

Darstellung von Korn-(Teilchen-)größenverteilungen Grundlagen

DIN
66 141

Representation of particle size distributions; basic standard

Inhalt

	Seite		Seite
1. Anwendungsbereich	1	6. Mathematische Auswertungen	13
2. Zweck	1	6.1. Abszissentransformation für Verteilungsdichten	14
3. Begriffe	2	6.2. Mathematische Behandlung von Korngrößenverteilungen	14
3.1. Feinheitsmerkmal	2	6.2.1. Momente	14
3.2. Mengenanteil und Mengenart	2	6.2.2. Umrechnung von Momenten und Verteilungen	14
3.2.1. Mengenanteil	2	6.2.3. Spezielle vollständige Momente und Mittelwerte	16
3.2.2. Mengenart	2	6.2.4. Andere charakteristische Feinheitsmerkmale	16
4. Darstellung von Korngrößenverteilungen	3	6.2.5. Berechnung der spezifischen Oberfläche mittels Momenten	17
4.1. Tabellarische Darstellung	3	6.3. Berechnung von Momenten aus dem Histogramm	17
4.1.1. Allgemeines	3	7. Anwendungsbeispiel (Berechnung der spezifischen Oberfläche) ...	17
4.1.2. Form der Tabellen	3	8. Beispiele für erweiterte Darstellungen ..	18
4.2. Graphische Darstellung	3	8.1. Verteilungsdichte-Kurven	18
4.2.1. Allgemeines	3	8.2. Verteilungssummen-Kurven	19
4.2.2. Verteilungssummen-Kurve	4	9. Formelzeichen	21
4.2.3. Verteilungsdichte-Kurve	4	Schrifttum	23
5. Netze	8	Erläuterungen	23
5.1. Allgemeines	8		
5.2. Maßstäbe	8		
5.3. Netze zur Darstellung von Verteilungssummen-Kurven	10		
5.3.1. Grundnetze	10		
5.3.2. Sondernetze	10		
5.3.3. Vergleich der Kurven in unterschiedlichen Netzen	13		
5.4. Netze zur Darstellung von Verteilungsdichte-Kurven	13		

1. Anwendungsbereich

Die in dieser Norm festgelegten Möglichkeiten zur Auswertung und Darstellung von Korn-¹⁾(Teilchen-)größenverteilungen gelten für alle körnigen Stoffe, unabhängig von der Art des gemessenen Feinheitsmerkmals (z). Die mathematische Behandlung (siehe Abschnitt 6.2) setzt jedoch voraus, daß hierfür das Feinheitsmerkmal z eine charakteristische Teilchenlänge x , meistens ein Äquivalentdurchmesser d , ist.

2. Zweck

Korngrößenverteilungen werden aufgrund von Feinheitsbestimmungen aufgezeichnet. Diese Norm gibt Hinweise für einheitliche Darstellungen, wodurch das Lesen der Schaubilder sowie das Vergleichen gleichartiger, jedoch von verschiedenen Stellen durchgeführter Untersuchungen erleichtert wird. Weiterhin soll eine einheitliche Terminologie und die Verwendung gleicher Formelzeichen erreicht werden.

¹⁾ Korn und Teilchen sind gleichberechtigte Begriffe. Im nachfolgenden kann je nach Bedarf das Wort „Korn“ durch das Wort „Teilchen“ ersetzt werden oder umgekehrt.

Fortsetzung Seite 2 bis 23
Erläuterungen Seite 23

Fachnormenausschuß Siebböden und Kornmessung (FNSK) im Deutschen Normenausschuß (DNA)
Fachnormenausschuß Materialprüfung (FNM) im DNA

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses, Berlin 30, gestattet.

