



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **230 933 A1**4(51) **G 01 N 27/83**  
**G 01 N 17/00****AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN**

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

---

(21)	WP G 01 N / 256 153 0	(22)	01.11.83	(44)	11.12.85
------	-----------------------	------	----------	------	----------

---

(71)	Pädagogische Hochschule „Liselotte Herrmann“, 2600 Güstrow, Goldberger Straße 12, DD
(72)	Lorenz, Friedrich, Prof. Dr. sc. paed. Ing.; Ewald, Hartmut, Dr. rer. nat.; Arscholl, Lothar, Dipl.-Ing., DD

---

**(54) Magnetinduktives Meßverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung des Korrosionszustandes beschichteter Stahlteile**

---

(57) Eine Sonde, die zusammen mit einer Kapazität einen Reihenresonanzkreis bildet, erfaßt durch die Schutzschicht hindurch zerstörungsfrei den Zustand der Metalloberfläche, indem die durch Korrosion verursachten Änderungen der elektrischen und magnetischen Eigenschaften als Impedanzänderungen erfaßt werden. Die dadurch aufgehobenen Resonanzbedingungen werden durch eine automatische Frequenzsteuerung wieder hergestellt. Über den Resonanzstrom, der analog und digital angezeigt wird, werden Korrosionserscheinungen an der Metalloberfläche abgebildet. Auf Grund des Meßprinzips sind die Auswirkungen der Korrosion von den durch den Abhebeeffekt und die Rauhtiefe verursachten zu unterscheiden.

### Titel der Erfindung

Magnetinduktives Meßverfahren zur zerstörungsfreien Korrosionszustandsprüfung beschichteter Stahlteile

### Anwendungsgebiete der Erfindung

Feststellen von Unterrostungserscheinungen an beschichteten Stahlteilen, bei denen eine unmittelbare visuelle Prüfung ohne vorheriges mechanisches Entfernen der Schutzschicht nicht möglich ist.

In der Praxis des Korrosionsschutzes wächst die Bedeutung des Aufbringens lösungsmittelfreier thermoplastischer Schutzschichten auf Stahlteile. Um die verwendeten Kunststoffe der erforderlichen Eignungsprüfung unterziehen zu können, werden die mit Füllstoffen und Inhibitoren versetzten Pulverlacke durch Wirbelsintern oder durch elektrostatische Verfahren auf die zu schützenden Stahlteile aufgebracht und Prüfklimate ausgesetzt. Nach einer festgelegten Auslagerungszeit können aus den ermittelten physikalischen Eigenschaften der Schutzschicht (Härte, Porosität) sekundäre Aussagen über die Schutzeigenschaft abgeleitet werden. Um aber den Zustand der Metalloberfläche an der Phasengrenze zwischen Metall und Schutzschicht exakt zu erfassen, muß die Schutzschicht mechanisch abgelöst werden.

Neben dem labormäßigen Einsatz zerstörungsfrei arbeitender Prüfverfahren bei Langzeitversuchen und Versuchen unter extremen Prüfbedingungen (Temperatur, Strahlung, Einwirkung aggressiver Medien) ist der Einsatz dort angebracht, wo die Korrosionserscheinungen an großflächigen, beschichteten Stahl-

teilen oder an Stahlkonstruktionen, die aus konstruktiven Gründen schwer zugänglich sind, erfaßt werden sollen.

### Charakteristik der bisherigen Lösungen

Um bei pigmentierten und mit Inhibitoren versetzten Schutzschichten zu verifizierbaren Aussagen zu gelangen, wird vor der Auslagerung die Schicht durch Bohren, Körnen oder Ritzen beschädigt, um den korrosionsauslösenden Medien den Zutritt zu Metalloberfläche zu ermöglichen und den gesamten Prüfvorgang zu verkürzen. Nach der Auslagerung wird dann durch visuelle Prüfung der Grad der Unterrostung ermittelt, indem die korrodierten Flächen ausgemessen werden. Da durch die mechanischen Eingriffe Bedingungen geschaffen werden, die von den natürlichen wesentlich abweichen, sind die getroffenen Aussagen fehlerbehaftet. Erfolgt nach der Auslagerung eine Ablösung der Schutzschicht, ist eine Wiederbeschichtung wenig sinnvoll, da die Bedingungen des Schutzes völlig verändert worden sind.

