



Punktschweißen in einer Fabrik der Autoindustrie. Foto: PantherMedia/Prampangpa.gmail.com

Bewertung nicht-sinusförmiger Magnetfelder gemäß den Technischen Regeln zu elektromagnetischen Feldern (TREMf)

Carsten Alteköster, Florian Soyka, David Brylka, Sabine Glückmann, Mathias Hoffmann, Peter Jeschke

Mit Inkrafttreten der Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern im November 2016 und der Erarbeitung der Technischen Regeln zur EMFV stellt sich die Frage nach der Bewertung nicht-sinusförmiger Magnetfelder. Die EMFV lässt dafür verschiedene Methoden zu, die allerdings zu abweichenden Bewertungsergebnissen führen können.

1 Einführung

Zur Bewertung nicht-sinusförmiger Magnetfelder sind nach der Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (EMFV) [1] und den Techni-

schen Regeln zur EMFV (TREMf) [2] als nationale Umsetzung der EMF-Richtlinie 2013/35/EU [3] neben der Methode der gewichteten Spitzenwerte (Weighted Peak Method, WPM) auch andere Methoden zulässig. Bisher wurde in Deutschland

vorrangig die Zeitbereichsbewertungsmethode (ZBM) auf Basis der DGUV-Vorschrift 15 [4] und der DGUV-Regel 103-013 [5] in Verbindung mit der DGUV-Information 203-038 [6] und dem Forschungsbericht 457 [7] angewen-

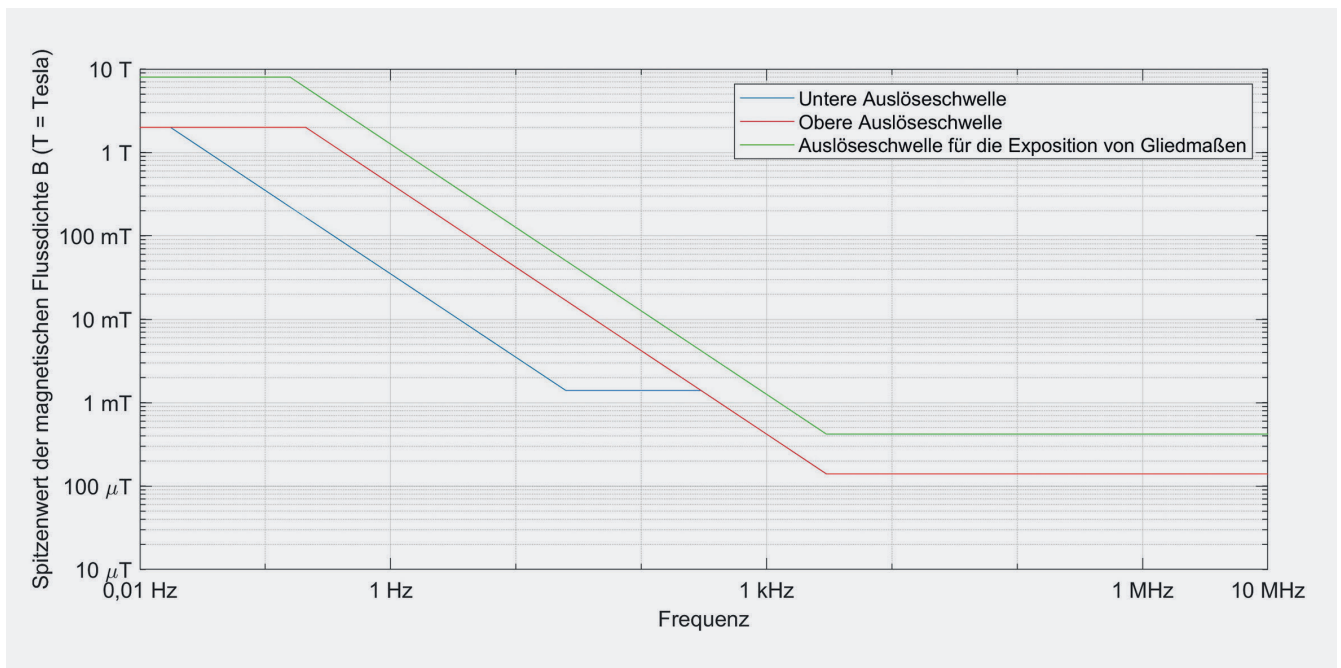


Bild 1 ALS für niederfrequente magnetische Felder nach EMFV. Grafik: Autoren

det. Allerdings bedingt das gegenüber der DGUV-Vorschrift 15 weiterentwickelte Schutzkonzept der EMFV eine grundlegende Überarbeitung der ZBM. Diese ist bisher nicht erfolgt und auch zukünftig nicht geplant.

