

Schichtdickenmessung (Schicht)

1 Versuchsziel

Einsatz von Schichten in der Technik und Kennenlernen von verschiedenen Verfahren zur Schichtdickenmessung und ihre Einsatzmöglichkeiten und Grenzen.

2 Versuchsgrundlagen

2.1 Dünne Schichten

Dünne Schichten werden erfolgreich in vielfältiger Weise in allen Bereichen der Wissenschaft, der Technik und der Medizin als Funktionsschichten eingesetzt, z. B. als Oberflächenschutz-, Verschleißschutz-, Korrosionsschutz-, Hartstoff-, Haftvermittler-, Abschirm-, Barrieren-, Leitbahn-, Widerstands- und Passivierungsschichten, sowie zur Entspiegelung von optischen Bauteilen und als optischer Filter.

Die eingesetzten Schichtmaterialien können u.a. Metalle, Legierungen, Halbleiter, Lacke, Kunststoffe, Oxide, Nitride, Boride entsprechend des Verwendungszwecks sein. Die durch die unterschiedlichen Herstellungsverfahren (Aufdampfen, Elektronenstrahlverdampfung, Sputtern, Physical/Chemical Vapor Deposition, Galvanische Abscheidung) abgeschiedenen Schichten zeigen unterschiedliche Eigenschaften z. B. Haftfestigkeit, Korngröße, Fehlordnungsdichte. Bei allen Applikationen spielt die Messung der Schichtdicke eine zentrale Rolle, da viele gewünschte Betriebs- und Gebrauchseigenschaften eine Funktion der Schichtdicke d_s sind, u.a. Reflexionsgrad, spezifischer elektrischer Widerstand, Haftfestigkeit, Dichte, innere Spannungen, Diffusionskonstante, Zugfestigkeit, Schmelztemperatur, Durchschlagfeldstärke, Koerzitivfeldstärke. Unterschiedliche nach verschiedenen physikalischen Prinzipien arbeitenden Messverfahren gestatten die Schichtdickenmessungen im Bereich von 3 nm – 50 μm .

2.2 Begriff der Schicht

Unter einer Schicht versteht man das Volumen eines festen (oder flüssigen) Materials, das vorwiegend zweidimensional ausgedehnt ist und nach Bild 1 von den beiden Grenzflächen

- zwischen der gasförmigen oder flüssigen Umgebung und der Schicht
- zwischen der Schicht und dem Substrat (= Träger, Unterlage u. ä.) eingeschlossen wird.

Die Schichtdicke d_s wird als der Abstand definiert, den die Schnittpunkte der Schichtnormalen mit den beiden Grenzflächen aufweisen. Hierbei werden oft folgende Begriffe bei nicht ideal ebenen Grenzflächen - mit einer Rauhtiefe R - unterschieden:

- wahre Schichtdicke: d_s nach der oben angegebenen Definition, meist aber nur auf örtlich sehr begrenzte Flächen bezogen (lokale Größe).

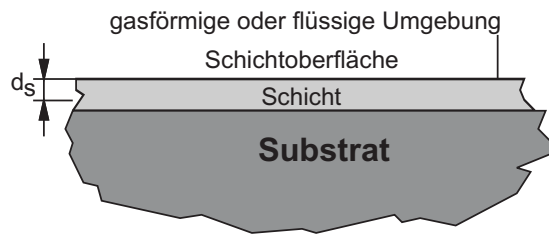


Bild 1: Schemazeichnung zur Definition des Begriffs einer „Schicht“ mit der Schichtdicke d_s

- mittlere Schichtdicke: Dickenangabe, die aus einer physikalischen Meßgröße - z. B. dem Flächenwiderstand - ermittelt wird. Die Dicke und die Meßgröße stehen dabei untereinander in einem bekannten, reproduzierbaren und durch eine Funktion zu beschreibenden Zusammenhang. Die mittlere Schichtdicke stellt einen Mittelwert über die wahren Schichtdicken der erfaßten Fläche dar (integrale Größe).

Bekannte Dickenmessmethoden ergeben eine mittlere Schichtdicke. Die Art der Mittelung ist dabei von Methode zu Methode verschieden, je nachdem, welche Schichteigenschaften als unmittelbare Messgröße ausgenutzt wird. Beispielsweise wird durch Wägung ein Dickenwert gemessen, der einer Schichtdicke entsprechen würde, in der die bestimmte Masse homogen untergebracht ist. Im eigentlichen Sinne wird hier Masse gemittelt. In analoger Weise werden bei Interferenzverfahren Abstände gemittelt.

