

Thomas GÖRNE [GÖRNE AKUSTIK BERLIN]<sup>1</sup>

## Der Irrtum vom neutralen Klang

Zu den objektiven und subjektiven Eigenschaften  
von Mikrofonen

*The error of natural sound*

*On the objective and subjective properties of microphones*

### Zusammenfassung

Für die Produktion klassischer Musik ist der diffusfeldentzerrte Druckempfänger als „objektiv“ klingendes Hauptmikrofon sehr populär. Seine physikalischen Eigenschaften mit linearem Frequenzgang bei einem typischen Übertragungsbereich von 20 bis 20000 Hz prädestinieren diesen Mikrofontyp scheinbar für Aufgaben, bei denen ein neutraler Klang gefordert ist. Der Druckgradientenempfänger, insbesondere in klassischer Gromembranbauweise, gilt dagegen — u.a. wegen frequenzabhängiger Richtcharakteristik, Welligkeiten im Übertragungsbereich und Nahbesprechungseffekt — als klangfärbend. Hörvergleiche zeigen aber, daß der subjektive Klangeindruck verschiedener Mikrofone nicht allein mit den Angaben im Datenblatt erklärt werden kann. Insbesondere widerlegen sie die Vorstellung eines „besten Mikrofons“: Im Zusammenspiel mit unterschiedlichen Instrumenten und Aufnahmeräumen liefern u.U. sehr unterschiedliche Mikrofontypen den gesuchten neutralen Klang.

### Summary

Because of its "objective" sound the diffuse-field corrected pressure microphone is very popular for recording classical music. Its physical properties, namely the linear frequency response from 20 to 20000 Hz, seem to make it the best choice in situations where a natural sound impression is essential. On the other hand, the pressure gradient transducer, especially of the classical large-diaphragm type, is known for its "sound colouring" properties, caused e.g. by frequency-dependent polar pattern, non-linear frequency response and proximity effect. However, listening tests show that the subjective sound impression of different microphones cannot be sufficiently explained by the microphone's data sheet. Particularly they disprove the idea of the "best microphone": Interacting with different instruments and different recording venues, the looked-after natural sound of the recording is sometimes achieved with rather different microphone types.

## 1 Einleitung

Die Annahme ist weit verbreitet, daß Studiomikrofone aufgrund ihrer speziellen technischen Eigenschaften einen charakteristischen Klangeindruck erzeugen. Für die vorliegende kleine Untersuchung wurde aus der Vielzahl der möglichen geforderten Klangeigenschaften eines Mikrofons die *Natürlichkeit* gewählt, die über die technischen Eigenschaften *linearer*

---

<sup>1</sup>tgoerne@goerneakustik.de

*Frequenzgang, großer Übertragungsbereich, kurze Impulsantwort und geringe nichtlineare Verzerrungen* definiert sein sollte. Die Natürlichkeit oder Neutralität des Klangbilds ist bei einer Vielzahl von Aufnahmen das erwünschte Ideal. Ein Mikrofon, das diese technischen Vorgaben besser erfüllt als alle Mitbewerber, müßte konsequenterweise dann auch in jeder Situation das beste Mikrofon sein.

## 2 Mikrofone, objektiv betrachtet

Abbildung 1 zeigt die theoretischen Frequenzgänge von Druck- und Gradientenempfängern als dynamische und Kondensatormikrofone. Der Übertragungsbereich des Kondensator-

