

Richtlinie Zerstörungsfreie Materialprüfung

Lothar SPIESS *, Bernhard NENSEL **, Jürgen Dieter SCHNAPP ***,
Gerd TEICHERT ****, Volker TRAPPE *****

* TU Ilmenau Institut für Werkstofftechnik

** Helmut Fischer GmbH Institut für Elektronik und Messtechnik, Sindelfingen

*** Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena

**** MFGPA Weimar, Prüfzentrum Schicht- und Materialeigenschaften, Ilmenau

***** BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Kurzfassung

Ziel der Richtlinie ist es, zerstörungsfreie Verfahren für die Materialcharakterisierung aufzulisten, zu beschreiben und die speziellen Merkmale einzelner Verfahren aufzuführen um von einem Werkstoff gemäß des allgemeingültigen Zusammenhanges von Struktur <--> Gefüge <--> Eigenschaften Werkstoffkennwerte zu erhalten. Die Abgrenzung zu anderen Richtlinien besteht darin, dass diese Richtlinie vorrangig der Charakterisierung von Werkstoffen dient, ohne vorrangig auf Makrodefekte zu schauen.

Es wird dabei von atomarer Ebene (welches chemisches Element, Anordnung der Atome/Ionen, Zahl anderer Elemente, Verteilung der Elemente, Ausbildung von Phasen, Verteilung der Phasen) ausgegangen, also von der Struktur über das Gefüge. Struktur und Gefüge bestimmen die Eigenschaften des Werkstoffs. Messung von Struktur und Gefüge mit zfP-Methoden lassen dann den Schluss auf die Eigenschaften zu. Weil ein extrem breiter Fundus an zfP-Einzelf Verfahren, zum Teil genormt vorliegend für Spezialaufgaben existiert, ist es Ziel der Richtlinie, diese Normen aufzunehmen und in den Zielkontext zu übertragen.

Es wird dabei auf folgende Verfahrensgruppen eingegangen bzw. in zu gewünschte zu bestimmende Materialkennwerte untergliedert:

Struktur und chemische Zusammensetzung

Gefüge

Eigenschaften

Funktionalzusammenhänge

Kalibrierung und Validierung der Verfahren

Verfahrensweiterentwicklung, Ausweitung Anwendung etablierter Verfahren

Die Richtlinie soll keine ausführliche und alleinige Richtlinie für ein Verfahren sein, sondern sie soll vor allen das Zusammenspiel von mehreren zfP-Verfahren in der Gesamtheit angewendet aufzeigen, um dem Ziel einer umfassenden Werkstoffcharakterisierung mit zfP-Verfahren nahe zu kommen.

Richtlinie Zerörungsfreie Materialprüfung

Prof. Dr. L. Spieß, TU Ilmenau; Ilmenau
Dr. V. Trappe, BAM; Berlin
Doz. Dr. J.D. Schnapp, Friedrich-Schiller-Universität Jena; Jena
Dr. B. Nensel, Helmut Fischer GmbH; Sindelfingen
Dr. G. Teichert, MFPA Weimar, Außenstelle Ilmenau
Symposium „Materialcharakterisierung“ 19.11.2013 Berlin

Motivation

- Einführung und Ziel der Richtlinie
- Acht W-Fragen
- Verfahrensbeschreibung
- Besonderheiten
- Zusammenfassung

Ziel der Richtlinie und bisheriger Stand

- Auflistung von Messgrößen und Prüfverfahren, die dem Zusammenhang

Struktur - Gefüge - Eigenschaftsbeziehungen

unterliegen

- Auflistung und Kurzbeschreibung Anforderungen und Möglichkeit mit zerstörungsfreien Verfahren Materialcharakterisierung vorzunehmen
- einfache Häufigkeitsanalyse der gelisteten Verfahren und Werkstoffe
- zfP-Verfahren, die es ermöglichen, Werkstoffkennwerte zu erhalten
- aufführen spezieller Merkmale einzelner Verfahren um von einem Werkstoff den allgemeingültigen Zusammenhang von
Struktur \leftrightarrow Gefüge \leftrightarrow Eigenschaften abzuleiten
- Abgrenzung zu anderen Richtlinien \rightarrow diese Richtlinie dient der **Charakterisierung von Werkstoffen**, ohne vorrangig auf Makrodefekte zu schauen
- Verfahren der Mikro-zfP sind eingeschlossen - Probleme Abgrenzung