Die Darlegung lässt deutlich werden, dass verfahrensbedingte Möglichkeiten der Mittelung zu verschiedenen Messwerten bei der Schichtdickenbestimmung führen, die nicht auf eine fehlerhafte Messung zurückzuführen sind.

Es erscheint deshalb sinnvoll, entsprechend dem Verwendungszweck der dünnen Schicht ein entsprechendes Messverfahren geeigneter Mittelung aus der Vielzahl der möglichen Messverfahren auszuwählen, derart, dass die unmittelbar gemittelte Größe dem Verwendungszweck entspricht. Die Verwendung dünner Schichten in der Mikroelektronik stellt an den technologischen Herstellungsprozess, z. B. Aufdampfen oder Sputtern im Hochvakuum bzw. Ultrahochvakuum, die Forderung, die Reproduzierbarkeit der elektrischen Eigenschaften zu sichern. Demzufolge erscheint es sinnvoll, eine elektrische Dicke zu messen.

2.3 Schichtdickenmeßverfahren

Die Schichtdickenmeßverfahren lassen sich in zerstörende und zerstörungsfreie klassifizieren, wobei die zerstörenden Absolutmeßverfahren sind [1]. Für viele Anwendungsgebiete haben sich als vorteilhaft die zerstörungsfreien Schichtdickenmeßverfahren erwiesen, da die zu messende Schicht nahezu ohne Einschränkung erhalten bleibt.

Die Schichtdickenmessung umfaßt zwei Aufgabenbereiche:

- a) Schichtdickenmessung nach Fertigstellung der Schicht (z. B. im Rahmen einer Produktionsüberwachung)
- b) Schichtdickenmessung während der Schichtherstellung zur Einstellung einer definierten Sollsichtdicke (bei Erreichen der Sollsichtdicke wird der Beschichtungsprozeß automatisch unterbrochen).

Die kontinuierliche bzw. prozeßbegleitende Schichtdickenmessung ist von enormer Bedeutung in der Mikroelektronik, der Mikrosystemtechnik und der Optik.

Tabelle 1: Schichtdickenmessverfahren nach DIN EN ISO 3882 und DIN EN ISO 2808

zerstörend	zerstörungsfrei
<u>chemisch-mechanisch:</u>	<u>elektromagnetisch:</u>
- chem. Ablösen (Feinanzeiger)	- Haftkraft
- chem. Ablösen (Gravimetrie)	- magnetinduktive Verfahren
<u>chemisch:</u>	- kapazitive Verfahren
- chem. Ablösen (Titration)	- Wirbelstromverfahren
- chem. Ablösen (Atomabsorption)	<u>radiometrisch:</u>
- Coulometrie	- Betarückstreuverfahren
<u>mikroskopisch:</u>	- Röntgenfluoreszenzverfahren
- Keilschnitt	<u>optisch:</u>
- Querschliff	- Lichtschnittverfahren
- Kalottenschliff	- Lichtinterferenz
	- Ellipsometrie
	- Totalreflexion von Röntgenstrahlung
	- Photothermisch, Thermowelle
	<u>akustisch:</u>
	- Quarzmonitor-Verfahren
	- Ultraschallverfahren
	<u>mechanisch:</u>
	- Messuhren
	- Profilometer
	- am bewegten Messobjekt

Einen Überblick über wichtige zerstörende und zerstörungsfreie Schichtdickenmeßverfahren, geordnet nach den physikalischen Wirkprinzipien, zeigt Tabelle 1.

3 Schichtdickenmeßverfahren (Auswahl)

3.1 Das magnetinduktive Messverfahren als elektromagnetisches Schichtdickenmessverfahren [2, 3]

Unter Anwendung dieses Prinzips können unmagnetische Beschichtungen (z.B. Zink, Chrom, Lack, Emaille, Kunststoff) zerstörungsfrei auf ferromagnetischem Grundwerkstoff (Stahl, Eisen) gemessen werden. Bild 2 zeigt den Aufbau einer bei diesem Verfahren verwendeten Messsonde. Ein niederfrequenter Erregerstrom I (wenige 100 Hz) erzeugt im Sondenpol einen magnetischen Fluss (gestrichelte Linien), der von der Messsonde durch die unmagnetische Deckschicht zum ferromagnetischen Grundwerkstoff fließt. Der magnetische Fluß (und damit auch die gemessene Spannung U) ändert sich mit der Schichtdicke, weil die nichtferromagnetische Schicht einen wesentlichen Beitrag zum magnetischen Widerstand R_m liefert. Die Änderung des magnetischen Flusses wird in der Sonde gemessen und vom Messgerät als Schichtdicke angezeigt.

