Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 68 (1977)

Heft: 8

Artikel: Messung niederfrequenter magnetischer Störfelder dargestellt am Beispiel einer Hängebahn für Spitaltransporte

Autor: Golder, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915022

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Messung niederfrequenter magnetischer Störfelder dargestellt am Beispiel einer Hängebahn für Spitaltransporte

Von J. Golder

621.317.42

Für niederfrequente magnetische Störfelder existieren weder einheitliche Messverfahren noch allgemein anerkannte Grenzwerte. Es wird eine für den Frequenzbereich von 50 Hz bis 10 kHz geeignete Messmethode und deren wesentliche Kenngrössen beschrieben. Die Diskussion von Messresultaten zeigt den Bedarf für allgemein verbindliche Messverfahren und Beurteilungskriterien.

Il n'existe ni procédés de mesure standard ni valeurs limites généralement admises pour les champs magnétiques parasites à basse fréquence. Une methode de mesure adaptée au domaine de fréquences situé entre 50 Hz et 10 kHz et ses caractéristiques essentielles sont décrites. Les résultats de mesure obtenus et leur discussion démontrent l'utilité d'introduire des procédés de mesure et des critères de jugement standard.

1. Einleitung

Elektronische Messgeräte in der Hand des Mediziners erfüllen auf den verschiedensten Gebieten lebenswichtige Funktionen. Um einen zuverlässigen Einsatz solcher Apparate sicherzustellen, sind unter anderem äussere niederfrequente elektrische und magnetische Felder in den für empfindliche Messungen bestimmten Räumen unterhalb gewisser Grenzen zu halten. Aus diesem Grund wird von einem für den Spitalbetrieb vorgesehenen elektrischen Leistungsverbraucher verlangt, dass er strengen Anforderungen bezüglich seiner Störfelderzeugung genüge.

Heute werden solche Anforderungen auf dem Gebiet niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder meist mangelhaft definiert, die anzuwendenden Mess- und Beurteilungsmethoden sind nicht einheitlich festgelegt, und darüber hinaus existieren weder national noch international anerkannte Toleranzgrenzen für diese Störgrössen im Bereich medizinischer Mess- und Untersuchungsräume. Diese Arbeit legt eine Messmethode für niederfrequente Magnetfelder dar, welche direkt die störende Feldgrösse, also die magnetische Induktion B, mit sachgemässer Auflösung und Genauigkeit erfasst. Ferner werden die im praktischen Einsatz an der Von-Roll-3D-Bahn-Versuchsanlage Gerlafingen erhaltenen Resultate dargestellt und diskutiert.

2. Grundsätzliche Anforderungen an die Messmethode

Um allgemeingültige und anwendbare Resultate erhalten zu können, wird die Messmethode so gewählt, dass sie den folgenden generellen Grundkriterien genügt:

- geringe Beeinflussung des zu messenden Feldes
- genügende örtliche Auflösung
- ausreichende Richtungsempfindlichkeit
- direkte Anzeige bzw. Registrierung der Feldgrösse
- einfaches Grundkonzept
- direkte Eichmöglichkeit
- ausreichende Empfindlichkeit (Frequenzgang, Amplitude)
- ausreichende Genauigkeit

Für den praktischen Einsatz sind ferner ein möglichst geringer apparativer Aufwand und eine einfache Handhabung beim Messen wesentlich.

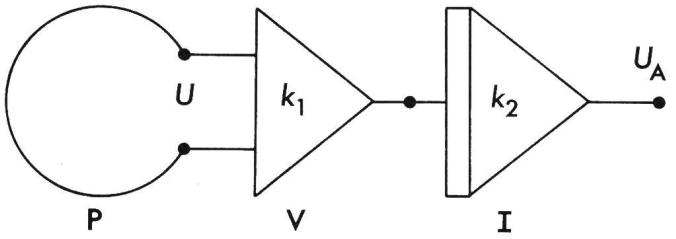

Fig. 1 Blockschema zur verwendeten Messmethode
P Probespule mit induzierter Spannung U
V Verstärker (Verstärkungsfaktor k_1)
I Integrator (Gerätefaktor k_2) mit Ausgangsspannung U_A

3. Die Messmethode

Über Messverfahren für Magnetfelder existiert eine äusserst breite Literatur. An dieser Stelle sei lediglich auf die Übersichtsartikel von *Trenkler* [1][1]) und *Stumm* [2] hingewiesen, welche technisch belegte Gegenüberstellungen der einzelnen Methoden zulassen.

