

DIN EN ISO 21363



ICS 07.120

**Nanotechnologien –
Messungen von Partikelgrößen- und Partikelformverteilungen mittels
Transmissionselektronenmikroskopie (ISO 21363:2020);
Deutsche Fassung EN ISO 21363:2022**

Nanotechnologies –
Measurements of particle size and shape distributions by transmission electron microscopy
(ISO 21363:2020);
German version EN ISO 21363:2022

Nanotechnologies –
Détermination de la distribution de taille et de forme des particules par microscopie
électronique à transmission (ISO 21363:2020);
Version allemande EN ISO 21363:2022

Gesamtumfang 97 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 21363:2020 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 229 „Nanotechnologies“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 352 „Nanotechnologies“ als EN ISO 21363:2022 übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 062-08-17-02 UA „Prüfverfahren“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Dieses Dokument enthält zwei Nationalen Fußnoten in Abschnitt 5 und G.3.2.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 772:2011	siehe	DIN EN ISO 772:2011-11
ISO 5725-1	siehe	DIN ISO 5725-1
ISO 5725-3:1994	siehe	DIN ISO 5725-3:2000-08
ISO 9276-1:1998	siehe	DIN ISO 9276-1:2004-09
ISO 9276-6:2008	siehe	DIN ISO 9276-6:2012-01
ISO 14887:2000	siehe	DIN ISO 14887:2010-03
ISO 19123:2005	siehe	DIN EN ISO 19123:2007-06
ISO 22309:2011	siehe	DIN ISO 22309:2015-11
ISO/TS 80004-1:2015	siehe	DIN CEN ISO/TS 80004-1 (DIN SPEC 52400-1):2016-04
ISO/TS 80004-2:2015	siehe	DIN CEN ISO/TS 80004-2 (DIN SPEC 52400-2):2017-09
ISO/TS 80004-4:2011	siehe	DIN CEN ISO/TS 80004-4 (DIN SPEC 52400-4):2015-03
ISO/TS 80004-6:2013	siehe	DIN CEN ISO/TS 80004-6 (DIN SPEC 52400-6):2015-07

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN CEN ISO/TS 80004-1 (DIN SPEC 52400-1):2016-04, *Nanotechnologien — Fachwörterverzeichnis — Teil 1: Kernbegriffe (ISO/TS 80004-1:2015); Deutsche Fassung CEN ISO/TS 80004-1:2015*

DIN CEN ISO/TS 80004-2 (DIN SPEC 52400-2):2017-09, *Nanotechnologien — Fachwörterverzeichnis — Teil 2: Nanoobjekte (ISO/TS 80004-2:2015); Deutsche Fassung CEN ISO/TS 80004-2:2017*

DIN CEN ISO/TS 80004-4 (DIN SPEC 52400-4):2015-03, *Nanotechnologien — Fachwörterverzeichnis — Teil 4: Nanostrukturierte Materialien (ISO/TS 80004-4:2011); Deutsche Fassung CEN ISO/TS 80004-4:2014*

DIN CEN ISO/TS 80004-6 (DIN SPEC 52400-6):2015-07, *Nanotechnologien — Fachwörterverzeichnis — Teil 6: Charakterisierung von Nanoobjekten (ISO/TS 80004-6:2013); Deutsche Fassung CEN ISO/TS 80004-6:2015*

DIN EN ISO 772:2011-11, *Hydrometrie — Begriffe und Symbole (ISO 772:2011); Dreisprachige Fassung EN ISO 772:2011*

DIN EN ISO 19123:2007-06, *Geoinformation — Coverage Geometrie- und Funktionsschema (ISO 19123:2005); Englische Fassung EN ISO 19123:2007*

DIN ISO 5725-1, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe*

DIN ISO 5725-3:2000-08, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 3: Präzisionsmaße eines vereinheitlichten Messverfahrens unter Zwischenbedingungen (ISO 5725-3:1994)*

DIN ISO 9276-1:2004-09, *Darstellung der Ergebnisse von Partikelgrößenanalysen — Teil 1: Grafische Darstellung (ISO 9276-1:1998)*

DIN ISO 9276-6:2012-01, *Darstellung der Ergebnisse von Partikelgrößenanalysen — Teil 6: Deskriptive und quantitative Darstellung der Form und Morphologie von Partikeln (ISO 9276-6:2008)*

DIN ISO 14887:2010-03, *Probenvorbereitung — Verfahren zur Dispergierung von Pulvern in Flüssigkeiten (ISO 14887:2000)*

DIN ISO 22309:2015-11, *Mikrobereichsanalyse — Quantitative Analyse mittels energiedispersiver Spektroskopie (EDS) für Elemente mit der Ordnungszahl 11 (Na) oder höher (ISO 22309:2011)*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Nanotechnologien —
Messungen von Partikelgrößen- und
Partikelformverteilungen mittels
Transmissionselektronenmikroskopie (ISO 21363:2020)

Nanotechnologies —
Measurements of particle size and shape distributions
by transmission electron microscopy (ISO 21363:2020)

Nanotechnologies —
Détermination de la distribution de taille et de forme
des particules par microscopie électronique à
transmission (ISO 21363:2020)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 26. Dezember 2021 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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, 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: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe und Symbole	8
3.1 Kernbegriffe — Partikel	8
3.2 Kernbegriffe — Erfassung und Analyse von Bildern	12
3.3 Kernbegriffe — Symbole und Begriffe aus der Statistik	13
3.4 Kernbegriffe — Messgrößen	14
3.5 Kernbegriffe — Messtechnik	18
3.6 Kernbegriffe — Transmissionselektronenmikroskopie	20
3.7 Symbole, Messgrößen und Deskriptoren aus der Statistik	22
3.7.1 Symbole aus der Statistik	22
3.7.2 Messgrößen und Deskriptoren	22
4 Anforderungen der interessierten Kreise an TEM-Messverfahren	23
5 Probenvorbereitung	24
5.1 Allgemeines	24
5.2 Herkunft der Proben	25
5.3 Verwendung einer repräsentativen Probe	25
5.3.1 Allgemeines	25
5.3.2 Proben in Pulverform	25
5.3.3 Dispersionen von Nanopartikeln in Flüssigkeiten	26
5.4 Minimieren von Partikelagglomeration in der Probendispersion	26
5.5 Auswahl des Trägers	26
6 Gerätespezifische Faktoren	27
6.1 Geräteaufbau	27
6.2 Kalibrierung	27
6.2.1 Allgemeines	27
6.2.2 Kalibriernormale	27
6.2.3 Allgemeines Kalibrierverfahren	28
6.3 Einstellen der TEM-Betriebsbedingungen für die Kalibrierung	29
7 Bilderfassung	31
7.1 Allgemeines	31
7.2 Einstellen einer geeigneten Betriebsvergrößerung	31
7.3 Kleinste Partikelfläche	32
7.4 Anzahl der zu zählenden Partikel für Partikelgrößen- und Partikelformverteilungen	32
7.5 Gleichmäßiger Hintergrund	32
7.6 Durchführung der Messung	33
7.6.1 Allgemeines	33
7.6.2 Entwicklung einer Prüfprobe	33
7.6.3 Einflüsse der Vergrößerung	34
7.6.4 Bildausschnitte (Mikroaufnahmen)	34
7.7 Überarbeitung von Arbeitsvorschriften für die Bildaufnahme	34

8	Partikelanalyse	34
8.1	Allgemeines	34
8.2	Individuelle Partikelanalyse	34
8.3	Automatisierte Partikelanalyse	34
8.4	Beispiel — Verfahren der automatisierten Partikelanalyse	35
9	Datenanalyse	36
9.1	Allgemeines	36
9.2	Rohdaten-Sichtung — Erkennen von sich berührenden Partikeln, nichtselektierten Partikeln, Artefakten und Verunreinigungen	37
9.3	Bewertung der Datenqualität — Wiederholpräzision, Laborpräzision und Vergleichpräzision	38
9.4	Anpassung der Verteilungen an Daten	40
9.5	Bewertung der Messunsicherheit für Proben unter Wiederhol-, Laborpräzisions- und Vergleichbedingungen	41
9.5.1	Gesamtstatistik für angepasste Parameter — Drei oder mehr Datensätze	41
9.5.2	Messunsicherheit von angepassten Parametern	41
9.5.3	Beispiel — Messunsicherheit für einen Größen-Deskriptor	42
9.6	Bivariate Analyse	42
10	Berichterstattung	43
Anhang A (informativ) Überblick über Fallstudien		46
A.1	Allgemeines	46
A.2	Diskrete kugelförmige Nanopartikel (siehe Anhang B)	46
A.3	Mischung von Größen (siehe Anhang C)	47
A.4	Mischung von Formen (siehe Anhang D)	47
A.5	Amorphe Aggregate (siehe Anhang E)	47
A.6	Nanokristallit-Aggregate (siehe Anhang F)	47
A.7	Partikel mit kleinem Seitenverhältnis (siehe Anhang G)	47
A.8	Nanopartikel mit spezifischem Kristallhabitus (siehe Anhang H)	47
Anhang B (informativ) Diskrete kugelförmige Nanopartikel		48
B.1	Referenz	48
B.2	Hintergrund und Planungsziele	48
B.3	Höhepunkte	49
Anhang C (informativ) Mischung von Größen		51
C.1	Zweck	51
C.2	Hintergrund und Planziele	51
C.3	Höhepunkte	53
C.3.1	Allgemeines	53
C.3.2	Rohdaten-Sichtung	53
C.3.3	Unterscheidung zwischen großen und mittelgroßen Partikel-Clustern	55
C.3.4	Laborpräzision	57
C.4	Schlussfolgerungen	62
Anhang D (informativ) Mischung von Formen		63
D.1	Referenz	63
D.2	Hintergrund und Planziele	63
D.3	Höhepunkte	64
D.3.1	Verfahren zur Identifizierung und Trennung von Komplexen aus sich berührenden Partikeln	64
D.3.2	Unterscheidung zwischen Nanostäbchen-Proben	66
Anhang E (informativ) Amorphe Aggregate		68
E.1	Referenz	68
E.2	Hintergrund und Planziele	69
E.3	Höhepunkte	69