3. Begriffe [1]

3.1. Feinheitsmerkmal

Das Feinheitsmerkmal z ist in der Korngrößenanalyse ein übergeordneter Begriff für unterschiedliche physikalische Teilcheneigenschaften, die ein Maß für die Feinheit eines Feststoffteilchens darstellen. Folgende physikalische Eigenschaften werden z. B. verwendet:

- a) geometrische Teilchenabmessungen, wie
 - aa) charakteristische Länge
(bei regelmäßig geformten Teilchen: eine oder mehrere Hauptabmessungen;
bei unregelmäßig geformten Teilchen: statistische Längen z. B. nach *Feret, Martin*)
Nennweite der Prüfsieböffnung
 - ab) Fläche (Projektionsfläche, Oberfläche)
 - ac) Volumen
- b) Sinkgeschwindigkeit
(verwendet bei allen Sedimentationsverfahren und der Sichtung bzw. Schlämmung)
- c) beliebige andere Teilcheneigenschaften, wenn sie eindeutig mit der Teilchengröße zusammenhängen; z. B.:
 - ca) elektrische Leitfähigkeit
 - cb) Streulicht-Intensität
 - cc) Teilchenmasse.

Aus den verschiedenen Meßergebnissen errechnet man, vielfach aus Gründen der besseren Anschaulichkeit, entsprechende Äquivalentdurchmesser d wie z. B.

d_P = Äquivalentdurchmesser der Kugel gleicher Projektionsfläche

d_S = Äquivalentdurchmesser der Kugel gleicher Oberfläche

d_V = Äquivalentdurchmesser der Kugel gleichen Volumens

d_{ST} = Äquivalentdurchmesser der Kugel gleicher Sinkgeschwindigkeit nach Stokes.

3.2. Mengenanteil und Mengenart

3.2.1. Mengenanteil

Mengenanteile können sowohl als Verteilungssumme $Q(z)$ als auch als Verteilungsdichte $q(z)$ dargestellt werden.

- a) Verteilungssumme $Q(z)$

$Q(z)$ gibt den normierten, d. h. auf die Gesamtmenge bezogenen, Anteil von Teilchen an, die kleiner als ein Feinheitsmerkmal z sind.

Es ist also:

$$Q(z_i) = \frac{\text{Teilmenge } (z_{\min} \text{ bis } z_i)}{\text{Gesamtmenge } (z_{\min} \text{ bis } z_{\max})}$$

Die zu einem bestimmten Feinheitsmerkmal z_i zugehörige Verteilungssumme $Q(z_i)$ kann man aus der Verteilungsdichte wie folgt errechnen:

$$Q(z_i) = \int_{z_{\min}}^{z_i} q(z) dz \quad (1)$$

- b) Verteilungsdichte $q(z)$

$q(z)$ gibt das Verhältnis der Fraktion, d. h. des Mengenanteils einer Kornklasse, zu ihrer Klassenbreite an.

$$q(z_{u,i}; z_{o,i}) = \frac{\Delta Q_i}{\Delta z_i} = \frac{Q(z_{o,i}) - Q(z_{u,i})}{z_{o,i} - z_{u,i}} \quad (2)$$

$$\text{Ist } Q(z) \text{ eine differenzierbare Funktion, so gilt: } q(z) = \frac{dQ(z)}{dz} \quad (3)$$

3.2.2. Mengenart

Im Gegensatz zur mathematischen Statistik, bei der als Mengenart nur Anzahlverteilungen vorkommen, werden in der Teilchengrößenanalyse auch andere Mengenarten benutzt. Die Kennzeichnung der betreffenden Mengenart erfolgt durch den Index von $Q(z)$ bzw. $q(z)$. Allgemein gilt:

$r = r$: allgemeine Darstellung; $Q_r(z)$ = Verteilungssumme und $q_r(z)$ = Verteilungsdichte.

Um eine spätere Rechnung mit Verteilungen zu ermöglichen, werden als Indizes immer die Potenzen der Länge l der entsprechenden Mengenart benutzt (z. B. Fläche = Länge $\times$ Länge = l^2)

$r = 0$ (von l^0)	Häufigkeitsverteilung, Anzahlverteilung	$Q_0(z)$ bzw. $q_0(z)$
$r = 1$ (von l^1)	Längenverteilung	$Q_1(z)$ bzw. $q_1(z)$
$r = 2$ (von l^2)	Flächenverteilung, Oberflächenverteilung	$Q_2(z)$ bzw. $q_2(z)$
$r = 3$ (von l^3)	Volumenverteilung	$Q_3(z)$ bzw. $q_3(z)$
$r = 3$ (von $\rho \cdot l^3$)	Massenverteilung, nur bei konstanter Feststoffdichte ρ übereinstimmend mit der Volumenverteilung.	$Q_3^*(z)$ bzw. $q_3^*(z)$

