungszweitere sind vereinfacht durch ihre Übertragungsfunktion $S_x(f)$ charakterisiert.

- Als vorgegeben wird ein individuell angepasstes Hörgerät (S13) angenommen. Damit wird auch das am Kuppler gemessene magneto-akustische Übertragungsmaß [7] $S_{13}(f)$ als gegeben angenommen. Ein Beispiel für die Frequenzgänge der Übertragungsmaße bei

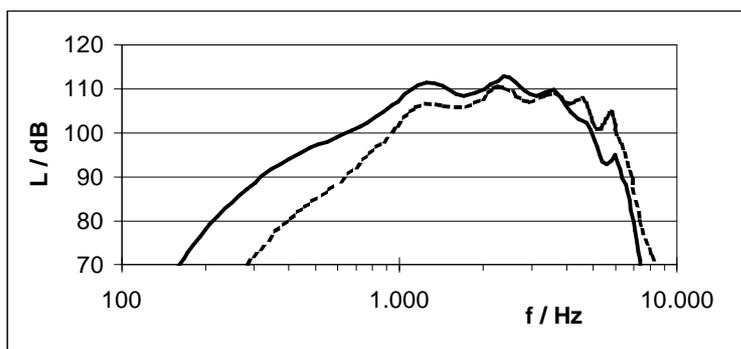


Abb. 2.1

*Frequenzgänge der Übertragungsmaße eines Hörgerätes.
Eingang Mikrofon (durchgez. Linie);
Eingang Telefonspule: (gestrichelte Linie)*

Verwendung von akustischem und Telefonspuleneingang [4] zeigt Abb. 2.1.

- Untersucht wurden die quellennäheren Komponenten des Übertragungsweges I ... III. Das entsprechende Kapitel ist in der Tabelle angegeben.

Desweiteren bedeuten:

P: Hinweis für diejenigen, die die Anlage planen;

B: Hinweis für diejenigen, die die Anlage betreiben.

Selbstverständlich sind in der Praxis die Übergänge oft fließend. Im Idealfall beraten sich beide gegenseitig. Andererseits ist der Trend unübersehbar, dass recht komplexe Beschallungssysteme insbesondere für multifunktional verwendbare Säle geplant werden, aber nicht immer Fachpersonal zur Bedienung dieser Systeme zur Verfügung steht. Ist nun die Anlage nicht so konzipiert und detailgenau geplant, dass sie „immer und möglichst vollautomatisch“ ein für eine Induktionsschleife geeignetes Audiosignal zur Verfügung stellt, so haben Höreräteträgerinnen und –träger oft das Nachsehen. In der Tabelle steht also auch dort „**P**“, wenn geschultes Personal die notwendige Optimierung der Anlage vor bzw. während einer laufenden Veranstaltung übernehmen könnte; ist jedoch voraussichtlich niemand da, um Einstellungen von Verstärkern, Entzerrern oder Kompressoren zu korrigieren, wenn z.B. während einer laufenden Veranstaltung das Mikrofon nicht optimal besprochen wird, so ist klar, dass sich die Problemlösung auf die Planung der Anlage verlagert. Im entsprechenden Kapitel wird auf die Problemherde eingegangen.

3. Physikalische Messungen

Generell: Das akustische Sprachsignal soll die Übertragungsstrecke bis zum magnetischen Eingang des Hörgerätes möglichst „unverfälscht“ passieren.

Zwei Hauptkriterien sind hierbei für jedes einzelne Übertragungsglied wichtig:

- die Frequenzabhängigkeit des Übertragungsmaßes im Sprachfrequenzband und
- der Abstand von Nutz- zu Störpegel.

Dieser kann durch mehrere Effekte in ungünstiger Weise verringert werden (u.a.):

- zu geringer Nutzschaallpegel am Mikrofon durch zu großen Besprechungsabstand, und (oft damit verbunden) zu starker Anteil von Schallreflexionen (s. 3.1.2)
- zusätzliche Signalanteile durch externe störende Magnetfelder.

Übertragungsteilstrecke I				II					III				IV	
Akustische Quelle (Sprache)	Raum (Akustik)	Mikrofon	Mikrofon-Übertragungskanal (Kabel oder FM-Strecke)	in einem Gerät realisierbar (z.T. über Software)					Induktionsschleifen-Verstärker	ggf. Schleifen-Übertrager	Induktionsschleife	Raum (Magnetfeld)	Hörgerät	Gehörgang / Trommelfell
				Hochpass	MIC-Verstärker	Regelverstärker/Kompressor	Filter	Zusatz-Filter						
Q	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	E
Übertragungszweitere [el.: elektrisch, bzw. bei Filtern: Software; ak.: akustisch; mg.: magnetisch]														
ak. ↓	ak. ↓ ak.	ak. ↓ el.	el. ↓ el.	el. ↓ el.	el. ↓ el.	el. ↓ el.	el. ↓ el.	el. ↓ el.	el. ↓ el.	el. ↓ el.	el. ↓ mg.	mg. ↓ mg.	mg. ↓ ak.	↓ ak.
Situation A:														
<i>CD-Player oder ähnliche Zuspieldquelle</i>														
entfallen						3.2.		4.	siehe 3.2				geg.	
						P	P	P	P	P	P	P, B		
Situation B:														
<i>Sprecherin/Sprecher ist quasi ortsfest und bespricht das Sprachmikrofon <u>aus geringem Abstand</u> (Mikrofon am Redepult oder Umhänge- bzw. Ansteckmikrofon).</i>														
	3.1, 4.	3.1, 4.	3.1	3.1		wie oben			w. o.					
	P	P	P, B	P, B										
Situation C:														
<i>Sprecherin/Sprecher ist quasi ortsfest und bespricht ein spezielles Mikrofon <u>aus größerem Abstand</u>. (Mikrofon ist z.B. an der Decke oder am Bühnenrand montiert)</i>														
w.o.					w. o.					w. o.				
Situation D: „Theatersituation“														
<i>Sprecherin/Sprecher bewegt sich auf dem Podium bzw. der Bühne und bespricht ein spezielles Bühnenmikrofon <u>aus größerem, nicht festem Abstand</u>.</i>														
w.o.					w. o.					w.o.				

Tabelle 2.1: Beschallungssituationen und Signalübertragungsweg

3.1. Quelle-Raum-Mikrofon

Wird in einer Veranstaltung nicht live gesprochen, werden also nur Zuspieldatenträger verwendet (CD-/DVD-Einspielung, Filmtone [beachte sinnvolle Monobildung!], Situation A), so entfällt dieser Teil der Übertragungstrecke (I, s. Tab. 2.1).

In den anderen Fällen (Situationen B, C, D) beginnt die Übertragungstrecke mit dem Mikrofon. An dieser Stelle wollen wir auf die Komponenten S3 und S4 aufmerksam machen, deren korrekte Funktion oft als selbstverständlich angenommen wird. Handelt es sich bei S3 um eine drahtlose HF-Übertragungstrecke, so darf nicht übersehen werden, dass auch sie technisch optimiert und instandgehalten werden muss. Ein Hochpassfilter S4 ist –je nach Positionierung des Mikrofons- wegen Trittschall auf der Bühne oder auch (z.B. bei Decken- oder Wandmontage) wegen vorbeiströmender (Ab-)Luft erforderlich.

Das der Teilstrecke I entsprechende technische System wird durch seine Impulsantwort charakterisiert; da diese als solche schwer interpretierbar ist, werden aus der Impulsantwort in der Regel akustische Kenngrößen wie Frequenzgang, Nachhallzeit und Deutlichkeitsmaß C_{50} abgeleitet. Auf die Durchführung dieser Messungen und ihre Interpretation hinsichtlich der Sprachverständlichkeit wird hier nur vereinfacht eingegangen, für nähere Informationen sei auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen (z.B. [11]).

Falls sich das Mikrofon in unmittelbarer Nähe der Quelle (Situation B) befindet, spielt die Raumakustik nur eine untergeordnete Rolle, da dann vor allem Direktschall aufgenommen wird. In diesem Fall lässt sich eine sehr gute Sprachverständlichkeit erzielen und die Vorteile der Induktionsspule können - insbesondere in sehr halligen Räumen - optimal genutzt werden.

Je größer der Abstand zwischen Quelle und Mikrofon ist, desto mehr Diffus-schall wird aufgenommen und desto häufiger werden die Beschwerden über mangelnde Sprachverständlichkeit [6]. Deshalb wurden nur die betreffenden Situationen (C und D) näher untersucht.

3.1.1 Messbedingungen

Als Schallquelle wurde ein Lautsprecher (Bose Roommate II) verwendet, dessen Abstrahlcharakteristik derjenigen eines menschlichen Sprechers ähnelt [12].

Vier hinsichtlich ihrer akustischen Eigenschaften sehr unterschiedliche Mikrofone kamen zum Einsatz (Tabelle 3.1).

Mikrofon	Beschreibung	Akustische Arbeitsweise	Erfassungswinkel bei 1kHz	Richtcharakteristik
Microtech Gefell KEM 970	Kardioid-Ebenen-Mikrofon	Druckgradientenempfänger	horizontal/vertikal 120°/30°	horizontal/vertikal Niere/Keule
Sennheiser MKH816	Richtrohrmikrofon	Interferenzempfänger	84°	Superniere – Keule
Schoeps BLM3	Grenzflächenmikrofon	Druckempfänger	horizontal/vertikal 360°/180°	Halbkugel
Neumann KM83	Kugelmikrofon	Druckempfänger	360°	Kugel

Tabelle 3.1: Übersicht über verwendete Mikrofone

Die Situationen C und D wurden in drei verschiedenen Sälen des Gasteig mit entsprechenden Lautsprecher-Mikrofon-Aufstellungen „nachgestellt“.

Beispielhaft wird auf zwei Situationen („KK_D“ und „COS_Ci“) näher eingegangen.

Das Ziel der Messungen ist, den Einfluss verschiedener Mikrofontypen unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen auf die akustischen Kenngrößen der Übertragungstrecke zu messen und hinsichtlich der Verwendung bei der Sprachübertragung zu interpretieren.

