



Bewertung der Exposition durch Betrachtung des spektralen und zeitlichen Verlaufs von gepulsten magnetischen Feldern mit dem ELT-400

Einleitung

Der ELT-400 ist ein Messgerät zur Messung niederfrequenter magnetischer Felder und zur Bewertung auftretender Feldexpositionen an Arbeitsplätzen und in öffentlichen Bereichen. Produktionsanlagen in der Industrie wie beispielweise Schweiß- oder Induktionsanlagen sowie EMV-Prüflabors der Geräte- und Automobilhersteller sind typische Einsatzgebiete des ELT. Die einfache Bedienung ermöglicht es in kurzer Zeit und mit wenig Aufwand präzise Messergebnisse zu erzielen und Expositionsbewertungen nach gängigen Standards und Richtlinien wie z. B. ICNIRP 1998/2010, 2013/35/EU, IEC/EN 62233 oder IEC 62311 durchzuführen. Es gibt aber auch zahlreiche Anwendungen, die eine tiefere Analyse der magnetischen Felder erfordern, wobei der spektrale- und der zeitliche Verlauf, beispielweise gepulster Felder, betrachtet wird. Der Analogausgang des ELT bietet diese Möglichkeit durch Anschluss eines Digitaloszilloskops. Als einziges Gerät auf dem Markt kann der ELT neben dem Feldstärke-signal auch das nach einem Standard bewertete Signal über den Analogausgang ausgeben. Das eröffnet interessante Analyse-möglichkeiten, die in dieser Application Note erläutert werden. Einsatzgebiete für die hier beschriebenen Verfahren sind u.a. die Bewertung von Schweißanlagen im produktiven Betrieb und die Optimierung der magnetischen Exposition in der Entwicklungsphase von Elektrofahrzeugen.

Der analoge Signalausgang des ELT-400

Der ELT-400 verfügt über einen dreikanaligen Analogausgang für die Raumachsen X, Y und Z. In der **Betriebsart Feldstärke** sind die Ausgangsspannungen der Analogausgänge proportional zu der an der Sonde anliegenden magnetischen Feldstärke (bzw. der magnetischen Flussdichte) und können somit zur Messung der Feldkomponenten X, Y und Z eingesetzt werden.

In der **Betriebsart Exposure STD (Weighted Peak)** wird eine Bewertung des gemessenen Magnetfeldes nach einem ausgewählten Standard vorgenommen und das Ergebnis als Expositionsindex in Prozent angezeigt, was der Grenzwertausschöpfung entspricht. Auch der Analogausgang wird mit der Transferfunktion des ausgewählten Standards bewertet. Die Signalausgänge werden dazu auf die Ausgänge der Bewertungsfilter geschaltet (Scope X, Y, Z, Abbildung 1). Die Ausgangsspannung ist im bewerteten Modus proportional zum Expositionsindex (EI) – für jede Achse separat.

Bei den meisten Standards kommt der Peak Detektor zum Einsatz (Weighted Peak Methode). Dieser Spitzenwert wird dann zur Anzeige gebracht. Die Analyse des bewerteten Signals zeigt, welche Signalanteile wirklich kritisch sind und den Expositionsindex entscheidend beeinflussen. In Abbildung 1 ist das Blockschaltbild des ELT-400 dargestellt. Die Spezifikationen der Ausgangsspannungen und der Achsenzuordnungen sind in der Bedienungsanleitung enthalten. Mit dem Low Cut Filter 1/10/30 Hz kann die untere Frequenzgrenze der Messung eingestellt werden. Bei magnetischen Feldern mit einem Gleichanteil (DC) sollte unbedingt die 1 Hz Einstellung verwendet werden, um Signalverzerrungen zu vermeiden.