In der vorliegenden Anwendung interessieren Magnetfelder im Frequenzbereich von 50 Hz bis 10 kHz, mit Beträgen von mindestens einigen nT. Derartige Felder lassen sich mit einer ruhenden Probespule (n Windungen mit einer Fläche A) erfassen. Für die induzierte Spannung U erhält man

$$U = -nA \frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t} \tag{1}$$

unter der Annahme, dass die magnetische Induktion B über die ganze Fläche A konstant und senkrecht zu A sei. Diese Spannung wird entsprechend dem Blockschema in Fig. 1 über einen Verstärker (Verstärkungsfaktor k_1) einem Integrator (Gerätefaktor k_2 in s^{-1}) zugeführt. Für die Ausgangsspannung U_A des Integrators gilt dann

$$U_A(t) = k_1 k_2 \int U(t)\,\mathrm{d}t \tag{2}$$

oder nach Einsetzen von (1) in (2) und Integration

$$U_A(t) = -k_1 k_2 nAB(t) \tag{3}$$

Der Integrationskonstanten kommt dabei keine physikalische Bedeutung zu, denn über zeitlich konstante Magnetfelder lassen sich aus dieser Methode keine Aussagen ableiten. Die Spannung $U_A(t)$ wird schliesslich je nach Aufgabe weiterverarbeitet (Registrierung, Spitzenwerterfassung, Formanalyse, Frequenzanalyse).

Im folgenden soll diese Erfassungsmethode anhand der erwähnten Kriterien diskutiert werden.

3.1 Beeinflussung des zu messenden Feldes

Magnetische Felder werden durch Ströme und magnetisierbare Materialien beeinflusst. Die Probespule zur Erfassung des Magnetfeldes wird also ohne magnetisierbare Materialien

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

aufgebaut. Ferner wird der Eingang des Verstärkers so hochohmig ausgelegt, dass die Rückwirkung des Induktionsstroms vernachlässigt werden darf. Bei höheren Messfrequenzen ist auch den Wirbelströmen im Leitermaterial der Probespule Rechnung zu tragen. Deren Einflüsse lassen sich durch geeigneten Aufbau der Wicklung (HF-Litze, Wicklungsdimensionierung) im Griff halten. Schliesslich ist beim Einsatz einer Probespule darauf zu achten, dass die höchste Messfrequenz wesentlich tiefer liegt als die niedrigste Eigenresonanzfrequenz der Spule.

3.2 Örtliche Auflösung

Das Ausgangssignal eines nach Gl. (3) geeichten Messaufbaus entspricht bei ortsabhängigem Betrag der magnetischen Induktion B dem Mittelwert $\overline{B}$ über die Fläche der Probespule:

$$\overline{B} = \frac{1}{A} \int B \mathrm{d}A \tag{4}$$

Die sachgerechte Anpassung der Spulendimensionen an das jeweilige Messproblem sorgt für eine ausreichende örtliche Auflösung.

3.3 Richtungsempfindlichkeit

Schliessen die Normale $\vec{a}$ der Probenspulenfläche A und die magnetische Induktion $\vec{B}$ gemäss Fig. 2 den Winkel α ein, so tritt an Stelle von (1) die Beziehung

$$U = -nA \frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t} \cos \alpha \tag{5}$$

welche die Richtungsempfindlichkeit darstellt. In vielen Fällen lassen sich damit ausreichend genaue Aussagen machen. Für präzisere Feldvermessung kann grundsätzlich ein erweiterter Aufbau mit drei zueinander orthogonalen Probespulen eingesetzt werden. Eine geeignete elektronische Auswertung ist dann in der Lage, die magnetische Induktion nach Betrag und Orientierung anzugeben.