a) Durchgangswerte bzw. Rückstandswerte

1	2	3
Korndurchmesser	Durchgang	Rückstand
d	D	R
mm	%	%
0,05	0	100
0,09	0,1	99,9
0,25	0,6	99,4
0,5	2,1	97,9
1,0	8,5	91,5
2,0	25,4	74,6
3,15	48,2	51,8
5,0	80,0	20,0
10,0	99,8	0,2
16,0	100	0

b) Fraktionen

	1		2
	Kornklasse		Fraktion
i	$> d_u$	bis d_o	ΔD
	mm	mm	%
1	0	0,05	0
2	0,05	0,09	0,1
3	0,09	0,25	0,5
4	0,25	0,50	1,5
5	0,50	1,0	6,4
6	1,0	2,0	16,9
7	2,0	3,15	22,8
8	3,15	5,0	32,6
9	5,0	10,0	19,0
10	10,0	16,0	0,2
11			
12			
	Summe		100,0

Bild 1. Tabellen zur Eintragung der Analysenwerte einer Korngrößenverteilung

Bei Massenverteilungssummen werden auch die folgenden Formelzeichen verwendet:

D für Durchgang anstelle von $Q_3^*(x)$ und

R für Rückstand anstelle von $1 - Q_3^*(x)$.

4. Darstellung von Korngrößenverteilungen [1]

Die mit den Methoden der Korngrößenanalyse ermittelten Meßwerte können entweder in Form von Tabellen oder durch Kurven dargestellt werden. Wird eine Korngrößenverteilung durch eine Funktion approximiert, kann sie durch deren Parameter ausgedrückt werden.

4.1. Tabellarische Darstellung

4.1.1. Allgemeines

Tabellen, in die die Werte der Korngrößenverteilung eines Stoffes eingetragen werden, sollen neben den Meßwerten noch die folgenden Angaben enthalten:

- Untersuchungsstelle, Untersuchungs-Nr, Datum, Name des Laboranten;
- Versuchsgut, Herkunft, Zustand, Menge, Kennzeichnung der Probe;
- Meßverfahren, Meßgeräte, verwendete DIN-Normen, besondere Angaben.

4.1.2. Form der Tabellen

Tabellen, in denen die Werte einer Korngrößenanalyse eingetragen werden, sind nach Bild 1 zu gestalten.

Bei allen Feinheitangaben steht grundsätzlich die untere Klassengrenze voran. Tabellen beginnen mit dem kleinsten Merkmalswert bzw. der untersten Merkmalsklasse.

Innerhalb einer Tabelle darf die Einheit des Feinheitsmerkmals nicht gewechselt werden (z. B. mm oder μm).

Bei der Angabe der Feinheitsklassen kann „kleiner als“ durch „<“ und „größer als“ durch „>“ gekennzeichnet, das Wort „bis“ (z_u bis z_o) soll immer ausgeschrieben werden.

Bei allen, auch den folgenden Tabellen dürfen im Einzelfall nicht benötigte Spalten freibleiben oder ganz entfallen, z. B. in Bild 1 Tabelle a die Spalte 3 „Rückstand“.

Die durch eine Analyse ermittelten Werte werden entweder auf 100 % oder 1 normiert eingetragen. Für einfache Darstellung in Tabellen bzw. den Grundnetzen ist die Normierung auf 100 %, wie in Bild 1 geschehen, möglich. Dienen die Werte dagegen zu weiteren Rechnungen, ist die Normierung auf 1, wie in Bild 4 und Bild 14 angegeben, zweckmäßiger.

4.2. Graphische Darstellung [2]

4.2.1. Allgemeines

Für alle graphischen Darstellungen werden Netze verwandt, bei denen auf der Abszissenachse das Feinheitsmerkmal z steigend von links nach rechts und auf der Ordinatenachse die Mengenverteilungssumme Q_r (z. B. Siebdurchgang D) bzw. die Mengenverteilungsdichte q_r steigend von unten nach oben aufgetragen werden.

An Verteilungssummen-Kurven (siehe Bild 2) können die Anteile unter- bzw. oberhalb eines beliebigen Feinheitsmerkmalwertes (z_i) bzw. die Fraktionen (ΔQ_i) in einfacher Weise abgelesen werden.