E.3.1	Messunsicherheiten von Industrierußaggregat-Deskriptoren.....	69
E.3.2	Neuordnung der Deskriptorverteilungen mithilfe von vier Aggregatform- Grundgesamtheiten	70
Anhang F (informativ) Nanokristalline Aggregate.....		72
F.1	Referenz.....	72
F.2	Hintergrund und Planziele.....	73
F.3	Höhepunkte	73
F.3.1	Einfluss von Faktoren der Arbeitsvorschrift auf die Kristallitdaten-Qualität.....	73
F.3.2	Größen-Deskriptoren für Primärkristallite lassen sich am besten mit Lognormalverteilungen modellieren.....	73
Anhang G (informativ) Nanofasern mit unregelmäßigen Querschnitten.....		76
G.1	Referenz.....	76
G.2	Hintergrund und Planziele.....	76
G.3	Höhepunkte	77
G.3.1	Allgemeines	77
G.3.2	Datenqualität	78
G.3.3	Vergleiche von Größen-Deskriptoren für die Polygon-Abtastung und Querschnittsanalyse	80
Anhang H (informativ) Nanopartikel mit spezifischem Kristallhabitus.....		83
H.1	Zweck.....	83
H.2	Hintergrund und Planziele.....	83
H.3	Höhepunkte	84
H.3.1	Referenzmodelle und Unsicherheiten für Deskriptoren für Größe und Längsform.....	84
H.3.2	Vergleiche von Daten, die mit drei verschiedenen Gerätetypen (TEM, TSEM und miniTEM) ermittelt wurden	87
H.3.3	Vergleich von Datensätzen, die mit denselben Partikeln in denselben Bildern ermittelt wurden	88
H.3.4	Vergleichpräzision von Daten, die nacheinander auf demselben Gitter von zwei Laboratorien aufgenommen wurden	89
Literaturhinweise.....		90

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 21363:2020 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 229 „Nanotechnologies“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 352 „Nanotechnologies“ als EN ISO 21363:2022 übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juli 2022, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juli 2022 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 21363:2020 wurde von CEN als EN ISO 21363:2022 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO 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 staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) 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. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe 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 erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 229, *Nanotechnologies*, erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Die Charakterisierungsverfahren für Nanopartikel betreffen häufig, aber nicht ausschließlich, die Größe, Form, Oberflächenstruktur (oder -textur) und Oberflächenchemie. Deren Messungen bilden in Kombination mit Phaseninformationen, wie z. B. der kristallinen Phase, die Morphologie des Werkstoffs. Dieses Dokument konzentriert sich auf zwei Attribute der Morphologie, Größen- und der Formverteilungen, für diskrete, agglomerierte und aggregierte Nanoobjekte (Werkstoffe mit mindestens einer Abmessung im Nanomaßstab, $1\text{ nm} < \text{eine Längenabmessung} < 100\text{ nm}$). Die Transmissionselektronenmikroskopie, ein Standardwerkzeug für Messungen im Nanomaßstab, liefert zweidimensionale Bilder von Partikelprojektionen. Dieser generische Arbeitsablauf zur Messung und Auswertung von Partikelgrößen- und -formverteilungen im Nanomaßstab umfasst die Probenvorbereitung, die Gerätefaktoren, die Bilderfassung, die Partikelanalyse, die Datenanalyse und die Berichterstellung. Es wurden sieben Fallstudien aufgenommen, um zu zeigen, wie die generische Arbeitsvorschrift auf unterschiedliche Partikelmorphologien und Probentypen angewendet werden kann. Es wird über drei diskrete Partikelproben berichtet: kugelförmige (Gold-Nanokugeln), eine bimodale Mischung von Partikelgrößen (kolloidales Siliciumdioxid) und eine Mischung von Partikelformen (Gold-Nanostäbchen und Gold-Nanowürfel). Es wird über zwei Aggregat-Proben berichtet: amorphe, traubenförmige Aggregate (Industrieruß) und Aggregate aus Primärkristalliten (Titandioxid). Es werden auch Messverfahren für Proben mit geringem Seitenverhältnis und Nanopartikel mit spezifischem Kristallhabitus vorgestellt. Mehrere der Fallstudien werden durch Ringversuche gestützt, die nach den Leitlinien des „Versailles Project on Advanced Materials and Standards (VAMAS)“ für Ringversuche (ILCs, en: interlaboratory comparison) [42] durchgeführt wurden.

Es werden drei Arten von Größen- und Form-Deskriptoren berücksichtigt. Zu den Größen-Deskriptoren gehören solche, die durch lineare oder flächenhafte Messungen bestimmt werden. Zu den Form-Deskriptoren gehören Deskriptoren für die Längenausdehnung, wie z. B. Verhältnisse von zwei Längen-Deskriptoren, und Rauheits-Deskriptoren, die Oberflächenunregelmäßigkeiten darstellen.

Die Arbeitsvorschrift betont die qualitative und quantitative Analyse der Datenqualität durch den Anwender. Qualitative Vergleiche von Datensätzen umfassen die Bestimmung der Ähnlichkeit oder der Verschiedenheit einzelner Deskriptor-Mittelwerte oder multivariater Mittelwerte. Quantitative Vergleiche von Datensätzen basieren auf Unterschieden oder Ähnlichkeiten zwischen den Parametern von Referenzmodellen, die an Deskriptor-Verteilungen angepasst sind. Mindestens zwei Parameter (Mittelwert und Streuung) und deren Unsicherheiten werden benötigt, um eine Deskriptor-Verteilung zu definieren. In manchen Fällen sind diese beiden quantitativen Parameter und ihre Unsicherheiten für die Charakterisierung von Partikelgrößen- und Partikelformverteilungen möglicherweise nicht ausreichend. Datenvisualisierungstechniken, wie z. B. Restabweichungs- und Quantil-Plots, und Datenkorrelationen, wie z. B. Paare von Größen- und Form-Deskriptoren oder Fraktalanalyse, können zusätzliche Möglichkeiten zur Bewertung und Differenzierung von Prüfproben bieten. Zusammengefasst erlauben qualitative und quantitative Qualitätsmetriken sowie Visualisierungs- und Korrelationswerkzeuge dem Anwender, die Arbeitsvorschrift an seine qualitativen und quantitativen Qualitätsziele anzupassen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt fest, wie Transmissionselektronenmikroskopiebilder erfasst, gemessen und analysiert werden, um Partikelgrößenverteilungen und Partikelformverteilungen im Nanomaßstab zu ermitteln.

Dieses Dokument gilt weitestgehend für Nanoobjekte und für Partikel größer als 100 nm. Der genaue Arbeitsbereich des Verfahrens hängt von der geforderten Messunsicherheit und von der Leistung des Transmissionselektronenmikroskops ab. Diese Elemente können entsprechend den in diesem Dokument beschriebenen Anforderungen bewertet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 9276-3, *Representation of results of particle size analysis — Part 3: Adjustment of an experimental curve to a reference model*

ISO 9276-6:2008, *Representation of results of particle size analysis — Part 6: Descriptive and quantitative representation of particle shape and morphology*

ISO 29301, *Microbeam analysis — Analytical electron microscopy — Methods for calibrating image magnification by using reference materials with periodic structures*

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1 Kernbegriffe — Partikel

3.1.1

Nanoobjekt

einzelnes Stück Material mit einem, zwei oder drei Außenmaß(en) im *Nanomaßstab* (3.1.2)

[QUELLE: ISO/TS 80004-2:2015, 2.2]

3.1.2

Nanomaßstab

nanoskalig

Längenbereich von etwa 1 nm bis 100 nm

[QUELLE: ISO/TS 80004-1:2015, 2.1, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gestrichen.]