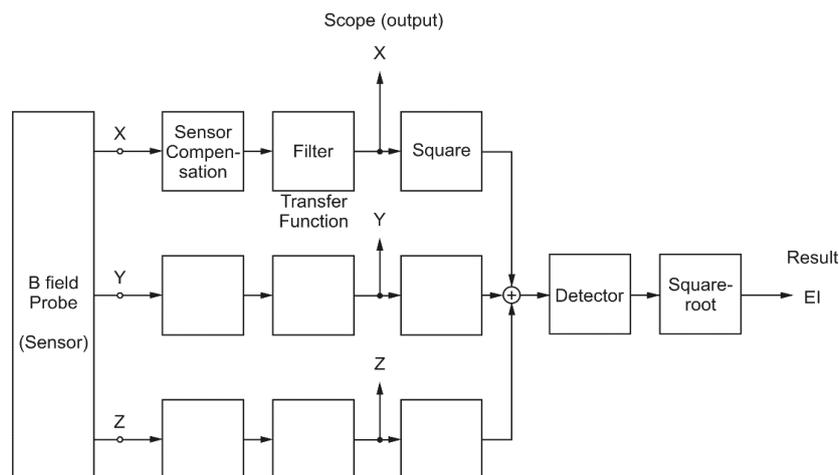


Abbildung 1: Die Signalausgänge werden im bewerteten Modus nach dem Bewertungsfilter abgegriffen

Signalaufzeichnung

Zur Signalaufzeichnung können handelsübliche Oszilloskope verwendet werden. Für tiefgehende Untersuchungen empfiehlt sich ein Gerät mit eingebauter FFT, um die Signale auch im Frequenzbereich darstellen zu können. Um die 3 Achsen und gegebenenfalls ein zusätzliches Trigger-Signal (z. B. den Schweißstrom durch eine Rogowski Spule) aufzuzeichnen, wird ein 4-kanaliges Gerät benötigt (z.B. PicoScope 4424) – dies vereinfacht das Verfahren, ist aber für die Signalanalyse nicht zwingend notwendig. Prinzipiell reicht auch die Aufzeichnung eines Kanals (sofern dieser nicht aus dem Feld gedreht ist).

Zum Anschluss eines Oszilloskops an den ELT-400 ist ein passendes Anschlusskabel (Artikelnummer 2260/90.80, D-Sub15 auf 3x BNC) als Zubehör erhältlich. Abbildung 2 zeigt die zur Signalaufnahme und Analyse notwendigen Geräte.



Abbildung 2: Messgerät ELT-400 mit USB-Datenlogger PicoScope 4424 und angeschlossenem Laptop

Analyse des bewerteten Signals

Da das bewertete Ausgangssignal des ELT-400 die Grenzwertkurve des Standards schon beinhaltet, können aus den Kurvenverläufen Schlüsse auf die Exposition gezogen werden, die mit einem nicht bewerteten Signal, wie man es mit einem Feldmessgerät aufnimmt, nicht oder nur schwer möglich wären.

Analyse im Zeitbereich

Vor allem bei gepulsten Feldern können auch kurze Zeitabschnitte im Feldverlauf den Expositionsindex bestimmen und zu einer Überschreitung der zulässigen Grenzwerte führen. Die Analyse des bewerteten Signals im Zeitbereich hat das Ziel eben diese Signalanteile (Flanken, Spikes...) zu identifizieren.

Die Analyse im Zeitbereich erfolgt in folgenden Schritten:

1. Aufnahme des Feldes oder des Stromes, der das Feld erzeugt, damit man die Kurvenform des Feldes kennt – es muss nicht das Gesamtfeld sein, es reicht dabei eine Komponente (x, y oder z).
Weiterführende Information zur Addition der Feldkomponenten findet man in [1].
2. Aufnahme des bewerteten Ausgangs des ELT-400, auch hier reicht eine Komponente.
3. Optional: Skalieren des bewerteten Ausgangs auf den angezeigten Expositionsindex.
4. Optional: Zeitliches Übereinanderlegen des bewerteten und des unbewerteten Feldverlaufs.
5. Identifizieren von Feldanteilen, die zu einem hohen Expositionsindex führen.

Die Analyse im Zeitbereich kann bei periodischen und nicht periodischen Feldverläufen angewendet werden.

Analyse im Frequenzbereich

Möchte man einen Feldverlauf im Frequenzbereich analysieren, würde man die FFT des Signals mit der Grenzwertkurve des Standards vergleichen, wie in Abbildung 3 gezeigt. Hierbei ist die Grenzwertkurve als Toleranzmaske einzugeben oder ggf. graphisch in den Ausdruck der Messergebnisse einzuzeichnen.

