

# Bewertung magnetischer Felder (BEMF)

Handbuch zur Softwareversion BEMF V1.0

## Einleitung

Magnetische Felder entstehen überall dort, wo ein elektrischer Strom fließt. Dank moderner Regelungstechnik lässt sich der zeitliche Verlauf des Stroms dabei an den Bedarf der Anwendung anpassen. Hierbei treten immer häufiger nicht-sinusförmige Stromverläufe und damit auch nicht-sinusförmige Magnetfelder auf (z. B. beim Widerstandsschweißen). Der Arbeitgeber ist gemäß der Arbeitsschutzverordnung für elektromagnetische Felder (EMFV [1]) dazu verpflichtet, Gefährdungsbeurteilungen für Arbeitsplätze zu erstellen und Expositionsbewertungen der auftretenden Felder durchzuführen. Die BEMF-Software kann Fachkundige bei der **Bewertung magnetischer Felder** unterstützen.

Weitere Fachinformationen zum Thema elektromagnetische Felder (EMF) im Arbeitsschutz gibt es hier:

<https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/strahlung/elektromagnetische-felder/index.jsp>

## Übersicht der Funktionalität von BEMF

Die EMFV gibt für nichtthermische Wirkungen drei Auslöseschwellen für sinusförmige magnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 10 MHz vor. BEMF erlaubt die Berechnung der Auslöseschwellen für eine gegebene Frequenz (Abbildung 1).


	Expositionsindex (Untere Auslöseschwelle)	Expositionsindex (Obere Auslöseschwelle)	Expositionsindex (Auslöseschwelle für Gliedmaßen)	Frequenz	Amplitude
WPM	-	-	-	-	-
ZBM	-	-	-	-	-
EMFV	1.4 mT	8.4 mT	25.2 mT	50 Hz	-

Auslöseschwellen für einen Sinus der Frequenz (Hz):

Dezimaltrennzeichen: 
 Skalierung X: 
 Skalierung Y:

Status:



**IFA**  
Institut für Arbeitsschutz der  
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Abbildung 1: Beispielhafte Berechnung der drei Auslöseschwellen in Millitesla für eine sinusförmige magnetische Flussdichte mit einer Frequenz von 50 Hz.

Für die nichtthermischen Wirkungen nicht-sinusförmiger Magnetfelder müssen spezielle Bewertungsmethoden genutzt werden. BEMF stellt zwei Methoden zur Verfügung: die Methode der gewichteten Spitzenwerte - Weighted Peak Method – WPM [2-4] und die Zeitbereichsmethode – ZBM [4-7]. Hierfür kann ein aufgezeichnetes Signal von der Software eingelesen werden und dann der Expositionsindex für das Signal bestimmt werden (Abbildung 2).

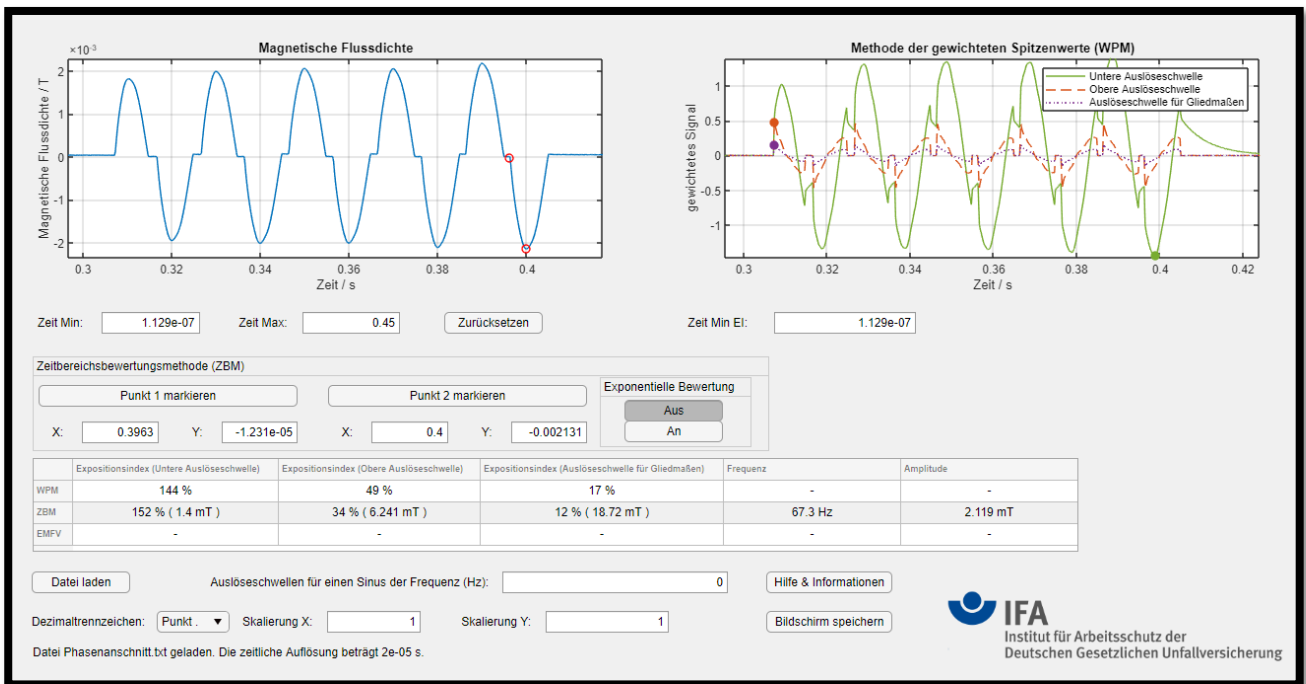


Abbildung 2: Beispielhafte Berechnung der Expositionsindizes für eine nicht-sinusförmige magnetische Flussdichte mittels WPM und ZBM.

