

## DIN EN ISO 2178



ICS 17.040.20

Ersatz für  
DIN EN ISO 2178:1995-04

**Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen Grundmetallen –  
Messen der Schichtdicke –  
Magnetverfahren (ISO 2178:2016);  
Deutsche Fassung EN ISO 2178:2016**

Non-magnetic coatings on magnetic substrates –  
Measurement of coating thickness –  
Magnetic method (ISO 2178:2016);  
German version EN ISO 2178:2016

Revêtements métalliques non magnétiques sur métal de base magnétique –  
Mesurage de l'épaisseur du revêtement –  
Méthode magnétique (ISO 2178:2016);  
Version allemande EN ISO 2178:2016

Gesamtumfang 47 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)  
DIN-Normenausschuss Beschichtungsstoffe und Beschichtungen (NAB)

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (EN ISO 2178:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 107 „Metallic and other inorganic coatings“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 262 „Metallische und andere anorganische Überzüge“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-01-61 AA „Mess- und Prüfverfahren für metallische und andere anorganische Überzüge“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

|                 |       |                        |
|-----------------|-------|------------------------|
| ISO 2064        | siehe | DIN EN ISO 2064        |
| ISO 2360        | siehe | DIN EN ISO 2360        |
| ISO 2361        | siehe | DIN EN ISO 2361        |
| ISO 2808        | siehe | DIN EN ISO 2808        |
| ISO 4618        | siehe | DIN EN ISO 4618        |
| ISO 5725-1:1994 | siehe | DIN ISO 5725-1:1997-11 |
| ISO 5725-2      | siehe | DIN ISO 5725-2         |
| ISO 21968       | siehe | DIN EN ISO 21968       |
| ISO/TR 22971    | siehe | DIN ISO/TR 22971       |

## **Änderungen**

Gegenüber DIN EN ISO 2178:1995-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) normative Verweisungen aktualisiert;
- b) Abschnitt 4 wurde überarbeitet, dabei werden sowohl das magnetische Haftkraftverfahren als auch das magnetinduktive Verfahren erläutert;
- c) Abschnitt 5 umbenannt;
- d) elektrische Eigenschaften der Beschichtung, Temperatureffekte, Sauberkeit wurden in Abschnitt 5 ergänzt;
- e) Abschnitt 6 wurde überarbeitet und die Justierung des Messgeräts ergänzt;
- f) Abschnitt 9 „Präzision“ wurde ergänzt;
- g) Anhänge A bis G neu aufgenommen;
- h) redaktionelle Überarbeitung.

## **Frühere Ausgaben**

DIN 51168: 1977-02  
DIN 50981: 1979-05  
DIN EN ISO 2178: 1995-04

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 2064, *Metallische und andere anorganische Schichten — Definitionen und Festlegungen, die die Messung der Schichtdicke betreffen*

DIN EN ISO 2360, *Nichtleitende Überzüge auf nichtmagnetischen metallischen Grundwerkstoffen — Messen der Schichtdicke — Wirbelstromverfahren*

DIN EN ISO 2361, *Elektrolytisch erzeugte Nickelschichten auf magnetischen und nichtmagnetischen Grundmetallen — Messen der Schichtdicke — Magnetverfahren*

DIN EN ISO 2808, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung der Schichtdicke*

DIN EN ISO 4618, *Beschichtungsstoffe — Begriffe*

DIN EN ISO 21968, *Nichtmagnetische metallische Überzüge auf metallischen und nichtmetallischen Grundwerkstoffen — Messung der Schichtdicke — Wirbelstromphasenwechselverfahren*

DIN ISO 5725-1: 1997-11, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Meßverfahren und Meßergebnissen — Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe (ISO 5725-1:1994)*

DIN ISO 5725-2, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 2: Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens*

DIN ISO/TR 22971, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Leitfaden zur Verwendung von ISO 5725-2:1994 bei der Entwicklung, Einführung und statistischen Analyse von Ringversuchsergebnissen zur Wiederhol- und Vergleichpräzision*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen  
Grundmetallen —  
Messen der Schichtdicke —  
Magnetverfahren  
(ISO 2178:2016)

Non-magnetic coatings on magnetic substrates —  
Measurement of coating thickness —  
Magnetic method  
(ISO 2178:2016)