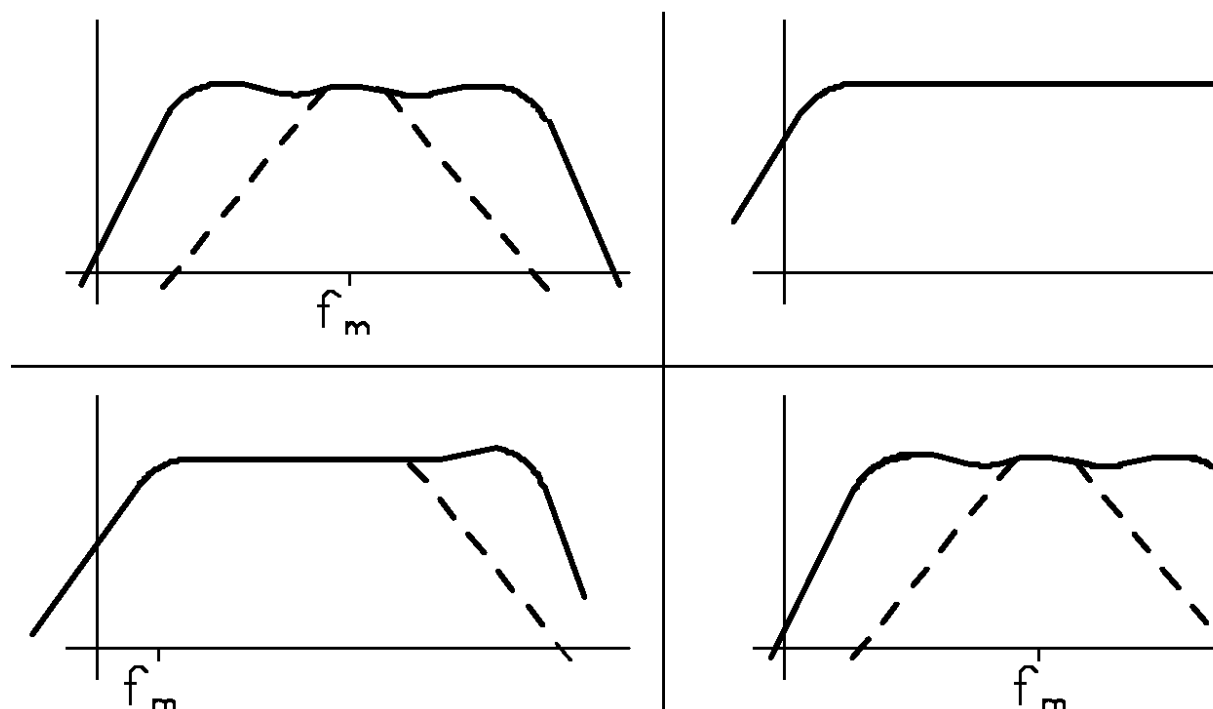


Abbildung 1: *Prinzipfrequenzgänge von Druck- und Gradientenempfängern unterschiedlicher Bauart. Linke Spalte: dynamische Mikrofone; oben: Druckempfänger, unten: Gradientenempfänger. Rechte Spalte: Kondensatormikrofone; oben: Druckempfänger, unten: Gradientenempfänger.  $f_m$ : mechanische Eigenfrequenz der Kapsel.*

sator-Druckempfängers ist zu tiefen Frequenzen durch das aus Kapselkapazität und Ladewiderstand gebildete Hochpaßfilter begrenzt; durch geeignete Dimensionierung des Ladewiderstands kann die untere Grenzfrequenz beliebig tief gelegt werden<sup>2</sup>. Zu hohen Frequenzen wird der Übertragungsbereich durch die Eigenfrequenz der Kapsel begrenzt, die Massehemmung erzwingt einen Abfall oberhalb der Eigenfrequenz mit 6 dB / Oktave. Durch konstruktive Maßnahmen kann die mechanische Eigenfrequenz im Prinzip beliebig hoch gelegt werden (*hoch abgestimmte Kapsel*). Da die Auslenkung der Membran nahezu

<sup>2</sup>... abgesehen von der Kapillar-Öffnung zum statischen Druckausgleich, die ebenfalls den Frequenzgang begrenzt. Die elektrische Bemessung durch Ladewiderstand und Kapselkapazität gilt nur für die NF-Schaltung. In der HF-Schaltung werden ggf. zusätzliche Filter eingesetzt.

proportional zum Schalldruck ist und der Kondensatorwandler auf die Membranauslenkung reagiert (*Elongationswandler*), so ist die Ausgangsspannung der Kapsel–Wandler–Kombination frequenzunabhängig.