*Liegt der Expositionsindex unter 100 % ist die Exposition zulässig.*

Die Anwendung der Methoden mit BEMF wird weiter unten im Detail beschrieben.

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 das gemessene Eingangssignal als auch das Bewertungsergebnis plausibel sind. Schon bei der Messung magnetischer Flussdichten und auch bei der anschließenden algorithmischen Bewertung können Probleme auftreten, die nicht automatisiert abgefangen werden und zu einer Fehlbewertung der Exposition führen können [8]. Daher ist BEMF als Unterstützung für die Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung zu sehen – die Verantwortung für die Bewertung eines Arbeitsplatzes und die Sicherheit der Beschäftigten liegt nach wie vor bei denjenigen, die die Gefährdungsbeurteilung verfassen.

BEMF funktioniert unter Windows 10 und benötigt installiert circa 3 GB Speicherplatz (1 GB Download). Aufgezeichnete Signale müssen im ASCII-Format vorliegen. Die als Input erwartete Dateistruktur wird weiter unten beschrieben.

### Installation und Start des Programms

Die Software BEMF wurde mithilfe des MATLAB App Designer (R2019b) erstellt und unter Windows 10 (64 Bit) getestet. Nach dem Download der circa 1 GB großen ZIP-Datei muss diese mit einem geeigneten Programm entpackt werden, wobei circa 3 GB Speicherplatz benötigt werden. Aufgrund der starken Komprimierung der ZIP-Datei und der Vielzahl der Dateien kann das Entpacken etwas Zeit in Anspruch nehmen und sollte möglichst auf einem lokalen Laufwerk durchgeführt werden. Die ZIP-Datei enthält sowohl die Software BEMF an sich als auch die zur Ausführung benötigte MATLAB-Laufzeitumgebung (V9.7 Update 1).

Im Verzeichnis `\Institut fuer Arbeitsschutz der DGVU\BEMF\` befinden sich dann folgende Dateien:

- Die Verknüpfung *Start Bewertung Magnetischer Felder.lnk*, die die Datei *BEMF.exe* im Unterverzeichnis `\v97\bin\win64\` aufruft und somit BEMF startet. Beim Start öffnet sich ein Kommandozeilenfenster, das sich bei der Beendigung von BEMF wieder schließt.
- Dieses Handbuch im PDF-Format.
- Die Dateien *50HzSinus.txt* und *Phasenanschnitt.txt*, die Beispiele für das benötigte Dateiformat darstellen und einen Funktionstest von BEMF erlauben.
- Die Datei *BEMF.mlapp*, die den Quellcode für das Programm enthält.

### Hinweis zur Sicherheit der Software

Die MATLAB Laufzeitumgebung wird von *MathWorks.com* zur Verfügung gestellt. Die BEMF-Software wurde vom IFA mit dem MATLAB App Designer entwickelt und der Quellcode liegt der Installation als MLAPP-Datei bei. Das ausführbare Programm BEMF wurde mit dem Webtool *Virustotal* geprüft und war im Test nicht auffällig:

<https://www.virustotal.com/gui/file/a5d3ffd2cbc2d23889a6c5f3dddbf276f2786e964f551cde3eacf1eda9546185/detection>

### Berechnung der Auslöseschwellen für ein Sinus-Signal

Die Arbeitsschutzverordnung für elektromagnetische Felder gibt in Tabelle A2.8 drei Auslöseschwellen für magnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 10 MHz vor. Die Software BEMF berechnet aus einer eingegebenen Frequenz (Abbildung 1) diese drei Schwellen in Millitesla und stellt das Ergebnis in der Zeile EMFV dar.

### Aufgezeichnete nicht-sinusförmige Signale einlesen

Mit der Schaltfläche DATEI LADEN kann ein aufgezeichnetes Signal eingelesen werden. Im Dialog Fenster ist ein Filter für \*.txt und \*.csv Dateien gesetzt, der auch auf „alle Dateitypen (\*.\*)“ umgestellt werden kann.

Dateien müssen folgendermaßen aufgebaut sein: In jeder Zeile steht ein Wertepaar aus Zeitdauer in Sekunden und eindimensionaler magnetischer Flussdichte in Tesla, wie zum Beispiel:

```
0,0  
4.16666666666667e-05,0.000109952602799293  
8.33333333333333e-05,0.000219886365786134  
0.000125,0.000329782452376176
```

Enthält eine Zeile mehr als zwei (durch Kommas getrennte) Einträge, werden diese ignoriert. Die Skalierungen der Zeit und der Flussdichte lassen sich nachträglich noch anpassen (Abbildung 3). Falls das Signal zum Beispiel in Millitesla statt in Tesla vorliegt, kann ein Skalierungsfaktor von 0.001 für die Flussdichte gewählt werden.



Abbildung 3: Umstellung des Dezimaltrennzeichens für eingelesene Dateien. Daneben kann auch die Skalierung der Zeit (X-Achse) und der magnetischen Flussdichte (Y-Achse) verändert werden.

Wie im Beispiel zu sehen: Die Exponentialschreibweise kann verwendet werden und Dezimalzahlen werden standardmäßig mit einem Punkt geschrieben. Im Aufklapp-Menü für Dezimaltrennzeichen kann hier auch ein Komma festgelegt werden (Abbildung 3). Dann muss das Spaltentrennzeichen ein Semikolon sein.

