

Bestimmung und Klassifizierung von Korrosionserscheinungen in ferromagnetischen Tankbodenblechen mit einer Wirbelstromapplikation in Verbindung mit der Streuflussmethode

Matthias Janßen¹, Dirk Koster²

¹ Tuboscope Vetco (D) GmbH, Celle

² Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Kontakt E-Mail: matthias.janssen@nov.com; dirk.koster@izfp.fraunhofer.de

Kurzfassung. Geräte (Scanner, Handscanner) von Tuboscope Vetco (D) GmbH zur Detektion von Korrosionserscheinungen in ferromagnetischen Tankbodenblechen arbeiten nach der Streuflussmethode (MFL – Magnetic Flux Leakage), ihr Auflösungsvermögen reicht von sehr großen Ungängen herunter bis zu kleinsten Fehlstellen, den sog. Pittings. Ermöglicht wird dieser weite Auflösungsbereich durch zwei verschiedene Modi, die sich in der Art der Sensorik und der Filterung voneinander abgrenzen. In der jüngeren Vergangenheit wurde von den Tankfarmbetreibern der Wunsch an Tuboscope herangetragen, auch die Anordnung (oben, unten) der detektierten Fehlstellen anzuzeigen. Zur Unterscheidung, ob sich Fehlstellen an der Ober- oder Unterseite der Tankbodenbleche befinden, wurden die Geräte zusätzlich neben der Streuflussmethode mit Wirbelstromapplikationen ausgestattet. Diese Kombination zweier wichtiger Technologien der ZfP in Tankbodenprüfgeräten wurde bereits in mehreren Vorträgen thematisiert. Zurzeit ist die Trennung von ober- und unterseitigen Korrosionsangriffen für großflächige Ungängen verlässlich möglich. Kleinere und kleinste Fehlstellen werden zwar sehr zuverlässig mit der Streuflussmethode detektiert, können aber nicht eindeutig in die ober- oder unterseitige Lage eingeordnet werden. Untersuchungen mit der Wirbelstromprüfelektronik „inspECT-PRO“ des Fraunhofer IZFP in Saarbrücken sollten aufzeigen, ob mit der vorhandenen Sensorik auch kleinere Fehlstellen in ihre ober- oder unterseitige Lage getrennt werden können. Der Vortrag beleuchtet den Aufbau der Sensorik und ihre Anordnung im magnetischen Kreis der Streuflusstechnologie. Die Wirbelstromprüfelektronik „inspECT-PRO“ des Fraunhofer IZFP wird vorgestellt, des Weiteren werden die Prüfergebnisse eingehend diskutiert. Dabei steht u.a. der nicht zu vernachlässigende Sachverhalt im Vordergrund, in welcher Art und Weise das gleichzeitig auftretende Signal der Streuflussmethode die Wirbelstromapplikation beeinflusst; und ob sich diese Beeinflussung nachteilig auf das Auflösungsvermögen der Ober- und Unterseitentrennung auswirkt.

1 NOV, Tuboscope, Tankbodenprüfungen

Die Abkürzung NOV steht für National Oilwell Varco (branchenintern wird auch von „no other vendor“ gesprochen). Der Technologiekonzern betätigt sich weltweit als Ausrüster und Zulieferer der Erdöl- und Erdgasindustrie. Tuboscope ist ein Teil dieses Mischkonzerns und beschäftigt sich vorrangig mit zerstörungsfreier Werkstoffprüfung, primär im Erdöl- und Erdgasbereich. Im Vordergrund steht die Dienstleistung – also die Auftragsprüfbarkeit – für den Kunden. Für diesen Zweck werden Geräte zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung selbst entwickelt und gefertigt, aber auch auf dem Markt erstanden (um dann in die Geräteflotte integriert zu werden).

Eine über 50jährige Firmengeschichte führte zu weitreichendem Technologie- und Prüfwissen, das auch in Geräte außerhalb des Erdöl- und Erdgasgeschäftes einfließt. Als Prüfverfahren sind vorrangig zu nennen: Streufluss (MFL – Magnetic Flux Leakage), Ultraschall, Wirbelstrom, Magnetic Particle Inspection (MPI) und das Farbeindring-verfahren.