3.4 Anzeige und Registrierung der Feldgrösse

Die Messmethode ergibt bei festgelegten Geräten und Probespulen eine feste, lineare Beziehung der Feldgrösse B zur Ausgangsspannung U_A, die sich mit laborüblichen Geräten einfach anzeigen oder registrieren lässt. Geeignete Wahl der Parameter erlaubt eine übersichtliche Gesamteichung der Apparatur, so dass auf der Anzeigeskala oder auf der Aufzeichnung direkt in Einheiten von B abgelesen werden kann.

3.5 Grundkonzept

Das der Methode zugrunde liegende Konzept ist bis zur Aufzeichnung einfach und lässt sich mit marktgängigen Mitteln realisieren. Ebenso stellen von Fall zu Fall notwendige Zusätze wie die Frequenzanalyse oder die skizzierte präzisere Erfassung der Feldrichtung keine grundlegenden Probleme im Aufbau oder im Einsatz. Insbesondere lassen sich Anforderungen an Stabilität und Reproduzierbarkeit durch geeignete Dimensionierung mit vernünftigem Aufwand erfüllen.

3.6 Eichmöglichkeit

An dieser Stelle soll nur auf eine Gebrauchseichung eingegangen werden. Dazu genügt es, ein definiertes Magnetfeld zu erzeugen, das den gestellten Anforderungen an Homogenität entspricht. Diese Anforderungen hängen mit der Probespulengeometrie und mit der zu erreichenden Eichgenauigkeit zusammen. Für die Erfassung von Störfeldern ergeben sich bereits mit einfachen Mitteln (lange Zylinderspule, langer gerader Leiter) brauchbare Resultate, da keine hohe Präzision verlangt ist. Eichfehler in der Grössenordnung von 5% erscheinen durchaus zulässig.

Zur Eichung sind deshalb ein ausreichend präzises Strommessgerät, eine Stromquelle von genügender Konstanz sowie ein Leiteraufbau (Zylinderspule, langer gerader Leiter) und gegebenenfalls ein Längenmass notwendig. Die Eichung lässt sich nur in einem hinreichend störungsfreien Raum sachgerecht durchführen.

3.7 Empfindlichkeit

Die Empfindlichkeit wird im wesentlichen durch das Rauschen am Verstärkereingang bestimmt. Nimmt man als Grenze den Zustand, wo die Signalspannung U aus der Probespule gleich dem Effektivwert der Rauschspannung U_R ist, so lässt sich aus (1) eine Dimensionierungsformel für das Produkt $n \cdot A$ finden:

$$nA \geq \frac{U_R}{\omega B} \tag{6}$$

wobei $B(t) = B \cos \omega t$.

Die Bemessung von $n \cdot A$ stützt sich gemäss (6) auf die tiefste Kreisfrequenz ω des zu messenden Signals.

Bei vernünftiger Aufteilung der Verstärkung auf Verstärker und Integrator spielt in der vorangehenden Betrachtung der Störpegel des Integrators keine Rolle.

3.8 Genauigkeit

Fehler von mehr als einigen Prozenten des Vollausschlags lassen sich mit den heutigen elektronischen Mitteln einfach vermeiden, wenn dafür gesorgt wird, dass keine der Stufen bei der Messung übersteuert. Eine Übersteuerung des Verstärkerausgangs tritt leicht bei hohen Frequenzen auf.

3.9 Apparativer Aufwand, Handhabung

Gesamthaft gesehen erfordert die beschriebene Methode bis zur Registrierung der Feldgrösse einen vertretbaren Aufwand. Sämtliche notwendigen Geräte sind marktgängig.

Die Handhabung des Messaufbaus bereitet keine Schwierigkeiten: nach erfolgter Eichung genügt es, die Verstärkung k_1 der jeweils vorliegenden Signalgrösse anzupassen und das Anzeige- oder Registriergerät zu bedienen. Je nach Einsatz ist eine Stativmontage der Probespule vorteilhaft.