Typisch für ein Studiomikrofon als Kondensator–Druckempfänger ist daher ein linearer Übertragungsbereich von 20 Hz bis 20 kHz. Allein an der oberen Grenze des Übertragungsbereichs entsteht bei überwiegend frontaler Beschallung, also im Direktfeld nahe an der Quelle, eine Überhöhung des Frequenzgangs durch Druckstau auf der Membran. Wird der Druckstau nicht durch eine Höhenabsenkung kompensiert, so erhält man ein diffusfeldentzerrtes Mikrofon, das beim Einsatz außerhalb des Hallradius<sup>3</sup> einen linearen Frequenzgang zeigt.

Um die Wiedergabe von impulshaften Signalen abschätzen zu können, ist die Betrachtung des Mikrofons als lineares zeitinvariantes System (LTI) hilfreich: Die Länge der Impulsantwort verhält sich umgekehrt proportional zur Bandbreite des Systems, d.h. je größer der Übertragungsbereich des Mikrofons ist, umso besser ist seine Impulswiedergabe, umso weniger werden impulshafte Signale verfälscht. Bei Kondensator–Druckempfängern sind daher die für Mikrofone bestmöglichen Ergebnisse zu erwarten.

Kondensator–Druckempfänger sollten aufgrund dieser Überlegungen den aufgenommenen Schall sehr natürlich umsetzen.

Abbildung 2 zeigt die gemessenen Freifeld–Frequenzgänge beliebiger diffusfeldentzerrter Kondensator–Druckempfänger. Die realen Frequenzgänge stimmen mit dem oben entwickelten Modellfrequenzgang gut überein. Aufgrund des ähnlichen Durchmessers der Kapseln ist auch das Verhalten bei hohen Frequenzen vergleichbar. Anhand der Meßprotokolle ist für diese Mikrofone in Räumen mit ausgeprägtem Diffusfeld bei ausreichendem Abstand zur Schallquelle ein neutraler Klang zu erwarten.

Der Übertragungsbereich des Kondensator–Gradientenempfängers ist, im Gegensatz zum Druckempfänger, prinzipiell begrenzt: die Antriebskraft auf die Membran steigt bei konstantem Schalldruck bis zur mechanischen Eigenfrequenz der Kapsel proportional mit der Frequenz. Oberhalb der Eigenfrequenz wird wieder die Massehemmung wirksam, so daß die Kapsel als mechanisches Bandpaßfilter wirkt. Um nun noch hinreichend Antriebskraft bei tiefen Frequenzen zu erhalten, wird die Eigenfrequenz der Kapsel in die Mitte des Übertragungsbereichs gelegt (*mittig abgestimmte Kapsel*). Durch starke Bedämpfung der Membran, zusätzliche akustische Resonanzen oder auch inverse elektrische Filter (bevorzugt in der HF–Schaltungstechnik) wird dieser Bandpaßfrequenzgang erweitert und linearisiert.

Der typische Kondensator–Gradientenempfänger hat daher einen eher welligen, begrenzten Übertragungsbereich; sehr hohe und sehr tiefe Frequenzen werden nicht fehlerfrei (also nicht neutral) übertragen. Freifeld– und Diffusfeldfrequenzgang unterscheiden sich u.U. stark, weil die Richtwirkung der Gradientenempfänger je nach Ausführung des akustischen Laufzeitgliedes stark frequenzabhängig sein kann. Diffusschall wird daher mit anderer Klangfarbe aufgezeichnet als Direktschall, und zudem ist der Klang vom Schalleinfallswinkel abhängig<sup>4</sup>. Darüberhinaus zeigt der Gradientenempfänger — abhängig von der Richtcharakteristik — bei Abständen kleiner als eine Wellenlänge des abgestrahlten