Revêtements métalliques non magnétiques sur métal de  
base magnétique —  
Mesurage de l'épaisseur du revêtement —  
Méthode magnétique  
(ISO 2178:2016)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 27. Februar 2016 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

## Inhalt

|                                                                                                                                                                           | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1 Anwendungsbereich.....                                                                                                                                                  | 6     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                                                                            | 6     |
| 3 Begriffe .....                                                                                                                                                          | 6     |
| 4 Prinzip der Messung.....                                                                                                                                                | 7     |
| 4.1 Grundprinzip aller magnetischen Messverfahren .....                                                                                                                   | 7     |
| 4.2 Magnetisches Abzugskraftverfahren.....                                                                                                                                | 7     |
| 4.3 Magnetinduktives Verfahren .....                                                                                                                                      | 8     |
| 4.4 Magnetflussmessgerät.....                                                                                                                                             | 10    |
| 5 Faktoren, die die Messgenauigkeit beeinflussen.....                                                                                                                     | 11    |
| 5.1 Einfluss der Schichtdicke.....                                                                                                                                        | 11    |
| 5.2 Magnetische Eigenschaften des Grundmetalls .....                                                                                                                      | 11    |
| 5.3 Elektrische Eigenschaften der Beschichtungen .....                                                                                                                    | 12    |
| 5.4 Geometrie: Dicke des Grundmetalls.....                                                                                                                                | 12    |
| 5.5 Kanteneffekt.....                                                                                                                                                     | 12    |
| 5.6 Geometrie: Oberflächenkrümmung.....                                                                                                                                   | 13    |
| 5.7 Oberflächenrauheit.....                                                                                                                                               | 13    |
| 5.8 Sauberkeit: Abhebeeffect.....                                                                                                                                         | 13    |
| 5.9 Anpressdruck des Prüfkopfs.....                                                                                                                                       | 13    |
| 5.10 Neigung des Prüfkopfs.....                                                                                                                                           | 14    |
| 5.11 Temperatureffekte.....                                                                                                                                               | 14    |
| 5.12 Äußere elektromagnetische Felder .....                                                                                                                               | 14    |
| 6 Kalibrierung und Justierung des Messgeräts .....                                                                                                                        | 14    |
| 6.1 Allgemeines .....                                                                                                                                                     | 14    |
| 6.2 Schichtdickennormale.....                                                                                                                                             | 14    |
| 6.3 Justierverfahren.....                                                                                                                                                 | 15    |
| 7 Durchführung der Messung und Auswertung.....                                                                                                                            | 16    |
| 7.1 Allgemeines .....                                                                                                                                                     | 16    |
| 7.2 Anzahl der Messungen und Auswertung.....                                                                                                                              | 16    |
| 8 Unsicherheit der Ergebnisse .....                                                                                                                                       | 17    |
| 8.1 Allgemeine Bemerkungen.....                                                                                                                                           | 17    |
| 8.2 Unsicherheit der Kalibrierung des Messgeräts.....                                                                                                                     | 18    |
| 8.3 Stochastische Fehler .....                                                                                                                                            | 19    |
| 8.4 Unsicherheiten durch Faktoren, die in Abschnitt 5 zusammengefasst sind.....                                                                                           | 19    |
| 8.5 Kombinierte Unsicherheit, erweiterte Unsicherheit und Endergebnis .....                                                                                               | 20    |
| 9 Präzision .....                                                                                                                                                         | 20    |
| 9.1 Allgemeines .....                                                                                                                                                     | 20    |
| 9.2 Wiederholpräzision ( $r$ ) .....                                                                                                                                      | 20    |
| 9.3 Vergleichsgrenze ( $R$ ) .....                                                                                                                                        | 21    |
| 10 Prüfbericht.....                                                                                                                                                       | 21    |
| Anhang A (informativ) Grundprinzip aller Messverfahren .....                                                                                                              | 23    |
| Anhang B (informativ) Grundlegende Leistungsanforderungen an Schichtdickenmessgeräte<br>nach dem in dieser Internationalen Norm beschriebenen magnetischen Verfahren..... | 25    |