Aus Sicht eines praktischen, transparent nachvollziehbaren Arbeitsschutzes führt die Anwendung verschiedener Bewertungsverfahren allerdings zu einer ungünstigen Situation: Da die Bewertungsmethoden nicht vollständig übereinstimmende Ergebnisse liefern, kann es vorkommen, dass im Betrieb A an einer Maschine eine Exposition der Beschäftigten durch nicht-sinusförmige Magnetfelder ermittelt wird, deren Bewertung in der Folge Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung der Gefährdungen von Beschäftigten erfordert. Im Betrieb B an einer baugleichen Maschine mit gleicher Exposition sind hingegen keine Maßnahmen durchzuführen, da hier eine andere Bewertungsmethode angewendet wurde, die ein weniger konservatives Ergebnis liefert.

Solche Situationen sollten nach Möglichkeit verhindert werden, da sie darüber hinaus das Vertrauen in das Ergebnis einer Bewertungsmethode beeinträchtigen. Der folgende Beitrag widmet sich diesem Zwiespalt. Eingangs werden die Unterschiede bei der Bewertung verschiedener Feldverläufe betrachtet. In den Kapiteln 3 und 4 werden verschiedene Aspekte zur ZBM und WPM eingehender dargestellt. Die Gegenüberstellung ergibt, dass für die

Zukunft eine Anwendung der WPM empfohlen wird. Vor diesem Hintergrund wird derzeit die DGUV-Information 203-038 (neuer Titel: „Bewertung nicht-sinusförmiger Magnetfelder“) vollständig überarbeitet und künftig technische Details und weitere Informationen zur Expositionsbeurteilung zur Verfügung stellen.

Bei der Bewertung von nicht-sinusförmigen Magnetfeldern geht es im engeren Sinne um die Bewertung der ermittelten magnetischen Flussdichte B bei Frequenzen kleiner 10 MHz. Hochfrequente elektromagnetische Felder mit nicht konstanter Leistungsabgabe werden im folgenden Beitrag nicht betrachtet.

2 Unterschiede bei der Bewertung sinusförmiger und nicht-sinusförmiger Magnetfelder

Die frequenzabhängigen Auslöseschwellen (ALS) der EMFV für niederfrequente magnetische Felder wurden unter der Annahme einer Exposition durch ein sinusförmiges Feld, das durch eine konstante Frequenz charakterisiert wird, festgelegt. Sie sind als Spitzenwerte der physikalischen Messgröße des magnetischen Feldes, der magnetischen Flussdichte mit der Einheit Tesla (T), angegeben. Die ALS dienen dazu, mögliche unzulässige Auswirkungen hoher Magnetfelder auf das periphere und

zentrale Nervensystem des Menschen [8] zu verhindern.

Die Bewertung im Fall eines sinusförmigen Magnetfeldes ist vergleichsweise einfach. Mit einem geeigneten Messgerät kann der Spitzenwert der magnetischen Flussdichte ermittelt werden. Letzterer kann dann direkt mit der entsprechenden frequenzspezifischen ALS bei der Arbeitsfrequenz des Gerätes verglichen werden (Bild 1).

Falls es die betrieblichen Voraussetzungen ermöglichen, kann das Expositionszonenkonzept (siehe TREMF-E NF, Teil Allgemeines, Kapitel 6 sowie Teil 1 Kapitel 4) zur Bewertung angewendet werden.

Schwieriger wird es, wenn das Magnetfeld nicht mehr durch eine einzelne Frequenz und einen sinusförmigen Feldverlauf beschrieben werden kann. Man spricht dann von einem nicht-sinusförmigen Magnetfeld. Ein Vergleich mit einer einzelnen frequenzspezifischen ALS und die Anwendung des derzeitigen Expositionszonenkonzepts ist dann nicht möglich. Bild 2 zeigt Beispiele für Schweißstromverläufe beim Widerstandsschweißen, die nicht-sinusförmige Magnetfelder mit einem vergleichbaren zeitlichen Verlauf erzeugen.

Um auch in einem solchen Fall eine korrekte Expositionsbeurteilung durchzuführen, kann gemäß den Vorgaben der EMFV die WPM angewendet werden. Nach der EMFV können aber auch ande-

