

03.20

In Kooperation mit:



71. Jahrgang
März 2020
ISSN 2199-7330
1424

sicher ist sicher

www.SISdigital.de



MaxiFlex[®]

ULTIMATE[™]



31%

KÜHLERE HÄNDE ALS IN GÄNGIGEN HANDSCHUHEN¹



¹ Vergleich zwischen MaxiFlex Ultimate[™] und MaxiFlex Ultimate[™] mit der AID-APT[™] Cooling Technology

Wie gut dämmt der Gehörschutz? 116
Biologische Arbeitsstoffe:
Einstufung auf EU-Ebene
überarbeitet 126

PSA: Besonders der Kopf muss
vor Hitze und UV-Strahlung
geschützt werden! 158

ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG



FLORIAN SOYKA

Bewertungsverfahren für gepulste magnetische Felder im Vergleich (Teil 2 von 2)

Hohe elektrische Ströme erzeugen starke Magnetfelder, zum Beispiel beim Widerstandsschweißen. Um die Sicherheit am Arbeitsplatz gewährleisten zu können, müssen diese Magnetfelder im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung bewertet werden. Immer häufiger handelt es sich um leistungsgeregelte, gepulste Felder, für deren Bewertung spezielle Methoden nötig sind. Im Artikel werden zwei solche Methoden verglichen und es werden Probleme diskutiert, welche in der Praxis beim Messen und Bewerten auftreten können.

Teil 1 dieses Beitrags stellte die Bewertungsmethoden für gepulste magnetische Felder allgemein vor. Im folgenden Teil 2 wird auf die Unterschiede zwischen Zeitbereichsmethode (ZBM) und Weighted Peak Method (WPM) sowie auf die Schwierigkeiten bei vollautomatischer Messung und Bewertung eingegangen.

Unterschiede zwischen Zeitbereichsmethode (ZBM) und Weighted Peak Method (WPM)

Im Gegensatz zur vollautomatisierten WPM, muss der Nutzer bei der nicht automatisierten ZBM jeden Schritt von Hand durchführen und sich mit dem Messsignal auseinandersetzen. Der Vorteil ist, dass dadurch bei der ZBM der Nutzer integraler Bestandteil der Bewertung ist und die

einzelnen Schritte plausibilisieren kann. Dies erfordert Fachkenntnisse über die Messung und die Bewertung und ein Verständnis darüber welche Signalanteile besonders reizwirksam sind und welche nicht. Bei komplexen Signalverläufen mit vielen unterschiedlichen Frequenzkomponenten kann es jedoch sehr langwierig sein die ZBM manuell anzuwenden, bis die für die Bewertung

relevanteste Komponente gefunden ist. Hierfür wäre eine Software zur Analyse hilfreich. Dies sollte jedoch wiederum nicht dazu führen, dass der fachkundige Nutzer die Auswertung nicht mehr überprüft.

Möchte man jede mögliche, in der Praxis vorkommende Situation abdecken, ist die Messung und Bewertung elektromagnetischer Felder ein sehr komplexes Thema, welches sich nur schwer bis gar nicht vollständig automatisieren lässt.

Vorteile der WPM sind ihre schnelle Ausführbarkeit und die, im Vergleich zur ZBM, objektivierte Frequenzanalyse durch den Einsatz von Filtern. Bei der ZBM muss der Nutzer die vier vorgegebenen Signalformen im Messsignal wiederfinden, was ein subjektiver Prozess ist und daher unterschiedliche Ergebnisse bei unterschiedlichen Nutzern hervorbringen kann. Dieses Problem existiert in der Form bei der WPM nicht. Jedoch kann es bei der WPM dazu kommen, dass Messartefakte oder Rauschen die Bewertung signifikant verfälschen. Im besten Fall bemerkt der Nutzer dies und korrigiert das Messsignal vor der Bewertung. Diese Korrektur ist dann aber auch ein subjektiver Einsatz von Filtern, bis der Signalverlauf den Vorstellungen des Nutzers entspricht. Insofern haben beide Methoden ein ähnliches Problem, es wird nur an unterschiedlichen Stellen sichtbar.