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anhang C (informativ) Beispiele für experimentelle Abschätzung von Faktoren, die die Messgenauigkeit beeinflussen.....                     | 27 |
| Anhang D (informativ) Beispiel für die Abschätzung der Unsicherheit (siehe Abschnitt 8).....                                               | 32 |
| Anhang E (informativ) Grundlagen zur Bestimmung der Unsicherheit einer Messung des angewandten Messverfahrens nach ISO/IEC Guide 98-3..... | 34 |
| Anhang F (informativ) Tabelle des Student-Faktors.....                                                                                     | 36 |
| Anhang G (informativ) Angaben zur Präzision.....                                                                                           | 37 |

## **Europäisches Vorwort**

Dieses Dokument (EN ISO 2178:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 107 „Metallic and other inorganic coatings“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 262 „Metallische und andere anorganische Überzüge“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2016, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2016 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 2178:1995.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

### **Anerkennungsnotiz**

Der Text von ISO 2178:2016 wurde vom CEN als EN ISO 2178:2016 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der empfangenen Patenterklärungen (siehe [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents)).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: [www.iso.org/iso/foreword.html](http://www.iso.org/iso/foreword.html).

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/107, *Metallic and other inorganic coatings*.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 2178:1982), welche technisch überarbeitet wurde.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt ein Verfahren für zerstörungsfreie Schichtdickenmessungen nichtmagnetischer Beschichtungen auf magnetischen Grundmetallen fest.

Es handelt sich um berührende und zerstörungsfreie Messungen auf üblichen Beschichtungen. Der Prüfkopf oder ein Messgerät mit integrierter Sonde wird direkt auf dem zu messenden Überzug aufgesetzt. Das Messgerät gibt die Schichtdicke an.

In dieser Internationalen Norm wird der Begriff „Beschichtung“ verwendet für Werkstoffe, wie z. B. Lacke und Anstrichstoffe, galvanische Überzüge, Email, Kunststoffschichten, Pulverlacke, Umhüllungen.

**ANMERKUNG** Dieses Verfahren kann auch bei Messung magnetisierbarer Überzüge auf nichtmagnetisierbaren Grundmetallen oder anderen Werkstoffen angewandt werden (siehe ISO 2361).

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 2064, *Metallic and other non-organic coatings — Definitions and conventions concerning the measurement of thickness*

ISO 4618, *Paints and varnishes — Terms and definitions*

ISO 5725-1:1994, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 1: General principles and definitions*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 2064 und ISO 4618 und die folgenden Begriffe.

### 3.1

#### **Justierung eines Messsystems**

Reihe von Tätigkeiten, die an einem Messsystem ausgeführt werden, sodass dieses festgelegte Anzeigen liefert, die Werten einer zu messenden Größe entsprechen

**Anmerkung 1 zum Begriff:** Zur Justierung eines Messsystems können Nullpunkteinstellung, Abgleich der Nullpunktverschiebung (Offsetjustierung) und Bereichsjustierung (manchmal als Gain-Abgleich bezeichnet) gehören.

**Anmerkung 2 zum Begriff:** Die Justierung eines Messsystems sollte nicht mit der Kalibrierung verwechselt werden, die eine Grundvoraussetzung für die Justierung ist.

**Anmerkung 3 zum Begriff:** Nach einer Justierung eines Messsystems ist das Messsystem im Allgemeinen erneut zu kalibrieren.

**Anmerkung 4 zum Begriff:** Umgangssprachlich wird der Begriff Kalibrierung häufig, jedoch fälschlicherweise, anstelle des Begriffs Justierung verwendet. In gleicher Weise werden die Begriffe Verifizierung oder Kontrolle anstelle des korrekten Begriffs Kalibrierung verwendet.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 3.11 (auch als „VIM“ bekannt), modifiziert – Anmerkung 4 zum Begriff wurde ergänzt]

### 3.2

#### Kalibrierung

Tätigkeit, die unter festgelegten Bedingungen in einem ersten Schritt eine Beziehung zwischen den durch Normale zur Verfügung gestellten Größenwerten mit ihren Messunsicherheiten und den entsprechenden Anzeigen mit ihren beigeordneten Messunsicherheiten herstellt und in einem zweiten Schritt diese Informationen verwendet, um eine Beziehung herzustellen, mit deren Hilfe ein Messergebnis aus einer Anzeige erhalten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Ergebnis einer Kalibrierung kann in Form einer Angabe, einer Kalibrierfunktion, eines Kalibrierdiagramms, einer Kalibrierkurve oder einer Kalibriertabelle angegeben werden. In einigen Fällen kann sie aus einer additiven oder multiplikativen Korrektur der Anzeige mit der beigeordneten Messunsicherheit bestehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Kalibrierung sollte nicht mit Justierung eines Messsystems verwechselt werden, die oft fälschlicherweise "Selbst-Kalibrierung" genannt wird, und auch nicht mit Verifizierung der Kalibrierung.