Die Verteilungsdichte-Kurven (siehe Bild 5) geben dagegen ein anschauliches Bild der Aufteilung des Gutes auf die einzelnen Feinheitsklassen.

Für Feinheitsbereiche, die innerhalb zweier Zehnerpotenzen liegen, genügt die lineare Teilung der Abszissenachse.

Erstreckt sich der Bereich von z auf 2 Zehnerpotenzen und mehr, sollte eine logarithmische Teilung verwendet werden. Der Vorteil dieser Netze liegt in der Streckung der Verteilungskurve und damit in der besseren Ablesbarkeit im Bereich kleiner Korngrößen.

Die logarithmisch geteilte Abszisse soll 4 Zehnerpotenzen erfassen. Es genügt, wenn an einer Stelle, zweckmäßig an der Grenze einer Zehnerpotenz, der tatsächliche Wert von z durch das Zeichen $\uparrow$ mit Zahlenwertangabe festgelegt wird, z. B. $\uparrow 1 \text{ mm}$, $\uparrow 10 \text{ }\mu\text{m}$ usw. (siehe Bild 7).

Netzpapier und Maßstäbe sollen möglichst so ausgewählt werden, daß Höhe zu Breite des Schaubildes sich etwa wie $1 : \sqrt{2}$ verhalten.

Bei Netzen mit logarithmisch geteilter Abszissenachse kann es von Vorteil sein, einen zusätzlichen Maßstab anzubringen, der nach der Grundreihe R 20 nach DIN 323 unterteilt ist (siehe Bild 7). Bei Verwendung von Prüfsieben nach DIN 4187 und DIN 4188 kann damit der genaue Abszissenwert auf einfache Weise abgegriffen werden. Zudem ergibt ein gleichmäßiger Abstand der Abszissenwerte in dem betreffenden Netz auch einen gleichmäßigen Abstand der Meßwerte über den gesamten Kurvenverlauf.

4.2.2. Verteilungssummen-Kurve $Q_r(z)$

Die Werte der in Spalte 2 der Tabelle a in Bild 1 angegebenen Verteilungssummen Q_r (Durchgang D), werden über einer zweckmäßig geteilten Abszissenachse aufgetragen und die so gefundenen Punkte durch einen die Streuung der Meßwerte ausgleichenden Kurvenzug verbunden (siehe Bild 2). Aus dieser Kurve kann für jeden beliebigen Wert z_i der zugehörige Wert $Q_{r,i}$ abgelesen werden.

Vielfach werden auch die in Spalte 3 der Tabelle a in Bild 1 angegebenen Zahlenwerte ($1 - Q_r$) (bei Massenverteilungen entsprechen diese Werte dem Rückstand R) über dem Feinheitsmerkmal aufgetragen. In diesem Fall ist die Ordinaten-skala auf die rechte Seite des Diagramms zu legen, wobei die Zahlenwerte von 0 bis 100 % (bzw. 1) von oben nach unten einzutragen sind (siehe Bild 2).

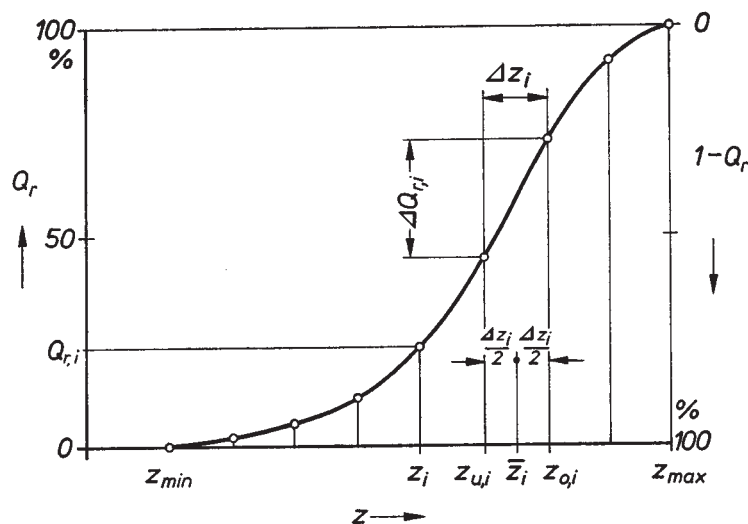


Bild 2. Schema einer Verteilungssummen-Kurve

4.2.3. Verteilungsdichte-Kurve $q_r(z)$

Nur wenige Methoden der Korngrößenanalyse ermitteln die Verteilungsdichte-Kurve direkt als stetige Kurve. Im allgemeinen wird diese aus der Verteilungssummen-Kurve durch graphische oder numerische Differentiation bestimmt.