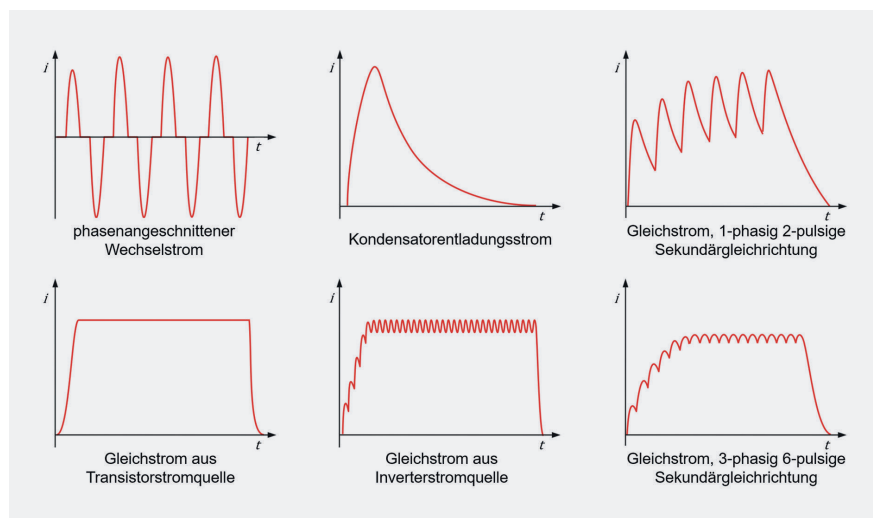


Bild 2 Beispiele für Schweißstromformen beim Widerstandsschweißen (siehe DVS Merkblatt 2942) [9].
Grafik: DVS Merkblatt 2942

re Expositionsbewertungsverfahren im Zeitbereich nach dem Stand der Technik herangezogen werden. Hierzu benennt die TREMF-E NF neben der WPM als alternative Methode zusätzlich die ZBM.

Die ZBM beruht auf einer Auswertung des zeitlichen Feldverlaufs durch den Anwender. Somit muss das Messsystem in der Lage sein, den zeitlichen Feldverlauf im relevanten Messzeitraum und mit einer ausreichenden Abtastfrequenz zu speichern. Bei der WPM ist prinzipiell eine automatisierte Auswertung durch das Messsystem möglich, wobei der zeitliche Verlauf nicht gespeichert wird und das Ergebnis als ein einzelner Zahlenwert, dem Expositionsindex, angezeigt wird. Für eine Plausibilisierung des Messergebnisses und Berücksichtigung von Fehlereinflüssen wie Rauschen und Artefakten im gemessenen zeitlichen Feldverlauf ist jedoch die Kenntnis dieses Verlaufs zwingend erforderlich.

3 Bewertungsmethoden

3.1 Fachkunde

Der Arbeitgeber hat nach der EMFV sicherzustellen, dass die mit einer Gefährdungsbeurteilung in Zusammenhang stehenden Teilaufgaben, z. B. Messung oder Bewertung, fachkundig geplant und durchgeführt werden. Die an fachkundige Personen zu stellenden Anforderungen, z. B. Fortbildung, benötigte Fachkenntnisse, Erfahrung, sind in TREMF-E NF, Teil 1, Abschnitt 3.4 beschrieben.

Es ist hierbei nicht zwingend notwendig, dass alle Teilaufgaben von nur einer fachkundigen Person bearbeitet

werden. Vielmehr können die Teilaufgaben von unterschiedlichen Personen, die über die jeweils relevante Fachkunde verfügen und sich somit gegenseitig ergänzen, bearbeitet werden. Für die Anwendung der im Folgenden beschriebenen Methoden sind besondere Fachkenntnisse erforderlich. Dies schließt auch ein, dass bei allen Bewertungen Messunsicherheiten in geeigneter Weise zu berücksichtigen sind.

3.2 Die Zeitbereichsbewertungsmethode (ZBM)

Seit 2001 wird in der Anlage 1, Kap. 3 der DGUV-V 15 (vormals BGV B11) eine Methode zur Bewertung nicht-sinusförmiger, gepulster Felder beschrieben, für die sich der Begriff Zeitbereichsbewertungsmethode (ZBM) etabliert hat. Eine ausführlichere Beschreibung der Methode, die seit ihrer Veröffentlichung vielfach angewendet wurde, findet sich in [4; 10].

Die ZBM erfordert die Bestimmung verschiedener Parameter, um komplexe Feldverläufe auf einen rein sinusförmigen Feldverlauf mit einer einzelnen Frequenz zurückzuführen, der die gleiche Stimulationswirkung auf das Nervensystem hat wie der komplexe zeitliche Feldverlauf. Diese Parameter müssen jedoch manuell aus dem Zeitverlauf ermittelt werden, was im Einzelfall sehr aufwändig und fehleranfällig sein kann und daher zu Kritik an der Methode führte.

Da sich die Anforderungen der EMFV vom vorherigen Regelwerk unterscheiden, wären darüber hinaus für eine zukünftige Anwendung der ZBM weitere Anpassun-

gen an der Methode nötig, um EMFV-konforme und belastbare Ergebnisse zu erhalten.