Anmerkung 3 zum Begriff: Oft wird nur der erste Schritt in der obigen Definition als Kalibrierung angesehen.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.39 (auch als „VIM“ bekannt)]

## 4 Prinzip der Messung

### 4.1 Grundprinzip aller magnetischen Messverfahren

Die magnetische Flussdichte in der Nähe eines magnetischen Felds (Dauermagnet oder Elektromagnet) hängt vom Abstand zu einem magnetisierbaren Grundmetall ab. Dieses Phänomen wird zur Bestimmung der Dicke einer auf einem Grundmetall aufgetragenen nichtmagnetischen Schicht verwendet.

ANMERKUNG 1 In Anhang A ist der physikalische Hintergrund dieses Effekts ausführlicher beschrieben.

Bei allen in dieser Internationalen Norm behandelten Verfahren wird die Schichtdicke mithilfe der magnetischen Flussdichte bestimmt. Die Stärke der magnetischen Flussdichte wird in Abhängigkeit vom angewandten Verfahren in entsprechende elektrische Stromstärken, elektrische Spannungen oder mechanische Kräfte umgewandelt. Die Werte werden auf einem Messgerät mit geeigneter Skala entweder digital oder direkt angezeigt.

ANMERKUNG 2 Die in 4.3 und 4.4 beschriebenen Verfahren können außerdem zu einem Verfahren und der gleiche Prüfkopf kann mit einem anderen Verfahren kombiniert werden, z. B. mit dem Wirbelstromverfahren nach ISO 2360 oder ISO 21968.

Anhang B beschreibt die grundlegenden Leistungsanforderungen an Schichtdickenmessgeräte nach dem in dieser Internationalen Norm beschriebenen magnetischen Verfahren.

### 4.2 Magnetisches Abzugskraftverfahren

Die magnetische Flussdichte eines Dauermagneten und somit die Anziehungskraft zwischen einem Dauermagneten und einem magnetisierbaren Grundmetall nehmen mit zunehmendem Abstand ab. Auf diese Weise ist die Anziehungskraft ein direktes Maß für die zu messende Schichtdicke.

Messgeräte, die nach dem magnetischen Abzugskraftverfahren funktionieren, bestehen aus mindestens drei Teilen:

- einem Dauermagnet;
- einer Abzugseinrichtung mit kontinuierlich zunehmender Abzugskraft;
- einer Anzeige oder Skala für die Schichtdicke, die aus der Abzugskraft berechnet wird.

Die Abzugskraft kann durch verschiedene Arten von Federn oder durch eine elektromagnetische Einrichtung erzeugt werden.

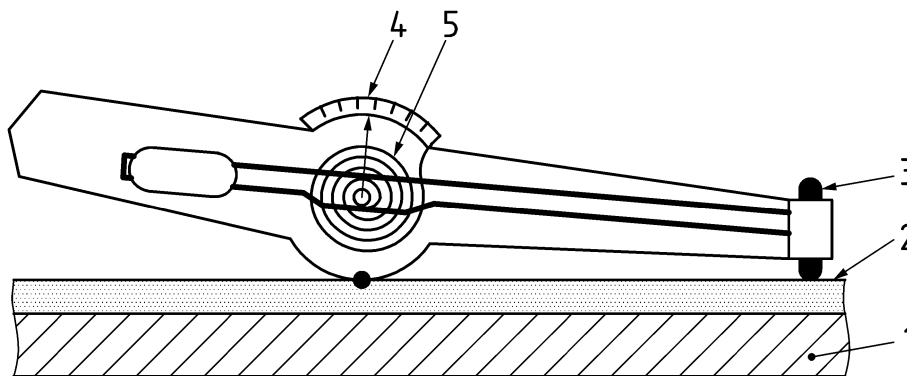
Einige Messgeräte sind in der Lage, den Einfluss der Gravitation zu kompensieren und erlauben Messungen in allen Positionen.