Wie auch beim Wirbelstromverfahren ist in modernen Meßgeräten der Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Sondensignal in Form einer normierten Kennlinie im Gerät gespeichert. Das Meßsignal wird über diese Kennlinie in eine gültige Schichtdicke umgewandelt.

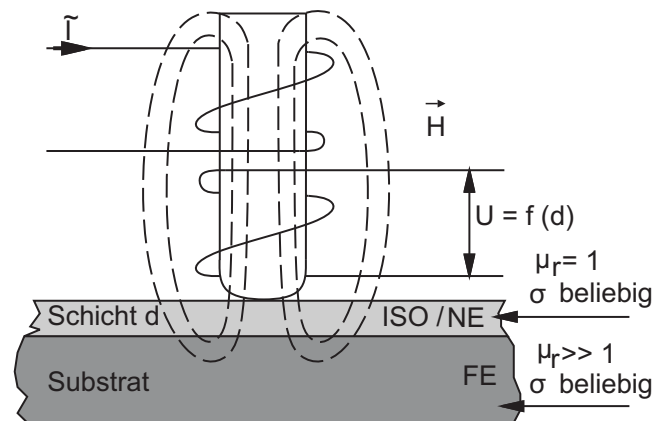


Bild 2: Schema einer Messsonde (Einpolsonde) für das magnetinduktive Verfahren

3.2 Das Wirbelstrommessverfahren als elektromagnetisches Schichtdickenmessverfahren [2, 3]

Das Verfahren ist einerseits geeignet, elektrisch nichtleitende Beschichtungen (Farbe, Kunststoff, Keramik, Eloxal) zerstörungsfrei auf nichtferromagnetischen aber elektrische leitenden Grundmaterialien (u.a. Al, Cu, Messing) und andererseits elektrisch leitende Schichtmaterialien (u.a. Cu, Al, Ag, Au) auf isolierenden bzw. schlecht leitenden Substraten (Glas) zu messen. Im Gegensatz zum magnetinduktiven Meßverfahren werden beim Wirbelstromverfahren Frequenzen bis in den MHz-Bereich verwendet. Bild 3 zeigt die Wirkungsweise des Verfahrens. Die durch den hochfrequenten Spulenstrom I im Grundmaterial erzeugten Wirbelströme I_W verändern die Impedanz R der das hochfrequente Wechselfeld erzeugenden Spule. Die zur Erzeugung der Wirbelströme erforderliche Energie wird vom Magnetfeld der Spule geliefert. Das nimmt mit größer werdendem Abstand von der Oberfläche der Grundschicht ab. Nach der LENZschen Regel überlagert sich das von den Wirbelströmen erzeugte Magnetfeld mit dem Ursprungsfeld und schwächt dieses. Damit dient die Impedanzänderung, die vom Abstand der Sonde vom Grundmaterial abhängt, als Meßgröße für die Schichtdicke.

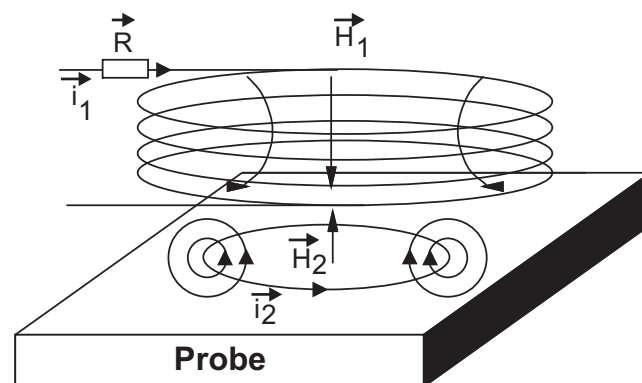


Bild 3: Schematischer Aufbau einer Wirbelstrom-Messsonde

Genau wie beim magnetinduktiven Meßverfahren beeinflussen Substratwerkstoff und Geometrie des Meßgegenstandes die Meßgröße. Moderne Meßgeräte enthalten Gerätefunktionen, welche die Eliminierung dieser Störgrößen ermöglichen.

