

Untersuchungen zur Magnetfeldempfindlichkeit von Mikrofonen

Marco Friedrich¹, Mario Bechtold²

¹ Universität Erlangen-Nürnberg, 91058 Erlangen, Deutschland, Email: m.friedrich@gmail.com

² Siemens AG, 91058 Erlangen, Deutschland, Email: mario.bechtold@siemens.com

Einleitung

Bei akustischen Messungen innerhalb starker Wechselmagnetfelder ergeben sich unerwünschte Beeinflussungen der Mikrofonsignale durch das Magnetfeld. In dieser Veröffentlichung werden Untersuchungsergebnisse zum Verhalten von Kondensatormikrofonen in sehr starken, zeitlich veränderlichen Magnetfeldern vorgestellt. Betrachtet wurde das Verhalten von dauerpolarisierten Kondensatormikrofonen bei magnetischen Flussdichten von 10...100mT, dies entspricht in Luft magnetischen Feldstärken von 7900...79000Am⁻¹.

Zur Beeinflussung von Mikrofonen durch magnetische Felder lassen sich in der Literatur nur wenige Angaben finden. Im Zusammenhang mit akustischen Messungen in speziellen technischen Umgebungen (z.B. Magnetresonanztomographen) wird meist lediglich eine Veränderung der Messwerte durch statische Magnetfelder ausgeschlossen (z.B. [1]), oder es wird kein relevanter Einfluss von zeitlich veränderlichen Feldern festgestellt ([2],[3]). In Veröffentlichungen zur elektromagnetischen Verträglichkeit von Mikrofonen werden Magnetfeldeinflüsse auf Kondensatormikrofone als nicht relevant angesehen (z.B. [4]). Störsignale durch einwirkende Magnetfelder werden nach der Norm IEC60268-4 als zusätzlich erzeugter äquivalenter Schalldruckpegel bei 80Am⁻¹ spezifiziert, Mikrofonhersteller geben jedoch nur selten detaillierte Werte zur Beeinflussung an. Für gewöhnliche Messumgebungen liegen die zu erwartenden magnetischen Feldstärken im Bereich <30Am⁻¹. Bei speziellen Messaufgaben in Umgebungen mit starken Wechselmagnetfeldern können sich jedoch starke nichtlineare Einkoppelungen des Magnetfeldes in das Mikrofonsignal ergeben, wie in den Untersuchungsergebnissen gezeigt wird.

Versuchsaufbau zur Untersuchung im starken zeitlich veränderlichen Magnetfeld

Der Versuchsaufbau für systematische Untersuchungen besteht aus einer kurzen mehrlagigen Zylinderspule (Innendurchmesser 231mm, Länge 115mm) und einem leistungsstarken Schaltverstärker. In das Innere der Spule wurden verschiedene kalibrierte Messmikrofone (dauerpolarisierte Kondensatormikrofone) mit zugehörigem Vorverstärker so eingebracht, dass deren Membran senkrecht zu den Feldlinien des dort nahezu homogenen Magnetfeldes orientiert war. Die magnetische Flussdichte wurde zwischen 0...120mT variiert und mit einem Gaussmeter (Lake Shore 3-Kanal-Gaussmeter 460) unmittelbar neben der Mikrofonmembran gemessen. Die Mikrofone wurden zur Verringerung von Gehäusevibrationen an einem massiven Kunststoffblock montiert (Masse des Blockes ≈ 100 · Masse des Mikrofons). Für Schwingungsmessungen wurde in einem Abstand von ca. 5m ein Laservibrometer (Polytec

OFV-303) positioniert. Das Ausgangssignal des Mikrofonverstärkers und andere Messsignale wurden mit einem Mehrkanal-FFT-Analysator (Ono Sokki DS2000) ausgewertet. Verbindungen erfolgten über BNC-Steckverbindungen mit Standard-Koaxialkabeln oder verdrehten und geschirmten Kabeln.

Ergebnisse und Diskussion

Am Verstärkerausgang des in der Spule befindlichen Mikrofons wurde bei aktivem Magnetfeld ein stark erhöhter Signalpegel gemessen, ohne dass eine entsprechende Erhöhung des Schallpegels am Versuchsaufbau festgestellt werden konnte. Für eine genaue Untersuchung der Einkoppelungen wurde die Spule monofrequent angeregt ($f=60\text{Hz}$) und das Signal des Mikrofonverstärkers im Frequenzbereich analysiert. Pegelerhöhungen wurden vor allem bei der Magnetfeldfrequenz und der zweiten Harmonischen festgestellt. Eine Anregung höherer harmonischer Frequenzen war nur bei einem Teil der Mikrofone bei Flussdichten $B \geq 100\text{mT}$ mit deutlich geringerem Pegel ($\geq -20\text{dB}$) erkennbar.