Alle sonstigen Messgeräte dürfen nur in der vom Hersteller festgelegten Position verwendet werden.

Die Stelle, an der die Messung durchgeführt wird, muss sauber und frei von Flüssigkeiten oder pastösen Beschichtungen sein. Am Dauermagnet dürfen keine Partikel haften.

Elektrostatische Aufladung kann am Dauermagnet oder Messsystem zusätzliche Kräfte verursachen und ist daher zu vermeiden oder vor der Messung zu entladen.

Bild 1 zeigt ein magnetisches Abzugskraftmessgerät.



#### Legende

- 1 Grundmetall
- 2 Beschichtung
- 3 Magnet
- 4 Skala
- 5 Feder

**Bild 1 — Magnetisches Abzugskraftmessgerät**

### 4.3 Magnetinduktives Verfahren

Wenn in eine Spule ein Eisenkern eingeführt wird oder wenn ein Gegenstand aus Eisen, z. B. eine Platte, in die Nähe der Spule gebracht wird, verändert sich die elektrische Induktivität der Spule. Die elektrische Induktivität kann daher als Maß für den Abstand zwischen der Spule und einem ferromagnetischen Substrat oder als ein Maß für die Schichtdicke verwendet werden, wenn die Spule auf einem beschichteten magnetisierbaren Grundmetall aufgesetzt wird.

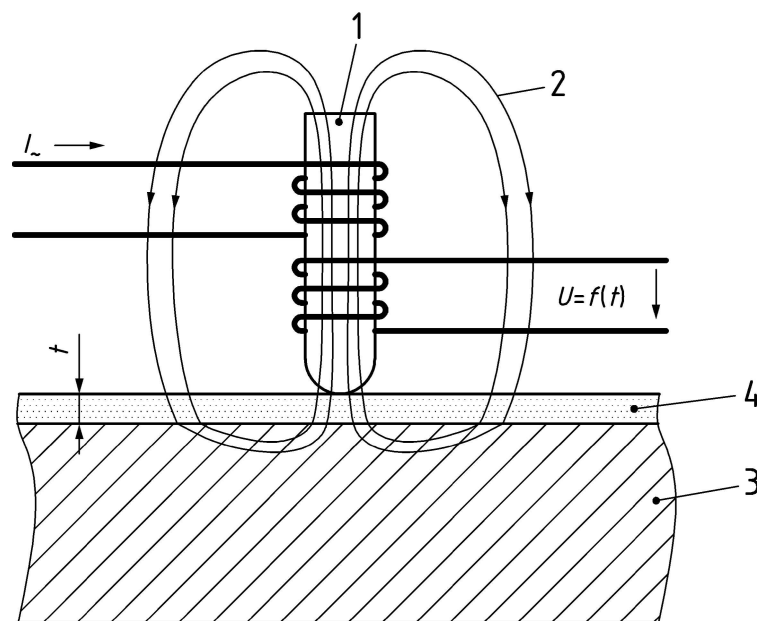
Es gibt viele unterschiedliche elektronische Verfahren zur Bewertung der Änderung der elektrischen Induktivität oder der Reaktion eines Spulensystems auf ein ferromagnetisches Substrat. Magnetinduktionssonden für Schichtdickenmessungen auf magnetisierbaren Werkstoffen können aus einer oder mehreren Spulen bestehen. Am häufigsten werden zwei Spulen verwendet (siehe Bild 2): die erste Spule (Primärspule) zur Erzeugung eines niederfrequenten magnetischen Wechselfeldes und die zweite Spule (Sekundärspule) zur Messung der resultierenden induzierten Spannung  $U$ . Wenn die Sonde auf einem beschichteten magnetisierbaren Werkstoff aufgesetzt wird ( $\mu_r > 1$ ), verändern sich die magnetische Flussdichte (siehe Anhang A) und die induzierte Spannung der Sekundärspule in Abhängigkeit von der Schichtdicke. Die Funktion der induzierten Spannung in Abhängigkeit von der Schichtdicke ist nichtlinear und hängt von der magnetischen Permeabilität  $\mu_r$  des Grundmetalls ab. Sie wird normalerweise durch eine

Kalibrierung bestimmt. Das Messgerät kann Kalibrierkurven speichern, die der induzierten Spannung eine Schichtdicke zuordnen.