Theatersituation im Kleinen Konzertsaal („KK_D“)

Die Sprecher können sich auf der gesamten Bühne befinden und sind nicht notwendigerweise

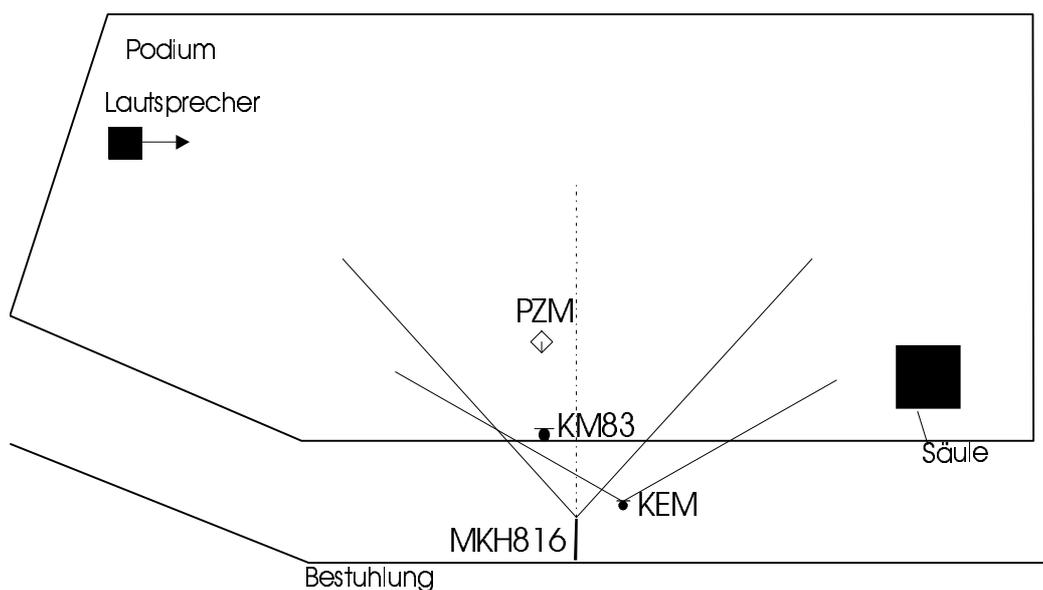


Abb. 3.1: Lautsprecher-Mikrofon-Aufstellung im Kleinen Konzertsaal (Draufsicht)

dem Publikum zugewandt (Situation D). Um den „worst case“ zu erfassen, wurde der Lautsprecher im hinteren Bühnenbereich aufgestellt und vom Publikum weggedreht. Die Mikrofone wurden sowohl unter Berücksichtigung ihrer Richtcharakteristik als auch örtlicher Randbedingungen aufgestellt. Letztere entstanden vor allem aus der Forderung, dass das Mikrofon stationär im Saal installiert werden kann. Dazu mussten Montageorte gefunden werden, die zu keiner optischen Beeinträchtigung der Innenarchitektur des Saales einerseits und andererseits von Leinwandprojektionen führen und außerdem diebstahlsicher sind. Die resultierenden Positionen (mit Erfassungswinkeln der Mikrofone mit Richtcharakteristik) können Abb. 3.1 entnommen werden; alle Mikrofone wurden direkt unter der Saaldecke angebracht.

„Ideale“ Rednersituation im Carl-Orff-Saal („COS Ci“)

Dies ist ein Beispiel für Situation C. Die Sprecher befinden sich im vorderen Bühnenbereich und sind dem Publikum zugewandt. Im Gegensatz zu Situation KK_D wurde die Forderung nach

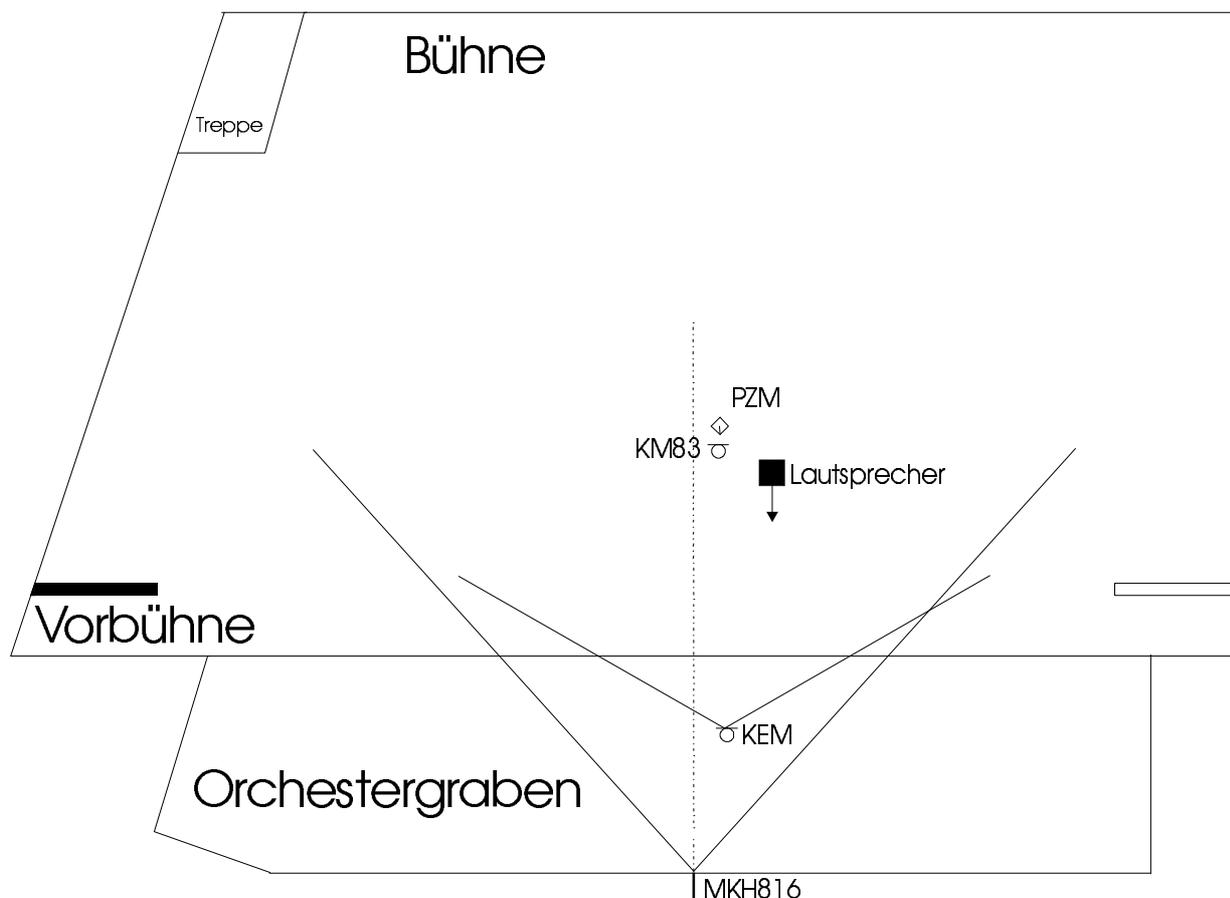


Abb. 3.2: Lautsprecher-Mikrofon-Aufstellung im Carl-Orff-Saal (Draufsicht)

einer stationären Aufstellungsmöglichkeit fallengelassen, weshalb die Mikrofone - akustisch gesehen - nahezu ideal aufgestellt werden konnten. Es wurde dennoch darauf geachtet, dass die Innenarchitektur des Saales optisch möglichst nicht beeinträchtigt wird und tatsächlich Montageorte vorhanden waren.

Die resultierenden Aufstellungsorte sind in Abb. 3.2 dargestellt. Während das KEM aufgrund seines breiten horizontalen Öffnungswinkels sehr nahe an der Quelle platziert werden kann (direkt am Bühnenrand), wird für das Richtrohr ein größerer Abstand benötigt, um den gleichen Bühnenbereich akustisch „einfangen“ zu können.

3.1.2 Messergebnisse

Aus den in den beiden Situationen COS_Ci und KK_D jeweils für die vier Mikrofone gemessenen Impulsantworten wurden Frequenzgang, Nachhallzeit und Deutlichkeitsmaß C_{50} ermittelt.

Die Impulsantworten wurden mittels „Maximum-Length-Sequences“ gemessen [13]. Da sowohl der Lautsprecher als auch zwei der verwendeten Mikrofone eine ausgeprägte Richtcharakteristik besitzen, dürfen diese Impulsantworten nicht mit der Raumimpulsantwort gleichgesetzt werden.

Der (Amplituden-)Frequenzgang wird über Fourier-Transformation aus der Impulsantwort berechnet und ermöglicht eine Interpretation des Systemverhaltens im Frequenzbereich. Nachhallzeit und Deutlichkeitsmaß C_{50} dagegen werden aus der sogenannten „Schroeder-Kurve“ abgeleitet, die man durch Rückwärtsintegration der Impulsantwort [14] erhält, und ermöglichen eine Beschreibung des Zeitverhaltens. Die Nachhallzeit charakterisiert den Bereich der Schroeder-Kurve nach den sogenannten „frühen Reflexionen“ und wird häufig aus der Zeitdifferenz zwischen den -5 dB und -35 dB Werten der Schroeder-Kurve ermittelt. C_{50} ist definiert als das Verhältnis aus „früher“ (Anfang bis 50 ms) und „später“ (50 ms bis Ende) Schallenergie des Nachhallvorgangs und berücksichtigt somit sowohl frühe Reflexionen als auch Nachhallzeit. Da die frühen Anteile als nützlich für die Sprachverständlichkeit angenommen werden, die späten jedoch als schädlich, kann der C_{50} als eine Art raumakustischer Störgeräuschabstand angesehen werden.