3



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Acht – W - Fragen

- **W**as soll gemessen werden (Härte, Zusammensetzung, Festigkeit...)
- **W**elcher **W**erkstoff (einphasig, mehrphasig, kristallin, Verbundwerkstoff...)
- **W**o (Kompakter Werkstoff, Schicht, Bauteil, System, ...)
- **W**arum/ **W**ofür (Entwicklung, Revision, Schadensanalyse, Qualitätskontrolle, ...)
- **W**ann (in Entwicklung, Produktion, Revision, Einzelstücke, ...)
- **W**ie (Verfahren, Dauer, Anforderungen, Kosten, ...)

**Richtlinie ist das Ausbildungsmaterial
für einen neuen Stufe III – Kurs
Materialcharakterisierung**

4



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Was soll gemessen werden

- Textur,
Korngröße,
Härte,
magnetische Eigenschaften,
elektrische Eigenschaften,
Eigenspannungen,
Haftung,
chemische Zusammensetzung und Phasenbestand,
optische Eigenschaften,
oberflächentopographische Kenngrößen,
tribologische Eigenschaften
.....

5



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Kristallitgröße oder Korngröße

- **Beispiele und Funktion (Wo)**
Feinkornstähle, austenitische Rohre und Bänder
Gussgefüge
- **Einsatzgebiete (Wo)**
metallische Werkstoffe
Keramik
Glaskeramik
- **Anwendung / Ziel der Prüfung (Warum, Was)**
Festigkeitssteigerung
Verschiebung der Übergangstemperatur
Verbesserung der Zerspaneigenschaften
Superplastizität
- **Eingesetzte Prüfverfahren (Wie)**
Ultraschallstreuung
mikromagnetische Verfahren
Beugungsverfahren

6



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Warum Kristallitgrößenbestimmung

- Kristallitgröße polykristalliner Stoffe
→ verantwortlich für physikalischen Eigenschaften
 - Härte
 - Festigkeit
 - Dauerfestigkeit
 - Sinterverhalten
 - elektrische Leitfähigkeit
- Kristallitgrößenbestimmung → Kontrolle eines Verarbeitungsprozesses
→ Auskunft, ob für einen bestimmten Verwendungszweck die geeignete Kristallitgröße vorhanden ist
- Kristallitorientierungsverteilung → Textur
→ anisotrope Eigenschaften

7

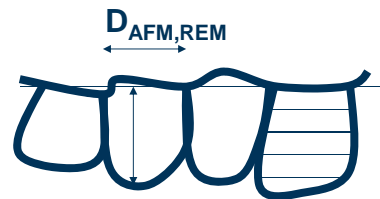


Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Physikalische Größen – Kristallitgröße D ; Defektdichte ε

- Kristallitgrößenvergleich mit der
 - Röntgenbeugung
 - Atomkraftmikroskopie
 - Rasterelektronenmikroskopie



- Untersuchungsobjekte

Kompaktmaterial

- Mehrphasenstähle
- Feinkornstähle
- Historische Objekte

Schichten

- NiO
- Pt

Pulver

- WC
- LaB6
- Titanoxid
- Zirkonoxid mit 8% Y2O3
- Zinkoxid
- Aluminiumoxid
- Molybdän

8



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Härte

- **Beispiele und Funktion**
 - Härtemessung an Turbinenschaufeln
 - Charakterisierung lasergehärteter Schichten
- **Einsatzgebiete**
 - Maschinenbau
 - Wärmebehandlung
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
 - Verbesserung der Festigkeit
 - Dauerfestigkeit
 - Verschleißfestigkeit
 - Härte
 - Einhärtungstiefe
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
 - Magnetische Verfahren: Hysterese, Barkhausenrauschen
 - UIC-Verfahren
 - Wirbelstrom