3.3 Röntgenfluoreszenzverfahren [4]

Die energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ist eine Messmethode zur Schichtdickenmessung und Materialanalyse. Sie lässt sich zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der elementaren Zusammensetzung einer Materialprobe und zur Messung von Schichten und Schichtsystemen einsetzen. Im industriellen Alltag und im Labor ist dieses Verfahren heute längst etabliert und mit modernen Geräten optimal nutzbar. Mit der RFA sind Schichten von weniger als 200 nm bis weit über den 50 μm Bereich im Schichtdickenbereich analysierbar.

Das Prinzip der RFA beruht darauf, dass die Atome in einer Materialprobe durch die primäre Röntgenstrahlung zur Aussendung von (Sekundär)Röntgenstrahlung angeregt werden. Dazu werden Elektronen aus den inneren Schalen des Atoms herausgelöst. Die dabei entstehenden Lücken werden durch Elektronen aus weiter außen liegenden Atomschalen aufgefüllt. Bei diesen Übergängen entsteht eine für jedes Element charakteristische Fluoreszenzstrahlung. Diese wird vom Detektor erfasst und gibt Aufschluss über die Zusammensetzung der Probe. Die messbare Intensität der Röntgenfluoreszenzstrahlung der Schichtbestandteile ist als Maß für die Schichtdicke verwendbar und kann durch den Vergleich mit bekannten Schichtdicken gleicher Materialzusammensetzung bei gleichen Untersuchungsbedingungen kalibriert werden. Beim senkrechten Bestrahlen der Probe durchdringt der Röntgen-Primärstrahl die Schicht/ Mehrfachschicht und das Substrat. Dabei wird der Röntgenstrahl im Werkstoffsystem absorbiert. Die Energie der Strahlung (z.B. 50 kV) bestimmt die Eindringtiefe und begrenzt die maximal erreichbaren Analysendicken. Die Absorption der charakteristischen Strahlung bestimmt, aus welchen Tiefen die Röntgenstrahlung die Probe noch verlassen kann. Die gemessenen Impulsraten ändern sich mit der Schichtdicke. Die Schichtimpulsraten nehmen mit zunehmender Schichtdicke zu, sodass die Impulsrate des Substrates abnimmt. Bei Mehrfach-Schichtdicken ändert sich die Impulsrate der Deckschicht mit allen darunter liegenden Schichten.

Bei sehr dünnen Schichten werden nur schwache Röntgenintensitäten erzeugt. Um diese messen zu können, sind hochauflösende Detektoren erforderlich, die auch im niederen Energiebereich empfindlich sind. Oder es ist die Einwirkzeit des Primärstrahls deutlich zu verlängern.

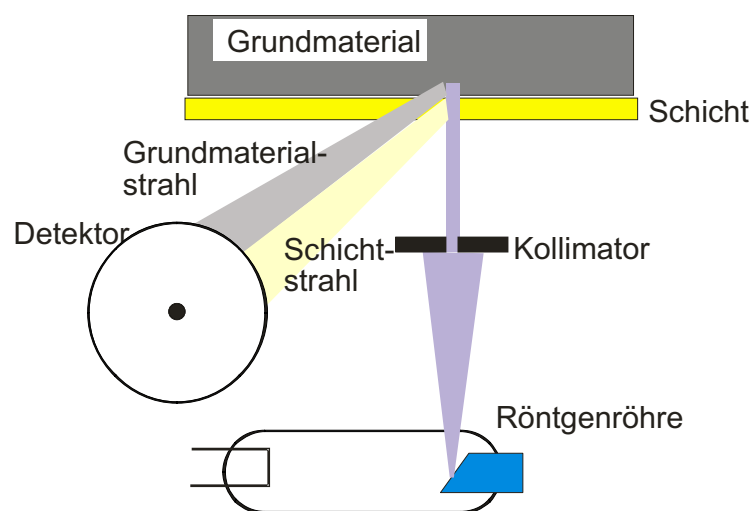


Bild 4: Prinzipskizze des Röntgenfluoreszenzverfahrens

Vorteile der energiedispersiven Röntgenfluoreszenzanalyse sind:

- Schnelle und zerstörungsfreie Messung von Schichtdicken (Einzel- und Mehrschichten)
- Analyse von Feststoffen, Pulvern und Flüssigkeiten von Al bis U
- Spurenanalyse von Schadstoffen
- Hohe Präzision und Richtigkeit, mit sehr breitem Anwendungsbereich
- Unabhängig von magnetischen und elektrischen Eigenschaften des Grundwerkstoffs
- Keine oder sehr einfache Probenpräparation
- Sichere Methode ohne umweltgefährdende Chemikalien
- Kostengünstig

Die Wiederholpräzision infolge der Streuung der Messwerte, die sich bei mehreren Messung mit einem Gerät an einer Probe unter identischen Bedingungen ergeben, wird bei der RFA durch die Zählstatistik ($s \propto \sqrt{N}$) bestimmt. Somit sind Reproduzierbarkeit und eine minimale Streuung der Messwerte an einer Probe bei der Schichtdickenmessung durch mehrere Messungen stets einzuhalten. Die systematische Abweichung der Messwerte zum „wahren“ Wert erfolgt durch eine anschließende durchzuführende statistische Berechnung. Exakte Ergebnisse von Schichtdicken können nur durch vergleichende Messungen an Referenzmaterialien ermittelt werden.

3.4 Kalottenschliff [5]

Bei diesem zerstörenden Verfahren wird mit einer rotierenden Stahlkugel (Radius $R = 10 - 40$ mm, Drehzahl 10 - 3000 1/min), die mit einer Schleifmittelsuspension befeuchtet ist, eine sphärische Abriebkalotte in das beschichtete Bauteil geschliffen. Die Kontaktkraft zwischen Kugel und Probe wird aus dem Gewicht der Kugel abgeleitet. Die Präparation ist beendet, wenn die Eindringtiefe der sphärischen Kalotte größer als die Schichtdicke ist. Durch den flachen Schleifwinkel, der mit steigendem Kugelradius immer kleiner wird, kann die Schicht so bis um den Faktor 100 vergrößert dargestellt und ausgemessen werden.

Ein genügend hoher Kontrast zwischen den unterschiedlichen Materialien, die die Schicht und das Substrat bilden, ist eine Voraussetzung für das Verfahren, um die Erkennung der Grenzfläche zwischen der Schicht und der Oberfläche zu ermöglichen. Die Probekörper sollten entweder eben oder zylindrisch sein. Sie können als ausreichend eben angesehen werden, wenn der entsprechende Krümmungsradius des Probekörpers, R_S , der Beziehung $R_S > 100 \cdot R$ (Fehler $\leq 1\%$) genügt.

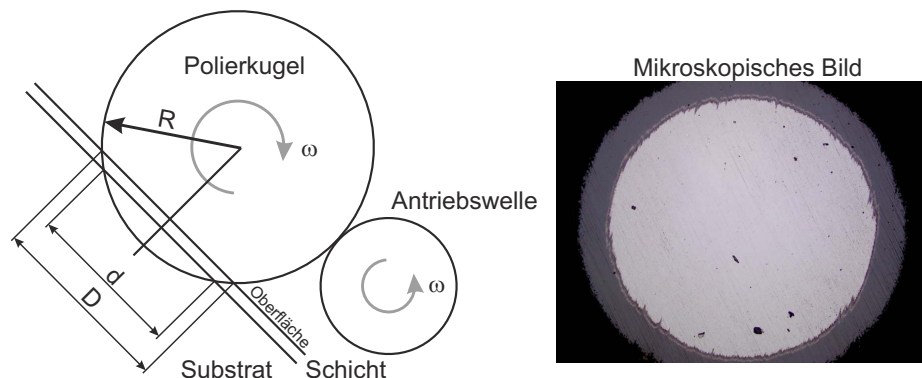


Bild 5: links: Prinzipskizze Kalottenschliffverfahrens, rechts: Abbildung eines Kalottenschliffs im Lichtmikroskop mit Substrat (hell), Schicht (grau) und Probenoberfläche (schwarz)

Es können unterschiedliche Schleifmittel (z. B. Diamant, Aluminiumoxid, Siliciumdioxid) und handelsübliche Suspensionen auf der Basis von Alkohol, Öl oder Wasser benutzt werden. Die Korngröße des Schleifmittels muss gering sein, um ein Aufräumen der Kalottengrenzen zu vermeiden.