Frequenzbereich

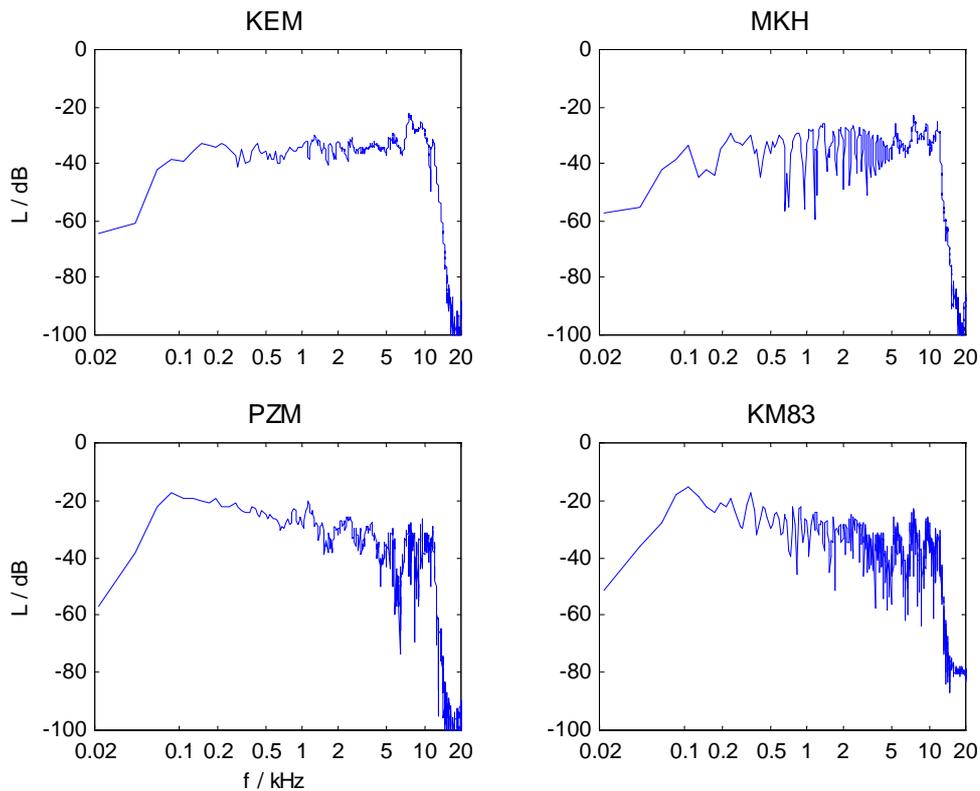


Abb. 3.3: Übertragungsteilstrecke I im Carl-Orff-Saal für die vier Mikrofontypen

Die in Abb. 3.3 dargestellten - im Carl-Orff-Saal gemessenen - Frequenzgänge wurden mit einer FFT (2048 Punkte, $\Delta f = 21,5$ Hz) berechnet und auf gleiche Energie normiert. Der Frequenzgang des KEM ist gekennzeichnet durch einen sehr glatten und von 200 Hz bis 8 kHz nahezu frequenzunabhängigen Verlauf. Beim Kugelmikrofon (KM83) dagegen sind ein leichter Höhenabfall und tiefe schmalbandige Einbrüche zu erkennen. Letzteres ist typisch für Raumübertragungsfunktionen und deutet deshalb auf einen größeren Einfluss der Raumakustik auf den Frequenzgang im Vergleich zum KEM hin. Auch das andere verwendete Richtmikrofon (MKH) weist eine nahezu frequenzunabhängige Übertragung auf, während beim Grenzflächenmikrofon (PZM) höhere Frequenzen leicht gedämpft werden.

Betrachtet man dagegen die im Kleinen Konzertsaal gemessenen Frequenzgänge (Abb. 3.4), so sieht man einen Höhenabfall beim MKH, während die Unterschiede zwischen den anderen Mikrofonen sehr gering sind. Der Grund für letzteres ist der große Abstand von der Quelle, weshalb die Raumakustik die gemessenen Frequenzgänge bestimmt. Der Höhenabfall des MKH ist darauf zurückzuführen, dass sich die Schallquelle außerhalb seines Erfassungswinkels befindet.

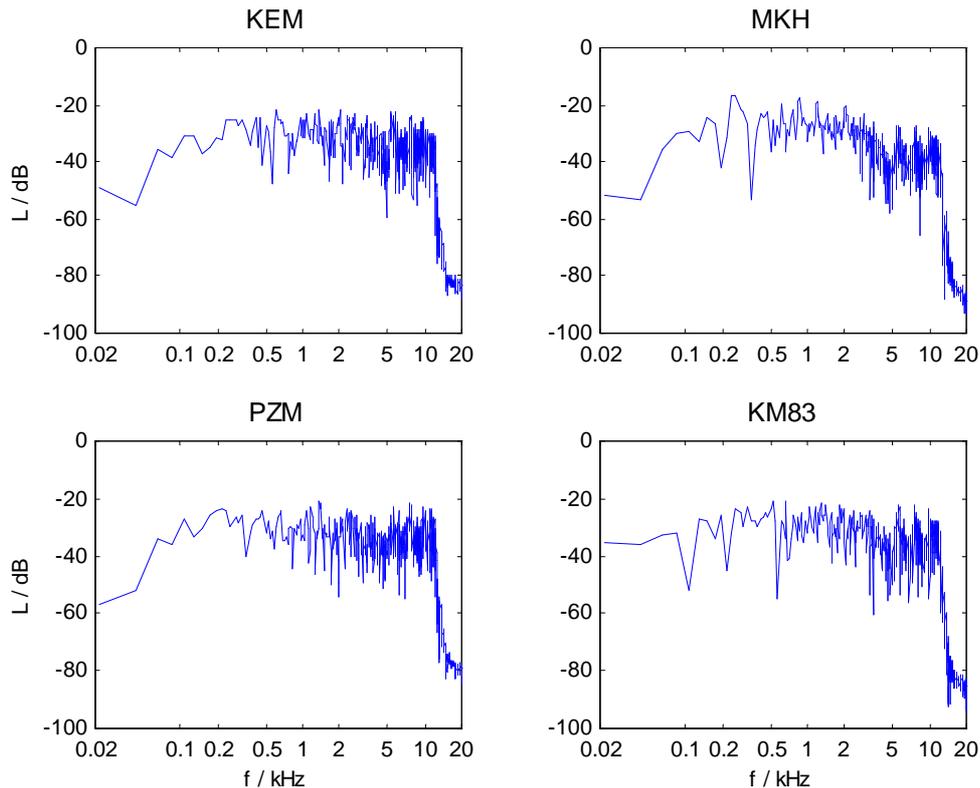


Abb. 3.4: Übertragungsteilstrecke I im Kleinen Konzertsaal für die vier Mikrofontypen

Grundsätzlich ist ein glatter, frequenzunabhängiger Verlauf - wie beim KEM im Carl-Orff-Saal - erstrebenswert, die Abweichungen der Frequenzgänge der anderen Mikrofone sind jedoch so gering, dass bei einer idealen weiteren Übertragung keine gravierende Verschlechterung der Sprachverständlichkeit zu erwarten wäre. Als besonders wichtig für die Sprachverständlichkeit wird der Bereich von 1 kHz bis 4 kHz (und vor allem um 2 kHz) angesehen [15].

Zeitbereich

Allgemein [15] wird angenommen, dass für eine gute Sprachverständlichkeit das Deutlichkeitsmaß C_{50} möglichst groß (> 0 dB) und die Nachhallzeit RT möglichst kurz sein soll ($< 1,7$ s). Legt man nur die Länge der Nachhallzeit zugrunde, würde man im Carl-Orff-Saal für PZM und KM83 eine bessere Sprachverständlichkeit prognostizieren als für das MKH (Abb. 3.5). C_{50} - in Abb. 3.5. wegen der besseren Übersichtlichkeit in „Bel“ (1 Bel = 10 dB) aufgetragen - dagegen deutet eher daraufhin, dass das MKH die bessere Wahl wäre. Es ist also offensichtlich nicht einfach, eindeutige Hinweise für die Mikrofonauswahl aus Nachhallzeit und Deutlichkeitsmaß abzuleiten. Für beide Säle gilt, dass aufgrund der Nachhallzeit und des

Deutlichkeitsmaßes bei einer idealen weiteren Übertragung keine gravierende Verschlechterung der Sprachverständlichkeit zu erwarten wäre.

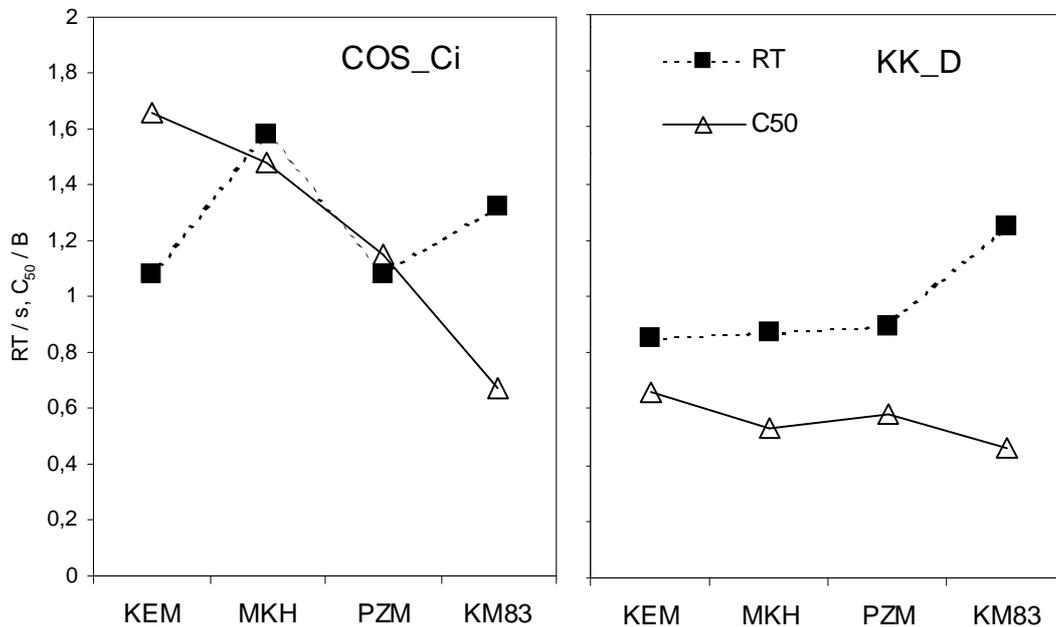


Abb. 3.5: Nachhallzeit RT (in s) und Deutlichkeitsmaß C₅₀ (in Bel) der Übertragungsteilstrecke I. Links: Carl-Orff-Saal, rechts: Kleiner Konzertsaal

Fazit Übertragungsteilstrecke I

Die vorgestellten Messungen zeigen, wie das Systemverhalten sowohl im Zeit- als auch Frequenzbereich analysiert werden kann. Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den verwendeten Mikrofontypen, die jedoch nicht immer dieselbe Tendenz aufweisen (Nachhallzeit vs. Deutlichkeitsmaß). Bei einer idealen weiteren Übertragung sollten sich diese Unterschiede jedoch kaum in einer deutlichen Verschlechterung der Sprachverständlichkeit bemerkbar machen. Falls die weitere Übertragung jedoch gestört ist, können diese Unterschiede durchaus eine wichtige Rolle spielen. In diesem Fall scheint im Carl-Orff-Saal (Situation COS_Ci) das KEM die beste Wahl zu sein, während im Kleinen Konzertsaal (Situation KK_D) die Wahl des Mikrofons scheinbar nur geringen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit hat.