Dies betrifft vor allem ein Kernelement der ZBM, den Gewichtungsfaktor V . Dieser nutzt aus, dass die zulässigen Werte in der DGUV-Vorschrift 15 als Effektivwerte formuliert sind. Treten bei einem Feldverlauf Pausen auf, d.h. Zeitintervalle, innerhalb derer sich keine Feldänderungen ergeben, lässt sich ein Faktor $V > 1$ ermitteln. Hierüber kann dann ein im Vergleich zu einem rein sinusförmigen Feldverlauf höherer zulässiger Spitzenwert errechnet werden, wobei aber gleichzeitig der zulässige Effektivwert eingehalten wird.

In der EMFV sind die ALS aber nunmehr als Spitzenwerte definiert, da dies vor dem Hintergrund der zu vermeidenden nicht-thermischen Wirkungen (Nervenreizung) physiologisch sinnvoller ist. Weitergehende Untersuchungen des IFA mit elektrophysiologischen Modellen haben zudem ergeben, dass Pausenzeiten in Feldverläufen bei der Bewertung der nicht-thermischen Wirkungen keine Rolle spielen. Daraus folgt, dass eine ZBM auf Basis der Anforderungen der EMFV keinen Gewichtungsfaktor V mehr enthalten darf.

Darüber hinaus enthält die DGUV-Vorschrift 15 zusätzliche Tabellen, die bei der Anwendung der ZBM zu benutzen sind. Für eine Anwendung der ZBM auf Basis der ALS der EMFV müssten diese Tabellen angepasst werden. Bisher ist dies nicht geschehen und auch eine Erstellung und Veröffentlichung solcher Tabellen im Rahmen des gültigen Regelwerks sind zukünftig nicht geplant.

Es wird somit deutlich, dass eine weitere Anwendung der ZBM nur mit umfangreichen Anpassungen an die Anforderungen der EMFV möglich ist.

3.3 Die Methode der gewichteten Spitzenwerte (WPM)

Die Methode der gewichteten Spitzenwerte (Weighted Peak Method – WPM) wird seit 2003 von der „International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection“ (ICNIRP) empfohlen [11]. In der EU Richtlinie von 2013 wird die WPM explizit für die Expositionsbeurteilung bei nicht-sinusförmigen Feldern angeführt und 2016 auch in die Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (EMFV) übernommen [1; 3]. Eine konkrete Beschreibung der WPM findet sich u.a. im Leitfaden zur EU Richtlinie [12] und in [13].