Typische Arbeitsparameter

(andere Parameter sind ebenfalls in Abhängigkeit von Schichtmaterial und -dicke möglich):

Kugeldurchmesser:	25 mm
Kontaktkraft:	0,25 N
Drehzahl:	100 1/min
Zusammensetzung der Schleifsuspension:	Diamantpaste (1 μm Körnung), in Ethanol suspendiert
Konzentration der Schleifsuspension:	1 : 4
Zugaberate der Suspension:	20 Tropfen/min
Prüfdauer:	5 min

Aus den ermittelten Größen der Verschleißformen (Breite der Gesamtkalotte D und der Substratkalotte d) bzw. dem bekannten Radius der Kugel R kann mittels Gleichung 1 die Schichtdicke s bestimmt werden.

$$s = \sqrt{4R^2 - \frac{d^2}{4}} - \sqrt{4R^2 - \frac{D^2}{4}} \quad (1)$$

Die Genauigkeit der Messung hängt von der Rauigkeit der Oberflächen, auf denen sich die Grenzen der Schicht darstellen, ab. Durch die Rauigkeit können die Grenzen der Schicht(en) unter Umständen nicht exakt bestimmt werden. Es sollte dann die „beste“ Schätzung der Mittellinie einer Grenze benutzt werden. Nach DIN EN 1071-2 [5] müssen mindestens 5 Messungen durchgeführt werden, um die Wiederholpräzision der Messung zu bestimmen. Die Grundkalotte ist bei der höchsten Vergrößerung und maximalem Kontrast, bei der die vollständige abgeschliffene Kalotte sichtbar ist, zu prüfen. Üblicherweise wird dazu ein optisches Auflichtmikroskop benutzt, aber es kann auch ein Rasterelektronenmikroskop benutzt werden, z. B. wenn es nicht möglich ist, zwischen der Schicht und dem Substrat mit anderen Mitteln zu unterscheiden. Im Fall eines optischen Mikroskops kann der Kontrast zwischen dem Substrat und der Schicht durch Ätzen erhöht werden.

Die Dicke einzelner Schichten in einem Vielschichtensystem kann nach diesem Verfahren bestimmt werden, wenn die oben angegebenen Definitionen auf die inneren und äußeren Kalottenkreise angewendet werden, die die zu untersuchenden Schichten abgrenzen. Die Genauigkeit dieses Verfahrens liegt bei ca. 0,3 - 0,5 μm . Bedingt durch die Messanordnung und den Kugelradius liegen die darstellbaren Schichtdicken je nach Materialsystem im Bereich von minimal 0,5 μm bis (in Abhängigkeit von den Mikroskopiebedingungen) in den hohen μm -Bereich.

4 Vorbereitungsaufgaben

1. Nennen Sie fünf Kriterien bei der Auswahl des geeigneten Schichtdickenmessverfahrens!
2. Was versteht man beim Wirbelstromverfahren unter der „*Eindringtiefe*“ und der „*kritischen Schichtdicke*“? Wodurch werden diese Größen beeinflusst?
3. Nennen und beschreiben Sie zwei Schichtdickenmessverfahren während der Abscheidung!
4. Ab welcher Ordnungszahl sind Untersuchungen von Schichten mittels RFA in Normalatmosphäre bzw. im Vakuum möglich? Begründen Sie Ihre Antwort!

5. Welche optischen Anforderungen an Multischichtsysteme müssen für die Schichtdickenmessung mittels Totalreflexion von Röntgenstrahlen erfüllt sein?
6. Vervollständigen Sie das beigefügte Arbeitsblatt mit den für die angegebenen Grundmaterial/Schicht-Systeme zur Schichtdickenmessung einsetzbaren Messverfahren! Verwenden Sie dazu u.a. die in der Anleitung angegebenen Normen.