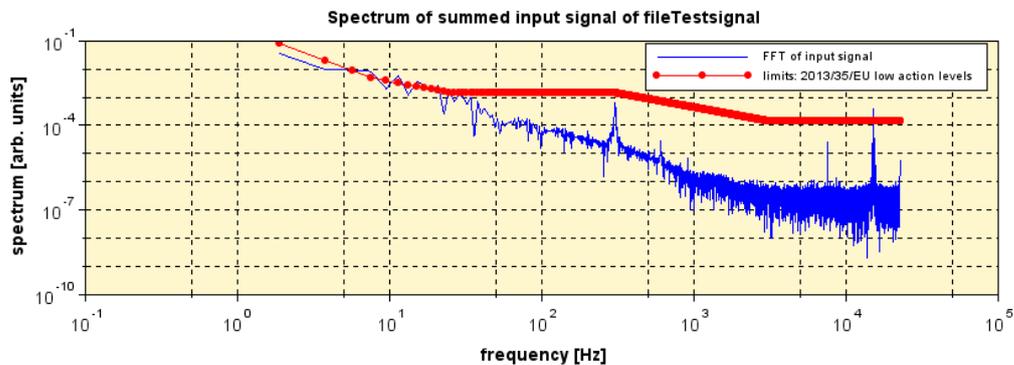


Abbildung 3: FFT eines Signals mit der Grenzwertkurve

Mit dem ELT-400 kann die Analyse auf einfachere Weise erfolgen, indem man direkt das Spektrum des bewerteten Signals betrachtet. Die Achsenskalierung erfolgt als Expositionsindex. Der Wert 1 (100 %) repräsentiert den Grenzwert. Ein Vergleich mit dem Standard ist somit nicht mehr notwendig. Man schaltet das Oszilloskop dazu in den FFT Modus und kann die störenden Signalanteile gleich der Höhe nach analysieren, wie in Abbildung 4 dargestellt. Die höchste Spektrallinie weist dann auch auf den höchsten Anteil am Expositionsindex hin.

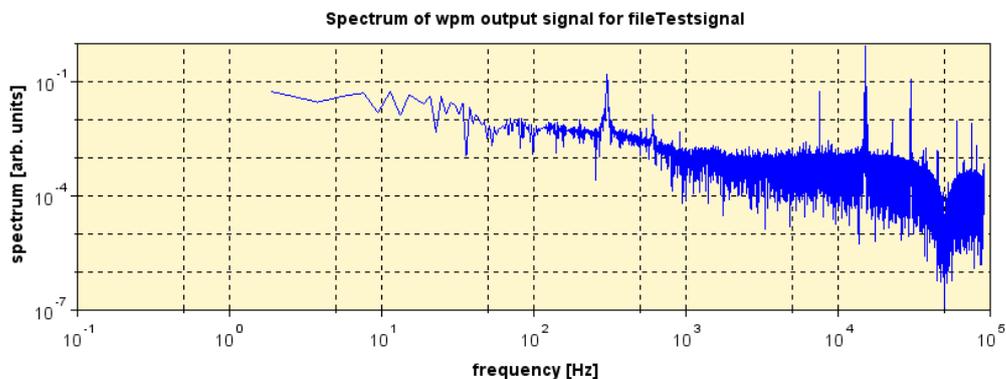


Abbildung 4: Spektrum des bewerteten Signals aus Abbildung 3

Man geht bei der Analyse im Frequenzbereich folgendermaßen vor:

1. Aufnahme des bewerteten Ausgangs des ELT-400
2. Entweder Berechnung einer FFT oder Verwendung der FFT-Funktion des Oszilloskops
3. Identifizierung der für den Expositionsindex relevanten Feldfrequenzen (höchste Spektralanteile)

Die Analyse im Frequenzbereich eignet sich vor allem zur Analyse von Feldverläufen mit periodischen Anteilen.

Beispiel 1 - Metalldetektor

Der ELT-400 zeigt bei einem Metalldetektor in der Nähe der Spule 188,9 % Expositionsindex an (bewertet nach 2013/35/EU Low ALs). Der unbewertete Feldverlauf des Signals ist in Abbildung 5 dargestellt.