9



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Eigenstressen

- **Beispiele und Funktion**
 - Walzenoberflächen, Werkzeugoberflächen,
 - Draht, Achsen und Wellen,
 - Turbinenschaufel
- **Einsatzgebiete**
 - Maschinenbau, Automobil
 - Herstellung von Glas und Keramik
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
 - Höhe und Art der Eigenstressen (Zug-, Druckspannungen),
 - Eigenstressen höherer Ordnung
 - Verbesserung der mechanischen Eigenschaften
 - Festigkeitssteigerung mit Hilfe von Druckspannungen
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
 - Röntgendiffraktometrie, mikromagnetische Verfahren
 - Ultraschallaufzeitmessung, thermoelastische Verfahren
 - Holografische Verfahren

10



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



magnetische Eigenschaften

- **Beispiele und Funktion**
 - Kennwerte magnetischer Schichten
 - magnetische Eigenschaften von Trafo-Blechen
- **Einsatzgebiete**
 - elektromagnetische Transformatoren
 - Sensorbau
 - elektrotechnische Industrie
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
 - Koerzitivfeldstärke
 - Remanenz
 - Sättigungsmagnetisierung
 - magnetische Permeabilität
 - Wirbelstromverluste
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
 - Wirbelstrom
 - mikromagnetische Prüfverfahren

11



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Textur

- **Beispiele und Funktion**
 - Walztextur, Fasertextur
 - Rekristallisationstextur, Gusstextur
- **Einsatzgebiete**
 - Tiefziehbleche, Drähte
 - Feinbleche, Grobbleche, Strangpressen
 - CFC, CFK, dünne Schichten (PVC, CVD)
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
 - Festigkeitssteigerung, Vermeidung von Dickenunterschieden an Tiefziehblechen, Tiefziehkennwerte
 - Verbesserung magnetischer Eigenschaften
 - richtungsabhängige Streckgrenze und Zugfestigkeit
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
 - Röntgenverfahren (Texturgoniometer)
 - mikromagnetische Verfahren
 - Ultraschallaufzeitmessung, Wirbelstrom

12



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Haftfestigkeit

- **Beispiele und Funktion**
 - Kleerverbindungen
 - thermische Spritzschichten
 - CFK-, GFK-Laminat
- **Einsatzgebiete**
 - Flugzeugbau
 - Fahrzeugbau
 - Energietechnik
 - Verbundschichten
 - Beschichtungen
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
 - Festigkeit der Haftung
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
 - Nichtlinearer Ultraschall, Hochfrequenz-Ultraschall
 - Shearografie, Thermografie

13



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Was soll gemessen werden

- Textur, Korngröße, Härte, magnetische Eigenschaften, elektrische Eigenschaften, Eigenspannungen, Haftung,

Wo / Woran soll gemessen werden

- Kompakten Material, bearbeiteten Oberflächen, Einlaufschichten,

14



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Wärmedämmschichten

- **Beispiele und Funktion**
Schutz von Materialien mit geringem Schmelz- bzw. Flammpunkt vor Zerstörung infolge erhöhter Wärmeentwicklung; Al_2O_3 , Al_2TiO_5 , ZrO_2 , Y_2O_3
- **Einsatzgebiete**
Wärmeschilde, -kacheln
Turbinenschaufeln
Brennkammern
Kolbenböden
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
Haftzugfestigkeit, E-Modul, Wärmeleitung
Porosität, Dicke, Schichtstruktur
Eigenspannungen, Schichtdickenverteilung, Überläufe, Partikelgröße
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
Thermografie, Ultraschallprüfung, Shearografie
Penetrierverfahren, Röntgendiffraktometrie
Speckleinterferometrie
induktive Schichtdickenmessung