Die Datei sollte keinen Header enthalten, sondern direkt mit dem ersten Wertepaar beginnen.

Anmerkung: BEMF verwendet intern die MATLAB-Funktion ‚readmatrix‘ zum Einlesen der Datei<sup>1</sup>. Eventuell können mit dieser Funktion auch andere Formatierungen der Datei zu brauchbaren Ergebnissen führen. Empfohlen werden jedoch die oben beschriebenen Formatierungen.

Eine wichtige Voraussetzung für die Berechnung der Weighted Peak Method ist, dass die zeitlichen Abstände zwischen aufeinanderfolgenden Zeilen konstant sind (das Signal also mit einer konstanten Abtastrate aufgezeichnet wurde). Dies wird beim Einlesen der Datei überprüft und führt andernfalls zu einer Fehlermeldung. Die zeitliche Auflösung wird nach dem Einlesen der Datei in der Statuszeile angegeben. Damit es bei der Anwendung der WPM nicht zu Problemen kommt, darf die zeitliche Auflösung nicht zu grob sein – als Richtwert gilt: Die Aufzeichnungsfrequenz der Signaldaten muss mindestens 10-mal höher sein als die höchste erwartete Frequenz im Signal. Die Plausibilität des Ergebnisses ist immer zu überprüfen und den berechneten Expositionsindizes ist nicht blind zu vertrauen.

Nach dem Einlesen der Datei wird das Signal links oben im Fenster MAGNETISCHE FLUSSDICHTE dargestellt und es muss überprüft werden, ob es korrekt ist und den Erwartungen entspricht.

Über die Eingabefenster ZEIT MIN und ZEIT MAX kann das Signal beschnitten werden. Über die Schaltfläche ZURÜCKSETZEN wird das ursprüngliche Signal wiederhergestellt (Abbildung 4).

<sup>1</sup> <https://de.mathworks.com/help/matlab/ref/readmatrix.html>

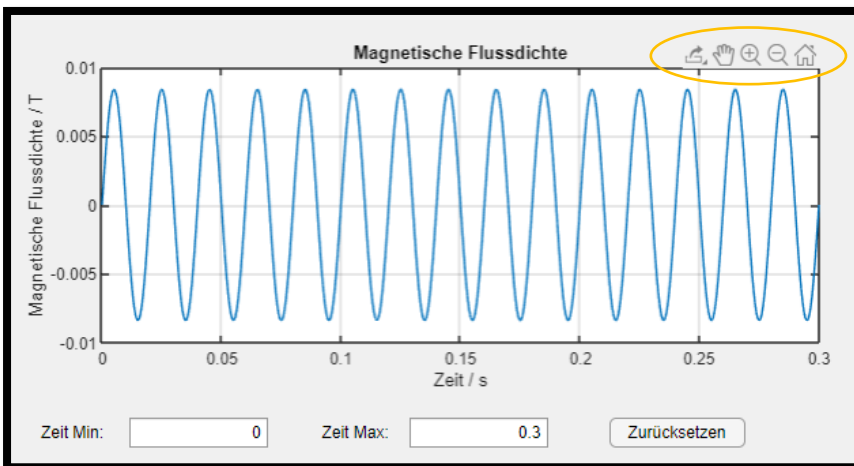


Abbildung 4: Links unten sieht man die Eingabefenster ZEIT MIN und ZEIT MAX zur Beschneidung des Signals. Mit den Schaltflächen oben rechts kann die Darstellung des Signals vergrößert und verschoben werden. Außerdem können Screenshots aufgezeichnet werden.

Bewegt man den Mauszeiger über das Signal, blenden sich rechts oberhalb des Signalfensters zusätzliche Schaltflächen ein. Das Symbol ganz links ermöglicht die Speicherung eines Screenshots der Darstellung. Ein Klick auf das Hand-Symbol wechselt in den Verschiebemodus, in dem die Darstellung des Signals per gedrückter Maustaste verschoben werden kann. Mit den Lupen-Symbolen ist es möglich, das Signal zu vergrößern (Aufziehen eines Rechtecks per gedrückter linker Maustaste) bzw. zu verkleinern (Klick in das Signalfenster) oder per Klick auf das Haus-Symbol zur ursprünglichen Darstellung zurückzukehren. Die Zoom-Modi und der Verschiebe-Modus müssen nach der Anwendung durch einen zweiten Klick wieder deaktiviert werden.

### Anmerkungen zu den aufgezeichneten Signalen

Die Software BEMF verarbeitet, wie gerade gezeigt, eindimensionale magnetische Flussdichten. Magnetfelder sind im Allgemeinen aber dreidimensional. Wie kommt man also zu den eindimensionalen Signalen?

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, magnetische Flussdichten und deren zeitlichen Verlauf für den Arbeitsschutz zu bestimmen. Zum Beispiel kann mit einer Magnetfeldsonde die dreidimensionale Flussdichte gemessen werden. Vielleicht verfügt das Messgerät direkt über eine Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf zu speichern, oder es kann eventuell an ein Digitaloszilloskop angeschlossen werden, das dann die Speicherung ermöglicht. Hat man eine Aufzeichnung der dreidimensionalen Flussdichte, kann die Polarisierung des Feldes geprüft werden. In vielen Fällen handelt es sich um eine lineare Polarisierung, sodass das dreidimensionale Signal durch eine günstige Wahl des Koordinatensystems auf ein eindimensionales Signal reduziert werden kann. Dies lässt sich entweder mithilfe einer Singulärwertzerlegung erreichen oder durch eine Skalierung des zeitlichen Verlaufs einer der drei Achsen auf den gemessenen Maximalwert der Flussdichte.