---

<sup>3</sup>Hallradius =  $0.057 \sqrt{\frac{\text{Raumvolumen}}{\text{Nachhallzeit}}}$

<sup>4</sup>dies gilt nicht für Gradientenempfänger *ohne* akustisches Laufzeitglied, also Achtermikrofone: hier sind Freifeld– und Diffusfeldfrequenzgang nahezu gleich

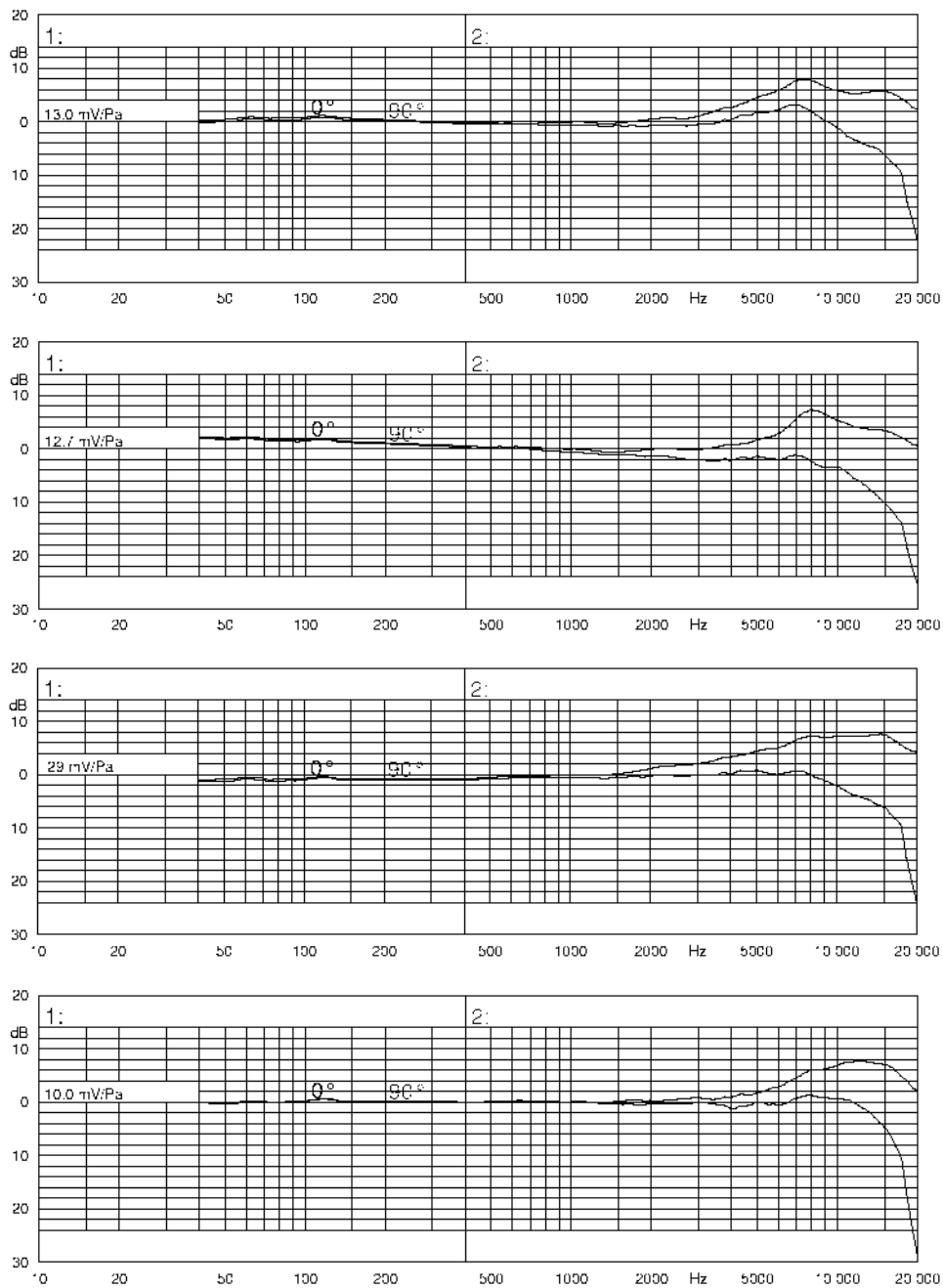


Abbildung 2: Frequenzgänge einiger häufig benutzter Kondensator-Druckempfänger. Die unteren Kurven, gemessen unter 90° Schalleinfall, sind eine gute Näherung des Diffusfeldfrequenzgangs.

Schalls den Nahbesprechungseffekt, die Tieftonwiedergabe kann dadurch noch zusätzlich verfälscht werden.

Aus der LTI-Betrachtung ist ersichtlich, daß die Impulsantwort des Gradientenempfängers länger sein muß als die des Druckempfängers, und eventuelle Nachschwinger im Zeitbereich sind aufgrund der mittigen Kapselabstimmung im Frequenzbereich 1–4 kHz zu erwarten. Impulshafte Signale sollten daher in diesem für das Gehör empfindlichsten Frequenzbereich verfärbt werden.

In der seit den späten 20er Jahren des 20. Jahrhunderts bekannten Großmembran-Bauweise treten die hier kurz zusammengefaßten technischen Eigenschaften noch deutlicher hervor. Wählt man nun ein Großmembranmikrofon mit klassischem Röhren-Impe-danzwandler, so sind auch noch nichtlineare Verzerrungen der Röhrenschaltung zu erwarten, die nach Ansicht vieler Anwender für einen „warmen“, „schönen“ und „musikalischen“ (...jedenfalls *nicht* neutralen) Klang sorgen.