Die Anwendung einer transparent implementierten WPM mit der Möglichkeit der Plausibilisierung der einzelnen Schritte durch den fachkundigen Nutzer stellt eine zweckmäßige Bewertungsmethode dar. Mit der ZBM verhält es sich, bei fachkundiger Nutzung, ähnlich. Beide Methoden können bei falschem Einsatz oder mit qualitativ schlechten Messsignalen als Eingangsgrößen, zu unzulässigen Bewertungen führen.

Bei der ZBM ist für die finale Bewertung nur die Äquivalenzfrequenzkomponente mit der höchsten Reizwirkung in Bezug auf die Auslöseschwellen relevant, d.h. es kommt zu keinerlei Addition von verschiedenen Bewertungen von einzelnen Frequenzkomponenten. Dies ist bei der WPM anders und kann daher zu Unterschieden in der Bewertung führen, wobei die WPM in der Regel dadurch konservativer bewertet. Bei, zum Beispiel, zwei Einzelsignalen unterschiedlicher Frequenz mit Amplituden, welche gerade den oberen Auslöseschwellen für ihre jeweilige Frequenz entsprechen, ist das Maximum des gewichteten WPM Signals gleich 200% (Abbildung 2). Mit der ZBM werden beide Signale einzeln bewertet und somit ist die Exposition gleich der oberen Auslöseschwelle.

Aufgrund eines zusätzlich möglichen Gewichtungsfaktors in der ZBM (der sogenannte V-Faktor, [4]) kann es bei der Bewertung zu Unterschieden in der Größenordnung des V-Faktors im

Vergleich zur WPM kommen. Direkte Vergleiche zwischen den Methoden sollten daher nur mit einem V-Faktor von Eins durchgeführt werden und führen dann oft zu vergleichbaren Ergebnissen [12, 13]. Es gibt jedoch auch Untersuchungen welche, bei manchen Signalformen, selbst mit $V=1$ große Unterschiede in den Bewertungen der beiden Methoden finden [14].

Bei Anwendung der WPM sollte der Nutzer möglichst in der Lage sein den zeitlichen Verlauf des gewichteten WPM Signals im Vergleich zum Eingangssignal zu betrachten, um das Ergebnis plausibilisieren zu können. In der Praxis hat sich gezeigt, dass es dadurch ermöglicht wird Messartefakte, welche zu Bewertungsartefakten führen können, zu erkennen. Desweitern sollte der Nutzer sich den Abweichungen von bis zu 3 dB (Faktor 2) in bestimmten Frequenzbereichen bewusst sein, um diese bei der WPM Bewertung berücksichtigen zu können (Abbildung 3). Konkret bedeutet dies, dass bei Signalanteilen in diesem Frequenzbereich die Bewertung genau geprüft werden sollte, z.B. durch einen Vergleich mit der ZBM, um dann eine nachvollziehbare und dokumentierte Bewertungsentscheidung zu treffen. In Grenzfällen ist es leider nicht einfach möglich eine klare „Ja/Nein“ Entscheidung zu treffen, da mehrere Methoden gesetzlich erlaubt sind und auch aufgrund ihrer Parametrierung unterschiedliche Ergebnisse liefern können. In diesen Grenzbereichen ist es daher umso wichtiger, eine durch Fachkenntnisse untermauerte Bewertung durchzuführen. Dieser Sachverhalt wird zum Teil dadurch relativiert, dass in den Auslöseschwellen

DER AUTOR



Dr. Florian Soyka
Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sachgebiet Elektromagnetische Felder, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) Fachbereich Unfallprävention: Digitalisierung – Technologien, Referat Maschinentestsicherheit, Industrial Security und Implantate
florian.soyka@dguv.de