Erst eine Betrachtung der gesamten Übertragungsstrecke (einschließlich des menschlichen Empfängers, s. Kap. 4) erlaubt eine abschließende Beurteilung des Einflusses der unterschiedlichen Mikrofontypen auf die Sprachverständlichkeit.

3.2. Induktionsschleife → Hörgerät

Ein Regelverstärker (S6) mit Kompressor soll dafür sorgen, dass die Dynamik der nachfolgenden Übertragungskette optimal genutzt wird, und ein Pegelbegrenzer dient zum Schutz vor Übersteuerung. Um Verzerrungen zu vermeiden, sollte der Kompressor mit langsamen Regelzeiten (> 1 s) und der Begrenzer mit "soft knee" - Kennlinie [24] arbeiten. Ein Bandpass (S7) beschränkt den Übertragungsbereich auf das Sprachband. Das Thema „Zusatzfilter“ (S8) wird im Kapitel 4 behandelt.

Die folgenden Bausteine Leistungsverstärker (S9), ggf. Übertrager (S10), sowie die Induktionsschleife (S11) selbst sollen nun so ausgelegt sein, dass (u.a.) folg. wichtige physikalische Werte erreicht werden (-zum genauen Wortlaut der Definitionen siehe [3] -):

a) Magnetische Feldstärke:

-20 dB(1 A/m) \pm 3dB für einen 1 kHz-Sinuston mit dem Pegel, der gleich dem Langzeitmittelwert des dem System angebotenen Sprachsignalpegels ist (hier als „Nominalpegel“ bezeichnet).

Maximalwert: - 8dB(1 A/m).

b) Frequenzgang der magnet. Feldstärke:

max. \pm 3dB im Bereich 100 ... 5000 bezogen auf Messwert bei 1 kHz;

c) Störeinflüsse:

Max. Pegel (A-bewertet, Zeitbewertung „slow“) des magnetischen

Umgebungshintergrundrauschens: -40dB (1 A/m).

Unsere Messungen ergaben:

ad a): Magnetische Feldstärke

In den drei von uns untersuchten Sälen war es möglich, die von der Norm geforderte Feldstärke zu erzeugen. Allerdings gilt dies nicht für alle Plätze! In einem Saal ist die Schleife in einer geometrisch ungünstigen Form verlegt. Außerdem wurde die das Nutz-Magnetfeld ungünstig beeinflussende Wirkung von Baustahl und/oder anderen magnetisch wirksamen Konstruktionsmaterialien zuwenig beachtet ([1], [2]). Die Folge für den Betreiber der Anlage ist, dass nicht alle Plätze Schwerhörigen angeboten werden können! Die daraus resultierenden organisatorischen Umständlichkeiten sind beträchtlich: es müssen spezielle Sitzpläne erzeugt, vorgehalten und bekannt gemacht werden. Die außerdem gegebene unterschiedliche räumliche

Ausrichtung der Magnetfeldvektoren ist dagegen ein untergeordnetes Problem, da die Schwerhörigen diesen Umstand kennen und wissen, dass sie die optimale räumliche Ausrichtung ihres Hörgerätes selbst vornehmen können.

ad b): Frequenzabhängigkeit der magnetischen Feldstärke

Für die weiteren Messungen wurde jeweils die Messspule in die Richtung maximaler Induktion gedreht. Bei allen Messungen wurde das derzeit im Betrieb befindliche System Leistungsverstärker/Übertrager/Schleife (S9...S11) als gegeben angenommen und die konstante Spannung (10 dB unter Vollaussteuerung) in den Leistungsverstärker eingespeist.

Die aus Abb. 3.6 ersichtliche Frequenzabhängigkeit der magnetischen Feldstärke zeigte sich in ähnlicher Weise auch in zwei anderen Sälen (Carl-Orff-Saal und Black Box). Ganz offensichtlich wird mit diesen Anordnungen die Anforderung der Norm nicht erfüllt.

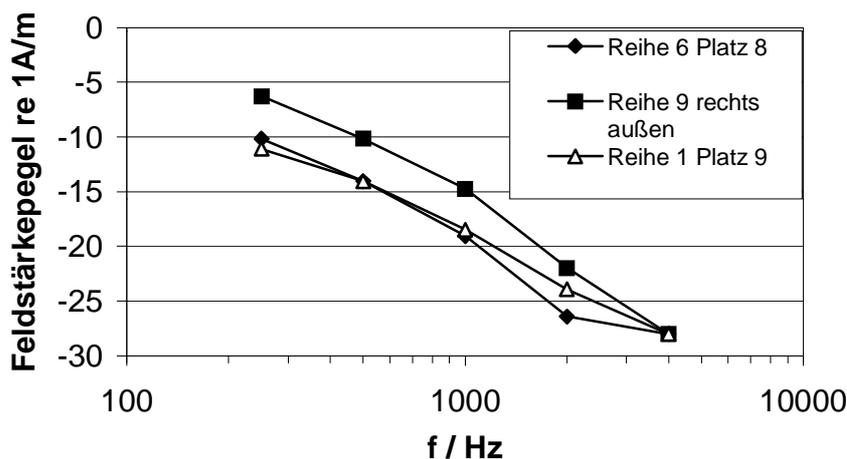


Abb. 3.6
Magnetische Feldstärke auf verschiedenen Plätzen (Saal: Vortragssaal der Bibliothek)

Messungen direkt am Eingang der Induktionsschleife (S9) nach dem Übertrager (S10) ergaben, dass aufgrund der mit der Frequenz zunehmenden Impedanz der Schleife der Schleifenstrom abnimmt (Abb. 3.7, Abb. 3.8).

Auch heute werden Induktionsschleifen oft mit den in der Ela-Technik gebräuchlichen und meist in Verstärkerzentralen zusammengefassten „100V-Leistungsverstärkern“ betrieben. Dadurch ist aber ein räumlich direkt am elektrischen Eingang der Schleife sitzender Übertrager erforderlich. Die (normgemäße) näherungsweise Frequenzunabhängigkeit der magnetischen Feldstärke ist mit dieser Anordnung nur schwer realisierbar. Als wesentlich vorteilhafter sind hier ausgangübertragerlose Leistungsverstärker in „Konstantstromtechnologie“ anzusehen [8].

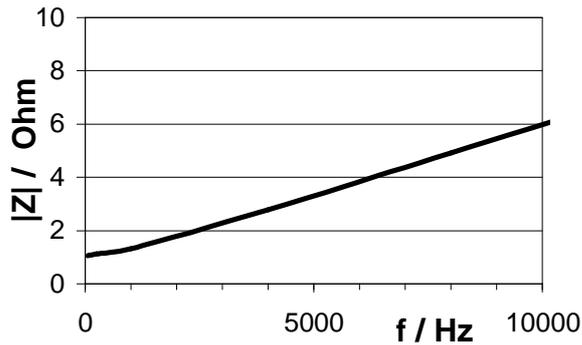


Abb. 3.7

*Impedanz der Induktionsschleife
(Saal: Black Box)*

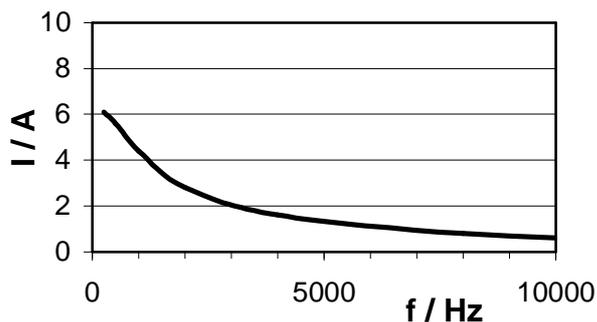


Abb. 3.8

*Strom in der Induktionsschleife
(Saal: Black Box)*

ad c): Störeinflüsse

Die unter a) beschriebenen Effekte wirken sich auf den Signal-Störabstand (SNR) der induktiven Übertragungstrecke III aus: Die Übertragungsfunktion S_{12} ist nicht nur abhängig von der Frequenz, sondern auch von Position und räumlicher Lage der Hörgeräte-Telefonspule. Da Nutz- und Störmagnetfeld i.a. weder hinsichtlich vektorieller Richtung noch signalbezogen miteinander korreliert sind, ergibt sich somit eine komplexe Abhängigkeit des Signal-Störabstandes von mehreren Variablen.

Leider können noch weitere Einflüsse den Signal-Störabstand stark verringern. Wechsell magnetfelder, deren Spektralkomponenten im Nutzfrequenzbereich liegen, können den Einsatz der Induktionsschleife völlig verhindern. Abbildung 3.9 zeigt einen Ausschnitt aus einem Spektrum des Magnetfeldes mit einem Sinuston als Nutzsinal und Harmonischen der Netzfrequenz. Die räumliche Lage der Messspule wurde so gewählt, dass sich für das Nutzsinal ein Pegelmaximum ergab. Knapp 20 dB trennen hier Nutz- und Störsignalkomponenten. Durch höhere Aussteuerung des Systems könnte der Signal-Störabstand auf ca. 30 dB bis 35 dB gesteigert werden. Jedoch handelt sich bei diesem Störer um einen Komplexen Ton mit stark ausgeprägter Tonhöhe. Seine Teiltöne werden hervorgerufen durch die Harmonischen der Netzfrequenz, die durch die Theaterlichtstellanlage produziert werden. Die Scheinwerferkabel

wirken hierbei leider als konkurrierende Induktionsschleife. Auch bei Anhebung der Nutzfeldstärke und dadurch möglicher Verringerung der Verstärkung des Hörgerätes ist der Störer für das Gehör sehr lästig. [28].

In diesem Saal müssen also entsprechende Verbesserungsmaßnahmen getroffen werden: Insbesondere Reduktion des Störfeldes durch andere Verlegung der Scheinwerferkabel und Erhöhung der Nutzfeldstärke im Rahmen des zulässigen Bereiches.