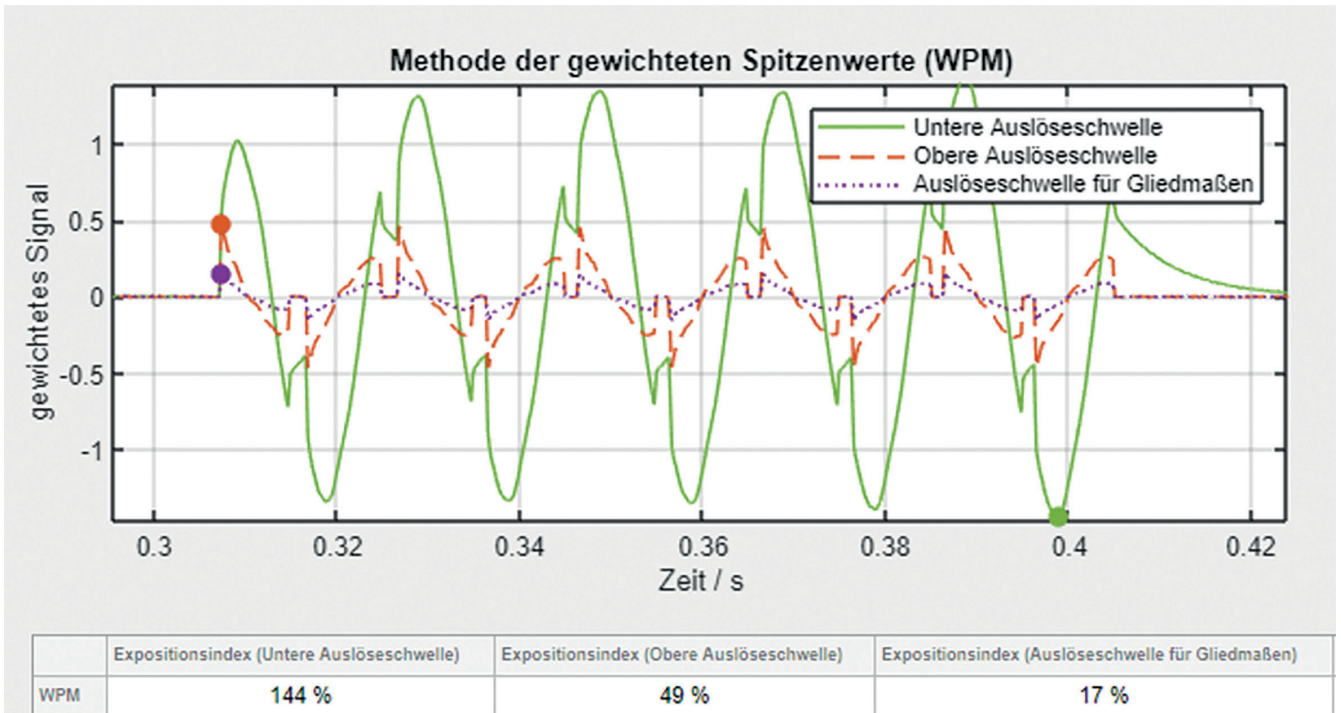


Bild 3 Zeitliche Verläufe von drei gewichteten WPM Signalen, die sich aus einem gemessenen Magnetfeld mit phasenangeschnittenem Sinusverlauf ergeben. Aus den Maxima der Beträge ergeben sich die Expositionsindizes (Kreise markieren die Maxima). In diesem Fall ist z. B. die untere ALS überschritten, da der Expositionsindex > 1 ist. *Grafik: Autoren*

Die WPM kann z. B. mit digitalen Filtern umgesetzt werden. Diese gewichten den gemessenen zeitlichen Feldverlauf unter Verwendung der ALS und leiten aus dem gewichteten Signal einen einheitenlosen Expositionsindex ab. Der Expositionsindex ist definiert als der betragsmäßig maximale Wert des gewichteten WPM Signals. Ist dieser kleiner oder gleich 1 (entspricht 100 %), so ist die Exposition zulässig (**Bild 3**). Die Übertragungsfunktionen der Filter sind für die drei Arten der ALS (Obere, Untere, Gliedmaßen) in **Tabelle 1**

aufgeführt. Weiterführende Informationen können in Kapitel 4.3 gefunden werden.

Bei Anwendung der WPM sind sowohl der gemessene Feldverlauf als auch die gewichteten Signale fachkundig auf Plausibilität hin zu überprüfen. Für eine Übersicht potenziell auftretender Probleme (z. B. Rauschen, Messartefakte oder Abweichungen der Filter an den Eckfrequenzen) siehe [14; 15]. Für eine adäquate Beurteilung einer Exposition kann es daher erforderlich sein, neben dem Expositionsindex auch den gemessenen Feldver-

lauf und das gewichtete WPM Signal anzugeben.

Unter Berücksichtigung dieser Punkte bietet die WPM eine zuverlässige, schnelle, sichere und reproduzierbare Expositionsbewertung. Daher wird die WPM international eingesetzt und ist oft bereits in Messgeräten integriert.

4 Bewertung nicht-sinusförmiger Magnetfelder in der betrieblichen Praxis

4.1 Anwendungsbeispiele für nicht-sinusförmige Magnetfelder

Nicht-sinusförmige Magnetfelder treten im betrieblichen Umfeld vor allem bei Schweißanwendungen, konkreter beim Widerstandsschweißen, auf. Bei diesen Verfahren werden je nach Voraussetzung unterschiedliche Schweißstromverläufe eingesetzt, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen (Bild 2). Insgesamt gibt es jedoch eine Vielzahl von Anlagen und Verfahren, bei denen nicht-sinusförmige Feldverläufe auftreten, z. B.

- Widerstandsschweißen
- Elektro-Schweißen (Lichtbogenschweißen)
- Wechselrichter, Frequenzumrichter
- Impulsmagnetisierer, Entmagnetisierer

Untere ALS	$H(s) = \frac{1}{2T} \cdot \frac{\left(1 + \frac{s}{0.0175 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right) \left(1 + \frac{s}{300 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}{\left(1 + \frac{s}{25 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right) \left(1 + \frac{s}{3000 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}$
Obere ALS	$H(s) = \frac{1}{2T} \cdot \frac{\left(1 + \frac{s}{0.21 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}{\left(1 + \frac{s}{3000 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}$
ALS für Gliedmaßen	$H(s) = \frac{1}{8T} \cdot \frac{\left(1 + \frac{s}{0.1575 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}{\left(1 + \frac{s}{3000 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}$

Tabelle 1 Die Übertragungsfunktionen H(s) für die drei ALS magnetischer Felder gemäß der EMFV.