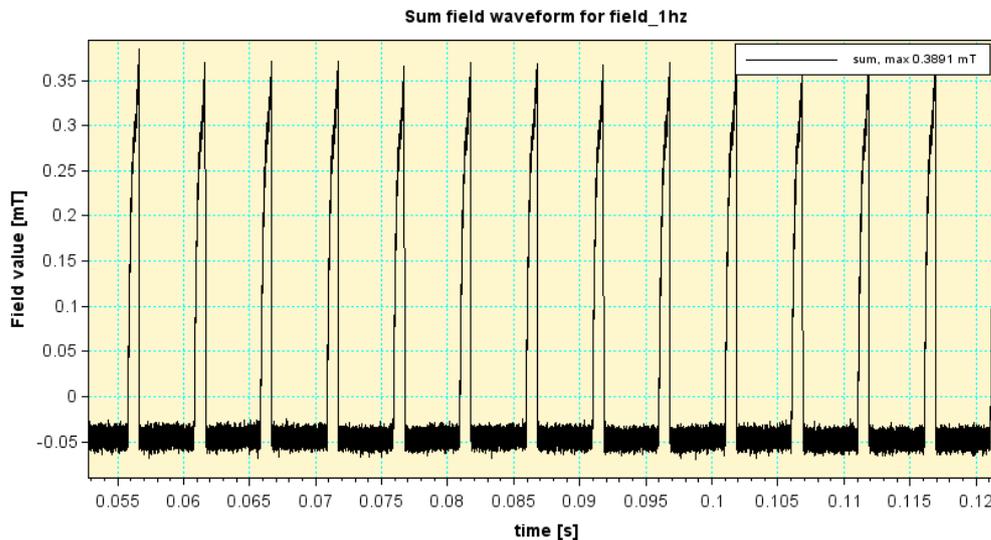


Abbildung 5: Feldverlauf in der Nähe der Metalldetektorspule

Zur besseren Sichtbarkeit wird zunächst die Zeitaufösung des Oszilloskops so eingestellt, dass genau eine Periode des Signals dargestellt wird. Nun zeichnet man den bewerteten Ausgang auf und sieht sofort den zeitlichen Bereich in der aufgezeichneten Periode, der für die Expositionsüberschreitung verantwortlich ist. Zur genaueren Bestimmung skaliert man die Kurve so, dass der Spitzenwert 188,9 % beträgt und ordnet die Kurven untereinander an.

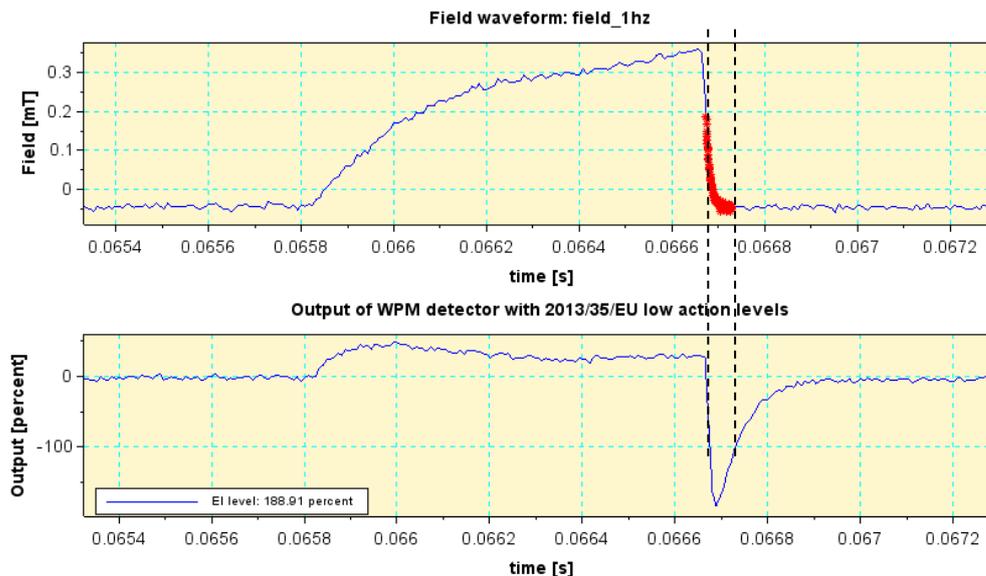


Abbildung 6: Feldverlauf und bewerteter Ausgang zeitlich abgeglichen, ein Puls

Das bewertete Ausgangssignal überschreitet nur in einem kurzen Zeitbereich 100 % (oder -100 %, denn das Ausgangssignal ist in diesem Beispiel negativ). Nur dieser Zeitbereich bestimmt den hohen Expositionsindex.