### 3 Mikrofone, subjektiv betrachtet

Um die technisch begründeten Vorurteile über den Klang von Mikrofonen zu überprüfen, wurde ein Blindvergleich durchgeführt. Dazu wurden Aufnahmen von sechs verschiedenen Ensembles, aufgezeichnet in sechs verschiedenen Räumen, verglichen. Bei den Aufnahmen war jeweils eine Auswahl Mikrofone — Druck- und Gradientenempfänger — mit gleicher Richtcharakteristik am Hallradius positioniert. Somit war bei allen Vergleichsaufnahmen technisch die gleiche Hallbalance eingestellt. Wegen des Mikrofonabstands von ca. 2...3 m zu den Instrumenten und wegen des ausgeprägten Diffusfelds der Aufnahme-räume (Nachhallzeiten ca. 1.5...5 s) war sichergestellt, daß der geringe Abstand der Mikrofone zueinander keinen erheblichen Einfluß auf den Versuchsaufbau hatte. Die Aufnahmen erfolgten monophon.

1	Kirche (groß)	Viola da Gamba, Barocklaute	L. Santana
2	Konzertsaal	Klarinette, Cello, Konzertflügel	Beethoven
3	Kirche (klein)	Sopran, Blockflöte, Zink, Gitarre	J. Rodrigo
4	Kirche, Kreuzgang	Traversflöte, Viola da Gamba, Cembalo	Hotteterre
5	Kirche (groß)	Barockvioline, Zink, Orgel	Cazzati
6	Kammersaal	Gitarrenduo	Franck

Tabelle 1: *Aufnahmesituationen*

Bei einer Aufnahme (4) waren ausschließlich Nierenmikrofone im Einsatz, bei den anderen fünf Aufnahmen ausschließlich Kugeln (die hierbei eingesetzten Gradientenempfänger verfügten über umschaltbare Richtcharakteristiken). Im Vergleich waren insgesamt vier diffusfeldentzerrte Druckempfänger sowie vier Gradientenempfänger, Groß- und Kleinmembranbauweise, mit Transistor- und Röhrenimpedanzwandler<sup>5</sup>.