Da die Verteilungssummenwerte Verhältniszahlen, d. h. auf die Gesamtmenge bezogene Größen sind, entspricht die Fläche unter einer Verteilungsdichte-Kurve stets 1 (bzw. 100 %).

Im Gegensatz zur Verteilungssummen-Kurve sind die Ordinatenwerte der Verteilungsdichte-Kurve nicht unabhängig von einer Transformation der Abszisse. Mit anderen Worten: die Ordinatenwerte ändern sich, wenn beispielsweise nicht über z , sondern über $\lg z$ oder z^3 aufgetragen wird (siehe Abschnitt 6.1).

4.2.3.1. Graphische Ermittlung der Verteilungsdichte

Die graphische Differentiation einer Verteilungssummen-Kurve zu einer Verteilungsdichte-Kurve geschieht vorteilhaft nach Bild 3 mit Hilfe eines Punktes P auf der negativen z-Achse des Koordinatensystems. Durch die Wahl des Abstandes p des Punktes P vom Nullpunkt kann der Ordinatenmaßstab und damit auch die Höhe der Verteilungsdichte-Kurve vorausbestimmt werden. Die in zweckmäßig gewählten Abständen an die Verteilungssummen-Kurve gelegten Tangenten werden bis zum Punkt P parallel verschoben, und deren Schnittpunkte mit der q-Ordinatenachse ergeben die Ordinatenwerte der Verteilungsdichte-Kurve für die dazugehörigen Abszissenwerte.

$$\text{Es ist } p = \frac{\lambda_{z,q}}{\lambda_Q} = \frac{\lambda_z \cdot \lambda_q}{\lambda_Q} \text{ z. B. in } \frac{(\text{cm/mm}) (\text{cm/mm}^{-1})}{\text{cm}} = \text{cm} \quad (4)$$

$$\text{und } \lambda_q = \frac{p \cdot \lambda_Q}{\lambda_z} \text{ z. B. in } \frac{\text{cm} \cdot \text{cm}}{\text{cm/mm}} = \text{cm}^2/\text{l} \quad (4a)$$

Hierin bedeuten:

p = Abstand des Punktes P vom Nullpunkt der Abszissenachse z. B. in cm

λ_z = Maßstabsfaktor für die Teilung der Abszissenachse als Einheit des Netzes je Einheit des Feinheitsmerkmals z. B. in cm/mm

λ_Q = Maßstabsfaktor für die Teilung der Ordinatenachse einer Verteilungssummen-Kurve z. B. in cm/l

λ_q = Maßstabsfaktor für die Teilung der Ordinatenachse einer Verteilungsdichte-Kurve z. B. in cm/mm⁻¹

$\lambda_{z,q}$ = Maßstabsfaktor für die Fläche unterhalb einer Verteilungsdichte-Kurve z. B. in cm²/l

Anmerkung: In den Beispielen (4) und (4a) wurde als Einheit der Teilung der Achsen cm und als Einheit des Feinheitsmerkmals mm gewählt.

Ermittlung der Maßstäbe siehe Abschnitt 5.2.