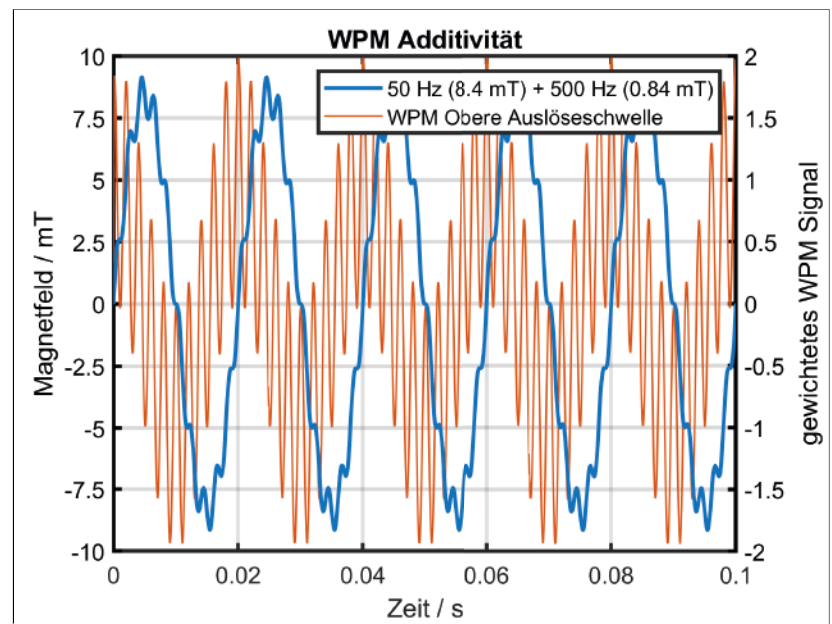


Abb. 2: Beispielhafte Darstellung der Additivität der WPM. Als Eingangssignal wird eine Überlagerung eines 50 Hz und eines 500 Hz Sinus genutzt. Beide Einzelsignale haben jeweils eine Amplitude, welche gerade der oberen Auslöseschwelle für ihre jeweilige Frequenz entspricht. Damit ist das Maximum des gewichteten WPM Signals bei $2=200\%$. Mit der ZBM werden beide Signalanteile einzeln bewertet und somit ist die Exposition gleich der oberen Auslöseschwelle.

Sicherheitsfaktoren mit einberechnet sind. Dies sollte jedoch nicht dazu führen, automatisierten Messung und Bewertung ungeprüft zu vertrauen.

Prinzipiell ist auch ein gestaffeltes Vorgehen mit einer Kombination aus verschiedenen Verfahren denkbar. Zum Beispiel eine erste Bewertung mittels einer ins Messgerät integrierten WPM. Ist die Grenzwertausschöpfung (der Exposure Index) gering, befindet man sich also nicht im Grenzbereich, dann liegt man sehr wahrscheinlich auch mit der Zeitbereichsmethode nicht über den Auslöseschwellen. Befindet man sich jedoch im Grenzbereich, so kann es sinnvoll sein die WPM Bewertung schrittweise zu plausibilisieren, um zum Beispiel mittels des gewichteten WPM Signals die kritischen Stellen im zu überprüfenden Eingangssignal zu finden. Alternativ könnte man auch mit der ZBM bewerten, um ein besseres Verständnis für die vorliegende Situation zu gewinnen. Kommt man damit nicht zu einem klaren Ergebnis, sollte man erfahrene Experten zur Unterstützung hinzuziehen. Diese können dann, eventuell auch mit Simulationsberechnungen, die Expositionssituation genauer analysieren.

Schwierigkeiten bei vollautomatischer Messung und Bewertung

Wenn die Messung vollautomatisch abläuft und das Bewertungsergebnis nur noch aus einer „grünen oder roten Lampe“ am Messgerät besteht, wird es zu vielen Fehleinschätzungen kommen, von denen einige hier beispielhaft dargestellt werden.

Betriebszustände

Ein auf den ersten Blick trivialer Faktor ist, ob die zu bewertende Anlage überhaupt eingeschaltet ist. Es zeigt sich in der Praxis jedoch, dass nicht fachkundiges Personal, große Schwierigkeiten damit haben kann den Betriebszustand einer unbekannt, zu bewertenden Maschine einzuschätzen. Der Signalverlauf einer Messung kann bei dieser Einschätzung sehr hilfreich sein und zur Plausibilisierung beitragen. Wenn der Signalverlauf jedoch nicht geprüft wird, bzw. am Messgerät gar nicht eingesehen werden kann, da dort nur das Ergebnis der Bewertung als Exposure Index anliegt, kann es in diesem Fall schnell zu einer Fehlbewertung kommen.