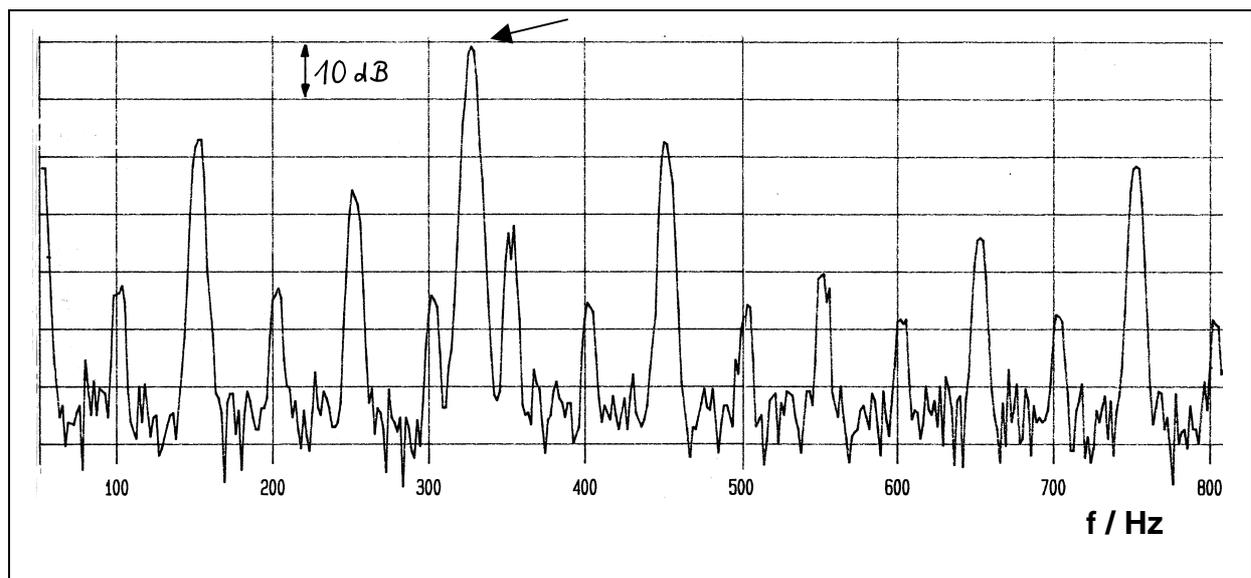


Abb. 3.9

Spektrum der magnetischen Feldstärke. Selektive Pegelmessung mit $\Delta f = 6$ Hz.

Nutzsignal (Pfeil): Sinuston, $f = 325$ Hz, 10dB unter Nominalpegel.

Bühnenscheinwerfer: Intensität 70%. (Saal: Black Box)

Wünschenswert, und im og. Falle sogar unverzichtbar, ist ein höherer Signal-Störabstand. Der Ratschlag [1], die von der Schleife produzierte Feldstärke müsse im Falle des Vorhandenseins eines starken Störers sehr viel größer sein als die des Störers, stößt in der Praxis an mindestens drei Grenzen: 1. der dann (zu) hohen Stromstärke in der Induktionsschleife, die üblicherweise in der Größenordnung von einigen Ampère liegt, bei Erhöhung des Nutzpegels um 20dB sich aber um Faktor 10 erhöhen würde, 2. der zum Übersteuerungsschutz der Hörgeräte festgelegten maximalen Feldstärke (siehe a) von $\approx 0,4$ A/m sowie 3. dem Grenzwert nach der 26.BImSchV [9] (für 50 Hz-Felder): $100\mu\text{T}$ entspr. ≈ 80 A/m. Ein aus Gründen weitergehender gesundheitlicher Vorsorge verringerter Wert auf $10\mu\text{T}$ entspr. ≈ 8 A/m bzw. auf $1\mu\text{T}$ entspr. \approx

0,8 A/m [10] sollte nicht überschritten werden. Insgesamt bedeutet dies, dass eine Erhöhung der Obergrenze der Nutzschnalfeldstärke nicht in Frage kommt.

Hörgeräteträgerinnen und –träger wissen jedoch meist, dass sie durch Drehen ihres Hörgerätes versuchen können, ein Maximum für den Nutzschnallpegel und (machmal gleichzeitig) ein Minimum für den Störschnallpegel zu finden.

Als technische Maßnahmen für den Betreiber der Anlage kommen hier, falls es nicht gelingt, den Störer zu beseitigen oder zumindest geeignet abzuschirmen, in Betracht:

1. Höhenanhebung (S8)

Da der SNR insbesondere bei hohen Frequenzen –auch aufgrund der Frequenzabhängigkeit der Impedanz der Schleife wie im o.g. Fall– schlecht ist, kann eine Höhenanhebung mit einem Zusatzfilter vor der Schleife eine Verbesserung bewirken. Es ist jedoch darauf zu achten, dass eine zu starke Höhenanhebung die Klangqualität beeinträchtigen kann. Näheres hierzu in Kap. 4.

2. Pegelkompression (S6)

Um Sprache wirkungsvoll zu komprimieren, müssen sehr kurze Regelzeiten verwendet werden (<50 ms, sog. "Silbenkompression"). Eine derartige Signalverarbeitung ist nur dann von Vorteil, wenn das Störgeräusch dem Nutzschnal nach dem Kompressor additiv überlagert wird; ansonsten ist eher eine Verschlechterung der Sprachverständlichkeit zu erwarten! [29]. Eine Silbenkompression ist demnach nur für die Situationen A und B (Tab. 2.1) ratsam, da in den Situationen C und D damit gerechnet werden muss, dass bereits durch das Bühnenmikrofon Störgeräusche (Geräusche aus dem Auditorium, Nachhall) - also vor dem Kompressor - in die Übertragungskette eingespeist werden. Falls sich aufgrund des SNR eine Kompression nicht umgehen lässt, so sollte darauf geachtet werden, bei der Wahl von Mikrofontyp und -montageort den Diffusschnallanteil zu minimieren (sprich: C_{50} maximieren, vgl. Kap. 3.1).

Aus dem oben Gesagten lässt sich also leicht ableiten, dass Planungsfehler des Systems, die einen optimalen Signal-Störabstand über die gesamte Übertragungskette verhindern –und diesbezüglich bestimmt das schwächste Glied der Kette das Ergebnis!–, kaum noch durch den Betreiber der Anlage korrigiert werden können. Dies trifft im Besonderen auf eine falsche Verlegung der Induktionsschleife zu sowie auf ein Nichtbeachten von Störmagnetfeldern. Eine konsequente EMV-Planung muss auch das Induktionsschleifensystem umfassen.

Da die Einkopplung des Störers auf der Teilstrecke S12 erfolgt, ergäbe sich als einzige Möglichkeit, diese störenden Spektralkomponenten durch eine entsprechende Signalverarbeitung (z.B. adaptive Filterung) in den Hörgeräten selbst zu unterdrücken.

3.3. Fazit physikalische Messungen

Die Übertragungsteilstrecke I (Quelle-Raum-Mikrofon) wurde untersucht, indem aus gemessenen Impulsantworten akustische Kenngrößen sowohl im Frequenz- als auch Zeitbereich abgeleitet wurden. Unter der Annahme einer idealen weiteren Signalübertragung ist aufgrund der vorliegenden Messwerte keine starke Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit zu erwarten (Näheres zu Zusammenhängen zwischen akustischen Kenngrößen und zu erwartender Sprachverständlichkeit finden sich z.B. in [16]).

Die Messungen an Übertragungsteilstrecke II zeigten jedoch, dass die weitere Übertragung keineswegs (zumindest im vorliegenden Fall) als ideal angenommen werden darf. Aufgrund der frequenzabhängigen Impedanz der Induktionsschleife ist insbesondere bei hohen Frequenzen - die für die Sprachverständlichkeit sehr wichtig sind - mit einem reduzierten SNR zu rechnen. Falls deshalb eine Pegelkompression eingesetzt wird, so muss darauf geachtet werden, bei der Wahl von Mikrofontyp und -montageort den Diffusschallanteil zu minimieren. Unverzichtbar ist, dass bereits bei der Planung die Schleifengeometrie und die Störwirkungen von Scheinwerferkabel, Baustahl etc. auf die Induktionsschleife berücksichtigt werden.

4. Psychoakustische Messungen

Das Ziel der psychoakustischen Messungen ist, den Einfluss verschiedener Mikrofone und eines Zusatzfilters auf Sprachverständlichkeit und Klangqualität unter Berücksichtigung der gesamten Übertragungstrecke von der Quelle bis (einschließlich) zum menschlichen Empfänger zu untersuchen.

Dazu wurden zunächst alle bei den Hörversuchen verwendeten Schalle über die in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Lautsprecher-Mikrofon-Aufstellungen (Situation COS_Ci und Situation KK_D) dargeboten und auf DAT aufgenommen (Übertragungsteilstrecke I, s.Tab.1.1). Wird im folgenden vereinfacht von Messungen im Carl-Orff-Saal oder Kleinen Konzertsaal gesprochen, so sind damit diese beiden Situationen gemeint.

Hinsichtlich Übertragungsteilstrecke II werden zwei Fälle betrachtet:

1. „Ideale“ Übertragung (ohne Zusatz-Filter)
2. Übertragung über Zusatz-Filter.

Der Frequenzgang des verwendeten Zusatz-Filters (S8 in Tab. 2.1) wurde aus der dem „Articulation Index“ zugrundeliegenden Theorie [17] abgeleitet und ist näherungsweise flach für tiefe Frequenzen, um ab etwa 1000 Hz mit ungefähr 3,5 dB/oct anzusteigen. Mit diesem Filter kann die Verständlichkeit von Konsonanten um ca. 10% erhöht werden, was einer Verbesserung des Störabstandes um 2-4 dB entspricht.[18].

Der in der Black Box auf Reihe 4, Platz 6 gemessene Frequenzgang der magnetischen Feldstärke (ähnlich Abb. 3.6) wurde zur Simulation der Übertragung über die Induktionsschleife herangezogen (Übertragungsteilstrecke III).

Der Frequenzgang der Teilübertragungstrecke IV kann Abb. 2.1 entnommen werden (Telefonspuleneingang).

Der aus den Übertragungstrecken II mit IV resultierende Gesamtfrequenzgang ist für die beiden Fälle mit und ohne Zusatz-Filter in Abb. 4.1 dargestellt. Deutlich ist zu erkennen, dass mit Zusatz-Filter die tiefen Frequenzen leicht gedämpft und hohe Frequenzen verstärkt werden.

Um die Übertragung über das Gesamtsystem zu simulieren, wurden die oben beschriebenen Aufnahmen schließlich entsprechend den in Abb. 4.1 dargestellten Frequenzgängen gefiltert.