Tankbodenprüfungen werden u.a. von den lokalen Umweltbehörden (z.B. Wasserbehörden) gefordert, um die notwendige Betriebssicherheit der Anlagen zu gewährleisten. Die Untersuchungen von Tanklagerstätten (für Rohöl, Produkte der petrochemischen Industrie) stellen sehr hohe Anforderungen an die intervallmäßige Dichtheitsprüfung [1-3]. Seit über 30 Jahren werden diese erforderlichen Prüfungen mit dem von Tuboscope selbstentwickelten Floor Inspection Tool (FIT) durchgeführt. Über die Jahre wurde das FIT-Gerät weiterentwickelt und den Gegebenheiten angepasst. Die letzte größere Produktüberarbeitung erfolgte unlängst und ermöglicht nun, neben der Detektion von großflächigen Fehlern, auch die Messung von Kleinkorrosion (z.B. in der Form von Sacklöchern mit einem Durchmesser von < 1,6 mm). Verfahrensprüfungen, die den bestimmungsgemäßen Verwendungszweck von unabhängiger Stelle belegen, wurden durch den TÜV-Nord durchgeführt [4-6].

2 Fraunhofer IZFP, inspECT-PRO

Das Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP in Saarbrücken ist eine Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft. Das Institut forscht in allen Bereichen der ZfP und entwickelt kognitive Sensorsysteme für das zerstörungsfreie Monitoring industrieller Prozesse und Wertschöpfungsketten. Ein herausragendes Technologiefeld ist die Wirbelstromprüftechnik, für die das Institut eine Breitband-Prüfelektronik für Mehrkanal- und Mehrfrequenzanwendungen entwickelt hat. Die sog. inspECT-PRO Wirbelstrom-Prüfelektronik bietet aufgrund seiner umfangreichen Auslegung ein sehr breites Anwendungsspektrum.



Abbildung 1: FIT-Tankbodenprüfgeräte im Einsatz.



Abbildung 2: insPECT-PRO-Produktportfolio.

© Fraunhofer IZFP / Uwe Bellhäuser

3 Aufgabenstellung

Die Tankbodenprüfgeräte, große Scanner [7] ebenso wie die kleineren Handscanner [8], sind mit einer Kombination aus Streufluss- und Wirbelstromtechnik (MFL – Magnetic Flux Leakage und EC – Eddy Current) ausgerüstet. Kerntechnologie zur Auffindung aller möglichen Fehler von kleinsten sog. „Pittings“ bis zu handtellergroßen Korrosionsschäden war und ist die Streuflussmethode (MFL). Aufgrund der Auslegung der Geräte mit sehr kraftvollen Magnetisierungen, die beachtliche Reserven aufweisen, können auch dickste Stahlplatten geprüft werden, die zudem mit einer Kunststoffschicht (Coating) belegt sind. Auflösungs- und Nachweisvermögen wurden in den (bereits oben genannten) Verfahrensprüfungen des TÜV Nord nachvollziehbar geprüft und dokumentiert.

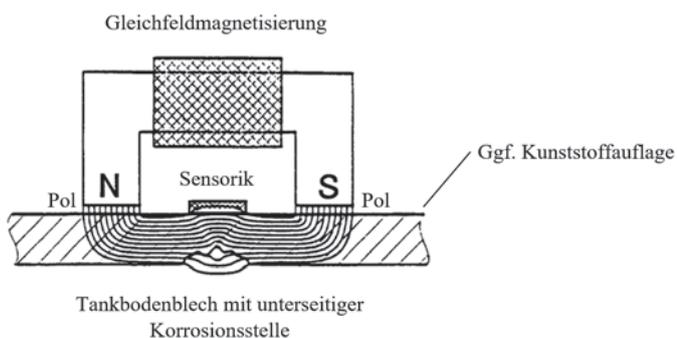


Abbildung 3: Anordnung der Sensorik im magnetischen Kreis.

Die zusätzlich zur Streuflussapplikation eingeführte Wirbelstromtechnik vermag großflächige Fehler eindeutig in ihrer Lage (ob auf der Ober- oder Unterseite des inspizierten Tankbodenbleches) zu diskriminieren – das Trennvermögen endet jedoch bei einer Größe, die ungefähr einem Daumenabdruck gleichkommt. Kleinflächige Korrosionsangriffe, Sacklöcher und die sog. „Pittings“ werden durch die zusätzliche Wirbelstromtechnik nicht mehr sicher erfasst. Dieser Sachverhalt wurde zunächst dem Umstand zugeschrieben, dass die Wirbelstrom-Instrumentation vergleichsweise einfach gehalten wurde und die Sensorik für die Fehlerbestimmung unpassend sei. In vergangenen Vorträgen wurde beschrieben, dass die Sensorik aus zwei Prüfspulen bestand, die L-förmig angeordnet waren und für die Streufluss- und Wirbelstromapplikation gemeinsam genutzt wurde. Möglicherweise ist diese Anordnung für die Auflösung kleinerer Fehler weniger geeignet, da die Spulen verhältnismäßig große Flächen aufziehen und im Hinblick auf die Anregung und den Empfang ungünstig angeordnet sind.