Bei dieser Art von Sonden (Prüfköpfen) werden verschiedene Ausführungen und Geometrien verwendet. Sehr häufig werden beide Spulen zusammen mit einem stark magnetisierbaren Kern eingesetzt, um die Empfindlichkeit der Prüfköpfe zu erhöhen und das Magnetfeld zu verdichten. Auf diese Weise werden sowohl die Beschichtungsfläche, die zur Dickenmessung beiträgt, als auch der Einfluss der Geometrie des beschichteten Bauteils verringert (siehe 5.5 und 5.6).

Ein zweipoliger Prüfkopf (siehe Bild 3) hingegen hat eine weite und offene Feldverteilung. Der zweipolige Prüfkopf weist flächenintegrierende Eigenschaften auf, während ein einpoliger Prüfkopf lokal misst.

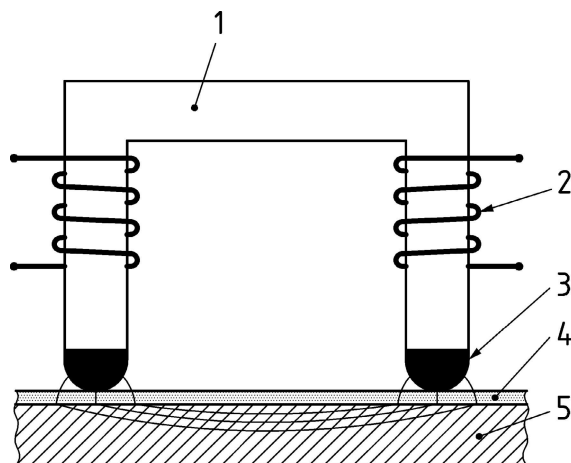
Üblicherweise liegt die Frequenz des erzeugten magnetischen Felds unterhalb des Kilohertzbereichs; was die Erzeugung von Wirbelströmen vermeidet, wenn die Beschichtungen leitend sind. Somit können nach diesem Prinzip leitende und nichtleitende Beschichtungen gemessen werden.



### Legende

|   |                                           |             |              |
|---|-------------------------------------------|-------------|--------------|
| 1 | Eisenkern des Prüfkopfs                   | $I_{\sim}$  | Erregerstrom |
| 2 | niederfrequentes magnetisches Wechselfeld | $th$        | Schichtdicke |
| 3 | Substrat aus Stahl/Eisen                  | $U = f(th)$ | Messsignal   |
| 4 | Beschichtung                              |             |              |

**Bild 2 — Schematische Darstellung des magnetinduktiven Verfahrens**



### Legende

- |   |                         |   |              |
|---|-------------------------|---|--------------|
| 1 | Eisenkern des Prüfkopfs | 4 | Beschichtung |
| 2 | Spulensystem            | 5 | Grundmetall  |
| 3 | Tastspitze              |   |              |

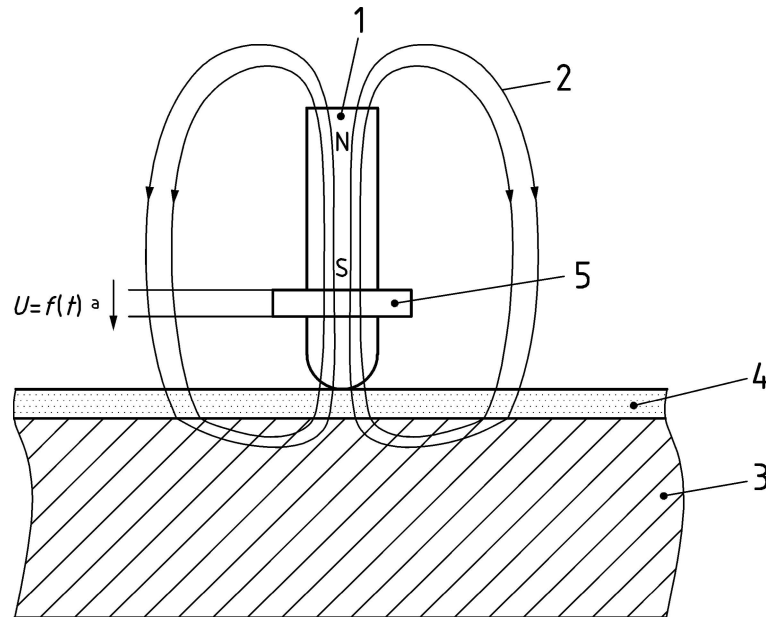
**Bild 3 — Schematische Darstellung eines zweipoligen Prüfkopfs**