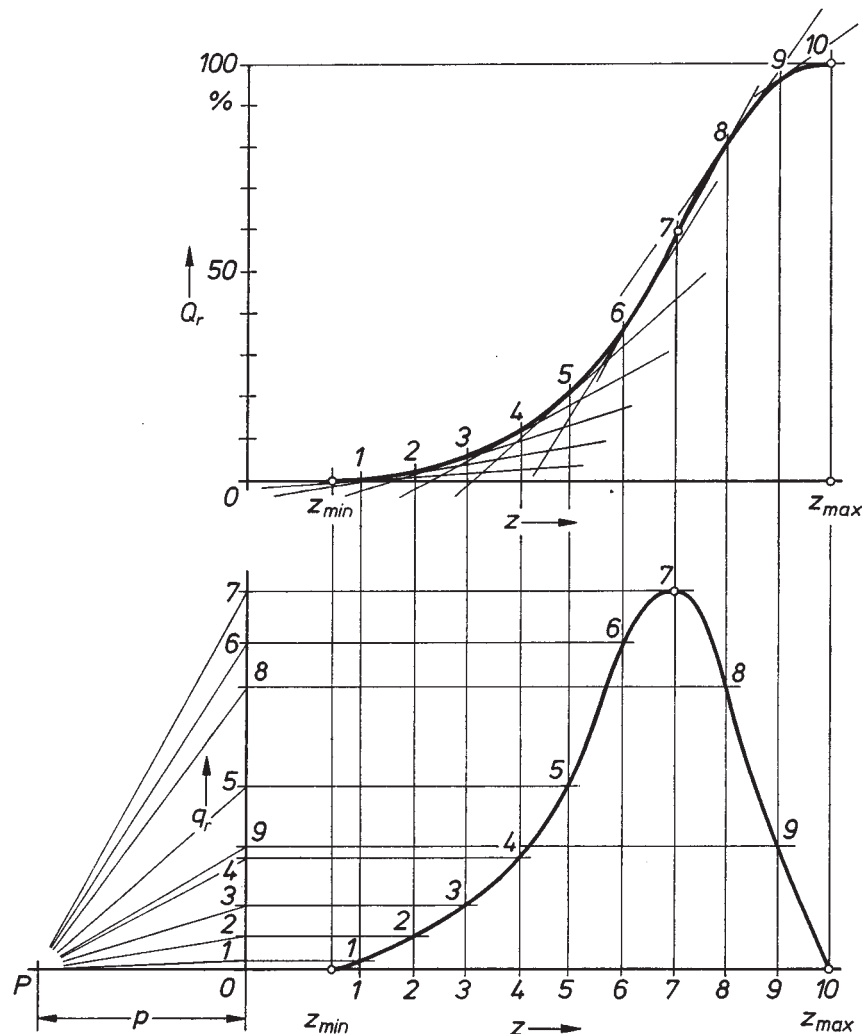


Bild 3. Graphische Differentiation

I	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12
$d^{1)}$	D	R (1 - D)	i	Kornklasse $> d_u$ bis d_o	Fraktion ΔD	$\Delta d =$ $d_o - d_u$	$q_3^* =$ $= \frac{\Delta D}{\Delta d}$	$\bar{d} =$ $\frac{d_u + d_o}{2}$	$\frac{d_o}{d_u}$	$\Delta d_g =$ $= \lg \frac{d_o}{d_u}$	$q_{3,lg}^* =$ $= \frac{\Delta D}{\Delta d_{lg}}$	$\bar{d}_g =$ $= \sqrt[d_u \cdot d_o]{} =$ mm
mm				mm	mm	mm	mm ⁻¹	mm	—			mm
0,05	0,00	1,00	1	0,05	0,001	0,04	0,025	0,070	1,80	0,254	0,0039	0,067
0,09	0,001	0,999	2	0,09	0,0009	0,035	0,026	0,1075	1,39	0,143 ²⁾	0,0063	0,106
0,125	0,0019	0,9981	3	0,125	0,0016	0,055	0,029	0,1525	1,44	0,158	0,0101	0,150
0,18	0,0035	0,9965	4	0,18	0,0025	0,07	0,036	0,215	1,39	0,143	0,0175	0,212
0,25	0,006	0,994	5	0,25	0,005	0,105	0,048	0,3025	1,42	0,152	0,0329	0,298
0,355	0,011	0,989	6	0,355	0,011	0,145	0,076	0,4275	1,41	0,149	0,0738	0,421
0,5	0,022	0,978	7	0,5	0,018	0,21	0,086	0,605	1,42	0,152	0,1184	0,596
0,71	0,040	0,96	8	0,71	0,037	0,29	0,128	0,855	1,41	0,149	0,2483	0,843
1,0	0,077	0,923	9	1,0	0,061	0,4	0,153	1,2	1,40	0,146	0,4178	1,183
1,4	0,138	0,862	10	1,4	0,102	0,6	0,170	1,7	1,43	0,155	0,6581	1,673
2,0	0,240	0,76	11	2,0	0,160	0,8	0,200	2,4	1,40	0,146	1,0960	2,365
2,8	0,400	0,60	12	2,8	0,210	1,2	0,175	3,4	1,43	0,155	1,3550	3,347
4,0	0,610	0,39	13	4,0	0,240	1,6	0,150	4,8	1,40	0,146	1,6440	4,733
5,6	0,850	0,15	14	5,6	0,125	2,4	0,052	6,8	1,43	0,155	0,8065	6,693
8,0	0,975	0,025	15	8,0	0,024	3,2	0,0075	9,6	1,40	0,146	0,1644	9,466
11,2	0,999	0,001	16	11,2	0,001	4,8	0,0021	13,6	1,43	0,155	0,0065	13,390
16,0	1,00	0,0			1,0							