Bisher bekannte Verfahren nutzen den Abstandseffekt. Durch die einsetzende Korrosion kommt es zu Aufquellungen zwischen Metall und Schutzschicht, die von Schichtdickenmeßgeräten erfaßt und gedeutet werden. Der Nachteil liegt darin, daß die technologisch bedingten Schwankungen der Dicke der Schutzschicht vom Korrosionseffekt nicht oder nur sehr schwer getrennt werden können. Das trifft auch auf das bisher eingesetzte Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung des Korrosionszustandes beschichteter Ferromagnetika mit Hilfe von Doppelspaltsonden (WP G 01 N / 209 802, Patentschrift 140 793) zu. Dieses Verfahren gestattet Untersuchungen bis zu Schichtdicken von 200 µm, wobei die Schichtdickenschwankungen relativ schwierig vom Korrosionseffekt getrennt werden können.

### Ziel der Erfindung

Zerstörungsfreies Prüfen, Überwachen und Ausmessen des Korrosionszustandes beschichteter oder gelackter Stahlteile durch das Anwenden eines magnetinduktiven Verfahrens, indem

eine Spaltsonde auf den zu untersuchenden Gegenstand aufgesetzt bzw. berührungsfrei mittels einer Vorrichtung über dessen Oberfläche geführt wird. Nach erfolgter Kalibrierung kann der Zustand der Metalloberfläche über die zugehörige Schaltungsanordnung ermittelt und durch die Anzeigeeinrichtung analog, digital oder als diskrete Mehrpunktanzeige wiedergespiegelt werden. Einsetzende Schichtablösungen lassen sich meßtechnisch vom Korrosionseffekt trennen und entsprechend anzeigen.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Bestimmendes Merkmal der Erfindung ist der zerstörungsfreie Nachweis von Oberflächenkorrosion und Schichtablösung bei beschichteten Stahlteilen. Durch die Spaltgeometrie der Sonde und die Meßfrequenz werden alle in der Praxis üblichen Schichtdicken erfaßt. Von den technologisch bedingten Schwankungen der Schichtdicke, die bei den bisher bekannten Verfahren das Ergebnis beeinflussen, ist das erfindungsgemäß zu schützende Verfahren relativ unabhängig. Es unterscheidet sich damit grundsätzlich von den Verfahren, die Korrosion über den Abstandseffekt nachweisen.

Das von der Sonde, die aus einer Spule mit Spalt-, Schalen- oder Stabkern besteht, ausgehende magnetische Wechselfeld durchsetzt die Schutzschicht und induziert im zu untersuchenden Stahlteil Wirbelströme, die rückwirkend zu einer Impedanzänderung der Sonde führen. Durch die Wahl der Meßfrequenz wird gesichert, daß das Wechselfeld nur die Metalloberfläche durchsetzt, so daß die Dicke des zu untersuchenden Gegenstandes keinen bestimmenden Einfluß auf das Ergebnis hat.

Die erfindungsgemäße Meßanordnung wertet die Änderung des Resonanzstromes aus. Zu diesem Zweck bildet die Sonde zusammen mit einem verlustarmen Kondensator einen Reihenresonanzkreis, der von einem Frequenzgenerator mit konstanter Amplitude gespeist wird. Das ständige Arbeiten im Resonanzpunkt wird durch eine automatische Frequenzsteuerung erreicht. Diese Aufgabe löst eine an das PLL-Prinzip angelehnte Schaltung. Gegenüber anderen zur Korrosionsmessung verwendeten Schicht-

dickenmeßgeräten (z.B. Messen von Isolationsschichten auf Stahl) besitzt das beschriebene magnetinduktive Verfahren den Vorteil, daß die Abhebung der Sonde von den Auswirkungen der Oberflächenkorrosion unterschieden werden kann. Es ist deshalb möglich, Schichtablösung und Korrosion zu trennen. Dieser Effekt wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß die Abmessungen der Sonde, speziell ihre Spaltgeometrie, und das für den Kern gewählte Ferromagnetika (Ferrit), entsprechend der meßtechnisch zu lösenden Aufgabe der Frequenz des ansteuernden Generators angepaßt wird. Erfindungsgemäß wird dadurch erreicht, daß die Abhebung der Sonde, wie sie durch die Schichtablösung eintritt, vorwiegend den Widerstandsanteil der Spulenimpedanz beeinflußt. Durch die Abhebung sinkt der Widerstandsanteil, die Kreisgüte steigt und damit auch der Resonanzstrom. Liegt Oberflächenkorrosion vor, so beeinflussen die veränderten elektrischen und magnetischen Eigenschaften der Metalloberfläche vorwiegend den Induktionsanteil. Er steigt bei der gewählten Frequenz an, während der Widerstandsanteil sinkt. Daraus resultiert eine Verringerung der Kreisgüte und der Resonanzstrom wird kleiner. (Prinzipschaltbild Bild 1)