In Tabelle 1 sind die sechs Aufnahmesituationen aufgeführt. Tabelle 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem Fragebogen, der für den Hörvergleich eingesetzt wurde. Es erfolgte ein

<sup>5</sup>nicht alle Mikrofone wurden bei allen Aufnahmen eingesetzt

Block 2: CD-Tracks 4–8 <i>Klarinette, Cello, Konzertflügel</i>				
	Natürlichkeit?	Dynamik?	Klang?	Kommentar...
04				
05				
06				
07				
08				

Tabelle 2: Ausschnitt aus dem Fragebogen für den Hörvergleich. Die Aufnahmen wurden blind, d.h. nur mit Hilfe der CD-Startnummer, indiziert.

Blindvergleich von insgesamt 21 Aufnahmen auf CD. Die Versuchspersonen, ausschließlich Tonmeister und Musiker, wurden gebeten, Urteile in den Kategorien Natürlichkeit, Wiedergabe der Spieldynamik und Klangqualität auf einer Skala von 0...100% abzugeben. Alle Versuchspersonen beurteilten alle Aufnahmen, jede Versuchsperson konnte dabei ihre bevorzugte Abhörsituation nutzen. Die Beurteilungen erfolgten ausschließlich bei Lautsprecherwiedergabe.

In die Auswertung gelangten nur die Urteile über die Natürlichkeit. Die Urteile über die Klangqualität sollten bei der Auswertung überprüfen, ob für die Versuchspersonen „Natürlichkeit“ als Qualität unabhängig von „Klangschönheit“ empfunden wird. Die Beurteilungen der Klangqualität weichen erwartungsgemäß von den Beurteilungen der Natürlichkeit ab.

## 4 Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt die Mittelwerte der Urteile über die Natürlichkeit der Aufnahmen für die acht Mikrofone. In Übereinstimmung mit den Erwartungen schneiden die Druckempfänger hier im Durchschnitt besser ab als die Gradientenempfänger<sup>6</sup>.

Differenziert man aber die Beurteilung nach den Aufnahmesituationen, ändert sich dieser Eindruck. Beispielhaft werden hierfür die Bewertungen für den Vergleich von je zwei Mikrofonen bei verschiedenen Aufnahmen angeführt.

Abbildung 4 zeigt die Mittelwerte der Urteile zur Natürlichkeit zweier Druckempfänger. In zwei Aufnahmesituationen wird jeweils eines der Mikrofone, das scheinbar „bessere“, bevorzugt; in der dritten Situation erscheinen beide Mikrofone als gleichwertig.

Abbildung 5 zeigt den Vergleich eines Druckempfängers und eines Großmembran-Röhrenmikrofons (in Schaltposition „Kugel“). Hier zeigt sich, daß abhängig von der Aufnahmesituation die Beurteilungen durchaus widersprüchlich ausfallen können: Ein Mikrofon, das bei einer Aufnahme als klangfärbend aussortiert werden würde, liefert in anderer Situation ein besonders natürlich erscheinendes Klangergebnis; in einer dritten Situation ist das klangliche Ergebnis dieser sehr unterschiedlichen Mikrofone gleich.

<sup>6</sup>Ob allerdings die „Natürlichkeits-Rangfolge“ der vier Druckempfänger aus den vier Meßprotokollen in Abb. 2 abgeleitet werden kann, ist zweifelhaft.