Letztere Skalierungsmethode findet auch bei der Aufzeichnung von Stromverläufen mittels einer Rogowski-Spule bei Widerstandsschweißanlagen Anwendung. Hierbei geht man davon aus, dass das Magnetfeld dem zugrundeliegenden Strom direkt proportional ist. Zeichnet man also den zeitlichen Stromverlauf auf, so kann dieser anschließend auf die maximale Flussdichte (zusätzlich durch Messung zu bestimmen) skaliert werden. Weitere Hinweise zu dieser Methodik finden sich auch in der DGUV-Information 203-038 [6].

Es gibt also verschiedene Möglichkeiten, wie man zu einem eindimensionalen Verlauf einer magnetischen Flussdichte kommen kann. Für beide Bewertungsmethoden gilt, dass der Expositionsindex proportional zur Amplitude des Signals ist. Das bedeutet, dass der Expositionsindex für einen gegebenen zeitlichen Verlauf im Nachhinein leicht auf eine andere Amplitude skaliert werden kann. Zum Beispiel hat ein Signal mit einer Amplitude von 2 mT einen doppelt so hohen Expositionsindex wie ein Signal (gleichen zeitlichen Verlaufs) mit einer Amplitude von 1 mT (unabhängig von der verwendeten Bewertungsmethode).

Wie immer gilt, dass ein stark verrauschtes Signal natürlich zu einer größeren Unsicherheit bei der Bewertung führt.

### Methode der gewichteten Spitzenwerte – WPM

Nach dem Einlesen des Signals wird automatisch die Methode der gewichteten Spitzenwerte (WPM) angewendet und die zeitlichen Verläufe der gewichteten Signale werden rechts oben im Fenster METHODE DER GEWICHTETEN SPITZENWERTE (WPM) dargestellt (Abbildung 5). Die daraus resultierenden Expositionsindizes finden sich in der Ergebnistabelle in der Zeile WPM.

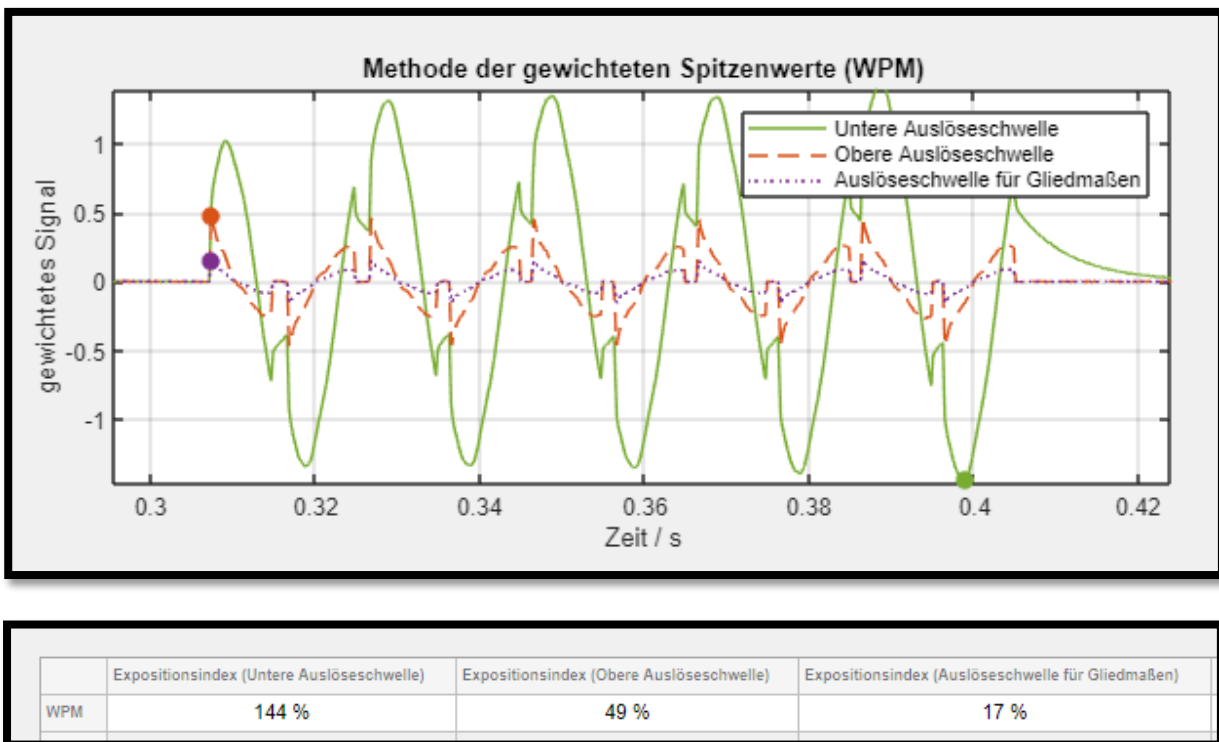


Abbildung 5: Zeitliche Verläufe der drei gewichteten WPM Signale für ein phasenangeschnittenes Sinussignal. Aus den Maxima der Beträge ergeben sich dann die Expositionsindizes (Kreise markieren die Maxima).

Auch hier gilt, dass Sie die Plausibilität der gewichteten Signale überprüfen müssen. Zum Beispiel kann es in den ersten Zeitschritten zu einem starken Überschwingen der WPM-Filter kommen. In diesem Fall lässt sich über das Eingabefenster ZEIT MIN EI der Beginn der gewichteten Signale für das Auffinden der Expositionsindizes verändern (Abbildung 2, unterhalb des WPM Fensters). Die Software überprüft, ob sich die Expositionsindizes verändern würden, wenn die ersten 1 % der gewichteten Signale außen vorgelassen werden. In diesem Fall gibt BEMF eine Warnung aus. Das Problem des Einschwingens der WPM-Filter kann vermieden werden, wenn das Eingangssignal am Anfang für eine kurze Zeit circa Null beträgt.