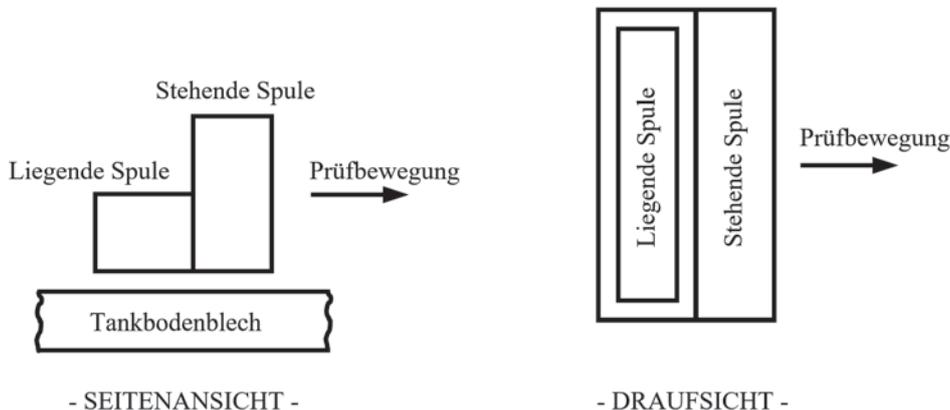


Abbildung 4: Anordnung der Sensorspulen, gemeinsame Nutzung für MFL und EC.

Jüngste Änderungen in der Sensormechnik des FIT-Gerätes ermöglichten es, die Sensorik für die Streufluss- und Wirbelstromtechnik vollständig zu trennen. Nunmehr befindet sich in den Messschuhen, die berührend auf der zu inspizierenden Tankboden-Stahlblechplatte geführt werden, vier Messspulen. Zwei Messspulen nehmen in der bewährten L-Anordnung die Signale der Streuflussapplikation auf, die Sensorik der Wirbelstromtechnik besteht aus übereinander angeordneter Empfänger- und Senderspule. Diese rechteckförmigen Spulen spannen einen Spuleninnenraum von ca. 50 mm² auf; daraus wurde abgeleitet, dass kleinere Fehler nicht eindeutig erfasst werden können. Diese Einschätzung wurde im Vorfeld der Untersuchungen von vielen Entwicklern und erfahrenen Anwendern für Inspektionen mit Wirbelstromapplikationen geteilt.

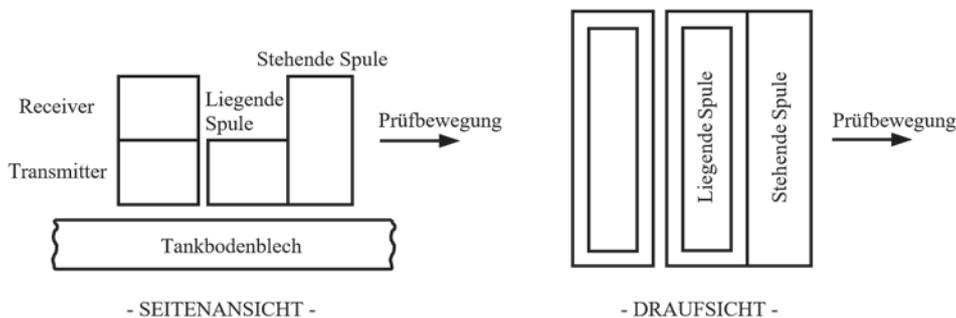


Abbildung 5: Neue Anordnung der Sensorspulen, getrennt für MFL und EC.