Bei den menschlichen Empfängern handelt es sich im vorliegenden Fall um Schwerhörige,

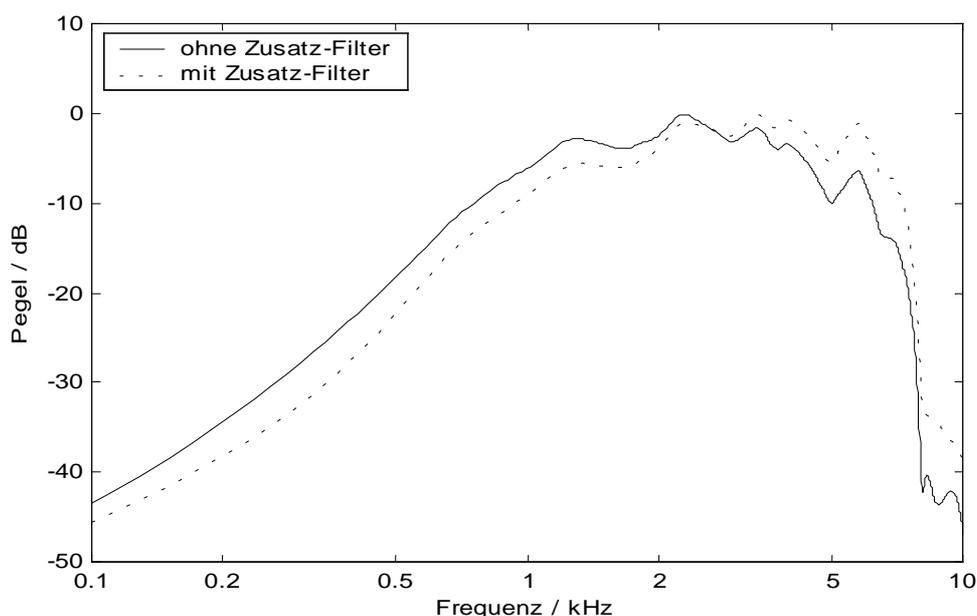


Abb. 4.1: Simulierte Übertragungstrecke II mit IV (mit und ohne Zusatz-Filter)

wobei anzunehmen ist, dass deren Hörgeräte zu keiner vollständigen Rehabilitation der Hörwahrnehmung führen. Da nur normalhörende Versuchspersonen zur Verfügung standen, wurde, um eine gestörte Informationsaufnahme vereinfacht nachzubilden, bei den Versuchen zur Sprachverständlichkeit der Sprache ein Rauschen überlagert. Eine genauere Simulation der Signalverarbeitung im Hörgerät und im gestörten Gehör ist zwar theoretisch möglich [19], macht aber praktisch im Rahmen dieser Untersuchung keinen Sinn, da einerseits kein „durchschnittliches“ Hörgerät, noch eine „durchschnittliche“ Hörstörung existiert, der Nutzen einer detaillierten Simulation also nur sehr gering wäre, und andererseits der Aufwand beträchtlich zunehmen würde.

4.1. Sprachverständlichkeit

Zur Messung der Sprachverständlichkeit wurde der Einsilber-Reimtest nach Sotscheck verwendet [20]. Diesem wurde ein Rauschen nach CCITT Rec. G 227 überlagert mit einem SNR von -8 dB, falls das Zusatz-Filter benutzt wurde, bzw. einem SNR von -5 dB, falls nicht. Alle Schalle wurden monotonisch über einen Freifeldentzerrer [26] dargeboten; der Pegel des Rauschens betrug 65 dB. Jeweils vier normalhörende Versuchspersonen nahmen an den Hörversuchen teil.

Die Mediane und Interquartile der gemessenen Sprachverständlichkeit ohne Zusatzfilter sind in Abb. 4.2 dargestellt. In der Situation COS_Ci (Carl-Orff_Saal) zeigt sich, dass sich mit dem

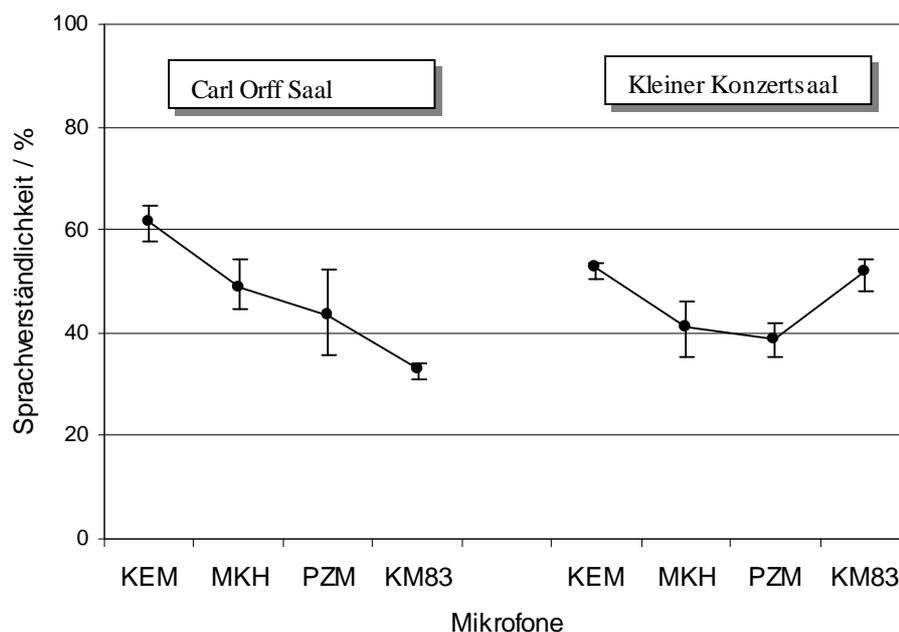


Abb. 4.2: Sprachverständlichkeit ohne Zusatzfilter

KEM eine um 30% höhere Sprachverständlichkeit erzielen lässt, als mit dem Kugelmikrofon. Die Ergebnisse für die beiden anderen Mikrofone (MKH und PZM) liegen zwischen diesen Extremen. In der Situation KK_D (Kleiner Konzertsaal) dagegen erzielen KEM und Kugel nahezu die gleiche Sprachverständlichkeit und sind um etwas mehr als 10% besser als MKH und PZM. Abgesehen von dem unerwartet guten Abschneiden des Kugelmikrofons im Kleinen Konzertsaal sind diese Ergebnisse im Einklang mit den Messungen und Überlegungen in Kap. 3.1.2; insbesondere das Deutlichkeitsmaß C_{50} (Abb. 3.5) scheint - mit Ausnahme des KM83 im Kleinen Konzertsaal - stark mit den psychoakustischen Ergebnissen korreliert zu sein.

Vergleicht man die Ergebnisse mit Zusatzfilter mit denen ohne Filter (Abb. 4.3), so sind in Situation COS_Ci leichte und in Situation KK_D nahezu keine Unterschiede zu erkennen. Zu beachten ist, dass bei den Versuchen mit Zusatz-Filter ein um 3 dB schlechterer SNR benutzt wurde; d.h. bei konstanter Verständlichkeit wird mit Zusatz-Filter der SNR um 3dB verbessert (entspricht ca. 12% höhere Sprachverständlichkeit). Dies gelingt in nahezu allen Fällen; das MKH im Carl-Orff-Saal profitiert am meisten, das PZM dagegen kaum. Sowohl durch die Verwendung eines Richtmikrofons als auch eines Zusatzfilters kann die Sprachverständlichkeit also deutlich verbessert werden.

Da Hörversuche dieser Art sehr zeitaufwendig sind, ist es wünschenswert, eine Berechnungsmethode für die Sprachverständlichkeit zu haben, die die psychoakustischen Ergebnisse vorhersagen kann. Der „Speech Transmission Index“ (STI) [21] berücksichtigt

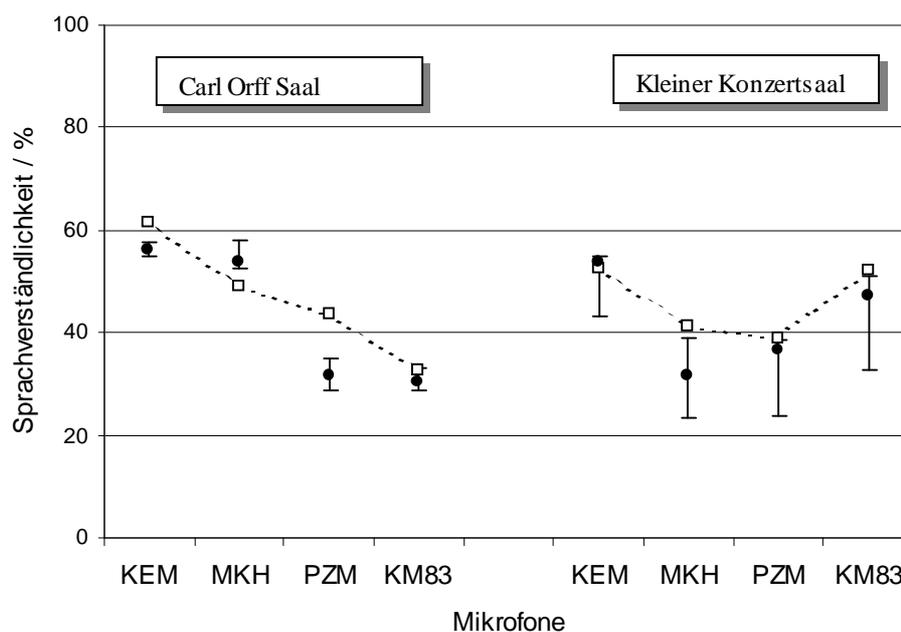


Abb. 4.3: Sprachverständlichkeit mit Zusatzfilter (SNR = -8dB)
Gestrichelt: Mediane von Abb. 4.2

sowohl potentielle Störungen im Frequenzbereich (z.B. begrenzte Bandbreite) als auch im Zeitbereich (z.B. Nachhall), sodass dieses Berechnungsverfahren für den vorliegenden Fall geeignet erscheint. Die zur Berechnung des STI nötige Modulationsübertragungsfunktion wurde nach der in [22] vorgestellten Methode ermittelt. Als Testsignal wurde ein 10 s langer Ausschnitt der ersten Liste des Sotscheck-Tests verwendet. Aus den Messungen von Sotscheck mit CCITT-Rauschen [23] wurde eine Funktion abgeleitet, um die berechneten STI-Werte (zwischen 0 und 1) in Sprachverständlichkeiten umzurechnen.