3.1.3

Partikel

winziges Teil Materie mit definierten physikalischen Grenzen

[QUELLE: ISO 26824:2013, 1.1, modifiziert — Die Anmerkungen 1, 2 und 3 zum Begriff wurden gestrichen.]

3.1.4

Baustein-Partikel

konstituierendes Teilchen

Bestandteil-Partikel

identifizierbarer, integraler Bestandteil eines größeren *Partikels* (3.1.3)

[QUELLE: ISO/TS 80004-2:2015, 3.3, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gestrichen.]

3.1.5

Agglomerat

Ansammlung von schwach oder mittelstark gebundenen *Partikeln* (3.1.3), in der die resultierende Oberfläche ähnlich der Summe der Oberflächen der einzelnen Bestandteile ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die ein Agglomerat zusammenhaltenden Kräfte sind schwache Kräfte, z. B. Van-der-Waals-Kräfte, oder einfache physikalische Verhakungen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Agglomerate werden auch als Sekundärpartikel bezeichnet und die Ausgangspartikel werden als Primärpartikel bezeichnet.

[QUELLE: ISO/TS 80004-2:2015, 3.4]

3.1.6

Aggregat

Partikel (3.1.3) aus fest gebundenen oder verschmolzenen Partikeln, bei dem die resultierende Oberfläche wesentlich kleiner sein kann als die Summe der berechneten Oberflächen der einzelnen Bestandteile

Anmerkung 1 zum Begriff: Die ein Aggregat zusammenhaltenden Kräfte sind starke Kräfte (z. B. kovalente Bindungen) oder solche, die auf Sintern oder komplexen physikalischen Verschränkungen beruhen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Aggregate werden auch als Sekundärpartikel bezeichnet und die ursprünglichen Ausgangspartikel werden Primärpartikel genannt.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Einträge 3.1.6 bis 3.1.10 definieren Elemente von Agglomeraten und Aggregaten, von denen einige in Bild 1 abgebildet sind. Die Baustein-Partikel eines Aggregats sind fest zu einer diskreten Einheit (dem Aggregat) verschmolzen, während die Baustein-Partikel eines Agglomerats nur schwach gebunden sind und im Allgemeinen unter Scher- oder mechanischer Beanspruchung leicht dispergiert werden.

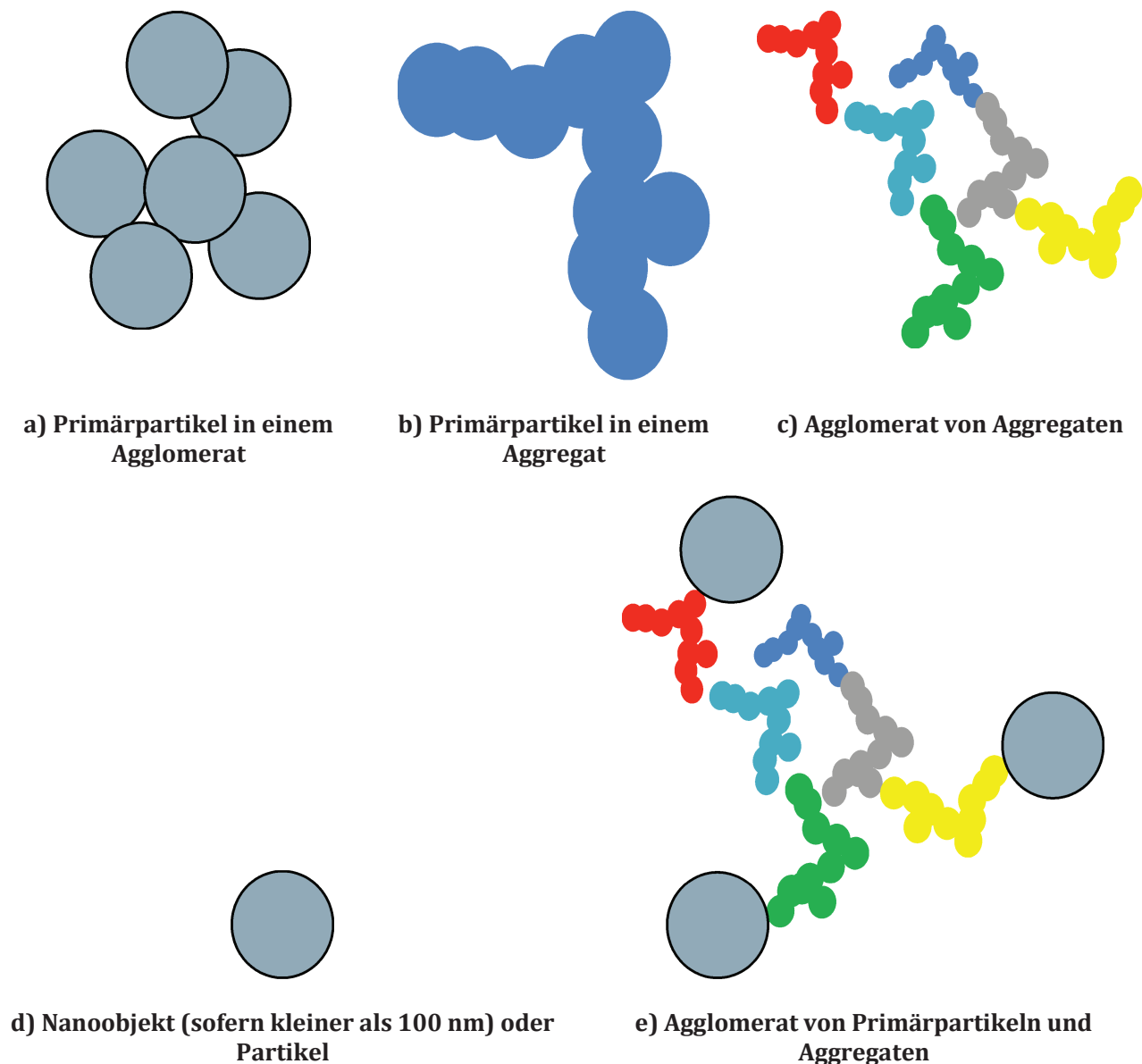


Bild 1 — Schematische Darstellung von Elementen der Agglomerate und Aggregate

[QUELLE: ISO/TS 80004-2:2015, 3.5, modifiziert — In der Definition wurde „wesentlich kleiner ist“ durch „wesentlich kleiner sein kann“ ersetzt und vor „Oberflächen“ wurde „berechneten“ hinzugefügt. In Anmerkung 1 zum Begriff wurden „ionische Bindungen“ in dem Beispiel und das Ende der Anmerkung „oder anderweitig kombinierten ehemaligen Primärpartikeln“ gestrichen. Anmerkung 3 zum Begriff und Bild 1 wurden hinzugefügt.]

3.1.7

Nanopartikel

Nanoobjekt (3.1.1) mit allen drei Außenmaßen im *Nanomaßstab* (3.1.2), wobei sich die Längen der längsten und kürzesten Achsen des Nanoobjekts nicht wesentlich unterscheiden

[QUELLE: ISO/TS 80004-2:2015, 4.4, modifiziert — „drei“ wurde hinzugefügt und Anmerkung 1 zum Begriff wurde gestrichen.]

3.1.8

Nanostäbchen

massive *Nanofaser* (3.1.9)

[QUELLE: ISO/TS 80004-2:2015, 4.7]

3.1.9

Nanofaser

Nanoobjekt (3.1.1) mit zwei ähnlichen Außenmaßen im *Nanomaßstab* (3.1.2) und einem dritten Außenmaß, das wesentlich größer als die beiden anderen Außenmaße ist

[QUELLE: ISO/TS 80004-2:2015, 4.5, modifiziert — „ähnlichen“ wurde hinzugefügt und die Anmerkungen 1, 2 und 3 zum Begriff wurden gestrichen.]

3.1.10

Nanophase

physikalisch oder chemisch abgegrenzter Bereich oder Sammelbegriff für physikalisch abgegrenzte gleichartige Bereiche in einem Material mit diskreten Bereichen mit einem, zwei oder drei Maßen im *Nanomaßstab* (3.1.2)

Anmerkung 1 zum Begriff: *Nanoobjekte* (3.1.1), die in eine andere Phase eingebettet sind, ergeben eine Nanophase.

3.1.11

Nanodispersion

Material, in dem *Nanoobjekte* (3.1.1) oder eine *Nanophase* (3.1.10) in einer kontinuierlichen Phase einer anderen Zusammensetzung verteilt sind/ist

[QUELLE: ISO/TS 80004-4:2011, 2.14]

3.1.12

Partikelgröße

x

Maß eines *Partikels* (3.1.3), das mit einem festgelegten Messverfahren und unter festgelegten Messbedingungen ermittelt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Verschiedene Analyseverfahren basieren auf der Messung unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften. Unabhängig von der tatsächlich gemessenen Partikeleigenschaft kann die Partikelgröße als Längenmaß, als Flächeninhalt oder als ein Volumen dargestellt werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Mit dem Symbol x wird das Längenmaß der Partikelgröße bezeichnet. Es wird jedoch anerkannt, dass das Symbol d ebenfalls weit verbreitet ist. Demzufolge darf das Symbol x durch d ersetzt werden.

[QUELLE: ISO 9276-1:1998, 4.2, modifiziert — Textumwandlung in einen Begriff.]

3.1.13

Partikelgrößenverteilung

Verteilung von *Partikeln* (3.1.3) als Funktion der *Partikelgröße* (3.1.12)

[QUELLE: ISO/TS 80004-6:2013, 3.1.2, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gestrichen.]

3.1.14

Partikelform

äußere geometrische Form eines *Partikels* (3.1.3)

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Formbeschreibung sind zwei skalare Deskriptoren erforderlich, d. h. die Länge und die Streuung.

[QUELLE: ISO/TS 80004-6:2013, 3.1.3, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt.]

3.1.15

Partikelformverteilung

Verteilung des Deskriptors einer bestimmten *Partikelform* (3.1.14) für eine Grundgesamtheit an Proben

3.2 Kernbegriffe — Erfassung und Analyse von Bildern

3.2.1

Betrachtungsbereich

vom Betrachtungsgerät erfasster Bereich

[QUELLE: ISO 13322-1:2014, 3.1.6, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gestrichen.]

3.2.2

Messfeld

ausgewählte Region im *Betrachtungsbereich* (3.2.1), in der für die Bildanalyse die Größen der *Partikel* (3.1.3) bestimmt und diese gezählt werden

[QUELLE: ISO 13322-1:2014, 3.1.10]

3.2.3

Binärbild

digitalisiertes Bild, das aus einem Array von *Pixeln* (3.2.4) besteht, von denen jedes einen Wert von 0 oder 1 hat und deren Werte normalerweise durch dunkle und helle Bereiche auf dem Bildschirm oder durch die Verwendung von zwei unterschiedlichen Farben dargestellt werden

[QUELLE: ISO 13322-1:2014, 3.1.2]

3.2.4

Pixel

kleinstes Element eines Bildes, das einzeln verarbeitet werden kann und durch seine Raumkoordinaten definiert und mit Farbwerten kodiert ist

[QUELLE: ISO 12640-2:2004, 3.6, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gestrichen.]

3.2.5

Pixelauflösung

Anzahl von Bild*pixeln* (3.2.4) je Abstandseinheit des Detektors

[QUELLE: ISO 29301:2017, 3.24, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gestrichen.]

3.2.6

Pixelzahl

Gesamtzahl an *Pixeln* (3.2.4) je Datei, Länge oder Fläche, je nach verwendeter Einheit

[QUELLE: ISO 19262:2015, 3.191]

3.2.7

Mikroaufnahme

Aufnahme eines mit einem Mikroskop erzeugten Bildes

[QUELLE: ISO 10934-1:2002, 2.94]

3.2.8

Artefakt

unerwünschte Verzerrung oder hinzugefügtes Merkmal in den Messdaten, die durch die mangelnde Eignung der Ausrüstung entstehen

[QUELLE: ISO 18115-2:2013, 5.6]

3.3 Kernbegriffe — Symbole und Begriffe aus der Statistik

3.3.1

Variationskoeffizient

C_v

Verhältnis von Standardabweichung zu arithmetischem Mittelwert

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Variationskoeffizient wird üblicherweise in Prozent angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Variationskoeffizient für einen Probenmittelwert kann z. B. wie folgt dargestellt werden:

$$c_v = \frac{s \cdot 100}{\bar{x}}$$

Dabei ist $\bar{x}$ der Deskriptor-Mittelwert und s ist die Standardabweichung des Deskriptors für mehrere Datensätze. Diese „Gesamtstatistik“ wird zur Bewertung der Deskriptor-Daten in Ringversuchen verwendet.

[QUELLE: ISO 27448:2009, 3.11, modifiziert — Anmerkungen 1 und 2 zum Begriff wurden hinzugefügt.]

3.3.2

Standardmessabweichung einer Schätzung

Standardfehler einer Schätzung

σ_{est}

Maß der Streuung der abhängigen Variablen (Ausgangsgröße) um die Gerade nach dem Verfahren der kleinsten Quadrate, die durch Kurvenanpassung oder Regressionsanalyse erhalten wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Standardmessabweichung einer Schätzung kann wie folgt ermittelt werden:

$$\sigma_{\text{est}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - k}}$$

Dabei ist

n die Anzahl der Datenpunkte;

k die Anzahl der Koeffizienten in der Gleichung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Standardmessabweichung des Mittelwertes kann wie folgt ermittelt werden:

$$\sigma_{\text{est}, \bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Standardmessabweichung ist die Standardabweichung der Probenverteilung einer Statistik. Das Beispiel gilt für einen Probenmittelwert. Die Standardmessabweichung des Mittelwertes ist eine Schätzung, wie nah der Probenmittelwert am Mittelwert der Grundgesamtheit liegt. Dieser Wert nimmt mit steigendem Probenumfang ab.

[QUELLE: ISO 772:2011, 7.31, modifiziert — Die zugelassene Benennung „Reststandardabweichung“ wurde gestrichen. Die ursprünglichen Anmerkungen 1 und 2 zum Begriff wurden durch die neuen Anmerkungen 1, 2 und 3 zum Begriff ersetzt.]

3.3.3

relative Standardmessabweichung

RSE, en: relative standard error

Standardmessabweichung geteilt durch ihre statistische Kenngröße

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie wird in Prozent angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Beispielsweise ergibt sich die relative Standardmessabweichung des Mittelwertes wie folgt:

$$\text{RSE}_{\bar{x}} = \frac{100 \cdot \sigma_{\text{est},x}}{\bar{x}}$$

3.3.4

Bias der Messung

Schätzwert einer systematischen Messabweichung

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Bias liegt vor, wenn sich eine statistische Kenngröße systematisch von dem Parameter der Grundgesamtheit unterscheidet, den sie schätzt.

$\Delta m = |c_m - c_{\text{cm}}|$: die absolute Differenz zwischen dem Mittelwert der gemessenen Werte und dem zertifizierten Wert. Der Bias des normalen Mittelwerts dieser Studie wäre der Durchschnitt der einzelnen absoluten Differenzen zwischen einem gemessenen Mittelwert und dem Mittelwert des zertifizierten Referenzmaterials.

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{m,i}}{n}$$

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.18, modifiziert — Anmerkungen 1 und 2 zum Begriff wurden hinzugefügt.]

3.3.5

Restwert

Differenz zwischen dem festgestellten Wert der Messgröße und dem Schätzwert der Messgröße

3.3.6

Reststandardabweichung

Beschreibung der Streuung der Informationswerte um die berechnete Regressionsgerade

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie ist eine Kennzahl, die die *Präzision* (3.5.5) der Kalibrierung beschreibt.

[QUELLE: ISO 8466-1:1990, 2.5]

3.3.7

Quantil-Diagramm

graphisches Verfahren zum Vergleich von zwei Verteilungen, wobei die Quantile der empirischen (Daten-)Verteilung auf der y-Achse und die Quantile der theoretischen (Referenz-)Verteilung mit demselben Mittelwert und derselben Varianz wie die empirische Verteilung auf der x-Achse abgetragen werden

3.4 Kernbegriffe — Messgrößen

3.4.1

Messgröße

Größe, die gemessen werden soll

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.3, modifiziert — Die Anmerkungen wurden gestrichen.]

3.4.2

Bild-Deskriptor

aus einem Bild extrahierter Deskriptor

[QUELLE: ISO/IEC 15938-13:2015, 2.1]

3.4.3

Feret-Durchmesser

Abstand zweier paralleler Tangenten auf gegenüberliegenden Seiten der Abbildung eines *Partikels* (3.1.3)

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Dokument wird der *maximale Feret-Durchmesser* (3.4.4) verwendet.

[QUELLE: ISO 13322-1:2014, 3.1.5, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt.]

3.4.4

maximaler Feret-Durchmesser

größte Länge eines Objekts, unabhängig von dessen Ausrichtung

[QUELLE: ISO/TR 945-2:2011, 2.1, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gestrichen.]

3.4.5

minimaler Feret-Durchmesser

kleinste Länge eines Objekts, unabhängig von dessen Ausrichtung

3.4.6

Umfang

Gesamtlänge der Objektkontur

[QUELLE: ISO/TR 945-2:2011, 2.3]

3.4.7

äquivalenter Kreisdurchmesser

Durchmesser eines Kreises mit dem gleichen Flächeninhalt wie das projizierte Bild des *Partikels* (3.1.3)

BEISPIEL Der äquivalente Kreisdurchmesser (ecd, en: equivalent circular diameter) ist:

$$ecd = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

Dabei ist A der Flächeninhalt des Partikels.

[QUELLE: ISO 13322-1:2014, 3.1.1, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gestrichen und das Beispiel wurde hinzugefügt.]

3.4.8

äquivalenter Umfangsdurchmesser

d_{epd}

Durchmesser eines Kreises mit dem gleichen *Umfang* (3.4.6) wie das projizierte Bild des *Partikels* (3.1.3)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der äquivalente Umfangsdurchmesser kann wie folgt berechnet werden:

$$d_{epd} = \frac{P}{\pi}$$

Dabei ist P die Länge des Umfangs.

3.4.9

konvexe Hülle

kleinste konvexe Menge, die ein gegebenes Geometrieobjekt enthält

[QUELLE: ISO 19123:2005, 4.1.2]

3.4.10

Seitenverhältnis

Verhältnis von *minimalem* (3.4.5) zu *maximalem Feret-Durchmesser* (3.4.4)

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Seitenverhältnis kann beispielsweise wie folgt berechnet werden:

$$\text{Seitenverhältnis} = \frac{x_{F\min}}{x_{F\max}}$$

Dabei ist

$x_{F\min}$ der minimale Feret-Durchmesser;

$x_{F\max}$ der maximale Feret-Durchmesser.

[QUELLE: ISO 26824:2013, 4.5, modifiziert — Die ursprünglichen Anmerkungen 1 und 2 zum Begriff wurden durch die neue Anmerkung 1 zum Begriff ersetzt.]

3.4.11

Ellipsenverhältnis

Verhältnis der Längen der Achsen der Legendre-Trägheitsellipse

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispielsweise kann das Ellipsenverhältnis das an das *Partikel* (3.1.3) angepasste Verhältnis von Neben- zu Hauptachse der Legendre-Ellipse sein; daher ist der elliptische Formfaktor wie folgt:

$$\text{Ellipsenverhältnis} = \frac{x_{L\min}}{x_{L\max}}$$

Dabei ist

$x_{L\min}$ die Länge der Nebenachse der Legendre-Trägheitsellipse;

$x_{L\max}$ die Länge der Hauptachse der Legendre-Trägheitsellipse.

[QUELLE: ISO 26824:2013, 4.4, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde ersetzt.]

3.4.12

Ausdehnung

Sperrigkeit

Verhältnis von Flächeninhalt des Partikels zum Produkt aus *Feret-Durchmesser* (3.4.3) und *minimalem Feret-Durchmesser* (3.4.6)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Ausdehnung kann beispielsweise wie folgt berechnet werden:

$$\text{Ausdehnung} = \frac{A}{x_{F\min} \cdot x_{F\max}}$$

Dabei ist

$x_{F\min}$ der minimale Feret-Durchmesser;

$x_{F\max}$ der maximale Feret-Durchmesser.

[QUELLE: ISO 9276-6:2008, 8.1.3, modifiziert — Textumwandlung in eine Begriffsfestlegung. Die Definition wurde hinzugefügt.]

3.4.13

Kompaktheit

Grad der Ähnlichkeit der Projektionsfläche A des *Partikels* (3.1.3) zu einem Kreis, unter Beachtung der Gesamtform des *Partikels* (3.1.3) mit dem *maximalen Feret-Durchmesser* (3.4.4)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kompaktheit kann beispielsweise wie folgt berechnet werden:

$$\text{Kompaktheit} = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}}{X_{\text{Fmax}}}$$

Dabei ist

A der Flächeninhalt des Partikels;

X_{Fmax} der maximale Feret-Durchmesser.

[QUELLE: ISO 9276-6:2008, 8.1.3, modifiziert — Umwandlung in die Form für eine Begriffsfestlegung. In der Definition wurde „des Partikels (oder seiner Projektionsfläche)“ durch „der Projektionsfläche A des Partikels“ ersetzt und „mit dem maximalen Feret-Durchmesser“ wurde hinzugefügt.]

3.4.14

Konvexität

Verhältnis des *Umfangs* (3.4.6) der *konvexen Hülle* (3.4.9), die das *Partikel* (3.1.3) umgibt, zu dessen Umfang

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Konvexität kann beispielsweise wie folgt berechnet werden:

$$\text{Konvexität} = \frac{P_c}{P}$$

Dabei ist

P_c die Länge des Umfangs der konvexen Hülle, die das Partikel umgibt;

P die Länge des Umfangs.

[QUELLE: ISO 9276-6:2008, 8.2, modifiziert — Umwandlung in eine Begriffsfestlegung. Die Definition wurde hinzugefügt.]

3.4.15

Zirkularität

C

Grad der Ähnlichkeit der Projektionsfläche des *Partikels* (3.1.3) zu einem Kreis, basierend auf dessen *Umfang* (3.4.6)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Zirkularität kann beispielsweise wie folgt berechnet werden:

$$C = \frac{x_a}{x_p} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot A}{P^2}}$$

Dabei ist

x_a der flächenäquivalente Durchmesser eines Partikels;

x_p der umfangäquivalente Durchmesser eines Partikels;

A der Flächeninhalt des Partikels;

P die Länge des Umfangs.

[QUELLE: ISO 26824:2013, 4.12, modifiziert — „Projektionsfläche A des Partikels“ wurde durch „Projektionsfläche des Partikels“ ersetzt, und „unter Berücksichtigung der Glätte seines Umfangs“ wurde durch „basierend auf dessen Umfang“ ersetzt. Die Gleichung und die Anmerkung 1 zum Begriff wurden ersetzt.]

3.4.16

Rundheit

Quadrat der *Kompaktheit* (3.4.13)

3.4.17

Solidität

Verhältnis der Projektionsfläche A zum Flächeninhalt der *konvexen Hülle* A_C (3.4.9)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Solidität kann beispielsweise wie folgt berechnet werden:

$$\text{Solidität} = \frac{A}{A_C}$$

[QUELLE: ISO 26824:2013, 4.13, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt.]

3.5 Kernbegriffe — Messtechnik

3.5.1

Wiederholbedingung von Messungen

Messbedingung aus einer Menge von Bedingungen, die dasselbe Messverfahren, dieselben Bediener, dasselbe Messsystem, dieselben Betriebsbedingungen und denselben Ort und wiederholte Messungen an demselben Objekt oder an ähnlichen Objekten während eines kurzen Zeitintervalls umfassen

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.20, modifiziert — Die zugelassene Benennung „Wiederholbedingung“ und die Anmerkungen wurden gestrichen.]

3.5.2

Laborpräzisionsbedingung von Messungen

Messbedingung bei Vorliegen einer Menge von Bedingungen, die dasselbe Messverfahren, denselben Messort und wiederholte Messungen an demselben Objekt oder ähnlichen Objekten über ein längeres Zeitintervall umfasst, aber auch andere sich ändernde Bedingungen einschließen kann

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.22, modifiziert — Die in der englischsprachigen Fassung zugelassene Benennung „intermediate precision condition“ und die Anmerkungen wurden gestrichen.]

3.5.3

Vergleichbedingung von Messungen

Messbedingung aus einer Menge von Bedingungen, die unterschiedliche Messorte, Bediener, Messsysteme und wiederholte Messungen an demselben Objekt oder an ähnlichen Objekten umfasst

Anmerkung 1 zum Begriff: Die verschiedenen Messsysteme können verschiedene Messverfahren verwenden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine Spezifikation sollte die geänderten und die ungeänderten Bedingungen angeben, soweit praktisch möglich.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.24, modifiziert — Die in der englischsprachigen Fassung zugelassene Benennung „reproducibility condition“ wurde gestrichen.]

3.5.4

Messgenauigkeit

Ausmaß der Annäherung eines gemessenen Mengenwerts an einen wahren Mengenwert einer *Messgröße* (3.4.1)

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Konzept der „Messgenauigkeit“ ist keine Größe und wird nicht als numerischer Wert ausgedrückt. Man sagt, dass eine Messung genauer ist, wenn sie eine kleinere Messunsicherheit hat.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Benennung „Messgenauigkeit“ sollte nicht anstelle von Messrichtigkeit und die Benennung „Messpräzision“ nicht anstelle von „Messgenauigkeit“ verwendet werden, die allerdings zu beiden Begriffen in Beziehung steht.

Anmerkung 3 zum Begriff: „Messgenauigkeit“ wird manchmal als Ausmaß der Übereinstimmung zwischen Messwerten verstanden, die der Messgröße zugewiesen werden.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.13, modifiziert — Die zugelassene Benennung „Genauigkeit“ wurde gestrichen. In Anmerkung 1 zum Begriff wurde „Messabweichung“ durch „Messunsicherheit“ ersetzt.]

3.5.5

Präzision

Messpräzision

Ausmaß der Übereinstimmung von Angaben oder gemessenen Mengenwerten, die durch wiederholte Messungen an denselben oder ähnlichen Objekten unter vorgegebenen Bedingungen erhalten wurden

Anmerkung 1 zum Begriff: Messpräzision wird im Allgemeinen mit Hilfe von Kenngrößen, wie Standardabweichung, Varianz oder *Variationskoeffizient* (3.3.1), unter vorgegebenen Messbedingungen quantifiziert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die „vorgegebenen Messbedingungen“ können z. B. sein: *Wiederholbedingungen von Messungen* (3.5.1), *Laborpräzisionsbedingungen von Messungen* (3.5.2) oder *Vergleichbedingungen von Messungen* (3.5.3) (siehe ISO 5725-3:1994).

Anmerkung 3 zum Begriff: Messpräzision wird gebraucht, um die Wiederholpräzision, die Laborpräzisionsbedingungen oder die Vergleichpräzision einer Messung zu definieren.

Anmerkung 4 zum Begriff: Manchmal wird „Messpräzision“ auch fälschlicherweise für *Messgenauigkeit* (3.5.4) benutzt.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.15, modifiziert — „Präzision“ ist jetzt die Vorzugsbenennung und „Messpräzision“ ist jetzt die zugelassene Benennung.]

3.5.6

kombinierte Standardmessunsicherheit

Standardmessunsicherheit, die aus den einzelnen Standardmessunsicherheiten erhalten wird, die den Eingangsgrößen des Modells der Messung beigeordnet werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Fall von Korrelationen von Eingangsgrößen des Modells der Messung müssen Kovarianzen berücksichtigt werden, wenn die kombinierte Standardmessunsicherheit berechnet wird; siehe auch ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2.3.4.

3.5.7

erweiterte Messunsicherheit

U

Produkt aus einer *kombinierten Standardmessunsicherheit* (3.5.6) und einem Faktor, der größer als eins ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Faktor hängt von der Art der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ausgangsgröße des Modells der Messung ab sowie von der gewählten Überdeckungswahrscheinlichkeit.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Benennung „Faktor“ in dieser Definition bezieht sich auf Erweiterungsfaktor.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die erweiterte Messunsicherheit wird in Absatz 5 der Empfehlung INC-1 (1980) (siehe GUM) „Gesamtunsicherheit“ genannt und in den IEC-Dokumenten einfach nur „Unsicherheit“.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.35, modifiziert — Die zugelassene Benennung „erweiterte Unsicherheit“ wurde gestrichen. Das Symbol „U“ wurde hinzugefügt.]

3.5.8

Ermittlungsverfahren A der Messunsicherheit

Ermittlung einer Komponente der Messunsicherheit durch die statistische Analyse von Messwerten, die man unter definierten Messbedingungen erhalten hat

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.28, modifiziert — Die in der englischsprachigen Fassung zugelassene Benennung „Type A evaluation“ und die Anmerkungen wurden gestrichen.]

3.5.9

Ermittlungsverfahren B der Messunsicherheit

Ermittlung einer Komponente der Messunsicherheit durch andere Verfahren als durch die *Ermittlungsverfahren A der Messunsicherheit* (3.5.8)

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.29, modifiziert — Die zugelassene Benennung „Ermittlungsverfahren B“, die Anmerkung und die Beispiele wurden gestrichen.]

3.5.10

Referenzmaterial

RM

Material, das im Hinblick auf eine oder mehrere festgelegte Eigenschaft(en) ausreichend homogen und stabil ist und hergestellt wurde, um für dessen vorgesehene Verwendung in einem Messverfahren geeignet zu sein

[QUELLE: ISO Guide 30:2015, 2.1.1, modifiziert — Die Anmerkungen zum Begriff wurden gestrichen.]

3.5.11

zertifiziertes Referenzmaterial

ZRM

Referenzmaterial (RM) (3.5.10), das durch ein metrologisch gültiges Verfahren in Bezug auf eine oder mehrere festgelegte Eigenschaft(en) charakterisiert und durch ein RM-Zertifikat begleitet wird, in dem der Wert der festgelegten Eigenschaft, die zugehörige Unsicherheit und eine Erklärung der metrologischen Rückführbarkeit angegeben werden

[QUELLE: ISO Guide 30:2015, 2.1.2, modifiziert — Die Anmerkungen zum Begriff wurden gestrichen.]

3.6 Kernbegriffe — Transmissionselektronenmikroskopie

3.6.1

Transmissionselektronenmikroskopie

TEM, en: transmission electron microscopy

Verfahren, das vergrößerte Bilder oder Beugungsmuster der Probe mithilfe eines Elektronenstrahls erzeugt, der durch die Probe hindurchgeht und mit ihr wechselwirkt

[QUELLE: ISO/TS 80004-6:2013, 3.5.6]

3.6.2

Rastertransmissionselektronenmikroskopie

STEM, en: scanning transmission electron microscopy

Verfahren, das vergrößerte Bilder oder Beugungsmuster der Probe mithilfe eines fein fokussierten Elektronenstrahls erzeugt, der die Oberfläche abtastet und durch die Probe hindurchgeht und mit ihr wechselwirkt

[QUELLE: ISO/TS 80004-6:2013, 3.5.7, modifiziert — Die Anmerkungen zum Begriff wurden gestrichen.]

3.6.3

Beschleunigungsspannung

Potentialdifferenz, die zwischen dem Filament und der Anode anliegt, um die aus der Quelle emittierten Elektronen zu beschleunigen

[QUELLE: ISO 22309:2011, 3.3, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gestrichen.]

3.6.4

Hellfeld-Transmissionselektronenmikroskopie

Hellfeld-TEM

TEM-Technik zur Elektronenbeleuchtung und -abbildung, bei der der direkte Elektronenstrahl die Probe durchdringt und das Bild nur durch die durchgelassene Welle erzeugt wird, indem die Welle mit Hilfe einer Objektivblende auf der hinteren Brennebene ausgewählt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Vor einem hellen Hintergrund erscheinen die etwas dickeren Bereiche einer Probe oder Bereiche mit einer höheren Kernladungszahl (Z) in der Regel dunkler. Klassisch betrachtet wird in diesem Modus der Kontrast direkt durch Okklusion und Absorption von Elektronen in der Probe gebildet. Dickere Bereiche der Probe oder Bereiche mit einer höheren Kernladungszahl erscheinen dunkler, während Bereiche ohne Probe im Strahlengang heller erscheinen, daher die Benennung „Hellfeld“.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dieser Begriff wird in einer Begriffssammlung zur analytischen Elektronenmikroskopie enthalten sein, die zurzeit durch ISO/TC 202/SC 1 erarbeitet wird.

[QUELLE: ISO/TS 10797:2012, 3.3]

3.6.5

Dunkelfeld-Transmissionselektronenmikroskopie

Dunkelfeld-TEM

TEM-Technik zur Elektronenbeleuchtung und -abbildung, bei der der direkte Elektronenstrahl die Probe durchdringt und das Bild nur durch die gebeugte Welle erzeugt wird, indem die Welle mit Hilfe einer Objektivblende auf der hinteren Brennebene ausgewählt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Kristalline Teile der Probe streuen die Elektronen des Direktstrahls an diskreten Stellen in der hinteren Brennebene. Durch Anordnung von Blenden in der hinteren Brennebene, d. h. der Objektivblende, können gewünschte Teile der Reflexionen ausgewählt werden, so dass nur die Teile der Probe abgebildet werden, die die Elektronen zu den ausgewählten Reflexionen streuen. Wenn die ausgewählten Reflexionen nicht den ungestreuten Strahl enthalten, dann erscheint das Bild überall dort dunkel, wo keine Probe zum ausgewählten Peak streut — daher die Benennung „Dunkelfeld“.

Anmerkung 2 zum Begriff: Moderne TEMs sind häufig mit Probenhaltern ausgestattet, mit denen der Anwender die Probe so neigen kann, dass bestimmte Beugungsbedingungen entstehen. Die Welle, welche die Streuung und Reflexion (z. B. Bragg-Reflexion) in einer kristallinen Probe verursacht hat, bildet ein Dunkelfeldbild, indem sie eine bestimmte Beugungswelle durch Objektivblenden in der hinteren Brennebene des Objektivs auswählt.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die ringförmige Hochwinkel-Dunkelfeld-Bildgebung (HAADF, en: high-angle annular dark-field) ist sehr empfindlich gegenüber Schwankungen der Kernladungszahl der Atome in der Probe und erzeugt sogenannte Z -Kontrast-Bilder, die nützliche Informationen über das Vorhandensein von Metallen auf Nanoröhrchen und Katalysatorresten liefern, selbst wenn diese kleinen Metallpartikel (3.1.3) in amorphen Kohlenstoff oder Katalysatorträger eingebettet sind, während sie ansonsten im Hellfeld-Bildgebungsmodus unsichtbar sind.

Anmerkung 4 zum Begriff: Dieser Begriff wird in einer Begriffssammlung zur analytischen Elektronenmikroskopie enthalten sein, die zurzeit durch ISO/TC 202/SC 1 erarbeitet wird.

[QUELLE: ISO/TS 10797:2012, 3.4]

3.7 Symbole, Messgrößen und Deskriptoren aus der Statistik

3.7.1 Symbole aus der Statistik

C_v	Variationskoeffizient
$q(x)$	differentielle Verteilung (Dichteverteilung)
$Q(x)$	kumulative Verteilung
p	Statistik, die sich aus der Varianzanalyse oder zweidimensionalen Analyse ergibt
RSE	relative Standardmessabweichung (en: relative standard error)
s	Standardabweichung des Deskriptors x oder des Deskriptorparameters
s^2	Varianz des Deskriptors oder des Deskriptorparameters
σ_{est}	Standardmessabweichung einer Schätzung
x	Wert des Deskriptors oder des Deskriptorparameters
$\bar{x}$	Mittelwert des Deskriptors oder des Deskriptorparameters
$X(x)$	Transformation des Deskriptors (z. B. $X(x) = x$ für eine Normalverteilung, $X(x) = \ln x$ für eine Lognormalverteilung)
$Y(Q)$	Transformation von Q , aufgetragen auf der y-Achse, d. h. $Y =$ Kehrwert der Verteilung. Andere Transformationen sind in ISO 9276-3:2008, Tabelle 1, aufgeführt.

ANMERKUNG Mengenmaße und Mengenarten der Verteilungen sind in ISO 9276-1:1998 definiert.

3.7.2 Messgrößen und Deskriptoren

ANMERKUNG Messgrößen bzw. Deskriptoren für Größen- und Formmessungen können direkt proportional zur Länge (Kategorie 1) oder proportional zum Quadrat der Länge (Kategorie 2) sein.

3.7.2.1 Größen-Deskriptoren und Symbole — Kategorie 1

P	Länge des Umfangs
P_c	Länge des Umfangs der konvexen Hülle, die das Partikel umgibt
x_a	flächenäquivalenter Durchmesser eines Partikels [auch bekannt als „äquivalenter Kreisdurchmesser (ECD, en: equivalent circle diameter)“]
$x_{F\text{max}}$	maximaler Feret-Durchmesser; entspricht der „Länge“ des Partikels
$x_{F\text{min}}$	minimaler Feret-Durchmesser; entspricht der „Breite“ des Partikels
$x_{L\text{max}}$	Länge der Hauptachse der Legendre-Trägheitsellipse
$x_{L\text{min}}$	Länge der Nebenachse der Legendre-Trägheitsellipse
x_p	umfangäquivalenter Durchmesser eines Partikels

$$x_p = \frac{P}{\pi}$$

3.7.2.2 Größen-Deskriptoren und Symbole — Kategorie 2

A	Flächeninhalt des Partikels
A_c	Flächeninhalt der konvexen Hülle, die das Partikel umgibt
L^2	durch Multiplikation von zwei Längen berechneter Flächeninhalt

ANMERKUNG Der volumenäquivalente Durchmesser x_V und der flächenäquivalente Durchmesser x_S sind nicht enthalten, da sie dreidimensionale Deskriptoren sind.

3.7.2.3 Form-Deskriptoren und Symbole — Kategorie 1

AR	Seitenverhältnis (en: aspect ratio)
ER	Ellipsenverhältnis (en: ellipse ratio)

ANMERKUNG 1 Die ISO-Längsform-Deskriptoren für die Bildanalyse sind so definiert, dass ihre Werte von Null bis Eins skalieren, und nicht umgekehrt, wie es in der übrigen Literatur durchaus üblich ist. Die ISO-Definitionen schränken den Bereich der Deskriptor-Variablen ein, wodurch Wahrscheinlichkeits- und kumulative Dichtediagramme kompakter werden.

C	Zirkularität (en: circularity)
-----	--------------------------------

ANMERKUNG 2 Die ISO-Längsform-Deskriptoren für die Bildanalyse sind so definiert, dass ihre Werte von Null bis Eins skalieren und nicht umgekehrt, wie es in der übrigen Literatur durchaus üblich ist. Die ISO-Definitionen schränken den Bereich der Deskriptor-Variablen ein, wodurch Wahrscheinlichkeits- und kumulative Dichtediagramme kompakter werden.

4 Anforderungen der interessierten Kreise an TEM-Messverfahren

Dieses Dokument behandelt die folgenden Anforderungen der Nutzergruppen hinsichtlich Partikelgrößen- und Partikelformverteilungen:

- a) handelsübliche Materialien sollten gemessen werden;
- b) Erfassung, Messung und Analyse der Daten sollten weitestgehend automatisch erfolgen;
- c) Arbeitsabläufe sollten die Entscheidungen über die Bilderfassung, Partikelmessung und Datenanalyse erleichtern;
- d) Fallstudien sollten Folgendes veranschaulichen:
 - 1) die Identifizierung von sich berührenden Partikeln, nicht selektierten Partikeln und Artefakten;
 - 2) die Auswahl der Größen- und Form-Deskriptoren mit hoher Wiederholpräzision und Vergleichpräzision;
 - 3) die Abschätzung der Messunsicherheiten für die Verteilungsparameter, d.h. Mittelwert und Streuung;
 - 4) die Unterscheidung zwischen Proben mithilfe von Größen- und Form-Deskriptoren;
 - 5) den Einsatz von Datenvisualisierungstools zur Erweiterung der Messunsicherheitsergebnisse.

Bild 2 zeigt den Arbeitsablauf für die Messung der Partikelgrößen- und Partikelformverteilungen, die den Anforderungen der interessierten Kreise entsprechen. Es ist wichtig, alle Partikel zu identifizieren, die nicht Gegenstand der Untersuchung sind. Es kann auch notwendig oder von Vorteil sein, sich berührende Partikel zu entfernen. Die Wiederholpräzision, die Laborpräzision oder die Vergleichpräzision der Daten sollte in Abhängigkeit von der Anwendung quantifiziert werden. Die Anpassung der Verteilungen an Daten liefert Werte für den Mittelwert und die Streuung von Referenzverteilungen, für die Messunsicherheiten geschätzt werden können. In einigen Fällen können die einzelnen numerischen Ergebnisse (Mittelwert, Streuung und ihre Unsicherheiten) allein nicht zwischen Modellen und/oder Daten unterscheiden. Visualisierungstools und Korrelationen können zusätzliche Informationen über die Probe liefern.

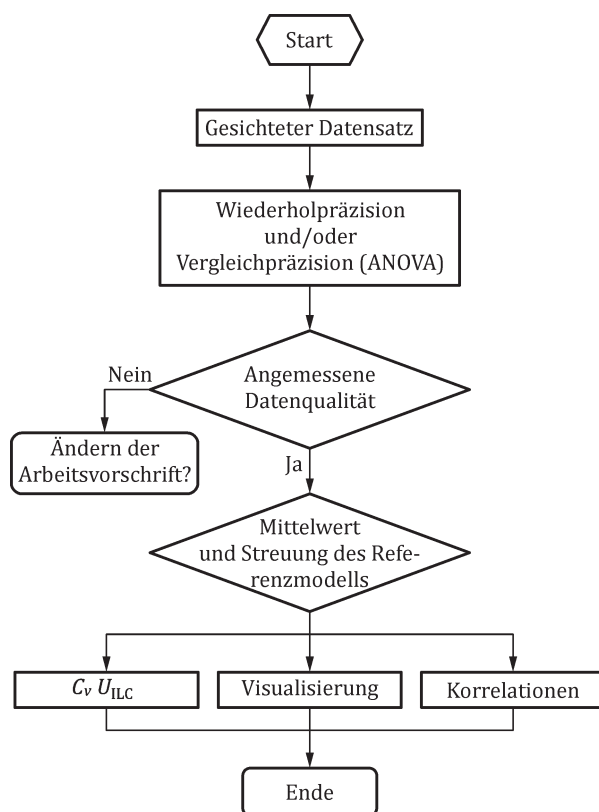


Bild 2 — Arbeitsablauf für die Messung der Partikelgrößen- und Partikelformverteilungen mithilfe von TEM

5 Probenvorbereitung

5.1 Allgemeines

Die Ablaufschritte (Probenvorbereitung, Geräteaufbau und -kalibrierung sowie Bilderfassung) sind stark voneinander abhängig. Sie alle tragen zur Erzeugung von qualitativ hochwertigen Datensätzen für Größen- und Form-Deskriptoren bei. Statistikwerkzeuge wie die Varianzanalyse, die Anpassung von Verteilungsmodellen an die Daten und die bivariate Analyse können dem(der) Wissenschaftler(in) beim Abstimmen des gesamten Verfahrens helfen, um die Genauigkeit bzw. die Messunsicherheit zu erzielen, die für die jeweilige Probe erforderlich ist.