Weiterreichende Diskussionen mit Mitarbeitern des Fraunhofer IZFP zeigten auf, dass die Beschränkungen der bestehenden Wirbelstromtechnik sehr wahrscheinlich auf die Instrumentation und nicht auf die Sensorik zurückzuführen sind. Eine praktische Versuchsdurchführung im Labor des Instituts in Saarbrücken sollte belegen, ob die Auflösung kleinerer Fehler mit einer leistungsfähigeren Instrumentation (in diesem Fall die oben abgebildete inspECT-PRO) und der bestehenden Sensorik möglich ist.

4 Versuchsdurchführungen

Die im Folgenden beschriebenen Versuche wurden mit der von Tuboscope Vetco entwickelten Testplatte für Tankbodenprüfungen durchgeführt.

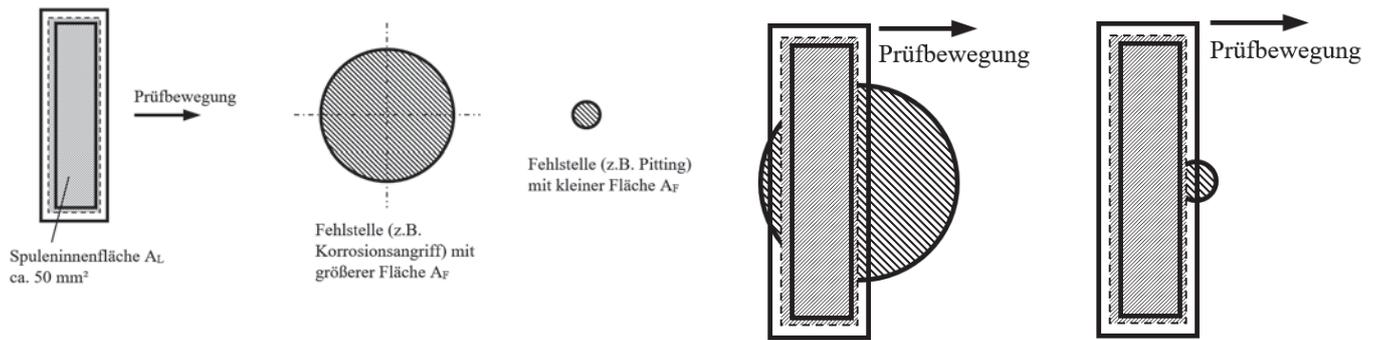


Abbildung 6: Spuleninnenfläche, Flächen großer und kleiner Ungängen. Ist die Sensorik in der Lage, auch kleinere Fehlstellen zu erfassen?