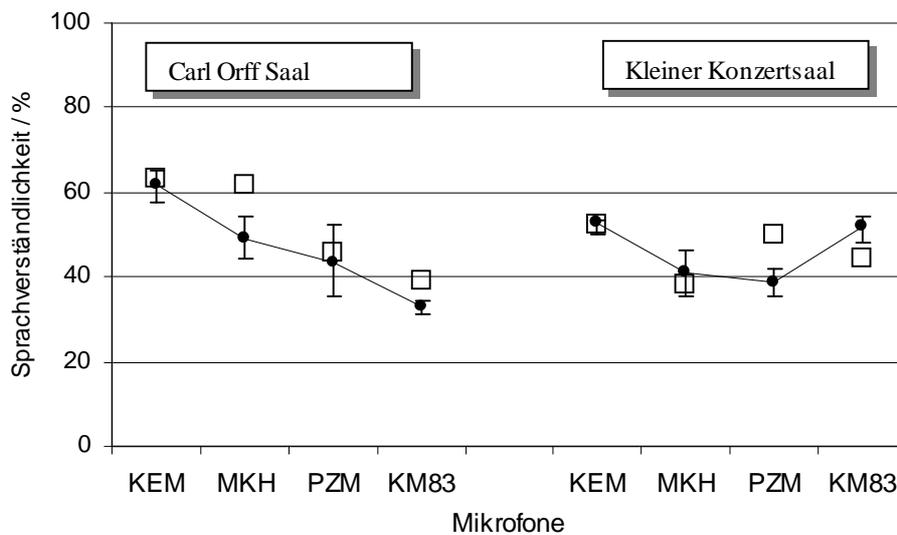


Abb. 4.4: Gemessene (Kreise) und berechnete (Quadrate) Sprachverständlichkeit ohne Zusatzfilter (SNR = -5dB).

Die Vorhersagen des STI für die Sprachverständlichkeit ohne Zusatz-Filter stimmen teilweise recht gut mit den Messergebnissen überein (Abb. 4.4), teilweise liegen die berechneten Werte jedoch bis zu 10% zu hoch (MKH im Carl-Orff-Saal und PZM im Kleinen Konzertsaal).

Der Einfluss des Zusatz-Filters wird vom STI im Carl-Orff-Saal überschätzt (+10%), während im Kleinen Konzertsaal Messung und Rechnung - bis auf PZM - sehr gut übereinstimmen (Abb. 4.5).

Als Fazit bleibt zu sagen, dass der STI grundsätzlich geeignet ist, um eine erste Abschätzung der Sprachverständlichkeit durchzuführen, bei zu erwartenden Unterschieden in der Sprachverständlichkeit von weniger als 10% der STI aber zu ungenau ist. Weitere physikalische Messwerte wie Frequenzgang, Nachhallzeit und Deutlichkeitsmaß sollten keinesfalls außer Acht gelassen werden.

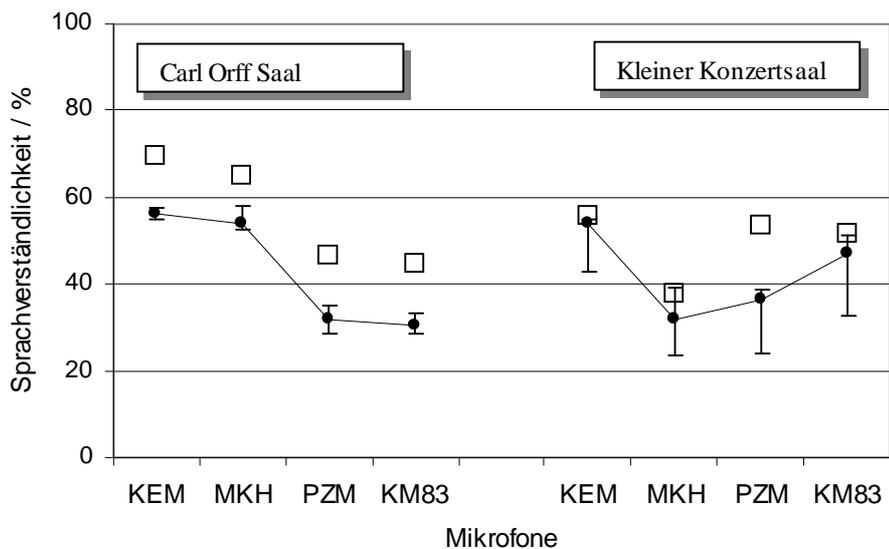


Abb. 4.5: Gemessene (ausgefüllte Kreise) und berechnete (Quadrate) Sprachverständlichkeit mit Zusatzfilter (SNR = -8dB).

4.2. Klangqualität

Durch eine Anhebung hoher Frequenzen kann offensichtlich die Sprachverständlichkeit verbessert werden, es ist aber bekannt, dass dadurch ebenfalls die Schärfe zunimmt und die Klangqualität dadurch verschlechtert werden kann [24]. Deshalb wurde für die bei den Hörversuchen zur Sprachverständlichkeit verwendeten Situationen zusätzlich die Klangqualität untersucht. Als Testschall diente ein 5 s langer Ausschnitt aus einem fünfstimmigen Männerchoral [25]. Zur Ermittlung der Klangqualität wurde ein Verfahren eingesetzt, das sich

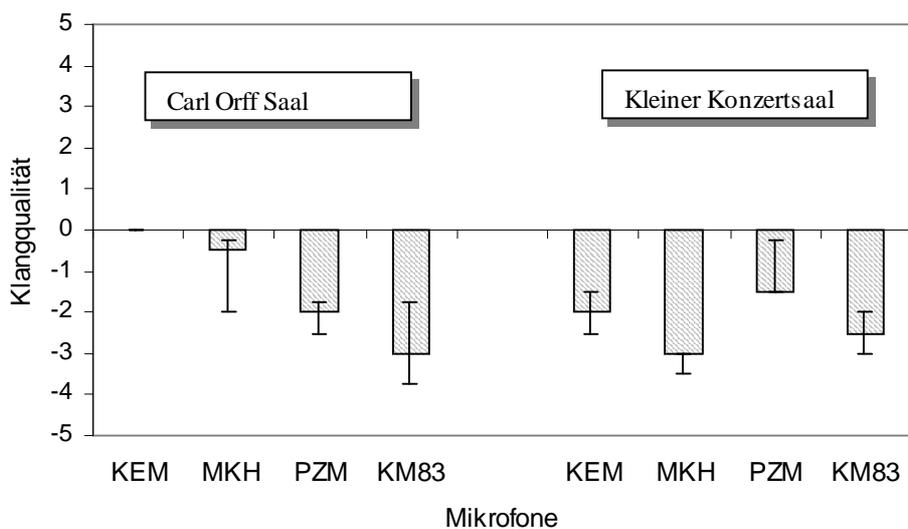


Abb. 4.6: Klangqualität ohne Zusatzfilter

bereits in früheren Untersuchungen bewährt hat [24]. Der Versuchsperson wird hierbei eine Sequenz aus zwei Schallpaaren, wobei mindestens drei der vier Schalle gleich sind, also beispielsweise „AA BA“, dargeboten. Die Aufgabe besteht nun darin, anzugeben, in welchem Paar sich der möglicherweise andersartige Schall B befindet und seine Klangqualität relativ zu Schall A anhand einer Skala von -5 („sehr viel schlechter“) bis 5 („sehr viel besser“) zu beurteilen. Als Vergleichsschall A wurde in allen Versuchen der mit dem KEM in Situation COS_Ci ohne Zusatz-Filter aufgenommene Schall verwendet. Vier Versuchspersonen beurteilten jeden Schall dreimal.

Die Mediane und Interquartile der Ergebnisse ohne Zusatz-Filter sind in Abb. 4.6 dargestellt. Das KEM im Carl-Orff-Saal (Vergleichsschall) liefert die beste Klangqualität, dicht gefolgt vom MKH, während PZM und KM83 als deutlich schlechter beurteilt wurden. Im Kleinen Konzertsaal dagegen klingt das PZM am besten, die Unterschiede zu den anderen Mikrofonen sind jedoch eher gering. Aus Befragungen der Versuchspersonen ging hervor, dass das Urteil über die Klangqualität in diesem Versuch häufig auf Unterschieden in der Schärfe und in der Halligkeit beruht. Sowohl Schärfe als auch Halligkeit scheinen hinsichtlich der Klangqualität ein Optimum zu besitzen: ein trockenes (bzw. dumpfes) Signal wird abgelehnt, aber zu stark verhallt (bzw. zu scharf) sollte es auch nicht sein. Erfreulich für den Anwender ist, dass das Mikrofon mit der besten Klangqualität gleichzeitig zur besten Sprachverständlichkeit führt (dies ist nicht die Regel !).

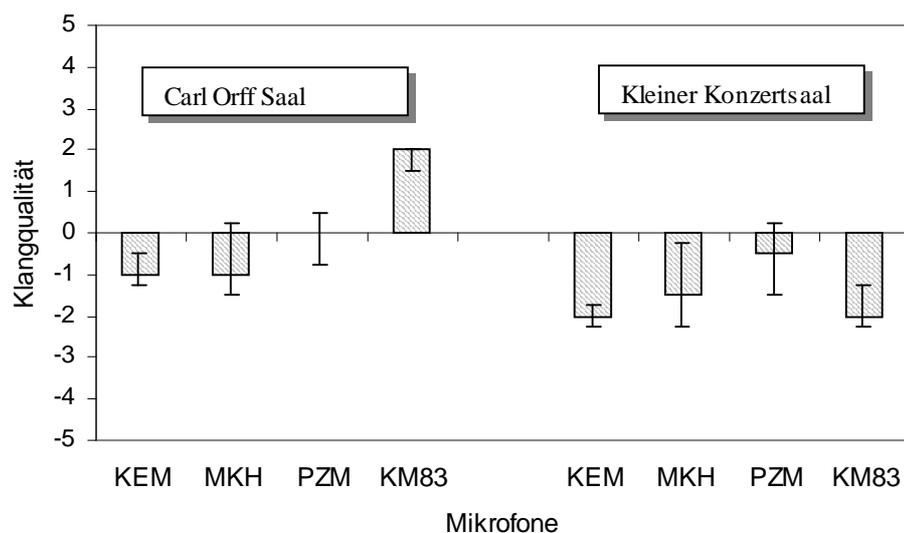


Abb. 4.7: Klangqualität mit Zusatzfilter

Wird ein Zusatz-Filter zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit verwendet (Abb. 4.7), so ändert das in den meisten Fällen nur wenig hinsichtlich der Klangqualität; dies liegt wahrscheinlich daran, dass die Schalle auf den Bereich zwischen 500-5000 Hz bandbegrenzt (Abb. 4.1) waren und insbesondere sehr hohe Frequenzen zur Schärfe beitragen [26].