1) Bei der Siebanalyse entspricht der Äquivalentdurchmesser d der Nennweite der Prüfsieböffnung w .

2) Nach Reihe R 20 gestuft, siehe Erläuterung zu Spalte 10 [$\lg(d_o/d_u) \approx 3/20 \approx 0,150$].

¹⁾ Bei der Siebanalyse entspricht der Äquivalentdurchmesser d der Nennweite der Prüfsieböffnung w .

²⁾ Nach Reihe R20 gestuft, siehe Erläuterung zu Spalte 10 [$\lg(d_o/d_u) \approx 3/20 \approx 0,150$].

Bild 4. Berechnungsschema für die Darstellung von Verteilungsdichten (Das eingetragene Beispiel entspricht der Kurve Nr. 6 in Tabelle 1, RRSB-Verteilung).

4.2.3.2. Rechnerische Ermittlung der Verteilungsdichte

Die rechnerische Ermittlung der Verteilungsdichte geschieht nach dem Berechnungsschema in Bild 4. Als Ausgangswerte hierfür dienen die Analysenwerte aus der Tabelle nach Bild 1, die, falls erforderlich, wie in Abschnitt 4.2.2 beschrieben, ausgeglichen und interpoliert werden können. In Bild 4 sind statt des allgemeinen Feinheitsmerkmals z die Äquivalentdurchmesser d und anstelle der Verteilungssumme $Q(z)$ der Durchgang D bzw. der Rückstand R benutzt worden.

In die Spalte 1 bis 3 werden die Ausgangswerte entsprechend der Tabelle a nach Bild 1 bzw. in die Spalten 4 und 5 die Werte entsprechend der Tabelle b nach Bild 1 eingetragen.

Die Spalten 6 und 7 dienen zur Berechnung der Zahlenwerte für die Aufstellung der Verteilungsdichte-Kurve bzw. des Histogramms im Netz mit linear geteilter Abszissenachse (siehe Bild 12).

Die Spalten 9 bis 11 dienen zur Berechnung der Zahlenwerte, wenn die Verteilungsdichte in einem Netz mit logarithmisch geteilter Abszissenachse dargestellt werden soll (siehe Bild 13).

In Spalte 8 werden die arithmetischen und in Spalte 12 die geometrischen mittleren Merkmalswerte der Feinheitsklassen eingetragen.

Spalte 1 gibt die Merkmalswerte z (z. B. eine Sinkgeschwindigkeit, meistens jedoch einen der genannten Äquivalentdurchmesser d) an. Der verwendete Äquivalentdurchmesser ist näher zu kennzeichnen (siehe Abschnitt 3.1).

Spalte 2 enthält die den Merkmalswerten (Äquivalentdurchmessern) der Spalte 1 zugeordneten Verteilungssummenwerte $Q_r(D)$ $Q_{r,i}$, die entweder auf 1 oder 100 % normiert angegeben werden.

Spalte 3 gibt die den Merkmalswerten (Äquivalentdurchmessern) der Spalte 1 zugeordneten Verteilungssummenwerte $1 - Q_r(R)$ $1 - Q_{r,i}$ bzw. bei Angabe von Prozentwerten $100 \% - Q_{r,i}$ wieder.

Spalte 4 Um eine halbe Zeile versetzt sind in dieser Spalte die Grenzen der Feinheitsklasse angegeben.

z_u bis z_o ,
(d_u bis d_o)

Spalte 5 Diese Spalte gibt den in einer Feinheitsklasse $z_{u,i}$ bis $z_{o,i}$ enthaltenen Mengenanteil $\Delta Q_r(\Delta D)$ $\Delta Q_{r,i} = Q_r(z_{o,i}) - Q_r(z_{u,i})$ an.