## 4.4 Magnetflussmessgerät

In der Nähe eines Magnets ist die magnetische Flussdichte von den magnetischen Eigenschaften der Stoffe im magnetischen Feld abhängig. Die magnetische Flussdichte nimmt ab, wenn der Anteil an nichtmagnetisierbaren Stoffen im Verhältnis zum Anteil an magnetisierbaren Stoffen zunimmt. Diese Tatsache wird bei Magnetflussmessgeräten genutzt (siehe Bild 4). Die Beschichtung (4) ist nichtmagnetisierbar; das Grundmetall (3) ist magnetisierbar. Ein Magnet (1) erzeugt ein magnetisches Feld. Die Feldlinien des magnetischen Felds durchdringen die Beschichtung und das Grundmetall. Ein Magnetflussdetektor (5), der sich in der Nähe des Magnets befindet, gibt ein Signal ab, das von der Schichtdicke abhängig ist.

Anmerkung 1 Magnetflussdetektoren sind als Hallsensor oder magnetoresistiver Sensor ausgebildet.

Anmerkung 2 Als Magnet kann ein Dauermagnet oder ein Elektromagnet verwendet werden.



### Legende

- |   |                                    |     |            |
|---|------------------------------------|-----|------------|
| 1 | Dauermagnet                        | $U$ | Spannung   |
| 2 | magnetisches Feld                  | $a$ | Messsignal |
| 3 | Grundmetall                        |     |            |
| 4 | Beschichtung                       |     |            |
| 5 | Hallsensor als Magnetflussdetektor |     |            |

**Bild 4 — Magnetflussmessgerät mit Hallsensor**

Die elektrischen Signale des Magnetflussmessgeräts werden elektronisch verarbeitet. Die Funktion der Ausgabe des Magnetflussdetektors in Abhängigkeit von der Schichtdicke ist nichtlinear und hängt von der magnetischen Permeabilität  $\mu_r$  des Grundmetalls ab. Sie wird normalerweise durch Kalibrierung bestimmt. Das Messgerät kann Kalibrierkurven speichern, die der elektrischen Detektorausgabe eine Schichtdicke zuordnen.

## 5 Faktoren, die die Messgenauigkeit beeinflussen

### 5.1 Einfluss der Schichtdicke

Die Empfindlichkeit eines Prüfkopfs (einer Sonde), d.h. der Messeffekt, nimmt mit zunehmender Schichtdicke innerhalb des Messbereichs des Prüfkopfs ab. Im unteren Messbereich ist diese Messunsicherheit (absolut betrachtet) unabhängig von der Schichtdicke konstant. Der Absolutwert dieser Unsicherheit ist abhängig von den Eigenschaften des SONDENSYSTEMS und der verwendeten Probenwerkstoffe, z. B. von der Homogenität der magnetischen Permeabilität des Grundmetalls und der Rauheit des Grundmetalls und der Probenoberfläche. Im oberen Messbereich der Sonde wird die Unsicherheit abhängig von der Schichtdicke und ist etwa ein konstanter Bruchteil dieser Dicke.

### 5.2 Magnetische Eigenschaften des Grundmetalls

Der Messeffekt dieses Verfahrens wird durch die magnetische Permeabilität des Grundmetalls bedingt.

Der Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Messwert ist stark abhängig von der magnetischen Permeabilität des Grundmetalls. Folglich müssen die Kalibrierung und die Messungen am gleichen Werkstoff erfolgen. Verschiedene Werkstoffe mit unterschiedlicher magnetischer Permeabilität können zu mehr oder