Wenn man den Bereich im Feldverlauf markiert (im Bild fett rot markiert), in dem der bewertete Ausgang über 100 % liegt, kann die fallende Flanke des Signals als Übeltäter identifiziert werden. Der Rest des Pulses braucht zur Reduzierung des Expositionsindex nicht betrachtet zu werden.

Beispiel 2 - Schweißimpuls

Der Schweißimpuls einer Inverterstromquelle wurde mit dem ELT-400 in unmittelbarer Nähe vermessen und dabei ein Expositionsindex von 318.5 % bestimmt (bewertet nach 2013/35/EU Limbs). Der Impuls besteht aus drei Signalkomponenten, wie man in Abbildung 7 erkennt:

1. Die niederfrequente Grundform des Schweißimpulses mit einer Amplitude von 55 mT. Das zur Messung verwendete 10 Hz Hochpassfilter führt zu einer Verzerrung der Kurvenform, die aber für die Analyse unerheblich ist.
2. Überlagerte sinusförmige Schwingung mit einer Frequenz von 300 Hz und einer Amplitude von 2 mT.
3. Dreieckschwingung mit einer Frequenz von 15 kHz und einer Amplitude von 0.7 mT, die der Sinusschwingung überlagert ist.

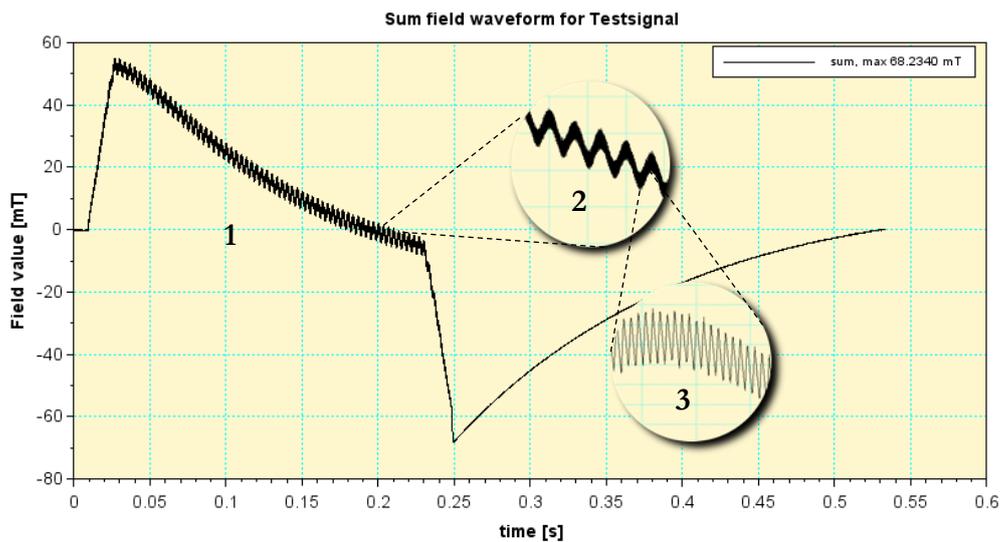


Abbildung 7: Schweißimpuls einer Inverterstromquelle, Übersicht und gezoomt

Zur Analyse wird zunächst das bewertete Signal im Zeitbereich herangezogen. Das bewertete Signal wird auf 318.5 % skaliert und zeitlich mit der Kurve des Feldverlaufs synchronisiert.