Spalte 6 enthält die Breite der Feinheitsklasse $\Delta z_i = z_{o,i} - z_{u,i}$.
 $\Delta z, (\Delta d)$

Spalte 7 enthält die Werte der Verteilungsdichte $q_r(z_{u,i}, z_{o,i})$, die aus dem Verhältnis $\Delta Q_{r,i} / \Delta z_i$ errechnet werden. Die Verteilungsdichte hat als Einheit den Quotienten aus der Einheit des Mengenanteils und der Einheit des Feinheitsmerkmals.

Spalte 8 enthält den arithmetischen mittleren Feinheitsmerkmalswert (Äquivalentdurchmesser) einer Kornklasse.
 $\bar{z}, (\bar{d})$ $\bar{z}_i = (z_{u,i} + z_{o,i}) / 2 = z_{u,i} + \Delta z_i / 2$, für den Fall, daß die Verteilungsdichte $q_r(z)$ über dem Klassenmittel $\bar{z}$ aufgetragen wird.

Spalte 9 enthält den Quotienten aus oberer und unterer Grenze einer Feinheitsklasse.

z_o / z_u , d_o / d_u *Anmerkung: Die Werte dieser Spalte brauchen nicht errechnet zu werden, wenn die Klassengrenzen der Spalte 4 nach einer geometrischen Reihe gestuft sind.*

Spalte 10 enthält den logarithmischen Wert von Δz_i der Breite einer Feinheitsklasse, und zwar sind die Werte der Mantissen von $\lg(z_o / z_u)$ einzutragen.

$\lg(d_o / d_u)$ *Anmerkung: Bei Stufung der Klassengrenzen nach der geometrischen Reihe R 20 nach DIN 323 ergibt sich bei Verwendung der Genauwerte für $\lg(z_o / z_u)$ der Wert $1/20$ oder ein Vielfaches davon, z. B. im unteren Teil der Spalte 10 die Werte $3/20$. Bei Verwendung von Prüfsieben nach DIN 4187 und DIN 4188 liegt die Abweichung der Nenn-Maschenweiten von den Genauwerten innerhalb des für Prüfsiebe festgelegten Toleranzbereiches.*

Spalte 11 enthält die Werte der Verteilungsdichte $q_{lg}(\Delta x_i)$ für die Aufstellung des Histogramms oder der stetigen Verteilungsdichte-Kurve im Netz mit logarithmisch geteilter Abszissenachse (siehe Bild 13).

Spalte 12 enthält den geometrischen Mittelwert einer Feinheitsklasse $\bar{z}_{g,i} = \sqrt{z_{u,i} \cdot z_{o,i}}$ für den Fall, daß die Verteilungsdichte $q_r(\bar{z}_g)$ über dem Klassenmittel $\bar{z}_g$ aufgetragen wird.

4.2.3.3. Darstellung als Histogramm

Trägt man über den in Spalte 4 in Bild 4 angegebenen Grenzen der Kornklassen die in Spalte 7 angegebenen Zahlenwerte der Verteilungsdichte q_r auf, so erhält man Rechtecke mit der Basis Δz und der Höhe q_r (siehe Bild 5). Die Flächen dieser Rechtecke entsprechen den in diesen Kornklassen vorhandenen Teilmengen, da nach Gleichung (1)

$$q_r(\bar{z}_i) \cdot \Delta z_i = \frac{Q_r(z_{o,i}) - Q_r(z_{u,i})}{z_{o,i} - z_{u,i}} \Delta z_i = \Delta Q_{r,i} \quad (5)$$

4.2.3.4. Darstellung als stetige Kurve

Aus dem Histogramm, in dem die Differenzenquotienten dargestellt sind, wird eine stetige Kurve dadurch gewonnen, daß die Treppen durch Flächenausgleich geglättet werden (siehe Bild 5). Hierbei ist darauf zu achten, daß die mit „+“ und „-“ bezeichneten Ausgleichsflächen einer Kornklasse gleich groß sind. Dies wird am besten mit Hilfe von Millimeterpapier