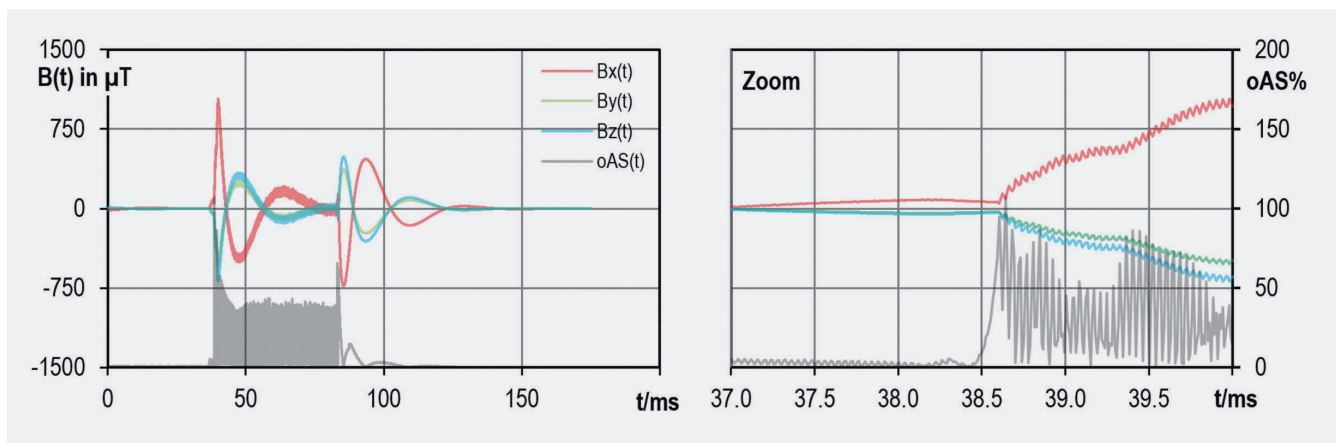


Bild 4 Feldverlauf an einer Mittelfrequenz-Schweißanlage; die drei Raumrichtungen des Feldverlaufes sind in rot/grün/blau dargestellt, die WPM-Auswertung hinsichtlich der oberen ALS (mit %-Angabe auf der rechten Ordinate) in grau. Grafik: Autoren

- Elektromagnetisches Umformen
- Rekuperation bei Elektrofahrzeugen

Die meisten dieser Anlagen zeichnen sich zudem durch Schaltvorgänge und damit sehr steile Stromflanken aus (**Bild 4**).

Zu berücksichtigen sind unter Umständen auch Anwendungen, die überwiegend sinusförmige oder statische magnetische Felder emittieren, aber bei denen durch Schaltvorgänge mit hohen Strömen auch nicht-sinusförmige Magnetfelder auftreten können.

4.2 Empfehlungen für das Vorgehen der betrieblichen Arbeitsschutzakteure

Für die Bewertung niederfrequenter nicht-sinusförmiger magnetischer Felder im Betrieb muss in einem ersten Schritt festgelegt werden, welche Bewertungsmethode angewendet werden soll. An dieser Stelle sei auf das bereits in Kapitel 2 beschriebene Problem hingewiesen, dass unterschiedliche Bewertungsmethoden zu abweichenden Ergebnissen und ggf. Maßnahmen führen können. Bei der Festlegung auf eine Methode sollten zwei Aspekte besonders berücksichtigt werden:

1. Die im Kapitel 3.1 beschriebenen Probleme der Anwendung der ZBM vor dem Hintergrund der Anforderungen der EMFV.
2. Die WPM wird in der EMFV zugrundeliegenden EU-Richtlinie als Referenzmethode genannt und ist im europäischen Ausland in der Anwendung weit verbreitet.

Die Autoren empfehlen daher, als Methode für die Bewertung nicht-sinusförmiger Magnetfelder in Zukunft ausschließlich die WPM zu verwenden.

Ist die Bewertungsmethode festgelegt worden, kann die Exposition ermittelt werden. Hierzu wird auf die TREMF-ENF, Teil 2, Kapitel 4.1 verwiesen, wo die

im Rahmen einer Expositionsmessung allgemein wichtigen Aspekte erläutert werden. Dies betrifft die Auswahl von Messgeräten, die Planung und Durchführung einer Messung sowie Anforderungen an das Messprotokoll und den Messbericht.

Für den vorliegenden Fall der nicht-sinusförmigen Magnetfelder kann für die Beurteilung der Exposition die BEMF-Software des Institutes für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) genutzt werden (siehe Beschreibung in Kapitel 4.3). Voraussetzung dafür ist, dass bei der Ermittlung der Exposition ein Messsystem verwendet wird, das den zeitlichen Verlauf des Feldes aufzeichnet. Dies kann unmittelbar im Messgerät erfolgen oder das Messsignal wird über eine Schnittstelle unverfälscht an ein Peripheriegerät weitergeleitet (z. B. Digital-Oszilloskop) und dort gespeichert. Dabei ist auf eine geeignete Abtastfrequenz und A/D Wandlung zu achten, damit gewährleistet wird, dass auch steilere Flanken im Feldverlauf korrekt erfasst werden.

Bevor eine Beurteilung des aufgezeichneten zeitlichen Feldverlaufs durchgeführt wird, muss dessen Qualität und Plausibilität geprüft werden.

Für die Bewertung, kann dann der Feldverlauf in die BEMF-Software des IFA geladen werden.