Wichtige Betriebszustände sind die Ein- und Ausschaltphasen, da es hier in der Regel zu besonders hohen magnetischen Feldstärken kommen kann, welche nur von kurzer Dauer sind. Generell können gepulste Felder teilweise nur Bruchteile von Sekunden auftreten. Um in diesen Fällen einschätzen zu können, ob man den relevanten Impuls gemessen hat, ist eine Durchsicht des Signalverlaufs durch eine Fachkraft, welche den Kontext kennt, unumgänglich. Ein automatisiertes Messgerät könnte die kurzen Impulse eventuell einfach nicht erfasst haben, da z.B. in der Totzeit bei einer Messbereichsumschaltung das relevante Signal nicht aufgezeichnet wurde. Daher sollte bei der Messung von gepulsten Feldern, die automatische Bereichsumschaltung abgeschaltet werden und manuell ein passender Messbereich eingestellt werden. Natürlich kann und wird ein automatisches System in der Regel sicher funktionieren, es besteht jedoch eine nicht zu vernachlässigende Chance bei zeitlich gepulsten Signalen das Signal nicht oder nur teilweise zu erfassen und deshalb eine fehlerhafte Bewertung durchzuführen. Daher muss das Signal vor der Bewertung auf Plausibilität geprüft werden.

Überlagerung von Feldquellen

In einem Betrieb kann es leicht vorkommen, dass mehrere Feldquellen nahe zusammenstehen. Auch hier ist für den Arbeitsschutz wieder der Gesamtkontext von großer Wichtigkeit, welcher von einem vollautomatischen Bewertungssystem nicht berücksichtigt werden kann. Verschiedene Kombinationen von Betriebszuständen der Maschinen müssen getestet werden. Es ist wichtig den EMF Einfluss verschiedener Maschinen in Relation setzen zu können. Hier kann ein vollautomatisches Bewertungssystem dazu verleiten, die komplexe Situation nicht genau zu analysieren; oder schlimmer, es bietet vielleicht gar nicht die Möglichkeit die der Bewertung zugrunde liegenden Daten überhaupt einzusehen.

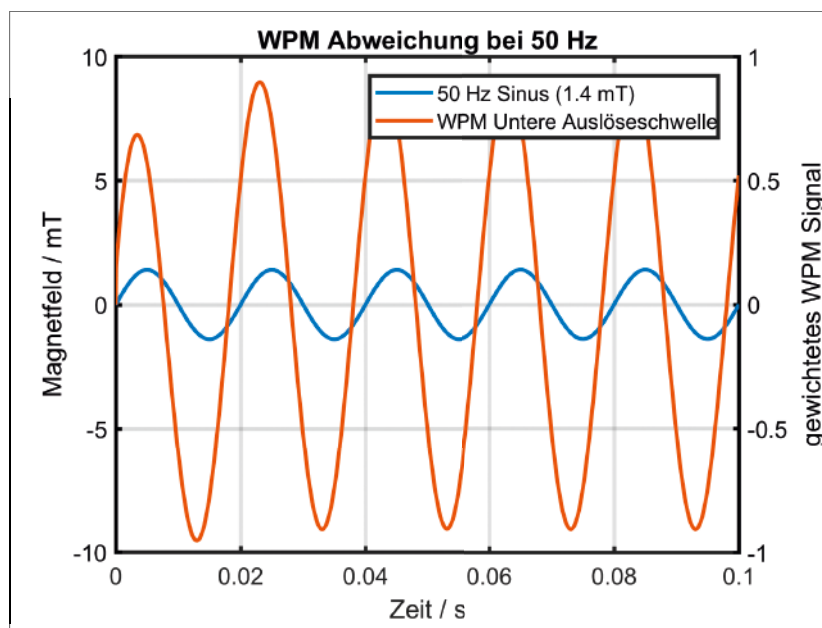


Abb. 3: Zur Veranschaulichung der Abweichungen von bis zu 3 dB wurde ein 50 Hz Sinus Signal mit 1,4 mT Amplitude mittels der WPM bewertet. Die 1,4 mT Amplitude entsprechen laut EMF Verordnung genau der unteren Auslöseschwelle, d.h. hier sollte das gewichtete WPM Signal ein Maximum von 1 = 100% aufweisen. Stattdessen tritt aufgrund der kontinuierlichen Filter eine Unterbewertung des Magnetfeldes auf.