15



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Verschleißschutzschichten

- **Beispiele und Funktion**
Schutz von Materialien gegenüber erhöhtem Verschleiß zum Zwecke der Standzeiterhöhung; galvanische Schichten; Al_2O_3 , AlN , WC , WCCO , WCNiCrBSi , Mo , TiN , TiAlN , TiC , TiCN , Cr , CrN , Cermets, CrO_2 , Cr_2O_3 , ZrN
- **Einsatzgebiete**
Tribosysteme des Maschinenbaus und der Chemotechnik, Werkzeuge
Maschinenelemente
Lager, Wellen
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
spezifischer Verschleißwiderstand (Abtragate)
Härte, Dicke, Schichtdickenverteilung
Eigenspannungen, Schichtstruktur
Porosität, Partikelgröße
Haftung
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
Thermografie, Ultraschall, Penetrierverfahren, magnetische Verfahren
Röntgendiffraktometrie, Speckleinterferometrie,
Shearografie, induktive Schichtdickenmessung

16



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Randgehärtete Schichten

- **Beispiele und Funktion**
 - Erhöhung der Randhärte bei zähem Kern, Verschleißschutz
 - Einsatzhärten, Nitrieren
 - Wärmebehandlung
- **Einsatzgebiete**
 - Maschinenelemente
 - Zahnräder
 - Werkzeuge
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
 - Einhärtungstiefe (je nach Verfahren)
 - Härte
 - Eigenspannungen
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
 - Ultraschallrückstreuung
 - Röntgendiffraktometrie
 - mikromagnetische Verfahren
 - Wirbelstrom

17



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



aktivierte Oberflächen (Haftschichten, aufgerauhte Oberflächen)

- **Beispiele und Funktion**
 - Erhöhung der Reibung bzw. Verbesserung der Haftung und Übertragung von Spannungen zwischen Schicht und Substrat
 - Haftschichten
- **Einsatzgebiete**
 - in allen Bereichen der Industrie
 - Vorbereitung für Verbundsysteme
 - Schichtenherstellung
 - Löten
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
 - Rauheit
 - Diffusionstiefe
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
 - Ultraschall
 - Thermografie
 - Photothermik
 - optische Verfahren
 - Wirbelstromprüfung

18



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Korrosionsschutzschichten

- **Beispiele und Funktion**
Schutz von Materialien vor der Einwirkung aggressiver Medien, anorganische Lacke, galvanische Schichten; Ti, Cr, Ni, NiCoCrAlY, MCrAlY, PtAl, Pt, Zn, Sn, korrosionsbeständige Stähle
Oxalschichten
- **Einsatzgebiete**
Maschinenbau, Chemotechnik
Apparatebau, Behälter, Haushaltsgeräte und -güter
Turbinenschaufeln
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
spezifische Korrosionsbeständigkeit (Stromdichte-Potential-Kurve, Lochfraß)
spezifischer Verschleißwiderstand (Abtragrate)
Dicke, Schichtdickenverteilung, Schichtstruktur
Porosität, Partikelgröße, Rissigkeit, Haftung, Delamination
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
Penetrierverfahren, magnetische Verfahren
Röntgendiffraktometrie, Hochgeschwindigkeitsthermografie
Photothermik, Shearografie, optische Inspektion, RFA

19



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Einlaufschichten

- **Beispiele und Funktion**
Verbesserung des mechanischen Verhaltens bei Inbetriebnahme von Bauteilen; Ni/C
- **Einsatzgebiete**
Turbinen-Gehäuse
Lager, Wellen, Zahnräder
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
Härte
Haftung
Eigenspannungen
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
Ultraschall
mikromagnetische Verfahren
Röntgendiffraktometrie
Thermografie

20



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Was soll gemessen werden

- Textur, Korngröße, Härte, magnetische Eigenschaften, elektrische Eigenschaften, Eigenspannungen, Haftung,

Wo / Woran soll gemessen werden

- Kompakten Material, bearbeiteten Oberflächen, Einlaufschichten,

Warum soll gemessen werden

- Verwechslungsprüfung, Mikrostrukturcharakterisierung, bearbeitete Oberflächen,

21



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Verwechslungsprüfung

- **Beispiele und Funktion**
austenitische und ferritische Stähle
- **Einsatzgebiete**
in allen Bereichen der metallverarbeitenden Industrie
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
Sortentrennung
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
Ultraschallverfahren
magnetische Verfahren
Wirbelstrom

22



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Mikrostrukturcharakterisierung