4.3 BEMF Bewertungssoftware

Das Institut für Arbeitsschutz der DGUV hat gemeinsam mit der Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) eine Windows Software zur Unterstützung bei der Bewertung nicht-sinusförmiger Magnetfelder (BEMF) entwickelt, welche zusammen mit einem ausführlichen Handbuch zur Nutzung der Software auf der Homepage des Instituts heruntergeladen werden kann (www.dguv.de/webcode.jsp?query=d1183434).

[dguv.de/webcode.jsp?query=d1183434](http://www.dguv.de/webcode.jsp?query=d1183434)).

BEMF stellt auf Grundlage der EMFV die WPM sowie für Vergleichszwecke eine reduzierte ZBM (ohne Gewichtungsfaktor) zur Verfügung. Ein aufgezeichneter Feldverlauf kann von der Software eingelesen werden, um dann den Expositionsindex zu bestimmen.

An dieser Stelle ist es sehr wichtig darauf hinzuweisen, dass eine Berechnung des Expositionsindex durch eine Software wie BEMF nicht von der Pflicht entbindet, fachkundig zu überprüfen, ob sowohl der gemessene Feldverlauf als auch das Bewertungsergebnis plausibel sind. In [14] und [15] werden potenziell auftretende Probleme dargestellt.

Eine beispielhafte Auswertung ist in **Bild 5** gezeigt. Die Bewertung mittels WPM erfolgt automatisch. Für die ZBM müssen händisch zwei Punkte in dem zeitlichen Verlauf der magnetischen Flussdichte ausgewählt werden. Zu beachten ist, dass eine gemessene Flussdichte im Allgemeinen dreidimensional ist. Details zur Überführung in einen eindimensionalen Feldverlauf, sowie weitere Hinweise zur Software und zur reduzierten ZBM finden sich im BEMF Handbuch.

5 Fazit

Dieser Artikel beschreibt mögliche Methoden, eine Exposition durch niederfrequente nicht-sinusförmige Magnetfelder im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung angemessen zu bewerten. Die EMFV und die TREMF nennen hierzu in erster Linie die WPM. Prinzipiell sind aber auch andere Methoden nach dem Stand der Technik anwendbar. Hier ist insbesondere die bisher aus der DGUV-Vorschrift 15 bekannte ZBM zu nennen. Sowohl die WPM als