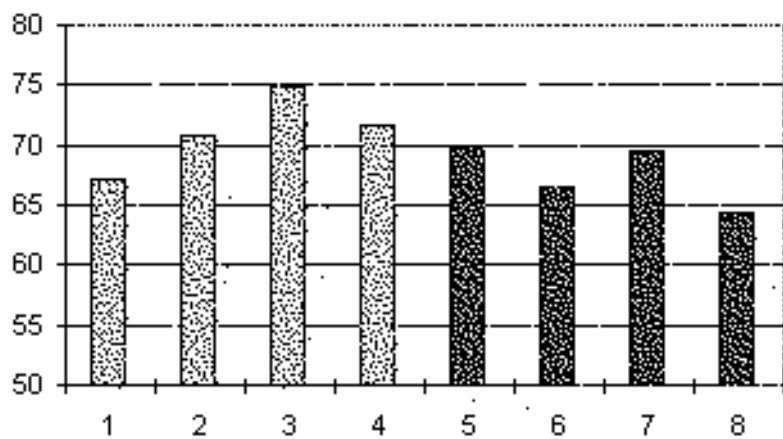


Abbildung 3: *Beurteilung der Natürlichkeit (in %) für acht Mikrofone, gemittelt über alle sechs Aufnahmesituationen. 1–4: diffusfeldentzerrte Druckempfänger (vgl. Abb. 2). 5–6: Großmembran-Gradientenempfänger, Röhre; 7: Großmembran-Gradientenempfänger, Transistor; 8: Kleinmembran-Gradientenempfänger.*

## 5 Fazit

Das vorliegende kleine Experiment soll eine Ermutigung sein, den verbreiteten Vorurteilen über neutrale und klangfärbende Mikrofone zu mißtrauen: das „beste“ Mikrofon kann es nicht geben. In unterschiedlichen Räumen, mit unterschiedlichen Instrumenten und unterschiedlicher Musik werden gleiche Mikrofone unterschiedlich beurteilt.

## Danksagung

Der Autor möchte sich sehr herzlich bei Martin Schneider (Georg Neumann GmbH Berlin) für die Unterstützung bei den Messungen an Mikrofonen bedanken. Besonderer Dank gilt den Kollegen und Musikern, die ihre Ohren für den Hörversuch zur Verfügung gestellt haben.