An die Meßeinrichtung können die im Bild 2 dargestellten Sonden angeschlossen werden. Sondentyp 1 (Spule mit Spaltkern) und Sondentyp 2 (Spule mit Stabkern) ermöglichen ein quasipunktförmiges Ausmessen der Oberfläche beschichteter Stahlteile. Sondentyp 3 (Spule mit Schalenkern) eignet sich zum Nachweis großflächiger Korrosionserscheinungen. Die Windungszahl der Spule der Sonde, das Kernmaterial und die geometrischen Abmessungen des Systems Spule/Kern sind so gewählt, daß unter den gegebenen Einsatzbedingungen im Frequenzbereich zwischen 300 kHz und 700 kHz der von Kondensator und Sonde gebildete Resonanzkreis ein Gütemaximum aufweist.

### Ausführungsbeispiel

Die Sonde ist über ein abgeschirmtes Kabel mit der Meßeinrichtung verbunden. Wird der Spaltkern benutzt, so tritt das magnetische Wechselfeld nahezu senkrecht aus, da der Spalt mit einem Diamagnetika ausgefüllt ist. Das Feld durchdringt die Schutzschicht und ruft in der Metalloberfläche Wirbelströme hervor. Wegen der hohen Frequenz ist die Eindringtiefe sehr gering. Durch die Spaltgeometrie wird erreicht, daß das Feld alle in der Praxis vorkommenden Schichtdicken durchdringt. Die gewählte Frequenz sichert die Unabhängigkeit von der Dicke des beschichteten Stahlteiles, da lediglich die Oberfläche vom Feld durchsetzt wird.

Beim Aufsetzen auf den zu untersuchenden Gegenstand ändert sich mit der Bedämpfung der Sonde die Spulenimpedanz in typischer Weise. Bei einer Kalibrierung auf die blanke Metalloberfläche führt Oberflächenkorrosion zu einer Änderung des Induktions- und des Widerstandsanteils der komplexen Permeabilität, die sich von der Änderung, ausgelöst durch die Abhebung, grundsätzlich unterscheidet.

Die Meßanordnung sichert, daß stets im Resonanzpunkt des Reihenkreises, der durch die Sonde und den Kondensator gebildet wird, gearbeitet wird (automatische Frequenzsteuerung). Der jeweils vorhandene Zustand an der Phasengrenze zwischen Metall und Schutzschicht wird durch die Anzeigeeinrichtung analog, digital oder als diskrete Mehrpunktanzeige wiedergegeben.

## Erfindungsansprüche

1. Magnetinduktives Meßverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung des Korrosionszustandes mit Schutzschichten überzogener Stahlteile, dadurch gekennzeichnet, daß eine aus einer Spule mit ferromagnetischem Spalt-, Stab- oder Schalenkern bestehende Prüfsonde, die mit einer Kapazität einen Reihenresonanzkreis bildet, auf die Oberfläche des Prüflings aufgesetzt bzw. über dessen Oberfläche geführt wird.
2. Verfahren nach Punkt (1), dadurch gekennzeichnet, daß durch die Form des Kerns der Prüfsonde und die gewählte Meßfrequenz das Wechselfeld durch die Schutzschicht hindurch die Metalloberfläche durchsetzt und deren Zustand über die elektrischen und magnetischen Eigenschaften rückwirkend als Impedanzänderung erfaßt.
3. Meßprinzip nach Punkt (2), dadurch gekennzeichnet, daß die Impedanzänderung sowohl die Resonanzfrequenz als auch die Kreisgüte des Reihenresonanzkreises verändert, wobei die Oberflächenkorrosion typische Änderungen des Induktions- und des Widerstandsanteils hervorruft, die von den Änderungen, hervorgerufen durch den Abhebeeffekt und durch die Rauhtiefe, unterschieden werden können.
4. Meßanordnung nach Punkt (3), dadurch gekennzeichnet, daß über eine automatische Frequenzsteuerung die Resonanzbedingungen bei gegebenen Schichtdicken gehalten werden, auch wenn sich die elektrischen und magnetischen Eigenschaften der Metalloberfläche verändert haben.
5. Meßanordnung nach Punkt (4), dadurch gekennzeichnet, daß über den Resonanzstrom eine Aussage über den Zustand der Metalloberfläche getroffen werden kann, indem die Meßwerte analog und digital angezeigt werden.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