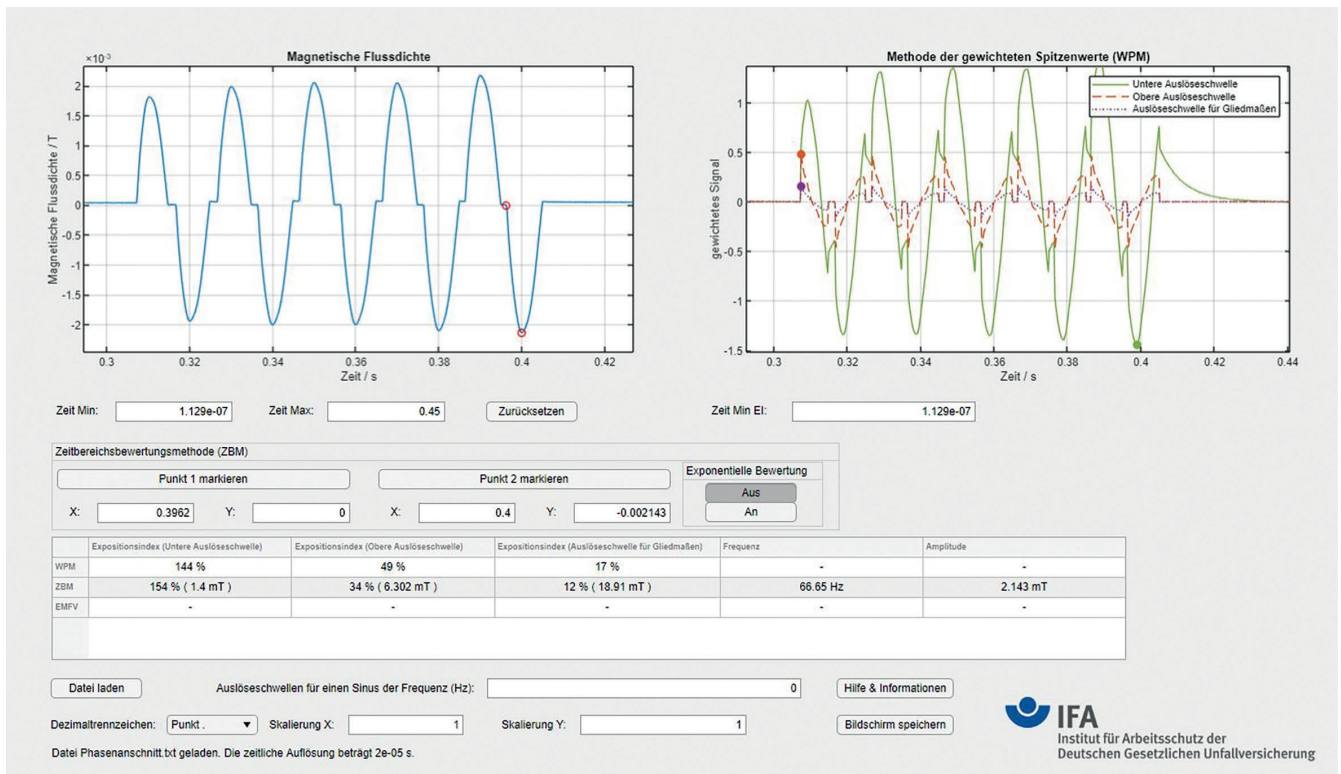


Bild 5 Beispielhafte Berechnung der Expositionsindizes für eine nicht-sinusförmige magnetische Flussdichte mittels WPM und ZBM mit Unterstützung der BEMF Software. Grafik: Autoren

auch die ZBM wurden vor dem Hintergrund der Anforderungen der EMFV kritisch beleuchtet. Dabei wurde deutlich, dass eine weitere Anwendung der aktuellen ZBM in ihrer vollständigen Form mit Unsicherheiten behaftet ist und Fragen aufwirft. Sie erscheint somit wenig zukunftsweisend und aus Sicht der Autoren wird daher für die künftige Bewertung nicht-sinusförmiger Magnetfelder die WPM empfohlen. Unabhängig von der verwendeten Methode ist zu beachten, dass für die messtechnische Erfassung und die Auswertung der Feldverläufe eine entsprechende Fachkunde vorliegen muss. ■ TS922

Literatur

- [1] EMFV, Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern vom 15. November 2016 (BGBl. I S. 2531)
- [2] TREMF, Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (Entwurfsversionen), www.baua.de
- [3] EMF-Richtlinie, Richtlinie 2013/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Juni 2013 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder). Amtsblatt der Europäischen Union, 2013. L197(56): p. 1-21
- [4] DGUV Vorschrift 15: Elektromagnetische Felder (bisher BGV B11). 2001, Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.
- [5] DGUV Regel 103–013: Elektromagnetische Felder (bisher BGR B11). 2006: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.
- [6] DGUV Information 203–038: Beurteilung magnetischer Felder von Widerstandsschweißeinrichtungen (bisher BGI 5011). 2006: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM)
- [7] Heinrich, H.: Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz – Bewertung nicht-sinusförmiger und gepulster Felder: Anpassung der Zeitbereichsbewertungsmethode (ZBM) für "Gepulste Felder" an die Rahmenbedingungen der Richtlinie 2013/35/EU (Forschungsbericht 457). Forschungsbericht 457. 2015: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS)
- [8] Soyka, F. et al.: Wie magnetische Felder das Nervensystem beeinflussen und was das für den Arbeitsschutz bedeutet. Umweltmedizin – Hygiene – Arbeitsmedizin, 2020. 25(6): p. 254-264; www.dguv.de/webcode.jsp?query=d1148579
- [9] Merkblatt DVS 2942: Schweißstrommessung beim Widerstandsschweißen Messgeräte – Strommessspulen – Effektivwerte (12/2019)
- [10] Heinrich, H.: Assessment of non-sinusoidal, pulsed, or intermittent exposure to low frequency electric and magnetic fields. Health physics, 2007. 92(6): p. 541-546.
- [11] ICNIRP, Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines. Health physics, 2003. 84(3): p. 383-387
- [12] Europäische Kommission, Nicht verbindlicher Leitfaden mit bewährten Verfahren im Hinblick auf die Durchführung der Richtlinie 2013/35/EU Elektromagnetische Felder. Band 1: Praktischer Leitfaden. 2015
- [13] Keller, H.: The Weighted Peak Method in the Time Domain Compared With Alternative Methods for Assessing LF Electric and Magnetic Fields. Health Physics, 2017. 113(1): p. 54-65
- [14] Soyka, F.: Bewertungsverfahren für gepulste magnetische Felder im Vergleich (Teil 1 von 2). sicher ist sicher, 2020. 02/2020: p. 77–81; www.dguv.de/webcode.jsp?query=d1148579
- [15] Soyka, F.: Bewertungsverfahren für gepulste magnetische Felder im Vergleich (Teil 2 von 2). sicher ist sicher, 2020. 03/2020: p. 134–139; www.dguv.de/webcode.jsp?query=d1148579

Dr. Carsten Alteköster

Dr. Florian Soyka

Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin.

David Brylka

Volkswagen AG, Wolfsburg.

Sabine Glückmann

Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Köln.

Dr. Mathias Hoffmann

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Hildesheim.

Dr. Peter Jeschke

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund.