

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Nanopartikel und Messverfahren – Stand des Wissens	5
2.1	Eigenschaften und Nutzen	5
2.2	Potentielle Risiken	9
2.3	Bedarf für rückgeführte Größenmessungen	10
2.4	Überblick über Messverfahren	12
3	Größenmessung von Nanopartikeln mittels TSEM	21
3.1	TSEM – Prinzip und Vorteile	21
3.2	Implementierung und Rückführung	24
3.3	Präparation und Bildaufnahme	28
3.4	Simulation und Schwellwertbestimmung	29
3.5	Bildauswertung	31
3.6	Beispielmessung	33
3.7	Messunsicherheit	35
3.8	Grenzen hinsichtlich Partikelgrößenmessung	37
4	Anwendungen	41
4.1	Vergleichsmessung auf europäischer Ebene	42
4.2	Supplementary Comparison on Nanoparticle Size	45
4.3	Vergleichsmessung an Nanostäben	51
4.4	Referenzpartikel für die Aerosolmesstechnik	55
5	Ausblick	61
6	Zusammenfassung	65

Anhang

I	Unsicherheitsberechnung	67
I.1	Einführung	67
I.2	Pixelgröße	69
I.3	Pixelanzahl	70
I.4	Partikelform und Strahlungsbelastung	76
I.5	Mittlerer Durchmesser und Partikelauswahl	78
I.6	Gesamtunsicherheit	81

Literaturverzeichnis	85
-----------------------------	-----------

Publikationen	101
Danksagung	105
Eidesstattliche Erklärung	107

Veröffentlichungen

Übersicht über die Veröffentlichungen	109
A TSEM: A Review of Scanning Electron Microscopy in Transmission Mode and Its Applications	
Advances in Imaging and Electron Physics, Bd. 171, 297–356 (2012)	115
A.1 Introduction	116
A.2 Common Electron Microscopy Techniques	117
A.3 TSEM Signal Generation	121
A.4 TSEM Compared with Common Electron Microscopy Techniques	138
A.5 Traceable Dimensional Measurements of Nanostructures	144
A.6 Characterization of Different Material Classes	158
A.7 Special Imaging Modes	162
A.8 Conclusion	164
B Characterization of nanoparticles by scanning electron microscopy in transmission mode	
Measurement Science and Technology 20, 084025 (2009)	175
C Traceable measurement of nanoparticle size using a scanning electron microscope in transmission mode (TSEM)	
Measurement Science and Technology 22, 094002 (2011)	185
D Traceable size determination of nanoparticles, a comparison among European metrology institutes	
Measurement Science and Technology 23, 125005 (2012)	195