- **Beispiele und Funktion**
 - TiAl-Halbzeug
 - Charakterisierung der Wärmebehandlungszustände
 - Weißeinstrahlung in grauem Gusseisen
 - Ferritgehaltsmessung, Restaustenitgehaltsmessung
 - Weichfleckigkeit an gehärteten Stählen
 - CFK-, GFK-Lamine
- **Einsatzgebiete**
 - in allen Bereichen der Industrie, insbesondere Maschinenbau und Flugzeugbau
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
 - Dimensionierung der mechanischen, magnetischen und elektrischen Eigenschaften
 - Einstellung der notwendigen Festigkeit, Zähigkeit, Härte, Schwingfestigkeit und des Verformungsvermögens, Faserorientierung, Lagenaufbau, Inhomogenitäten
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
 - Wirbelstromprüfung, Oberwellenanalyse, Röntgendiffraktometrie
 - mikromagnetische Verfahren, Ultraschallstreuung und Ultraschallabsorption

23



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Bearbeitete Oberflächen

- **Beispiele und Funktion**
 - durch örtliche Verdichtung der Oberfläche wird eine Erhöhung der Härte erreicht, bzw. zur Vorbereitung für den Schutzschichtauftrag; Kugelstrahl, CBN-Drehen, geschliffene Keramik
- **Einsatzgebiete**
 - Maschinenelemente
 - hochbelastete Turbinen-Scheiben
 - Schaufelfüße, Ventile
 - Schneidwerkzeug
 - Hüftimplantate
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
 - Eigen Spannungszustand
 - Rauheit
 - Schädigungsgrad und -tiefe
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
 - Ultraschall, mikromagnetische Verfahren
 - Röntgendiffraktometrie, mechanische Rauheitsmessung
 - optische Rückstreuung

24



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Schichten der Elektronik und Mikrosystemtechnik

- **Beispiele und Funktion**
Weiterleitung von elektrischen Signalen; Pt/PtRh, piezoelektrische und ferromagnetische Schichten (ZnO auf GaAs bzw. Polymid auf Ferrit)
metallische Dünnschichten
- **Einsatzgebiete**
Leiterplatten, Leiterbahnen
Dünnschicht-Temperatur-Sensoren
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
Schichtdicke, Haftung
Fehlerdetektion (Einschlüsse, Risse, Delaminationen), piezoelektrische und thermische Eigenschaften, Eigenspannungen, Ausbreitungsverluste
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
Hochfrequenz-Ultraschall und Akustomikroskopie,
mikromagnetische Verfahren, Thermografie
Wärmewellenverfahren

25



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Mikrofehlercharakterisierung (grenzwertig zu Fehlerdetektion)

- **Beispiele und Funktion**
Homogenität von Keramik
Härterisse an einer Schweißnaht
Delamination in faserverstärkten Kunststoffen
- **Einsatzgebiete**
Maschinenelemente
Werkzeuge, Zahnräder
keramische Bauteile
- **Anwendung / Ziel der Prüfung**
Mikrorisse, Mikrolunker, Mikrodefekte
Delamination in Verbundwerkstoffen
- **Eingesetzte Prüfverfahren**
HF-Ultraschall und Akustomikroskopie,
Röntgenverfahren (Mikrofokustechnik)
Wirbelstrom, mikromagnetische Verfahren, Thermografie
Wärmewellenmikroskopie, Mikrowellen

26



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Zwischenauswertung

- **41 Werkstoffe/Materialien (Stahl, Messing, Bronze nur als je ein Begriff!)**
- **63 Messgrößen (1- 8 Nennung (Eigenspannung höchste Anzahl))**
- **46 Messverfahren (1 – 11 Nennungen)**