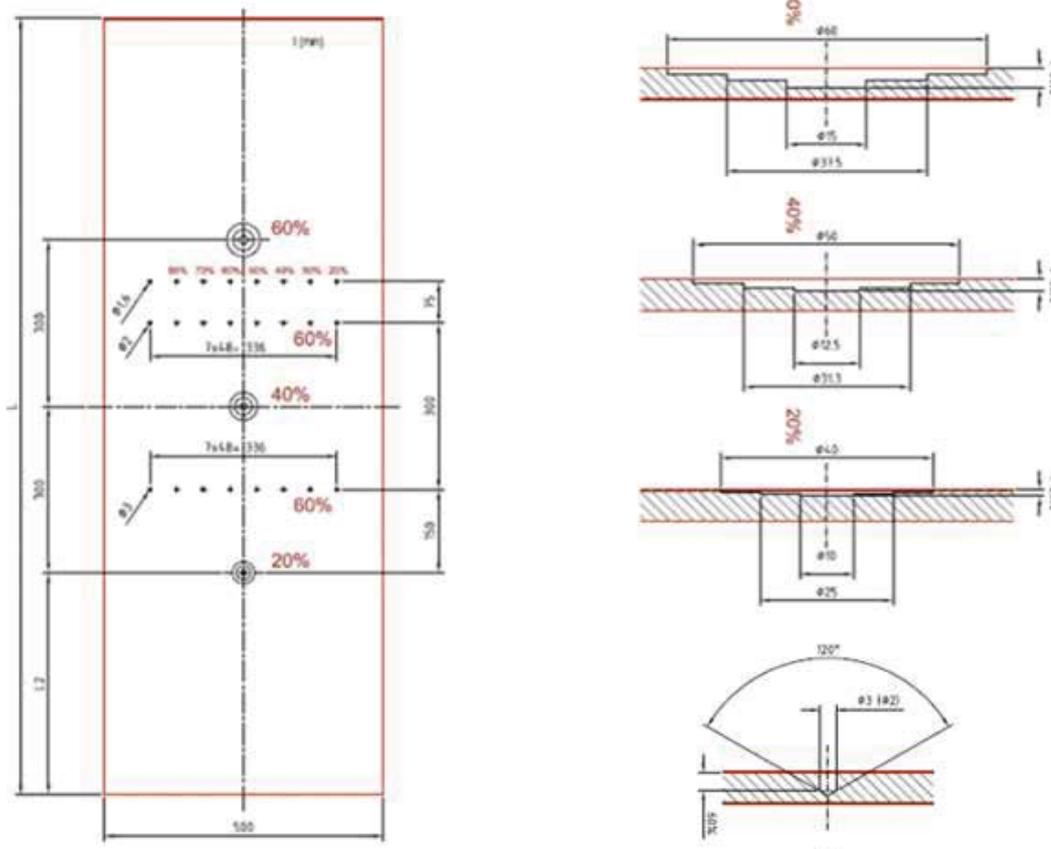


Abbildung 7: Testplatte mit großflächigen Ausfräsungen und kleinen Sacklochbohrungen. Die Dicke der Platte beträgt 6 mm, es handelt sich um ferromagnetischen Stahl.

Die folgenden Abbildungen zeigen das $Y(t)$ -Diagramm der Signalspannung. Die Messungen wurden mit der inspect-PRO Instrumentation und Software angefertigt. Um die Anforderung der Unterscheidbarkeit der Lage der Fehler zu lösen (Fehler oben oder unten), wurden zwei Wirbelstromkanäle unterschiedlicher Phaseneinstellung zur Auswertung verwendet. Abbildung 8 zeigt das $Y(t)$ -Signal beider Kanäle bei Lage der Fehler auf der Oberseite. Die Testplatte wurde bis zur Sättigung magnetisiert, die maximale Permeabilität wurde erreicht.

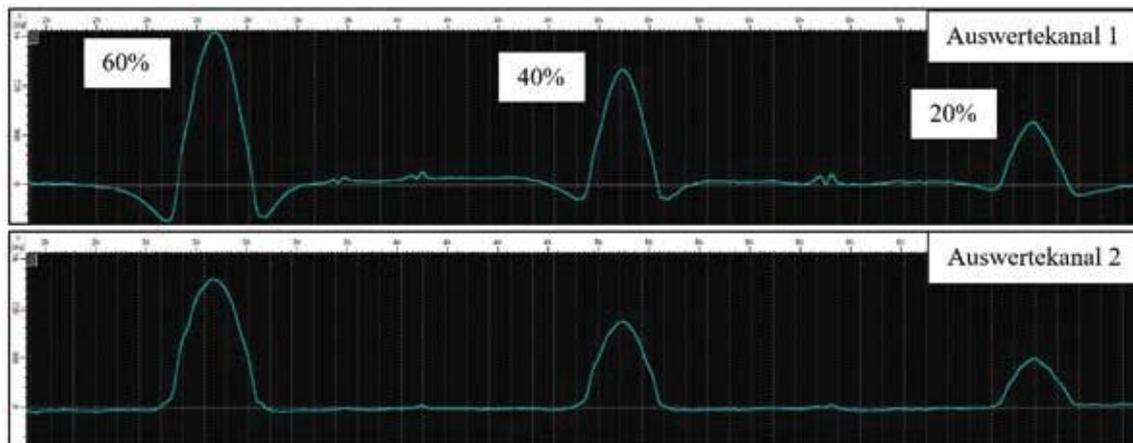


Abbildung 8: Ausfräsungen (60%, 40%, 20%) und Sacklöcher oben. $Y(t)$ -Signale beider Auswertekanäle.

Das Signal der drei Ausfräsungen ist in beiden Auswertekanälen deutlich ausgeprägt. In Auswertekanal 1 sind auch die drei Sacklöcher zu erkennen, Abbildung 9 zeigt eine Vergrößerung. Ohne Anwesenheit der Offsetschwankungen, verursacht durch die großen Signale der Ausfräsungen, sollte die Signalhöhe für eine zukünftige Auswertung ausreichend sein. Hierbei können auch Algorithmen zur Offsetkompensation unterstützen.