Auch verrauschte Signale können zu Problemen bei der WPM-Bewertung führen, die sich nur im Verlauf der gewichteten Signale zeigen und weder im Eingangssignal noch im Expositionsindex leicht zu erkennen sind [8].

Zur Berechnung der gewichteten Signale werden digitale Filter verwendet. Hierzu werden die Übertragungsfunktionen der jeweiligen Auslöseschwellen mittels einer bilinearen Transformation und der gegebenen Abtastrate des Signals auf ihr diskretes Äquivalent umgerechnet und dann auf das Eingangssignal angewendet<sup>2</sup>. Abschließend werden die Expositionsindizes aus den Maximalwerten der Beträge der gewichteten Signale berechnet. Die entsprechenden Stellen sind durch Kreise im zeitlichen Verlauf der gewichteten Signale markiert (Abbildung 5).

Die verwendeten Übertragungsfunktionen  $H(s)$  werden im Folgenden dargestellt.

Untere Auslöseschwelle:

$$H(s) = \frac{1}{2T} \cdot \frac{\left(1 + \frac{s}{0.0175 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right) \left(1 + \frac{s}{300 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}{\left(1 + \frac{s}{25 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right) \left(1 + \frac{s}{3000 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}$$

Obere Auslöseschwelle:

$$H(s) = \frac{1}{2T} \cdot \frac{\left(1 + \frac{s}{0.21 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}{\left(1 + \frac{s}{3000 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}$$

Auslöseschwelle für Gliedmaßen:

$$H(s) = \frac{1}{8T} \cdot \frac{\left(1 + \frac{s}{0.1575 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}{\left(1 + \frac{s}{3000 \text{ Hz} \cdot 2\pi}\right)}$$

In der Umgebung der Eckfrequenzen der Übertragungsfunktionen kann es bei der WPM zu Über- oder Unterbewertung kommen [2; 8]. Diese Abweichungen sind in Abbildung 6 für die Obere und Untere Auslöseschwelle dargestellt und können bis zu 3 dB betragen (Faktor  $\sqrt{2}$  bzw.  $1/\sqrt{2}$ ). Die Unterschätzung bei 25 Hz ist in Abbildung 7 beispielhaft dargestellt.

Diese Abweichungen der WPM werden von der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) explizit toleriert. In der EMFV wird die WPM zur Bewertung nicht sinusförmiger Felder empfohlen. Zu den Abweichungen werden in der EMFV keine Angaben gemacht. Die Toleranz gegenüber den Abweichungen lässt sich gegebenenfalls so einordnen: Überbewertungen führen naturgemäß nicht zu einer Gefährdung. Unterbewertungen können zwar eine potentielle Gefährdung bedeuten – bei den Auslöseschwellen sind allerdings Sicherheitsfaktoren (Faktor 2,6) auf die Expositionsgrenzwerte aufgeschlagen und diese Sicherheitsabschläge sind größer als die 3 dB Abweichungen. Daher ist eine Gefährdung unwahrscheinlich. In der Literatur findet sich hierzu allerdings nichts – und in jedem Fall müssen Sie sich über diese Abweichungen bewusst sein, um sie gegebenenfalls berücksichtigen zu können.

---

<sup>2</sup> <https://de.mathworks.com/help/signal/ref/bilinear.html>



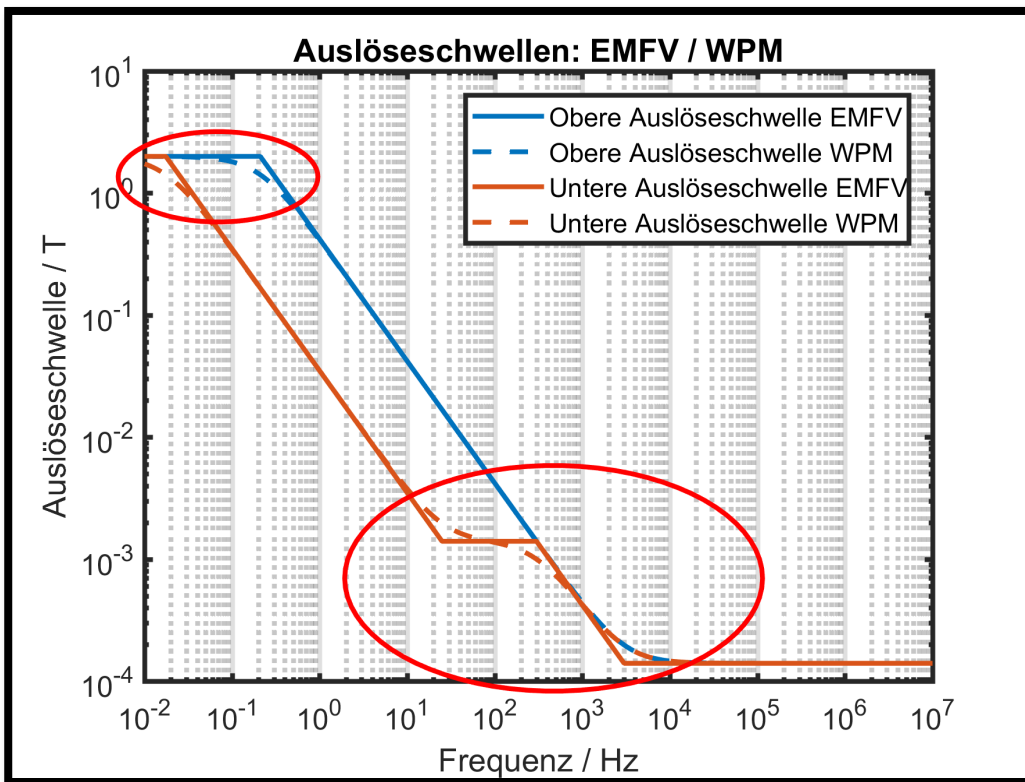


Abbildung 6: Abweichung der WPM von den Auslöseschwellen der EMFV in der Umgebung der Eckfrequenzen der Übertragungsfunktionen.