Die Klangqualität von PZM und KM83 im Carl-Orff-Saal dagegen verbessert sich deutlich, da durch das Zusatz-Filter der Höhenabfall ihrer Frequenzgänge (Abb. 3.3) kompensiert wird.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass Maßnahmen zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit bei bandbegrenzter Übertragung die Klangqualität nicht negativ beeinflussen, sondern sogar zu einer Verbesserung der Klangqualität führen können.

4.3. Fazit psychoakustische Messungen

Die Ergebnisse der psychoakustischen Messungen haben direkte Konsequenzen für Betreiber und Planer hinsichtlich Übertragungsteilstrecke I und II.

Falls im laufenden Betrieb Beschwerden bezüglich der Sprachverständlichkeit auftreten, ist es in jedem Fall ratsam, oben beschriebenes Zusatz-Filter einzubauen, da dieses aufgrund der bandbegrenzten Übertragung zu keiner Verschlechterung der Klangqualität und zu einer Verbesserung der Sprachverständlichkeit führt. Dieses Filter kann entweder durch einen Equalizer oder ein einfaches RC-Netzwerk (Nullstelle bei 965 Hz und Polstelle bei 8200 Hz) [27] angenähert werden.

Auch durch ein Richtmikrofon kann die Sprachverständlichkeit erhöht werden; hierbei muss jedoch auf dessen Richtcharakteristik und mögliche Montageorte geachtet werden. Richtrohre wie das MKH sind nur bei quasi-stationären Rednern (Situation C) empfehlenswert, das KEM dagegen kann aufgrund seines breiten horizontalen Erfassungswinkels vielseitiger (Situation C und D) eingesetzt werden. Deutliche Vorteile sind jedoch auch nur dann zu erwarten, wenn es nahezu ideal (Situation COS_Ci) aufgestellt werden kann. Ansonsten (Situation KK_D) sind die Unterschiede zu einem Kugelmikrofon nur gering.

Die Auswahl des Mikrofons und des Aufstellungsortes kann durch akustische Kenngrößen wie Frequenzgang, Nachhallzeit, Deutlichkeitsmaß und STI zwar unterstützt werden, bei kleinen Unterschieden sollte man sich jedoch der Ungenauigkeit dieser Messgrößen im Hinblick auf die zu erwartende Sprachverständlichkeit bewusst sein.

Beschwerden von schwerhörigen Höreräteträgern sollten auf jeden Fall ernst genommen werden, auch dann wenn die Übertragung für Normalhörende zu nahezu perfekter Verständlichkeit führt, da - wie oben ausgeführt - Höreräte Hörstörungen nicht vollständig rehabilitieren können.

5. Zusammenfassung

Die Sprachübertragung mit Induktionsschleifen wurde mit physikalischen und psychoakustischen Messungen untersucht. Dazu wurde das Gesamtsystem in Übertragungsteilstrecken aufgeteilt und anhand der Messergebnisse mögliche Probleme und Verbesserungen diskutiert. Es hat sich gezeigt, dass insbesondere ein nicht optimaler Signal-Störabstand ein gravierendes Problem bezüglich der Übertragung von Sprache darstellen kann. Ein Zusatzfilter und spezielle Mikrofontypen können Sprachverständlichkeit ohne negative Auswirkungen auf die Klangqualität verbessern.

Die Konsequenzen der vorgestellten Untersuchungen für Betreiber und Planer können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Wegen je nach Anwendungsfall (A...D) unterschiedlicher Einstellungen von Filtern, Verstärkern usw., empfiehlt sich der Einsatz von fernsteuerbaren Komponenten, deren Einstellungen für die jeweiligen Situationen optimiert worden sind und die dann als gespeicherte Setups vorteilhafter über eine Mediensteuerung zusammen mit anderen technischen Saalkonfigurationen (Licht, Projektion usw.) abgerufen werden können.
2. Dass –wie oben beschrieben– vorhandene Induktionsschleifensystem oft nicht oder nicht korrekt betrieben werden, führen wir darauf zurück, dass das Normalhörenden nicht auffällt. Dass Saal-Lautsprecherwieder nicht oder nicht korrekt funktionieren, fällt dagegen sofort auf. Zur Funktionsprüfung der Induktionsschleife vor einer Veranstaltung müsste ein Hörgerät oder Messgerät verwendet werden.

Hier möchten wir vorschlagen: Einbau einer kleinen Messspule mit (evtl. phantomgespeistem) Vorverstärker im Versorgungsbereich der Induktionsschleife. Dieses empfangene Signal kann –wie jedes andere bzgl. Qualität und Aussteuerung zu überwachende Signal– auf einen Monitorweg der Tonregieanlage geschaltet werden. Durch Anwahl dieses Signals ist es denjenigen, die die Anlage bedienen, ohne weiteres Hilfsmittel möglich, eine Funktionsprüfung der gesamten Übertragungskette vorzunehmen.

3. Ableitend aus unseren Untersuchungen empfehlen wir dringend, bei Neu- oder Umplanungen von Versammlungsräumen, die Induktionsschleifen rechtzeitig in die Betrachtung mit einzubeziehen, insbesondere auch hinsichtlich des Gesamtkonzeptes der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV).
4. Bestehen Unklarheiten über die Funktionstüchtigkeit des bestehenden Induktionsschleifensystems, sollte zunächst das Magnetfeld vermessen werden (maximale Nutzfeldstärke, Frequenzgang, SNR). Wichtig hierbei ist, dass an möglichst vielen Plätzen und bei angeschalteter Beleuchtung gemessen wird.
5. Konstruktive Verbesserungsmaßnahmen sind die Verwendung von Richtmikrofonen und speziellen Filtern bzw. Kompressionssystemen.
6. Falls es trotz allem nicht möglich sein sollte, einen ungestörten Empfang von Sprache über das Induktionsschleifensystem auf allen Plätzen zu gewährleisten, sollte auf die geeigneten Sitzplätze explizit hingewiesen werden.

Die Autoren danken den Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Fastl für wertvolle Hinweise, sowie den Herren Dr. H. Wollherr und S. Goossens (Institut für Rundfunktechnik, München) und M. Prüfer (Müller BBM) für die leihweise Überlassung des KEM und des Lautsprechers.

Literaturhinweise

- [1] Herrmann, U.F., Handbuch der Elektroakustik. Hamburg: Philips GmbH, 1978.
- [2] Ballou, G. (ed.), Handbook for Sound Engineers. Indianapolis, 1987 (1st Edition).
- [3] DIN-EN 60118-4 (Aug. 1999) Hörgeräte; Teil 4: Magnetische Feldstärke in Sprechfrequenz-Induktionsschleifen für Hörgeräte. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [4] Vonlanthen, A., Handbuch der Hörgerätetechnik. 1995.
- [5] Ruhe, C., Kommunikationsräume – auch für Hörgeschädigte (Teil 2). In: DSB-Report Dez. 1999/Jan. 2000, 44-46.
- [6] v. Prashma, S. (Schwerhörigenverein München e.V.), mdl. Mitteilung im Sept. 2000.
- [7] DIN IEC 29/340/CDV (Entwurf) (Sept. 1996) Hörgeräte; Teil 1: Hörgeräte mit Induktionsspuleneingang; Änderung 1. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [8] AMPETRONIC Produktübersicht. Ing. Sturma & Partner KEG, Wien (Sept. 2000).
<http://acs-akustik.at>

- [9] Bundesamt für Strahlenschutz (Hgb.), Strahlung und Strahlenschutz; Nichtionisierende Strahlung. Salzgitter, 1999.
- [10] Wiznerowicz, F., Die Grenzen des Unsichtbaren. In: UmweltMagazin, Nov./Dez. 1999, S. 92f.
- [11] Cremer, L., Müller, H.A., Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Band 1. S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1978.
- [12] Fletcher, H., Speech and hearing in communication. Van Nostrand Comp. Inc., Toronto, New York, London, 1953.
- [13] MLSSA Reference Manual, Deutsche Ausgabe, Version 7.0. harmonic Design GmbH&Co, 1992.
- [14] Schroeder, M.A., New Method of Measuring Reverberation Time. J. Acoust. Soc. Am. 37, 329-361, 1965.
- [15] JBL, Speech Intelligibility. Technical Notes Vol. 1, No. 26, JBL Professional, 2000.
- [16] Ahnert, W., Reichardt, W., Grundlagen der Beschallungstechnik. VEB Verlag Technik, Berlin, 1981.
- [17] Kryter, K., Methods for the Calculation and Use of the Articulation Index. J. Acoust. Soc. Am. 34, 1689-1996, 1962.
- [18] Griffiths, J.D., „Optimum Linear Filter for Speech Transmission“, J. Acoust. Soc. Am. 43, 81-86, 1964.
- [19] Chalupper, J., Fastl, H., Simulation of hearing impairment based on the Fourier Time Transformation. Proc. ICASSP 2000, Istanbul, Turkey, 5.-9.6.2000. IEEE, Vol. II, 857-860.
- [20] Sotscheck, J., Ein Reimtest für Verständlichkeitsmessungen mit deutscher Sprache als ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung der Sprachübertragungsgüte. Der Fernmelde-Ingenieur 4, 5 (1982).
- [21] Houtgast, T., Steeneken, H.J.M., A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria., J. Acoust. Soc. Am. 77, 1069-1077, 1985.
- [22] Drullman, R., Festen, J.M., Plomp, R., Effect of reducing slow temporal modulations on speech reception. J. Acoust. Soc. Am. 95, 2670-2680, 1994.
- [23] Sotscheck, J., Sprachverständlichkeit bei additiven Störungen. Acustica 57, 257-267, 1985
- [24] Chalupper, J., Aural Exciter and Loudness Maximizer: What's psychoacoustic about „psychoacoustic processors“ ?. Presented at the 109th AES Convention in Los Angeles, AES preprint 5208, 2000.
- [25] EBU, SQAM - Sound Quality Assessment Material, 1988.
- [26] Zwicker, E., Fastl, H., Psychoacoustics. Springer-Verlag 2nd Edition (Berlin Heidelberg New York), 1999.
- [27] Allen, C.R., Optimum Linear Filter for Speech Communication. Proc. ICASSP 1979, IEEE, Vol. II, 464-466.
- [28] Beckenbauer, T., Stemplinger, I., Seiter, A., Basics and use of DIN 45681 `Detection of tonal components and determination of a tone adjustment for the noise assessment. In: Proc. inter-noise'96, Vol. 6, 3271-3276, 1996.
- [29] Van Buuren, R.A., Festen, J.M., Houtgast, T., Compression and expansion of the temporal envelope: Evaluation of speech intelligibility and sound quality. J. Acoust. Soc. Am. 105, 2903-2913, 1999.