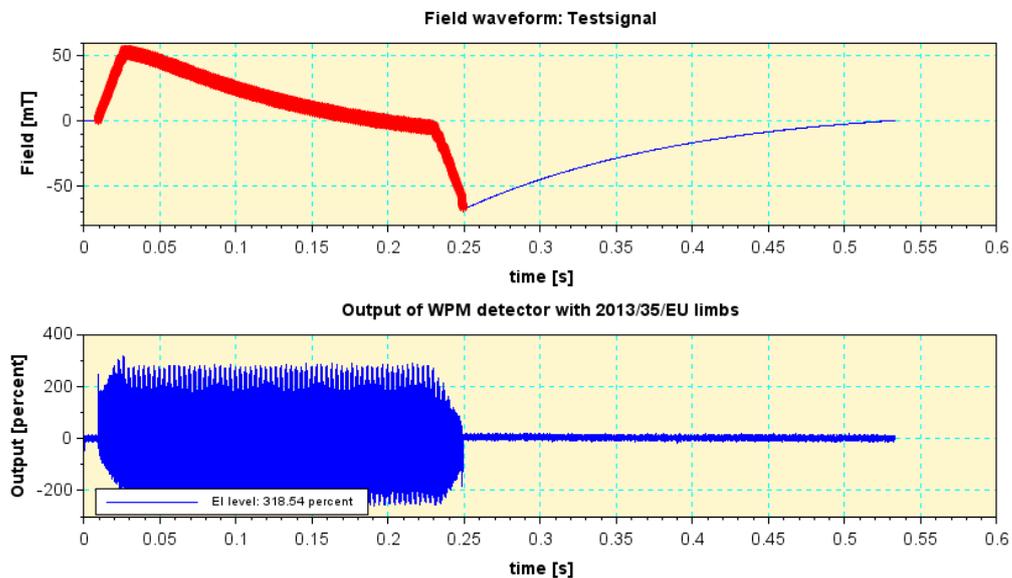


Abbildung 8: Feldverlauf und der bewertete Ausgang

In Abbildung 8 sieht man, dass der bewertete Ausgang in einem großen Bereich über 100% ist. Zoomt man nun weiter in das Signal – siehe Abbildung 9 - erkennt man, dass der bewertete Ausgang den 15 kHz der Dreieckschwingung folgt und das mit einer Amplitude von ca. 250 %. Damit ist der Hauptanteil der Exposition bei dieser Schwingung ausgemacht. Bemerkenswert ist, dass der kleinste Signalanteil den Expositionsindex bestimmt.

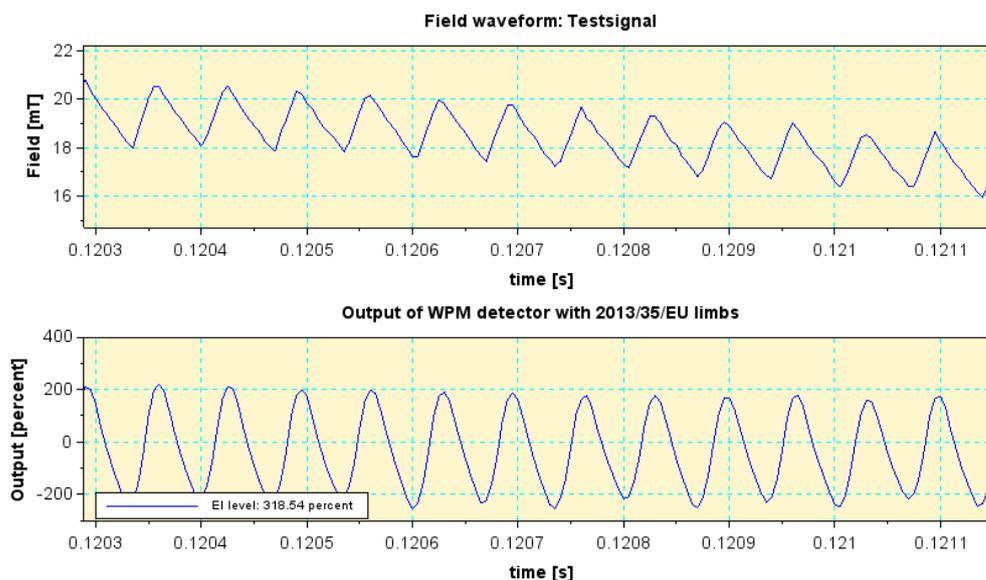


Abbildung 9: Stark vergrößerter Zeitabschnitt der Signalverläufe aus Abbildung 8

Da das Signal periodische Anteile aufweist, kann auch die Analyse des bewerteten Signals im Frequenzbereich aufschlussreich sein. Abbildung 10 zeigt die FFT des bewerteten Schweißsignals – man sieht schnell, dass der höchste Signalanteil bei 15 kHz auftritt, der Frequenz der Dreieckschwingung – wie auch schon die Analyse im Zeitbereich gezeigt hat.