mikromagnetische Prüfverfahren	11	Hochgeschwindigkeitsthermografie	1
Röntgendiffraktometrie	9	Impulstechnik	1
Wirbelstromprüfung	9	Induktive und mechanische Dickenmessung	1
Thermografie	8		
Sherografie	4	kapazitive Messverfahren	1
Ultraschall	4	Kraftmikroskopie	1
Hochfrequenz-Ultraschall	3	Laserabtastung	1
induktive Schichtdickenmessung	3	Magnetostraktion	1
magnetische Verfahren	3	mechanische Dickenmessung	1
Penetrierverfahren	3	Mehrfrequenzverfahren,	1
Ultraschalllaufzeitmessung	3	Mikrofokusverfahren	1
Ultraschallstreuung	3	mikromechanische Verfahren	1
Akustomikroskopie	2	Nichtlinearer Ultraschall,	1
Barkhausenrauschen	2	Profilometrie	1
Hysterese	2	RFA	1
mechanische Rauheitsmessung	2	Röntgenverfahren	1
Mikrowellen	2	SPATE-Verfahren (thermoelastisch)	1
Oberwellenanalyse	2		
optische Rückstreuung	2	UIC-Verfahren	1
optische Verfahren	2	Ultraschallabsorption	1
Photothermik	2	Ultraschallprüfung	1
Speckleinterferometrie	2	Ultraschallrückstreuung	1
Überlagerungspermeabilität	2	Ultraschallverfahren	1
		Wärmewellenmikroskopie	1
		Wärmewellenverfahren	1

Generelle Vorgehensweise

- Ausgangspunkt → atomare Ebene
(welches chemisches Element, Zahl anderer Elemente, Anordnung der Atome/Ionen, Verteilung der Elemente, Ausbildung von Phasen, Verteilung der Phasen)
- dies ist die Struktur und das Gefüge des Werkstoffes
- Struktur und Gefüge bestimmen die Eigenschaften des Werkstoffes
- Messung von Struktur und Gefüge mit zfP-Methoden → Schluß auf die Eigenschaften
- weil ein extrem breiter Fundus an zfP-Einzelf Verfahren, zum Teil genormt vorliegend für Spezialaufgaben existiert, ist es Ziel der Richtlinie, diese Normen aufzunehmen und in den Zielkontext zu übertragen
- es wird dabei auf folgende Verfahrensgruppen eingegangen bzw. in zu gewünschte zu bestimmende Materialkennwerte untergliedert

Struktur und chemische Zusammensetzung

- **Chemische Elementanalyse**
RFA, EDX, WDX, XRD, optische Emissionsspektroskopie, (RBS, PIXE, ...), XPS, AES
- **Anordnung**
XRD, IR-Spektroskopie, Raman, (Neutronenbeugung, TEM, ..), NMR, EPR
- **Phase(n)**
XRD, IR-Spektroskopie, Raman, UV-VIS

29



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Gefüge

- **Korngröße und -form**
LM, REM, AFM, SAXS, XRD, Ultraschall
- **Textur**
XRD, Neutronenbeugung, LM, Ultraschallgeschwindigkeit
- **Mengenverhältnis und Verteilung der Phasen**
XRD, CT, RFA, EDX, Magnetsonde, (LM, REM)
- **Schichtsysteme und Komposite**
RFA, XRD, LM, Ultraschall, SAXS, CT, Wirbelstrom, Magnetinduktiv, Thermographie, Terra Herz, Ellipsometrie, Eindringprüfung (PT - (Farb-, Wasser-, Quecksilber-,...))
- **Oberfläche**
Adsorbatschichten – Benetzung, Ellipsometrie, GDOES

30



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Eigenschaften I

- **mechanische Eigenschaften**
E-Modul/Poisson – Ultraschall, instrumentierte Eindringprüfung – Anlehnung an entsprechende DIN-Normen
Härte – siehe Richtlinie Mobile Härteprüfung MC 1; Wirbelstrom; Martenshärte
Streckgrenze – Wirbelstrom, Ultraschall
Kriechen – Verfahren noch nicht bestimmt
Eigenspannungen – XRD in Anlehnung an DIN EN 15305, Spannungsoptik
instrumentierte Eindringprüfung
- **magnetische Eigenschaften**
Permeabilität - Barkhausenrauschen,
Koerzetivfeldstärke , Magnetisierung
Verluste - Barkhausenrauschen
- **elektrische Eigenschaften**
Leitfähigkeit – Wirbelstromverfahren; Vierspizentechnik;
Durchbruchfeldstärke
- **Formeigenschaften**
Rauheit – Tastschnittgerät, optische Profilometrie, konfokale Mikroskopie,
AFM