Bei der Anregefrequenz des Magnetfeldes müssen induktive und kapazitive Einkoppelungen des Magnetfeldes in die Steckverbindungen und Kabel und das Mikrofon betrachtet werden. Auf Grund der geringen Spannungspegel an Mikrofonverstärkerausgängen ergeben sich selbst mit verdrehten und geschirmten Kabelverbindungen und optimiertem Versuchsaufbau äquivalente Schalldruckpegel der Leitungseinkoppelungen von bis zu 46dB SPL bei 100mT. Für die verwendeten Mikrofone wird von den Herstellern eine Magnetfeldempfindlichkeit von 4...7dB SPL/80Am⁻¹ angegeben. Der daraus zu erwartende äquivalente Schalldruckpegel und gemessene Werte sind exemplarisch für ein Messmikrofon in Abbildung 1 dargestellt. Messwerte am Verstärkerausgang des Mikrofons liegen für Magnetflussdichten $B > 10\text{mT}$ über den induktiven und kapazitiven Einkoppelungen in die Kabelverbindungen, erreichen jedoch nicht die zu erwartenden Signalpegel durch die Magnetfeldempfindlichkeit.

Signale bei der doppelten Magnetfeldfrequenz bilden bei diesen Flussdichten den dominierenden Störpegel. Es wurde ein näherungsweise linearer Zusammenhang zwischen der Ausgangsspannung des Mikrofonverstärkers bei dieser Frequenz und der Stärke des Magnetfeldes festgestellt. Die gemessenen Werte sind in Abbildung 2 als äquivalenter Schalldruckpegel dargestellt. Für eine Magnetflussdichte von 100mT (dies entspricht in Luft einer magnetischen Feldstärke von 79577Am⁻¹) ergibt sich ein gemessener Schalldruckpegel von 82dB SPL, ohne entsprechende akustische Anregung!

Eine akustische Ursache dieses Signals wurde eindeutig durch eine Vergleichsmessung im Magnetfeld mit und ohne akustischer Kapselung des Mikrofons ausgeschlossen. Die in

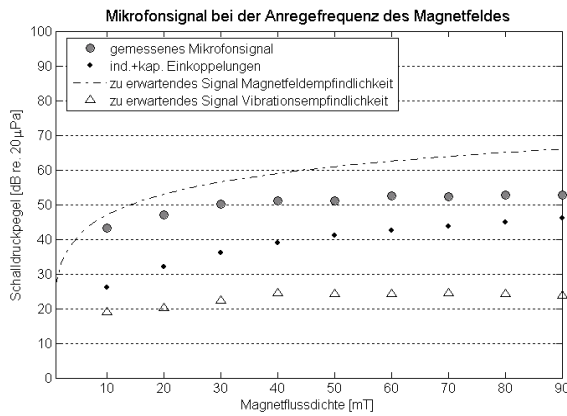


Abbildung 1: Gemessene Schalldruckpegel bei der Anregefrequenz des Magnetfeldes liegen unterhalb der zu erwartenden Pegel durch die vom Hersteller spezifizierte Magnetfeldempfindlichkeit und ergeben sich aus akustischem Grundpegel und Einkoppelungen in Steckverbindungen, Kabel und Mikrofon

anderen Veröffentlichungen ([2],[3]) verwendete akustische Entkoppelung mit Knetmasse ist bei den untersuchten Frequenzen nicht effektiv. Unter Verwendung eines Schallschutzkopfhörers wurden akustisch bedingte Signale um ca. 18dB bedämpft, während sich gleichzeitig für die magnetfeldbedingten Signalpegel keine Änderung ergab. Induktive oder kapazitive Einkoppelungen kommen als Ursache des gemessenen Signals bei der doppelten Magnetfeldfrequenz nicht in Betracht, da nichtlineare Anteile des Magnetfeldes bei der zweiten harmonischen Frequenz ca. 75dB unter dem Pegel der Anregung liegen. Das Mikrofongehäuse wird durch das Magnetfeld zu Schwingungen bei der doppelten Frequenz angeregt, die mit einem Laservibrometer gemessen wurden. Die aus der Vibrationsempfindlichkeit der Mikrofone zu erwartenden Signale liegen jedoch ebenfalls weit unterhalb der ermittelten Signalpegel und sind in Abbildung 2 angegeben.