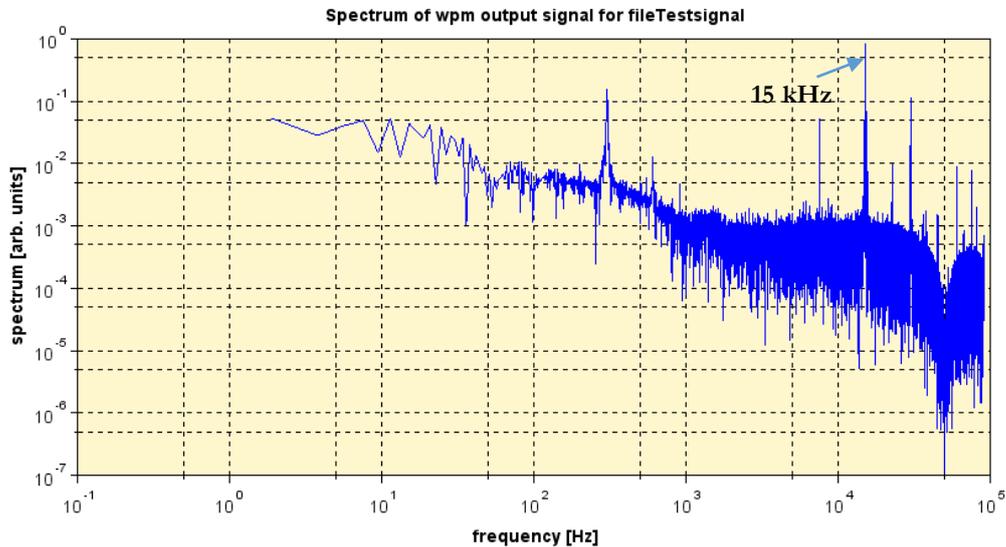


Abbildung 10: Spektrum des bewerteten Schweißsignals

Fazit

Die beschriebenen Auswerteverfahren ermöglichen es erstmals, bei magnetischen Feldern mit komplexen Feldverläufen die verursachenden Signalkomponenten auf einfache Weise zu bestimmen und zu analysieren. Die Verfahren eignen sich insbesondere für die zielgerichtete Einleitung von Schutzmaßnahmen bei installierten Maschinen und Anlagen in der produzierenden Industrie ebenso wie für die Optimierung von Motoren, Generatoren und Verkabelungen in der Entwicklungsphase, beispielsweise in der Elektromobilität.

Literaturverzeichnis

- [1] Keller H., The Weighted Peak Method in the Time Domain Compared With Alternative Methods for Assessing LF Electric and Magnetic Fields. Health Physics, 113(1):54-65, July 2017.
- [2] Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC
- [3] Datenblatt ELT-400, Narda NSTS 0517-E0205P, Mai 2017
- [4] Bedienungsanleitung ELT-400, Narda 2300/98.11 Ausgabe 10, Juni 2017

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7
72793 Pfullingen, Germany
Phone +49 7121 97 32 0
info@narda-sts.com

Narda Safety Test Solutions
North America Representative Office
435 Moreland Road
Hauppauge, NY11788, USA
Phone +1 631 231 1700
info@narda-sts.com

Narda Safety Test Solutions S.r.l.
Via Rimini, 22
20142 Milano, Italy
Phone +39 0258188 1
nardait.support@narda-sts.it

Narda Safety Test Solutions GmbH
Beijing Representative Office
Xiyuan Hotel, No. 1 Sanlihe Road, Haidian
100044 Beijing, China
Phone +86 10 6830 5870
support@narda-sts.cn