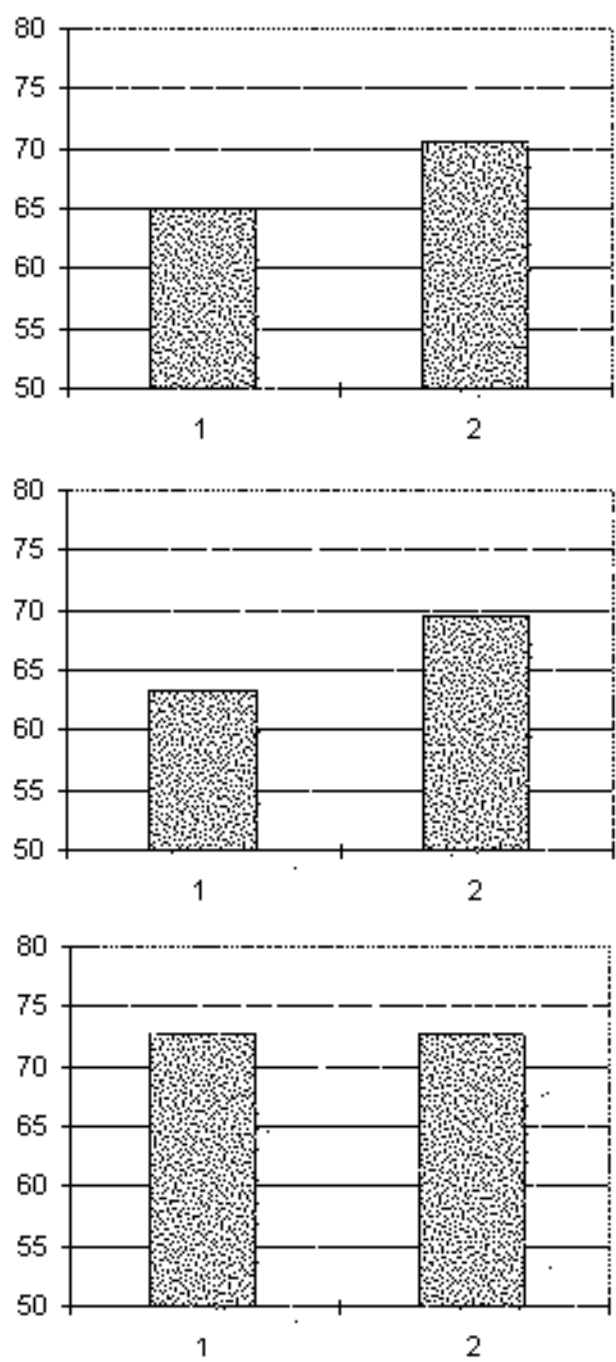


Abbildung 4: *Beurteilung der Natürlichkeit zweier Druckempfänger (Mikrofone 1 und 2) in unterschiedlichen Aufnahmesituationen. Oben: Aufnahme 5, Mitte: Aufnahme 2, Unten: Aufnahme 3.*



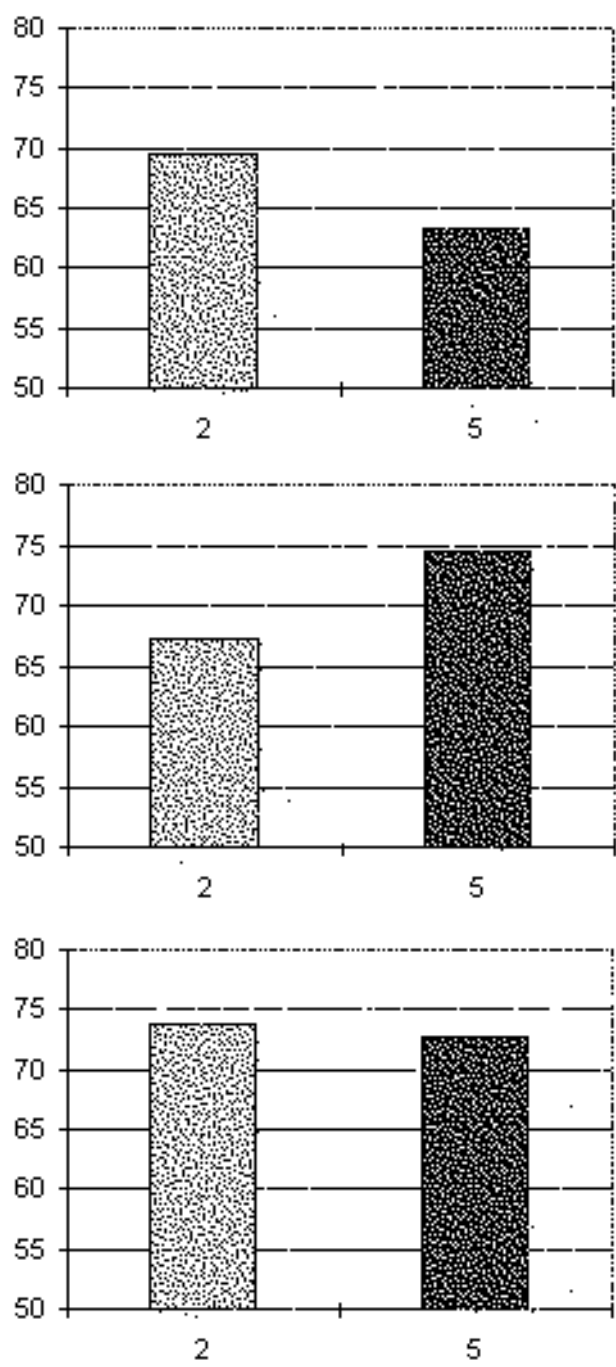


Abbildung 5: Beurteilung der Natürlichkeit eines Druckempfängers (Mikrofon 2) und eines Großmembran-Röhrenmikrofons (Mikrofon 5). Oben: Aufnahme 2, Mitte: Aufnahme 1, Unten: Aufnahme 6.