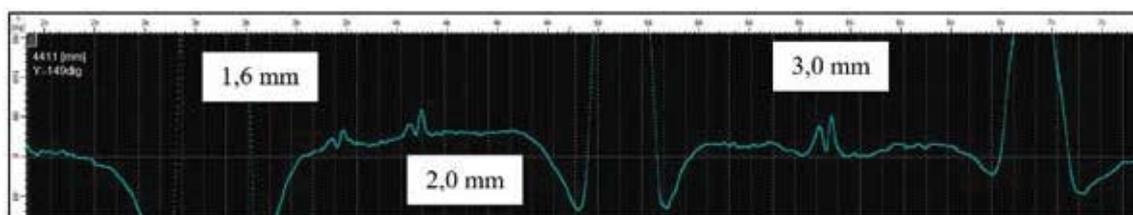


Abbildung 9: Ausfräsungen (60%, 40%, 20%) und Sacklöcher oben. Vergrößerung des Signalverlaufs. Nunmehr werden auch die Sacklöcher 1,6 mm, 2,0 mm und 3,0 mm sichtbar.

Anschließend wurde die Testplatte umgedreht, so dass sich die Testfehler auf der Unterseite befanden. Es ist gut zu erkennen, dass in Auswertekanal 1 die Ausfräsungen und Sacklöcher immer noch deutliche Signalanzeigen hervorbringen.

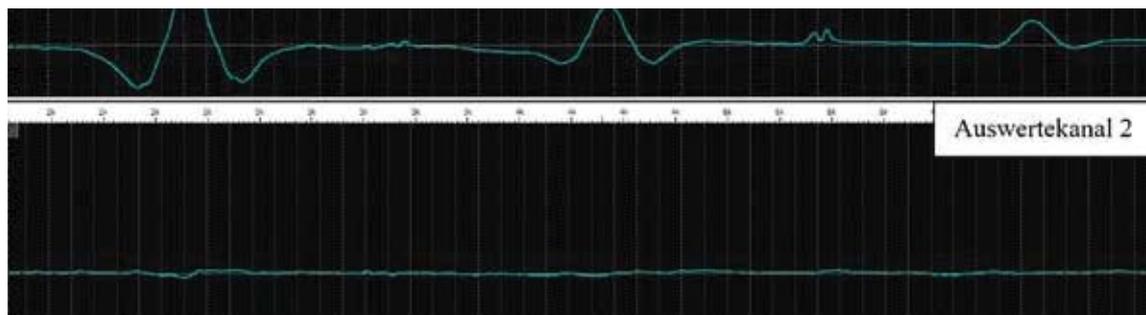


Abbildung 10: Ausfräsungen (60%, 40%, 20%) und Sacklöcher unten. Auswertekanal 2 zeigt keine nennenswerten Anzeigen.

Anders sieht es in Auswertekanal 2 aus. Hier sind keine signifikanten Signale mehr zu erkennen, weder bei den Ausfräsungen noch bei den Sacklöchern. Dieses Signalverhalten kann zukünftig zur Unterscheidbarkeit der Fehlerlage genutzt werden indem z.B. eine Kombination der Auswertekanäle mittels Korrelationsalgorithmen verwendet wird.

5 Ergebnisse

Zweifelsfrei gelingt mit der Wirbelstromtechnik insPECT-PRO des IZFP und der Sensorik des FIT-Gerätes die Trennung auch von kleinsten Fehlern in Ober- und Unterseite, das konnten die Messungen verlässlich belegen. Ein Auswertekonzept wurde kurz angesprochen. Bereits ohne weitere aufwändige Signalnachbearbeitung wurden kleinste Testfehler sicher erkannt, das erzielte Signal-/Rauschverhältnis lag weit über den Erwartungen. Interessant in diesem Zusammenhang ist die vermeintliche (und oben erwähnte) Fehleinschätzung, dass die Sensorik aufgrund ihrer Größe und Anordnung nicht zur Detektion kleiner Fehler geeignet sei. Für das bessere Verständnis der Verhältnisse um