Weit mehr Schwierigkeiten können bei Messungen nicht abschaltbare fremde elektrische Einrichtungen verursachen. Die Wahl des Prüfraumes ist wie bei der Eichung entscheidend wichtig.

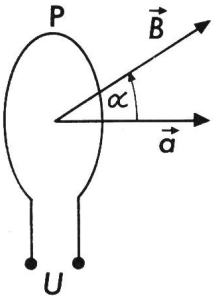

Fig. 2
Orientierung der Probespule im Magnetfeld

P Probespule mit Flächennormale $\vec{a}$, induzierte Spannung U

$\vec{B}$ magnetische Induktion

α Winkel zwischen $\vec{a}$ und $\vec{B}$

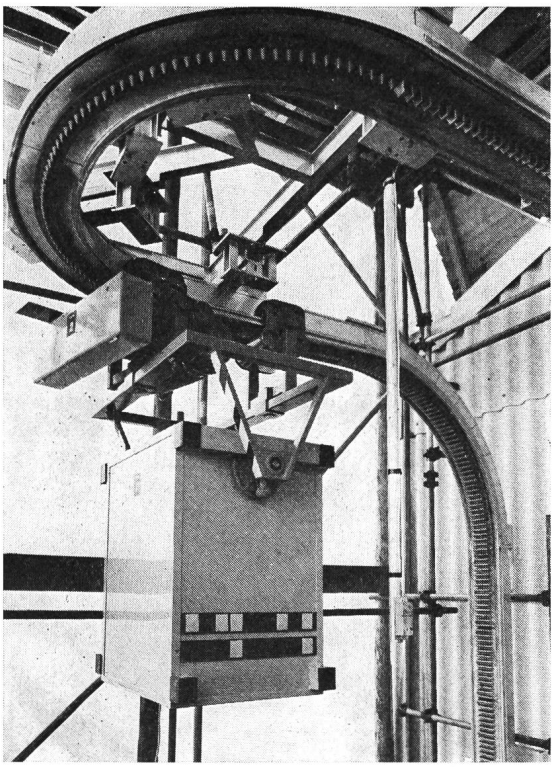

Fig. 3 Transportbahn-Versuchsanlage
Fahrwerk mit Transportbehälter beim Durchfahren der Wendeschlaufe

4. Messungen an der Von-Roll-3D-Bahn-Versuchsanlage in Gerlafingen

4.1 Anlage und Problemstellung

Die Von-Roll-3D-Bahn (Fig. 3) ist eine schienengebundene Hängebahn, bei welcher jedes Fahrwerk einen eigenen Antriebsmotor (Nennleistung 2,2 kW) besitzt. Mit ihrem Zahnradantrieb ist sie in der Lage, horizontal und vertikal zu fahren. Das Transportgut wird in spezielle Behälter geladen, welche am Aufgabeort automatisch an ein Fahrwerk angehängt und am Zielort wieder vom Fahrwerk abgehängt werden. Zusammen mit einer Zielsteuerung ergibt sich damit ein Warentransportsystem, das in Gebäuden ohne Umladen jeden Punkt erreichen kann.

Die elektrische Energie (3×380 V, 50 Hz) wird den Fahrwerken über Stromschienen zugeführt. Der Antrieb erfolgt durch einen polumschaltbaren Käfigankermotor. Die Anlage ist im Aufbau recht gut phasensymmetrisch.

Trotzdem werden in Spitälern, wo zum Teil recht dichte Schienennetze mit häufigen Fahrten notwendig sind, Fragen der Störung von medizinischen Apparaturen durch die Transportbahn wichtig. Messungen können dabei dem Planer Richtlinien geben für Streckenführung, Anordnung medizinischer Mess- und Untersuchungsräume sowie für gegebenenfalls einzuführende Abschirmmassnahmen.