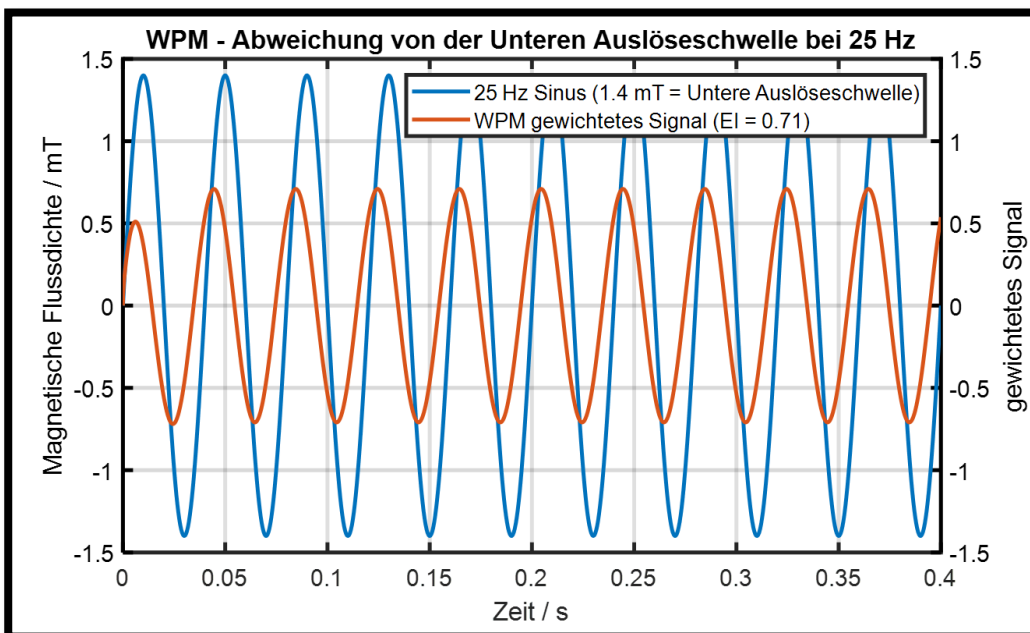


Abbildung 7: In blau ist ein 25-Hz-Sinus-Signal mit einer Amplitude von 1,4 mT dargestellt. Diese Amplitude entspricht gerade der unteren Auslöseschwelle der EMFV und somit sollte der Expositionsindex (EI) gleich 1 (100 %) sein. Das gewichtete Signal (orange Kurve) hat jedoch nur ein Maximum (des Betrags) von 71 %. Das bedeutet: Die WPM unterschätzt dieses Signal.



## Zeitbereichsmethode – ZBM

Die Zeitbereichsmethode (ZBM) basiert auf der Bestimmung einer Äquivalenzfrequenz, anhand der eine Bewertung gemäß den Auslöseschwellen durchgeführt werden kann. Die ZBM in ihrer ursprünglichen Form enthält den sogenannten V-Faktor, einen Gewichtungsfaktor, der Pausenzeiten in Signalen bei der Effektivwertbildung berücksichtigt. Seit Einführung der EMFV sind die zulässigen Werte/Auslöseschwellen jedoch nicht mehr als Effektivwerte, sondern als Spitzenwerte festgelegt. Daher ist der V-Faktor für eine Bewertung nach EMFV nicht anwendbar und somit nicht Bestandteil der BEMF-Software.

Um die Äquivalenzfrequenz und zeitgleich die Amplitude des Signals mittels der ZBM zu bestimmen, müssen Sie in der magnetischen Flussdichte zwei Punkte festlegen, deren x-Koordinaten (also die Zeitpunkte) den Parameter  $\tau_p$  definieren [9].

Die Äquivalenzfrequenz folgt aus  $\tau_p$  mittels  $f = \frac{1}{4\tau_p}$ .

Gemäß ZBM müssen Sie je nach Signalform die Punkte finden, die im kleinsten  $\tau_p$  und folglich in der größten Äquivalenzfrequenz  $f$  resultieren [6; 9]. Die Amplitude, die mit der Auslöseschwelle verglichen wird, berechnet sich dann aus dem Betrag der Differenz der y-Koordinaten (also der magnetischen Flussdichten) der beiden Punkte. Dieses Vorgehen ist für alle Signalformen außer der Exponentialform korrekt.

Bei exponentialförmigen Verläufen muss für  $\tau_p$  der Zeitpunkt gefunden werden, bei dem die Signaländerung zwischen den beiden Punkten  $1 - e^{-\left(\frac{\pi}{2}\right)} \approx 79\%$  der Amplitude erreicht hat. Um eine solche Bewertung durchzuführen, müssen Sie zwei Punkte markieren, die 0 % und 100 % definieren und die Schaltfläche für die exponentielle Bewertung aktivieren (Abbildung 8). Die Software findet dann automatisch die am nächsten liegenden Datenpunkte des Signals und berechnet den 79 % Punkt. Anschließend führt sie die Bewertung durch.