Oftmals muss eine große Anzahl an Nanopartikeln abgebildet und analysiert werden, um eine Partikelgrößenverteilung zu erhalten. Durch den Einsatz einer Bildanalyse-Software kann die Dauer der Partikelanalyse verkürzt und die Datenqualität verbessert werden. Werden Verfahren für unbekannte Proben entwickelt, kann es hilfreich sein, den gesamten Prozess zu durchlaufen, um zu ermitteln, welche Faktoren für die vorliegende Probe entscheidend sind. Durch den Einsatz einer Bildanalyse-Software wird die Analyse erleichtert. Sowohl kommerzielle Software als auch Open-Source-Software ist verfügbar. Die

Bilder müssen von ausreichender Qualität sein, so dass einzelne Partikel dargestellt und ihre Abmessungen bestimmt werden können. Ein wichtiges Ziel der Probenvorbereitung ist es, eine einheitliche Partikelverteilung über dem Substrat zu erhalten.

5.2 Herkunft der Proben

Die Proben werden üblicherweise in Pulverform oder als Suspensionen bereitgestellt. Proben in Pulverform werden oftmals in Flüssigkeiten dispergiert, bevor sie zur TEM-Analyse auf ein Substrat aufgetragen werden. Suspensionen müssen oftmals verdünnt werden, um einzelne Partikel abzubilden. Die wichtigsten Ziele der Probenvorbereitung sind:

- die Verwendung einer repräsentativen Probe in Pulverform oder in flüssiger Form;
- das Minimieren von Agglomeration in der Dispersion, die als Träger für die Probe verwendet wird;
- das Minimieren von Partikel-zu-Partikel-Verbindungen auf dem Träger;
- die gleichmäßige Verteilung der Probe auf dem Träger (siehe ISO 9276-3);
- die Auswahl eines Trägers, der den Kontrast zwischen Partikel und Hintergrund erhöht.

Die Informationen über die gesundheitliche Wirkung verschiedener Nanopartikel werden noch zusammengetragen. Es ist wahrscheinlich, dass einige Nanopartikel gesundheitsgefährdend sind, während andere möglicherweise nicht gefährlich sind bzw. nach einer Exposition keine negativen Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Bei der Probenvorbereitung sollte eine geeignete persönliche Schutzausrüstung getragen werden, einschließlich Einweghandschuhe, Schutzbrille, Laborkittel, Atemschutzfilter-Masken usw. Die Probenvorbereitung sollte unter einer belüfteten Abzugshaube durchgeführt werden, die mit geeigneten Luftfiltern ausgestattet ist.

5.3 Verwendung einer repräsentativen Probe

5.3.1 Allgemeines

Während des Herstellungsprozesses von technisch hergestellten Nanomaterialien können die Nanopartikel in verschiedenen kolloidalen Zuständen vorliegen. So können sich beispielsweise durch chemische Aufdampfungsprozesse oder physikalische Aufdampfungsprozesse „Keime“ bilden, die zu Nanopartikel-Aerosolen werden können. Schnelles abkühlen flüssiger Nanopartikel kann zur Verfestigung führen, wobei sie an ihren Oberflächen vor dem Verfestigen miteinander verschmelzen und so aggregierte Produkte ergeben, die Abmessungen von mehr als einem Mikrometer haben, sich aber aus mehreren Partikeln zusammensetzen. Da die ursprünglichen Primärpartikel im Aggregat oft nicht erkennbar sind, wird der Begriff „Baustein-Partikel“ verwendet, um die Partikel zu beschreiben, die innerhalb eines Aggregats erkennbar sind.

5.3.2 Proben in Pulverform

Proben in Pulverform müssen vorsichtig entnommen werden, da sich das Material durch die transportbedingten Vibrationen und Kräfte umverteilen kann. Die Proben müssen auch vorsichtig behandelt werden, insbesondere, wenn sie aggregiert sind und bei mechanischer Einwirkung zerbrechen können. ISO 14887:2000 und ISO 14488:2007 enthalten Leitlinien zur Entnahme und Handhabung von Proben. Die meisten Pulver und Nanopartikel sind in der Gasphase negativ geladen, so dass das Bestücken von Substratoberflächen, die in der Regel ebenfalls negativ geladen sind, mit trockenen Proben oft zu großen Agglomeraten führt, die schwer abzubilden sind. Proben in Pulverform werden in der Regel für die TEM-Abbildung vorbereitet, indem sie in einer flüssigen Phase dispergiert werden, die dann auf das Messsubstrat oder -gitter aufgetragen wird.

5.3.3 Dispersionen von Nanopartikeln in Flüssigkeiten

In anderen Herstellsystemen werden die Nanopartikel-Präkursoren zunächst in einer flüssigen Phase auf kolloidale Dimensionen dispergiert und anschließend in den flüssigen Sol-Zustand überführt. Stabile kolloidale Dispersionen in der flüssigen Phase erfordern in der Regel entweder elektrostatische oder sterische Stabilisierungsverfahren, um eine Agglomeration zu verhindern. Konzentrierte Nanopartikel-dispersionen müssen verdünnt werden, um die Berührung von Nanopartikeln auf dem Messsubstrat oder -gitter zu reduzieren. Die Stabilität von kolloidalen Dispersionen beeinflusst, ob sie als diskrete Partikel bleiben oder agglomerieren, aggregieren oder ausflocken. Die Kolloidstabilität hängt von der Oberflächenchemie der Partikel, den Beschichtungen oder Addukten auf den Partikeln, der Lösemittelchemie sowie den anorganischen und organischen Liganden in der Flüssigphase ab. Wie in einigen Fallstudien gezeigt, kann eine Ultraschallbehandlung bei der Dispergierung einiger Nanopartikel in Flüssigkeiten wirksam sein.

5.4 Minimieren von Partikelagglomeration in der Probendispersion

Zu den Kräften, die die Stabilität des kolloiden Systems beeinflussen, gehören die folgenden:

- Abstoßung des ausgeschlossenen Volumens;
- elektrostatische Wechselwirkung;
- Van-der-Waals-Kräfte;
- Entropiekräfte;
- sterische Wechselwirkungen.

Das gegenseitige Abstoßen von gleichen elektrischen Ladungen auf Nanopartikel-Kolloiden führt zu einer elektrostatischen Stabilisierung. An der Grenzfläche zwischen Nanopartikel und Flüssigkeit können sich elektrische Doppelschichten bilden. Wegen ihrer geringen Größe können Nanopartikel eine sehr große Oberfläche je Volumen (Masse) haben, so dass abstoßende Oberflächenkräfte die Auftriebskräfte überwinden und zum Absetzen von Partikeln führen könnten. Sterische Stabilisierung von Kolloiden tritt auf, wenn Beschichtungen, wie z. B. Polymere oder Oligomere, an den Oberflächen der Nanopartikel anhaften. Diese Beschichtungen verhindern, dass sich die Nanopartikel so weit annähern, dass Anziehungskräfte wirksam werden würden, und verhindern so eine Agglomeration.

Viele kommerzielle Nanopartikelprodukte haben Oberflächenbeschichtungen oder Oberflächenfunktionalisierungen, die ihre Dispersion in bestimmten Medien steuern sollen. Die Destabilisierung von Nanopartikel-Kolloiden in flüssigen Dispersionen kann über verschiedene Mechanismen erfolgen. Die gängigen Verfahren zur Steuerung der wechselseitigen Kräfte zwischen Partikeln sind die Auswahl der Dispergierflüssigkeit und des Dispergiermittels (siehe ISO 14887 und Literaturhinweis [22]). Die Auswahl der Dispergierflüssigkeit wird in der Regel bevorzugt, wenn die gewählte Flüssigkeit die Agglomeration der Partikel verringert oder verhindert, da Dispergiermittel die Nanopartikel umhüllen. Je nach Größenverhältnis zwischen Nanopartikel und Dispergiermittel kann das Dispergiermittel die Abbildung von Partikeloberflächen und -querschnitten beeinflussen. Außerdem können Dispergierhilfsmittel von den Nanopartikeln desorbieren oder bei Änderungen der Temperatur und der Flüssigphasenzusammensetzung eine Agglomeration der Nanopartikel bewirken; sie müssen mit Vorsicht gewählt werden.

5.5 Auswahl des Trägers

Es gibt mehrere gebräuchliche Verfahren zum Auftragen von Nanopartikeln auf Messsubstrate (siehe Literaturhinweis [22]). Ein geeigneter Träger besitzt einen Großteil der folgenden Eigenschaften:

- im gesamten gewählten Betrachtungsbereich eben;