31



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Eigenschaften II

- **tribologische Eigenschaften**
Reibwert – Tribometer,
Kratzfestigkeit –
- **optische Eigenschaften**
Transparenz – Ellipsometrie, UV-VIS
Reflektivität – Ellipsometrie, UV-VIS
Brechungsindex – Ellipsometrie, UV-VIS
- **chemische und physikalische Beständigkeit**
z. T. zu entwickelnde Verfahren (Strahlungsresistenz, UV-Beständigkeit
Polymere,), Korrosion – EMC-Verfahren
- **Langzeitveränderungen**
- ?

32



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Funktionalzusammenhänge

- physikalische
- halbempirische
- empirische
- Kalibrierung und Validierung der Verfahren
- siehe Richtlinienentwurf (hier aber noch Beispiele notwendig)
- Messunsicherheit
- Verfahrensweiterentwicklung, Ausweitung Anwendung etablierter Verfahren
- Ultraschall zur Phasenanalyse
- Festigkeit
- Bruchdehnung/Brucheinschnürung –
- bruchmechanische Kenngrößen K_{Ic} , ...
- ...Kratzfestigkeit
- ...Haftfestigkeit

33



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Statement

die Richtlinie soll keine ausführliche und alleinige Richtlinie für ein Verfahren sein

- sondern sie soll vor allen das **Zusammenspiel von mehreren zfP-Verfahren in der Gesamtheit** angewendet, aufzeigen
- Ziel ist es, einer umfassenden Werkstoffcharakterisierung mit zfP-Verfahren nahe zu kommen

34



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Anforderungen an Beiträge zu einem Verfahren

- Verfahren: (Textteil 2 Seiten, in Ausnahmefällen max. 4 Seiten)
 - Beschreibung des Verfahrens verbal
 - Labor- oder Feldverfahren
 - einige Grundlagen (max. ¼ Seite)
 - welche zFP-Größe wird gemessen
 - (gibt es einen Fundamentalzusammenhang zu einer zFP-Größe)
 - (gibt es schon Richtlinien, Normen)
- Anforderung an Probe
- weitere Hinweise

35



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Vorgehensweise

aus diesen Verfahrensbeschreibungen ist eine Tabelle
(nur elektronisch? als Excel oder Datenbank) zu erstellen, deren Inhalte
sich wie folgt darstellen:

- **Messgröße**
 - **(Richtlinien, Normen) - nur Nummer**
 - **Anforderung an Probe (kurz)**
 - **Geräteklasse, Gerät**
 - **untere Messgrenze**
 - **obere Messgrenze**
 - **Fehler bzw. Messunsicherheit**
 - **Zeitaufwand**
- Updatefähigkeit

36



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Ausbildung

- zFP-Werkstoffcharakterisierung ist komplexe Ingenieuraufgabe
- für das Problem, den Werkstoff, die Herstellung muss ein Ingenieur eine Prüfvorschrift entwickeln
- → Erarbeitung einer Prüfanweisung → Aufgabe Stufe III
- Ingenieur Tätigkeit, weil immer Anpassungen am Verfahren und an die Probe notwendig sind
- Richtlinie ist Grundgerüst für Kurs
 - Struktur Gefüge Eigenschaften
 - Prüfaufgaben
 - Prüfverfahren
 - Materialkennwerte und mögliche Ermittlung
 - Verfahrensentwicklung
- Zeitplan Ende 2014 sollte Richtlinie und Stufe III Kurs erstellt sein

37



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Zusammenfassung

- Notwendigkeit für Richtlinie und Ausbildung wurde gezeigt
- Grobstrukturierung der Richtlinie steht
- Feinausarbeitung hat begonnen
- neue Richtlinie ist keine Konkurrenz zu bestehenden, wie Ultraschall, Wirbelstrom, Härte etc.

38



Symposium Materialcharakterisierung der DGZfP, 19.11.2013
L. Spieß, TU Ilmenau



Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit

Anmerkungen und Zuarbeiten bitte an:
lothar.spiess@tu-ilmenau.de