Um die zwei Punkte zu setzen, empfiehlt es sich, das Signal im entsprechenden Ausschnitt zu vergrößern, wie oben geschildert. Hierbei sei angemerkt, dass der Vergrößerungsmodus nach der Vergrößerung durch einen weiteren Klick auf die Lupe mit dem Plus wieder deaktiviert werden muss. Dann können die beiden Punkte über Klicks auf die Schaltflächen PUNKT ... MARKIEREN mit anschließenden Klicks auf die Punkte im Signal markiert werden (Abbildung 9). Alternativ können die X/Y-Werte (Zeit/Flussdichte) auch per Tastatur eingetragen werden. Jede Festlegung eines Punktes hat eine Aktualisierung der Ergebnistabelle der ZBM-Bewertung zur Folge (Abbildung 10).

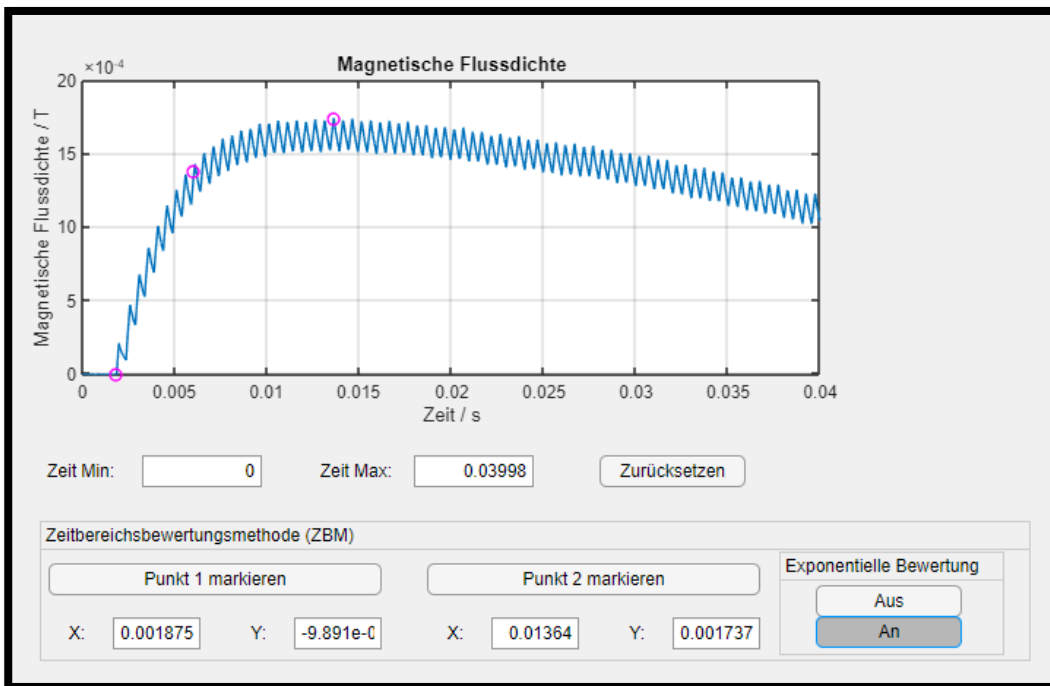


Abbildung 8: Für die Bewertung eines exponentialförmigen Verlaufs, müssen Sie zwei Punkte markieren, die 0 % und 100 % definieren und die Schaltfläche für die exponentielle Bewertung aktivieren. Die Software findet dann automatisch die am nächsten liegenden Datenpunkte, berechnet den 79 % Punkt und markiert diese Stellen mit Kreisen in Magenta.

In der Ergebnistabelle werden in der Zeile ZBM sowohl die Auslöseschwellen für die ermittelte Frequenz dargestellt, als auch die Expositionsindizes, die bei der ZBM als Verhältnis zwischen Amplitude und Auslöseschwelle definiert sind. Durch das händische Platzieren der zwei Punkte ergibt sich automatisch eine gewisse Varianz in den ZBM-Ergebnissen.