Messsonden

Bei Messungen von Magnetfeldern, welche von starken Stromflüssen erzeugt werden (z.B. beim Schweißen), kann es durch die Gegeninduktivität der Messspule in der Messsonde zu Signalverläufen kommen, welche die vorliegende Expositionssituation nicht korrekt wiedergeben (siehe Abbildung 4). Wenn möglich sollte in solchen Situationen zusätzlich zum Magnetfeld noch der Stromfluss mittels einer Rogowski Spule aufgezeichnet werden, um gegebenenfalls mit einer Kombination aus beiden Größen eine Bewertung vornehmen zu können. Würde man nur das gemessene Magnetfeld automatisiert bewerten, könnte dies zu einer Fehlbewertung führen. Eine automatisierte Korrektur dieses Messartefaktes ist nur bedingt möglich und hängt stark von der Feldquelle und den Messbedingungen ab. Es benötigt also Fachkenntnis beim Messen, um den relevanten Signalanteil zu extrahieren. Ein kombiniertes Mess- und Bewertungssystem kann dazu verleiten, Messung und Bewertung nicht mehr getrennt zu analysieren und zu plausibilisieren.

Rauschen

Eine weitere wichtige Thematik ist der Einfluss von jeglichem Signalrauschen auf die Bewertung. Die Entscheidung ob ein gewisser Signalanteil als Rauschen und damit als nicht relevant für die Bewertung klassifiziert wird beruht auf Kriterien, welche der Fachkundige auf Basis seiner Kontextinformationen, festlegt. Das Rauschen kann dann zum Beispiel durch Filter entfernt werden, oder, wie bei der ZBM, vom Fachkundigen in der manuellen Auswertung bewusst vernachlässigt

werden. Bei einer Implementation eines Filters in einem Messgerät, werden die Parameter des Filters meist im Vorfeld eingestellt und es benötigt Fachwissen und Erfahrung um den Einfluss der Filter zu verstehen. Eine vollautomatische Bewertung verleitet dazu den Einfluss der Filter auf das Ergebnis zu ignorieren. Dies kann zu erheblichen Problemen führen, welche beispielhaft illustriert werden sollen. Der obere Teil von Abbildung 5 zeigt ein 50 Hz Sinus Signal mit 8,4 mT Amplitude, was gerade der oberen Auslöschschwelle entspricht [1]. Daher liegt der Expositionsindex bei 100%. Unten im Bild ist das gleiche

Wenn die Messung vollautomatisch abläuft und das Bewertungsergebnis nur noch aus einer „grünen oder roten Lampe“ am Messgerät besteht, wird es zu vielen Fehleinschätzungen kommen ...

Signal mit 1% Rauschen zu sehen (uniform verteilte Zufallszahlen zwischen +/- 0,084 mT mit 1 µs Abtastzeit). Bei einer ZBM Bewertung würde ein Nutzer das Rauschen visuell potenziell gar nicht wahrnehmen und das Signal als einen 50 Hz Sinus einordnen. Eine vollautomatisierte Bewertungsroutine, ohne eine entsprechende Vorfilterung des Signals, würde auch das Rauschen mitbewerten. Durch die Additivität der WPM Methode (vgl. Abbildung 2) liegt die maximale Amplitude des gewichteten WPM Signals damit über 1,5 und es kommt zu einer Überbewertung von mehr als 50%. In einer vollautomatischen Bewertung könnte dieser Effekt sehr leicht übersehen werden; selbst wenn sich der Anwender das