Es wird daher vermutet, dass sich die gemessenen Signalpegel durch eine Schwingungsanregung der Mikrofonmembran in starken Magnetfeldern ergeben. Eine Anregung bei der doppelten Magnetfeldfrequenz kann sich durch Magnetostriktion oder Wirbelströme ergeben. Die zu erwartenden Membranauslenkungen zu den gemessenen Mikrofonpegeln betragen maximal etwa 4nm. Ein Nachweis der Membranvibrationen mit Hilfe von Laservibrometermessungen ist mit dem zur Verfügung stehenden Aufbau nicht möglich, sowohl mit differentiellen als auch Einpunktmessverfahren ergeben sich Fehler in der Größenordnung der zu messenden Werte durch Wärme- und akustische Effekte im Versuchsaufbau und durch weitere Störungen (Magnetfeld, Gebäudeschwingungen). Der annähernd lineare Zusammenhang zwischen Mikrofonspannung bei doppelter Magnetfeldfrequenz und der Flussdichte des Magnetfeldes, sowie die Unabhängigkeit der Störsignale von der Lage der Mikrofonmembran im Magnetfeld weisen eher auf die Magnetostriktion als Ursache des Effektes hin. Bei Wirbelstromanregungen sind ein quadratischer Zusammenhang dieser Größen und eine Lageabhängigkeit zu erwarten. Die Membranen der hier untersuchten Messmikrofone bestehen aus Edelstahllegierungen, bei Verwendung von Nickel für Membranen oder Gehäuse

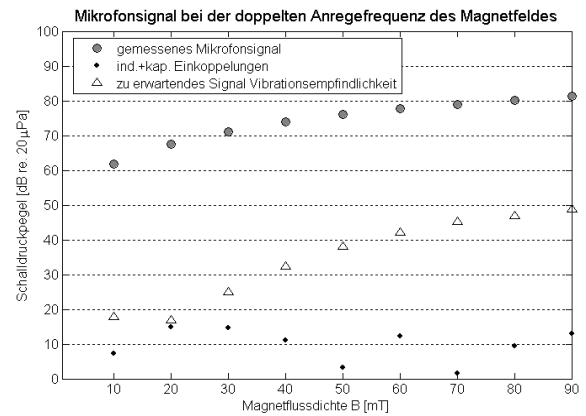


Abbildung 2: Mikrofonsignale bei der doppelten Frequenz der Magnetfeldanregung steigen linear mit der Magnetflussdichte an und sind größer als die Signale bei der Grundfrequenz des Magnetfeldes. Zu erwartende Signalpegel durch andere Störursachen sind zum Vergleich angegeben und erklären die gemessenen Pegel nicht.

wären noch stärkere Auswirkungen eines Magnetostruktions-effekts zu erwarten. Im verwendeten Aufbau wurden zwischen verschiedenen Messmikrofonen Unterschiede der Störpegel von bis zu 20dB gefunden. In nachfolgenden Tests mit verschiedenen Einbau-Elektretmikrofonkapseln wurden ebenfalls die geschilderten Beeinflussungen festgestellt.

Schlussfolgerungen

Die Magnetfeldempfindlichkeit von Mikrofonen wird als zusätzlicher Signalpegel bei der Anregefrequenz des Magnetfeldes für Feldstärken von 80Am^{-1} spezifiziert. In sehr starken Magnetfeldern treten zusätzliche Mikrofon-signale jedoch vor allem bei der doppelten Frequenz und unter Umständen mit größerer Amplitude auf. Dieser Einfluss muss bei Auswahl und Einsatz von Mikrofonen in starken Magnetfeldern wie auch bei der Analyse von Messergebnissen beachtet werden. Insbesondere für die Interpretation von Nichtlinearitätsmessungen und bei Anwendungen der Signalverarbeitung oder Aktiven Schwingungskontrolle sind relevante Beeinflussungen zu erwarten, besonders wenn die real vorhandenen akustischen Felder eine geringe Intensität haben.

Literatur

- [1] Hurwitz, R., Lane, S.R., Bell, R.A.: Acoustic analysis of gradient coil noise in MR imaging. *Radiology* 173 (1989), 545-548
- [2] Wu, Y., Chronik, B.A., Bowen, C., Mechefske, C.K., Rutt, B.K.: Gradient-Induced Acoustic and Magnetic Field Fluctuations in a 4T Whole-Body MR Imager. *Magnetic Resonance in Medicine* 44 (2000), 532-536
- [3] Price, D.L., De Wilde, J.P., Papadaki, A.M., Curran, J.S., Kitney, R.I.: Investigation of Acoustic Noise on 15 MRI Scanners from 0.2 T to 3 T. *Journal of Magnetic Resonance Imaging* 13 (2001), 288-293
- [4] Schneider, M.: Electromagnetic Interference, Microphones and Cables, AES 118th Convention, Barcelona, Spain (2005)