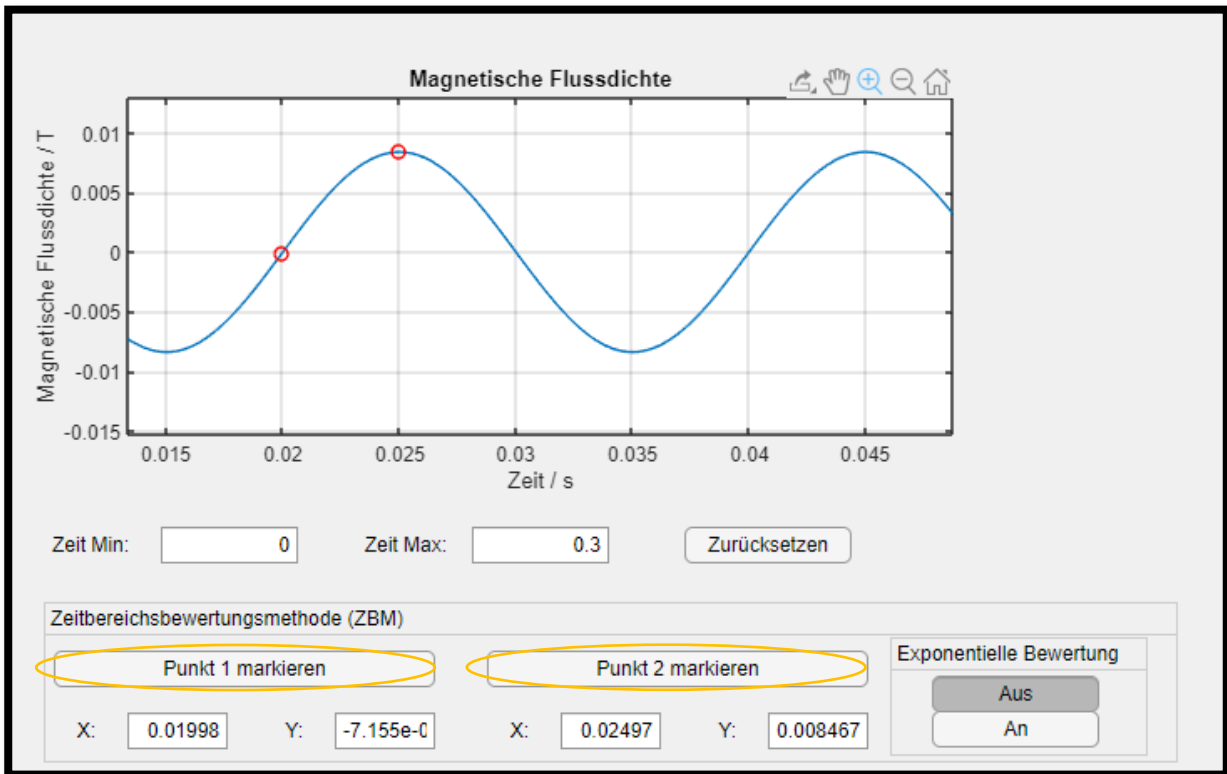


Abbildung 9: Nachdem der gewünschte Ausschnitt vergrößert wurde (Lupe rechts oben), können nach dem Auswählen der markierten Schaltflächen im Signal durch Mausklicks Punkte gesetzt werden. Alternativ können die Punkte als X/Y-Werte eingegeben werden.

	Expositionsindex (Untere Auslöseschwelle)	Expositionsindex (Obere Auslöseschwelle)	Expositionsindex (Auslöseschwelle für Gliedmaßen)	Frequenz	Amplitude
WPM	573 %	100 %	34 %	-	-
ZBM	594 % ( 1.4 mT )	101 % ( 8.286 mT )	34 % ( 24.86 mT )	50.69 Hz	8.309 mT
EMFV	1.4 mT	8.4 mT	25.2 mT	50 Hz	-

Abbildung 10: Das ZBM-Ergebnis für die Punkte aus Abbildung 10. Das Eingangssignal ist ein 50-Hz-Sinus. Zum Vergleich sind die EMFV-Werte für 50 Hz auch angegeben. Die Unterbewertung der unteren Auslöseschwelle durch die WPM resultiert aus der 25-Hz-Eckfrequenz der Übertragungsfunktion (siehe Abbildung 6).

## Anmerkungen

Sind die berechneten Expositionsindizes von WPM und ZBM stark unterschiedlich, so ist zu überprüfen, woran das liegen kann. Hierbei kann auch das Institut für Arbeitsschutz (IFA) unterstützen. Im Sinne einer konservativen Worst-Case Betrachtung kann im ersten Schritt der größere der beiden Werte zur Bewertung herangezogen werden.

Zu Dokumentationszwecken sollte mittels der Schaltfläche BILDSCHIRM SPEICHERN eine Aufnahme des Bildschirms angefertigt und der Gefährdungsbeurteilung beigelegt werden.

Bei Fragen oder Verbesserungsvorschlägen wenden Sie sich bitte an das IFA.

## Kontakt

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

Internet: <https://www.dguv.de/webcode.jsp?query=d1172823>

E-Mail: [bemf@dguv.de](mailto:bemf@dguv.de)

## Literaturverzeichnis

- [1] [Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern](#) vom 15. November 2016 (BGBl. I S. 2531), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 30. April 2019 (BGBl. I S. 554) geändert worden ist
- [2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: [Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields](#) (1 Hz to 100 kHz). Health Physics 99 (2010) Nr. 6, S. 818-836
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: [Guidance on Determining Compliance of Exposure to Pulsed and Complex Non-Sinusoidal Waveforms below 100 kHz with ICNIRP Guidelines](#). Health Physics 84 (2003) Nr. 3, S. 383-387
- [4] Europäische Kommission: Nicht verbindlicher Leitfaden mit bewährten Verfahren im Hinblick auf die Durchführung der Richtlinie 2013/35/EU Elektromagnetische Felder. [Band 1: Praktischer Leitfaden](#) (2014)
- [5] Heinrich, H.: Assessment of Non-Sinusoidal Pulsed or Intermittent Exposure to Low Frequency Electric and Magnetic Fields. Health Physics 92 (2007) Nr. 6, S. 541-546
- [6] [DGUV Information 203-038: Beurteilung magnetischer Felder von Widerstandsschweißeinrichtungen](#) (2006)
- [7] Hannah Heinrich und EMF-Expertengruppe des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales: Forschungsbericht 457 Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz – Bewertung nicht-sinusförmiger und gepulster Felder. [Teil 1: Anpassung der Zeitbereichs-Bewertungsmethode \(ZBM\) für "Gepulste Felder" an die Rahmenbedingungen der Richtlinie 2013/35/EU](#). Hrsg.: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), ISSN 0174-4992 (2015)
- [8] Soyka, F.: Bewertungsverfahren für gepulste magnetische Felder im Vergleich. Sicher ist Sicher 2 & 3 (2020), S. 77-81 & 134-138
- [9] [DGUV Vorschrift 15: Elektromagnetische Felder](#) (2001)