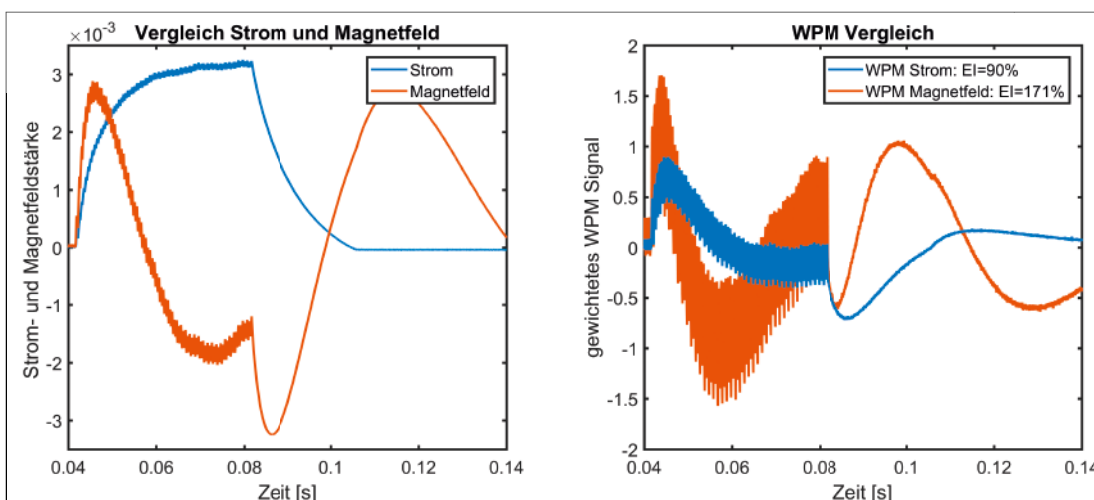


Abb. 4: Links – Vergleich zwischen gemessener Stromstärke und dem daraus resultierenden Magnetfeld. Dem exponentiellen Anstieg des Stroms ist ein oszillierendes Signal überlagert. Obwohl der Strom nach circa 0,1 s auf null abfällt, erfasst die B-Feld Sonde noch ein starkes Magnetfeld. Dieses ist nicht real, sondern ein Messartefakt der Spule, welches Prinzip bedingt auftritt (Gegeninduktivität und Nachschwingen). Rechts – Unter Annahme der Proportionalität von Strom und daraus resultierendem Magnetfeld, kann der Stromverlauf auf die maximal gemessene Magnetfeldstärke skaliert und so das Stromsignal als Magnetfeld interpretiert werden. Damit lässt sich die WPM auf den Strom anwenden und ein Vergleich der erzielten Bewertungen wird ermöglicht. Es zeigt sich eine Überbewertung von 81 % des Magnetfeldsignals gegenüber dem Stromsignal.

Eingangssignal angeschaut hat. Es ist also auch wichtig den zeitlichen Verlauf des gewichteten WPM Signals zu plausibilisieren und nicht nur den für die Endbewertung relevanten Wert des Exposure Index.

In dem hier beschriebenen Fall könnte man unterschiedlich vorgehen, wenn man auf das hochfrequente Rauschen aufmerksam wird und entscheiden kann, dass es nicht bewertungsrelevant ist. Man könnte das Signal vorfiltern, um das hochfrequente Rauschen zu unterdrücken und es dann wieder mit der WPM bewerten. Sieht der zeitliche Verlauf des gewichteten WPM Signals nun nicht mehr verrauscht aus, kann man diese Bewertung akzeptieren. Oder man könnte das Signal mit der ZBM bewerten und ein 50 Hz Sinus Signal mit der gemessenen Amplitude zur Bewertung annehmen. In diesem Fall filtert man implizit das Signal, in dem man sich dazu entscheidet das Rauschen zu vernachlässigen. Beide Varianten führen zu einem korrekten Ergebnis. Egal welcher Weg gewählt wird, es ist wichtig das Vorgehen und die getroffenen Entscheidungen zu dokumentieren. Selbst wenn man entscheidet, dass das vorliegende Signal zu verrauscht ist, um es ordentlich bewerten zu können, stellt dies einen zielführenden Schritt in die richtige Richtung einer korrekten Bewertung dar. Dieser Schritt ist nur möglich, wenn die Signale durch eine fachkundige Person bewertet werden können.

Aus unserer praktischen Erfahrung können insbesondere Messkabel bzw. Verlängerung zwischen der Messsonde und dem Grundgerät bei einer ungünstigen Leitungsführung zur Einkopplung von Störsignalen bzw. Rauschen führen, die hier von großer Bedeutung sind.