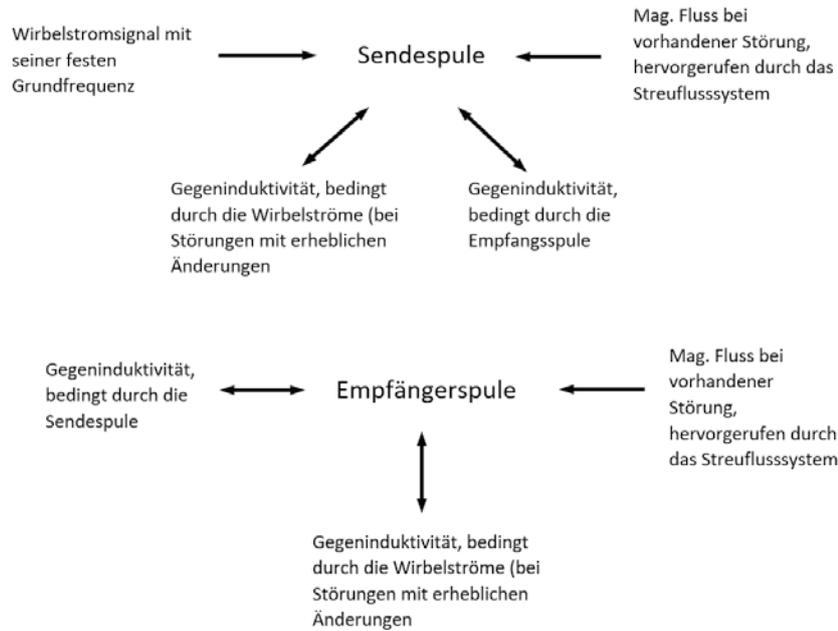


Abbildung 11: Sende- und Empfängerspule werden zusätzlich von dem Streuflusssignal beeinflusst.

die Sensorik wurde der Versuch ohne Magnetisierung und damit ohne Streuflusssignal wiederholt. Und ohne die Anwesenheit des Streuflusssignals erfolgte keine Detektion der Sacklöcher. Daraus schlussfolgert zwingend, dass erst die Überlagerung von Streufluss- und Wirbelstromsignal zu dem gewünschten Ergebnis führt. Nachfolgend werden die Einflüsse auf die Sende- und Empfängerspule der Wirbelstromtechnik veranschaulicht.

6 Folgeversuche

Nach den überzeugenden Versuchen mit der inspECT-PRO Wirbelstromtechnik des Fraunhofer IZFP wurde die bestehende Wirbelstromtechnik der FIT-Geräte im Hinblick auf die gesammelten Erkenntnisse deutlich modifiziert. Hervorzuheben sind Änderungen des Wirbelstromsignal-Transmitters, der nunmehr mit einer höheren Sendefrequenz und leistungsangepasst auf die Sende- und Empfängerspule wirkt. Des Weiteren wurden der Wirbelstromsignalempfänger und die Signalfilter bezüglich ihrer Güte verbessert. Das Trennvermögen zwischen ober- und unterseitig angeordneten Fehlern wurde im unteren Bereich auf Sacklöcher begrenzt, die ungefähr einen Durchmesser von 3,0 mm aufweisen – vor dem Hintergrund der jahrzehntelangen Erfahrung mit Tankbodenblechen ein mehr als ausreichendes Trennvermögen. Die beiden Messungen, die in Abbildung 12 dargestellt werden, wurden mit der geänderten Instrumentation und mit der bereits oben vorgestellten Testplatte durchgeführt. Abweichend von den Ergebnissen mit der Technik des Fraunhofer IZFP werden nun beide Signalformen, Phase und Amplitude, dargestellt und genutzt. Unschwer ist den Darstellungen zu entnehmen, dass bei oberseitig angeordneten Fehlern die Phase deutlich größere Signalhöhen annimmt als die Amplitude. Bei unterseitig angeordneten Fehlern kehren sich die Verhältnisse vollständig um. Diese Feststellung gilt nur für die Ausfräsungen und eine bestimmte Sendefrequenz; darüber dominieren Änderungen der Phase, darunter die der Amplitude.