4.2 Messaufbau

Für die Messungen wurde eine Probespule mit einer Windungszahl $n = 100$ und einer Windungsfläche $A = 0{,}05\ \mathrm{m}^2$ eingesetzt. Der nachgeschaltete Verstärker wies einen Eingangswiderstand von 1 MΩ auf. Die tiefste interessierende Messfrequenz betrug 50 Hz, so dass sich die untere Grenzfrequenz von 0,5 Hz des Analogintegrators nicht störend auswirkte. Mit dieser Anordnung entsprach das Rauschen breitbandig (20 Hz bis 10 kHz) einer untersten Messgrenze von $2 \cdot 10^{-9}$ T, schmalbandig (Bandbreite 10 Hz) lag die unterste Messgrenze unter $2 \cdot 10^{-10}$ T.

Die auf einem Stativ aufgesetzte Probespule konnte an jeder beliebigen Stelle der Versuchsanlage angebracht werden. Die Messungen wurden schmalbandig (10 Hz) durchgeführt.

4.3 Resultate

Während der Messungen war jeweils ein Fahrwerk in Betrieb. In 1 m Distanz von der Fahrschiene ergaben sich die folgenden Amplitudenwerte der 50-Hz-Komponente der magnetischen Induktion:

Stromschiene (Fahrwerk weit entfernt)		7 nT
Fahrwerk (Maximalwerte bei Vorbeifahrt):		
– Horizontalfahrt	0,5 m/s	140 nT
– Horizontalfahrt	1 m/s	1,3 μT
– Vertikalfahrt	0,5 m/s	70 nT

Beim Beschleunigen, Verzögern sowie bei Nothalt ergaben sich ferner Spitzenwerte (breitbandig gemessen, 20 Hz bis 10 kHz) bis zu 1,8 μT. Schliesslich resultierte für das vom Fahrwerk erzeugte Störfeld grob ein Abstandsgesetz B proportional zu $1/r^2$.

4.4 Diskussion

Die Bedeutung der Störfeldmessung in Spitälern soll am Beispiel von Elektronenmikroskopen dargelegt werden. Für den zuverlässigen Einsatz eines derartigen Instruments müssen niederfrequente magnetische Fremdfelder je nach Fabrikat des Elektronenmikroskops unterhalb von 0,02 μT bis 0,5 μT gehalten werden. Im schlimmsten Fall müsste ein Elektronenmikroskop etwa 10 m von der Fahrschiene weg stehen. Ähnliche Überlegungen müssen für die Elektrokardiographie, die Elektroenzephalographie und weitere medizinische Messeinrichtungen angestellt werden. Weiter lassen sich von Fall zu Fall erforderliche Abschirmungen dimensionieren.

5. Schlussfolgerung

Die beschriebene Messmethode für niederfrequente Magnetfelder eignet sich bezüglich Eichung, Aufwand, Handhabung und Auswertung zur Erfassung von Störfeldern.

Die einzelnen Bestandteile können leicht in einer Norm für einen Störfeldmessaufbau standardisiert werden. Damit stünde ein allgemein einsetzbares Instrument für die Untersuchung niederfrequenter magnetischer Störfelder zur Verfügung. In einem weiteren Schritt wären Toleranzgrenzen für so erfasste Störfelder in den verschiedenen Bereichen festzulegen. Dabei vordringlich erscheinen Messräume und Labors in Medizin, Industrie und Forschung.

Mit allgemein anerkannten Mess- und Beurteilungsverfahren können störende Einflüsse durch niedrigfrequente Magnetfelder rechtzeitig im Planungs- und Entwicklungsstadium unterbunden werden.

Literatur

[1] *G. Trenkler:* Verfahren zur elektrischen Messung magnetischer Felder. Teil 1 bis 4. Messen und Prüfen 8(1972)9, S. 535...538, Nr. 10, S. 624...627, Nr. 11, 705...708 + Nr. 12, 793...798.

[2] *W. Stumm:* Techniken der Messung magnetischer Felder und ihrer Anwendung. Messen und Prüfen 9(1973)1, S. 29...33 + Nr. 2, S. 83..87.

Adresse des Autors

Dr. *Johannes Golder*, Kistler Instrumente AG, Eulachstrasse 22, 8408 Winterthur; früher Zentralstelle für Messtechnik, von Roll AG, 4563 Gerlafingen.