Fazit

Abschließend kann gesagt werden, dass die Messung und Bewertung von elektromagnetischen Feldern ein komplexes Thema ist. Daher ist eine nicht vollständig automatisierte Bewertung durch eine fachkundige Person in den Bereichen nahe der Auslöseschwellen zu empfehlen. Hierbei können beide Methoden, WPM und ZBM, zum Einsatz kommen und sich potenziell ergänzen. Eine erste, konservative Bewertung kann relativ schnell mittels der Weighted Peak Method durchgeführt werden. Wobei vom Nutzer geprüft werden muss, ob das relevante Signal wirklich aufgezeichnet wurde und das gewichtete WPM Signal keine Artefakte enthält. Liegt das Ergebnis nahe der Auslöseschwelle, kann die Bewertung zur Sicherheit zusätzlich mit der Zeitbereichsmethode durchgeführt werden, um dann eine fundierte Entscheidung treffen zu können. Eine fachkundige Plausibilitätsprüfung der Messungen und Bewertungen ist immer zu empfehlen.

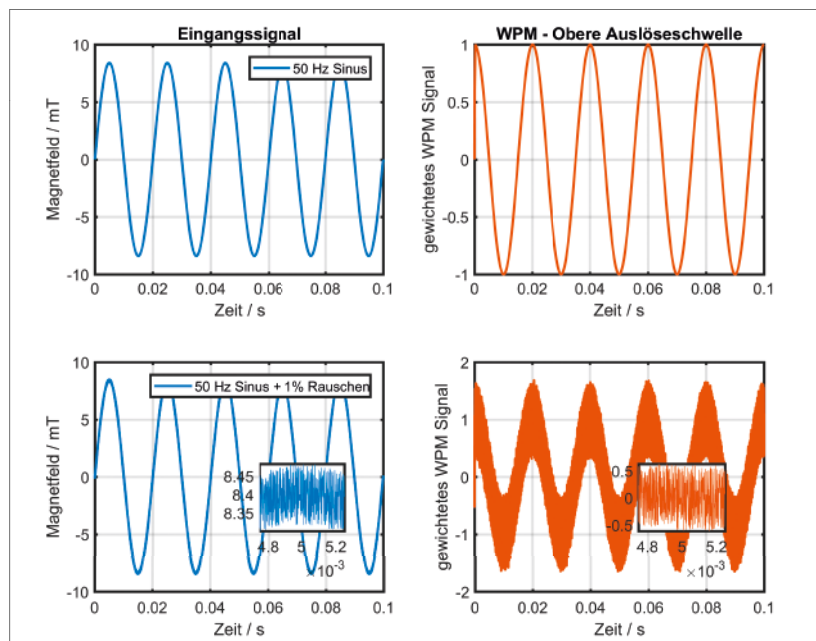


Abb. 5: Links oben ist ein 50 Hz Sinus Signal mit einer Amplitude, welche genau der oberen Auslöseschwelle entspricht, abgebildet. Rechts oben ist das dazugehörige gewichtete WPM Signal dargestellt, welches ein Maximum von 100% aufweist. Das Signal links unten setzt sich aus dem gleichen 50 Hz Sinus plus einem hochfrequenten Rauschen zusammen. Visuell lässt sich der Unterschied im Eingangssignal kaum erkennen, daher ist ein Ausschnitt vergrößert dargestellt. Der Unterschied im zeitlichen Verlauf des gewichteten WPM Signals (rechts unten) ist deutlich. Aufgrund der Additivität der WPM hat das hochfrequente Rauschen einen signifikanten Einfluss auf das gewichtete WPM Signal und den Exposure Index.

LITERATUR

- [1] Bundesministerium für Arbeit und Soziales, „Arbeitschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (EMFV)“, 2016.
- [4] Hannah Heinrich, E.M.F.-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,“ 2015.
- [12] H. Keller, „The Weighted Peak Method in the Time Domain Compared With Alternative Methods for Assessing LF Electric and Magnetic Fields,“ Health Physics, Bd. 113, pp. 54-65, 7 2017.
- [13] D. Brylka, „Vergleich von Bewertungsverfahren nach EMFV für nicht sinusförmige Magnetfelder,“ in Nicht-ionisierende Strahlung in Arbeit und Umwelt: 50. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V., 2018.
- [14] G. Schmid und R. Hirtl, „Vergleich unterschiedlicher Bewertungsverfahren für Magnetfeldexpositionen mit nicht-sinusförmigem Zeitverlauf im Zuge der Umsetzung der EMF-Arbeitnehmerschutzrichtlinie 2013/35/EU,“ in Nichtionisierende Strahlung in Arbeit und Umwelt: 50. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V., 2018.