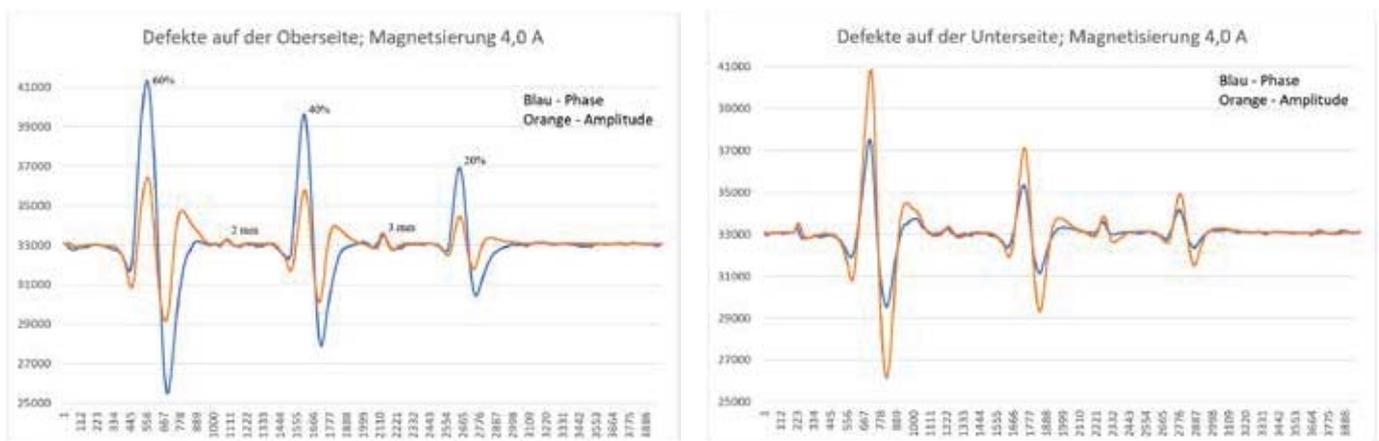


Abbildung 12: Ergebnisse der modifizierten Wirbelstromtechnik.

Beide Signale, Phase und Amplitude, werden in festen zeitlichen Abständen von einer Millisekunde der Messsoftware des Geräts zugeführt und abgespeichert. Vor der Übertragung an den Rechner werden die Signale in der Instrumentation vorverarbeitet, so dass dem Bediener die Information „Fehler oben“ oder „Fehler unten“ direkt zur Verfügung steht. Die Darstellung der Phase und Amplitude als Linienschrieb in der Messsoftware ist möglich, erfolgt jedoch während der Inspektionsarbeiten im Tank nicht. Grund für die ausbleibende Darstellung der Amplitude und Phase als Linienschrieb ist die Fülle der Signale; die zusätzliche Präsentation neben den Signalen der Streuflussmethode würde den Werkstoffprüfer mit Sicherheit überwältigen.

Referenzen

- [1] Arbeitsblatt DWA-A 788, Technische Regel wassergefährdender Stoffe (TRwS) Flachbodentanks aus metallischen Werkstoffen zur Lagerung wassergefährdender Flüssigkeiten, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- [2] API Standard 650, Welded Tanks for Oil Storage, American Petroleum Institute, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005.
- [3] API Standard 653, Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction, American Petroleum Institute, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005.
- [4] Bericht über die Verfahrensprüfung für das halbautomatische Streuflussprüfsystem FIT (Floor Inspection Tool) zur Ermittlung von Korrosion an der Unter- und Oberseite von Tankböden, Prüfzeitraum April 1995, Bericht Nr. VET 95 167, TÜV Hannover, Am TÜV 1, 30519 Hannover
- [5] Bericht über die ergänzende Verfahrensprüfung des Tankbodenprüfgerätes FIT (Floor Inspection Tool) zur Ermittlung von Korrosionsstellen an Tankböden, Prüfzeitraum August 2012, Bericht TSV-12-01, TÜV Nord EnSys Hannover, Am TÜV 1, 30519 Hannover
- [6] Bericht über die ergänzende Verfahrensprüfung des Tankbodenprüfgerätes FIT (Floor Inspection Tool) zur Ermittlung von Korrosionsstellen an Tankböden, Prüfzeitraum August 2016, Bericht TSV-16-01, TÜV Nord EnSys Hannover, Am TÜV 1, 30519 Hannover
- [7] Magnetische Streuflussprüfung in Kombination mit einer Wirbelstromapplikation zur Trennung von Störungen (Fehler, Ungängen) auf der Ober- und Unterseite von Tankbodenplatten aus ferromagnetischen Materialien, DGZfP-Berichtsband BB 162, ISBN 978-3-940283-85-6, DGZfP-Jahrestagung 2017, 22. – 24. Mai 2017, Koblenz
- [8] Prüfung von ferromagnetischen Tankbodenplatten in Randbereichen und unter Einbauten mit einem manuell geführten Handscanner, DGZfP-Berichtsband BB 166, ISBN 978-3-940283-92-4, DGZfP-Jahrestagung 2018, 7.- 9. Mai 2018, Leipzig