5 Praktikumsaufgaben

1. **Wirbelstrommessverfahren:** Bestimmen Sie mit dem DUALSCOPE die Dickenwerte von verschiedenen Lack-, Eloxal-, Schutzlack- und Zinkschichten. Bilden Sie dabei für jede Probe den Mittelwert aus 20 Schichtdickenmesswerten.
2. **Röntgenfluoreszenzverfahren:** Bestimmen Sie die Dicke von Gold- und Nickelschichten auf den gegebenen Bronzestreifen. Nehmen Sie dazu an verschiedenen Stellen eines Bronzestreifens 20 Messwerte auf und zeichnen Sie eine Häufigkeitsverteilung der bestimmten Schichtdicken.
3. **Kalottenschliff:** Bestimmen Sie an zwei Kalottenschliffen die jeweilige Dicke der Schicht(en). Verwenden Sie dazu das Auflichtmikroskop im Raum 3.2.311 (Versuch Metallographie). Vermessen Sie die sichtbaren Schichten in drei verschiedenen Richtungen, d.h. Lagen der Durchmesser und mitteln Sie pro Schicht die Ergebnisse.
4. Diskutieren Sie mögliche Auflösungsgrenzen der eingesetzten Verfahren!

**Eine detaillierte Aufgabenstellung liegt am Versuchsplatz
im Meitnerbau Raum 3.2.309 bzw. 3.2.312 aus!**

Literaturliste

- [1] Metallische und andere anorganische Überzüge - Übersicht über Verfahren zur Schichtdickenmessung. In: *Deutsche Norm DIN EN ISO 3882* (2003), S. 17
- [2] FUHRMANN, E.: *Einführung in die Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung*. 2. verb. und erw. Auflage. Renningen : expert Verlag, 2008 (Band 2). – 380 S. – ISBN 3816927327
- [3] BLUMENAUER, H.: *Werkstoffprüfung*. 6. korr. Auflage. Weinheim : VCH-Verlagsgesellschaft, 1994. – 426 S. – ISBN 978-3342005476
- [4] Metallische Schichten - Schichtdickenmessung - Röntgenfluoreszenz-Verfahren. In: *Deutsche Norm DIN EN ISO 3497* (2000)
- [5] Verfahren zur Prüfung keramischer Schichten - Teil 2: Bestimmung der Schichtdicke mit dem Kalottenschleifverfahren. In: *Deutsche Norm EN 1071-2:2002* (2003), S. 16
- [6] HEINE, B.: *Werkstoffprüfung*. 2. Auflage. Leipzig : Hanser Fachbuchverlag, 2011. – 398 S. – ISBN 978-3-446-42553-8
- [7] SPIESS, L. ; TEICHERT, G. ; SCHWARZER, R. ; BEHNKEN, H. ; GENZEL, Ch.: *Moderne Röntgenbeugung - Röntgendiffraktometrie für Materialwissenschaftler, Physiker und Chemiker*. 2. aktualisierte und ergänzte Auflage. Wiesbaden : Vieweg+Teubner-Verlag, 2009. – 564 S. – ISBN 978-3-8351-0166-1
- [8] NITZSCHE, K.: *Schichtmeßtechnik*. 1. Auflage. Würzburg : Vogel Buch -Verlag, 1996. – 502 S. – ISBN 3-8083-1530-8
- [9] HERRMANN, D.: *Zerstörungsfreie Prüfverfahren*. 1. Auflage. München : Oldenbourg Verlag, 1993. – 354 S. – ISBN 3-486-22203-1
- [10] Schichtdicken- und Mikrohärtmessung in der Qualitätsprüfung, Seminarunterlagen: Schichtdickenmessung - Theorie und Praxis Helmut Fischer GmbH, 1992

Proben-Nr.	Schicht / Grundmaterial	gewähltes Meßverfahren				
		WSV	MIV	RFA	QMV	TRS
1	Lack / Eisen (Blech)					
2	Lack / Eisen (Blech)					
3	Lack / Aluminium (Blech)					
4	Lack / Aluminium (Blech)					
5 / 5a	Eloxal / Aluminium (Blech)	/	/	/	/	/
6	Schutzlack / Leiterplatte					
7...9	Zink / Eisen (Blech)					
10	Lack / Eisen (Trafoblech)					
11	Chrom / Magnesium (Blech)					
12	Kupfer / CuZn					
13	Al ₂ O ₃ (eloxiert) / X5CrNi18-10 (1.4301)					
14	Sn-Pb / Ni-Co-Fe					
15	Emaile / Aluminium					

WSV Wirbelstromverfahren
MIV Magnetinduktives Verfahren
RFA Röntgenfluoreszenzverfahren
QMV Quarz-Monitor-Verfahren
TRS Totalreflexion von Röntgenstrahlen
CV Coloumetrisches Verfahren