# Prinzipschaltbild der Meßeinrichtung

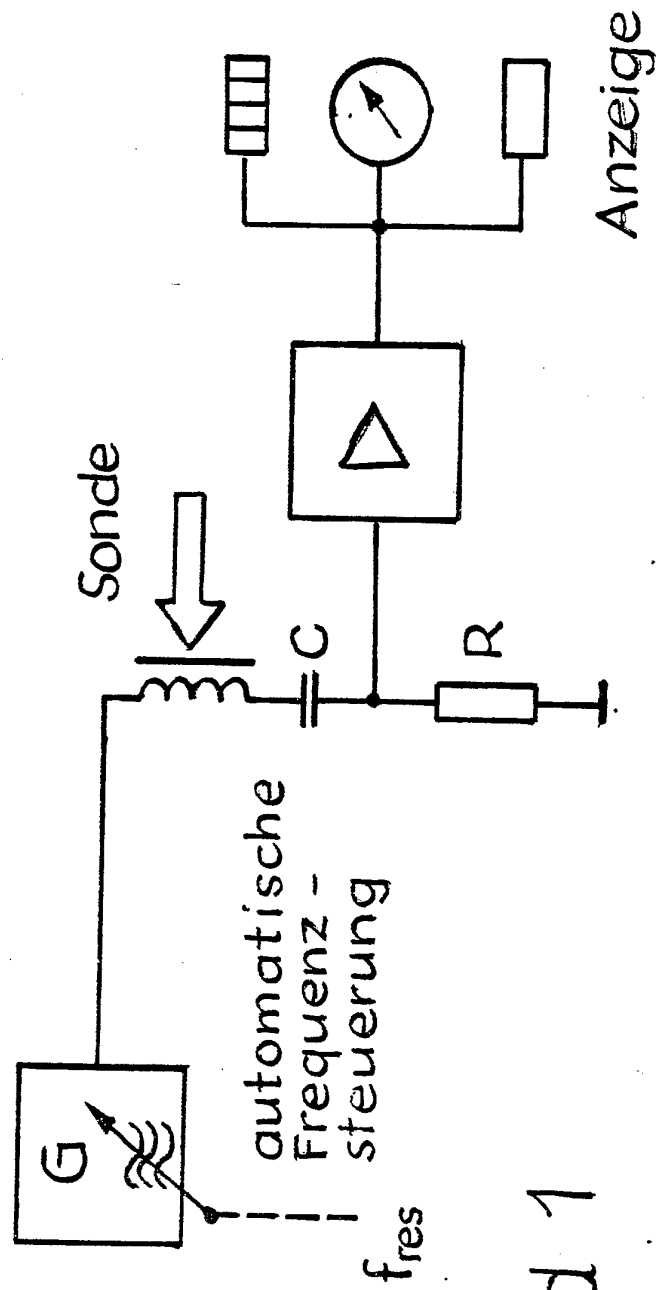
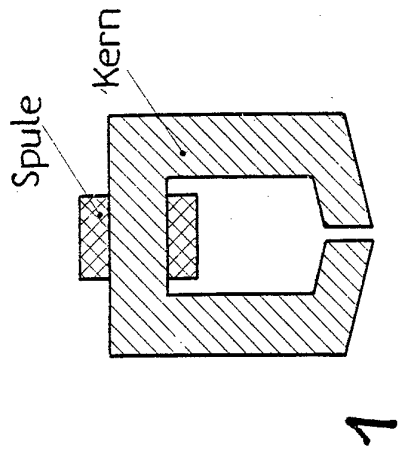
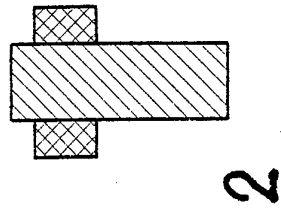


Bild 1

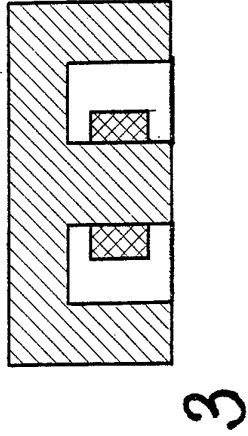
# Bild 2 Sondentypen



Spaltkern



Stabkern



Schalenkern