

Versuch A2: Siebanalyse

1 Einleitung

Eine Reihe von Eigenschaften feinkörniger Produkte wird durch die Form und insbesondere durch die Größe und Größenverteilung der Einzelpartikeln bestimmt. Fließfähigkeit von Schüttgütern, Schüttdichte, Staubneigung, Fluidisierbarkeit, Agglomerations-, Verbackungs- und Entfeuchtungsverhalten, Lösungsgeschwindigkeit in Flüssigkeiten sowie chemische Reaktionsgeschwindigkeit sind Beispiele hierfür. Um derartige Produkteigenschaften gezielt durch Variation der Feinheit verbessern zu können, ist eine quantitative Beschreibung der Feinheit erforderlich.

Die Charakterisierung der Feinheit, der Dispersitätseigenschaft, geschieht im einfachsten Fall durch eine einzige Maßzahl. Dies kann eine mittlere Partikelgröße oder die spezifische Oberfläche des Produktes sein. Meist ist jedoch eine detaillierte Beschreibung notwendig, z. B. durch die zusätzliche Angabe, wie viel Prozent des Materials aus Partikeln besteht, die kleiner oder größer sind als ein vorgegebener Wert. Häufig sind auch diese Angaben nicht ausreichend, so dass die Partikelgrößenverteilung bestimmt werden muss, eine einparametrische Funktion, die angibt, mit welcher Häufigkeit Partikeln verschiedener Größe in der untersuchten Probe vorkommen.

Besteht das Produkt aus kugelförmigen Partikeln, so ist die Partikelgröße durch die Angabe des Kugeldurchmessers eindeutig definiert. Die Mehrzahl der feinkörnigen Materialien besteht aber nicht aus Kugeln, sondern aus mehr oder weniger unregelmäßig geformten Partikeln, die in einem Extremfall nadelförmig, im anderen plättchenförmig sein können. Die Dispersitätseigenschaft der Einzelpartikeln lässt sich dann beispielsweise durch das Partikelvolumen und zusätzliche Parameter wie Sphärizität (Kugelähnlichkeit) beschreiben. Anstelle der für Kugeln einparametrischen Funktion erhält man eine vielparametrische Dispersitätsfunktion, deren Bestimmung mit großem messtechnischem Aufwand verbunden ist. Ein derartiger Aufwand ist nur dann gerechtfertigt, wenn er dazu dient, wesentliche Informationen über Produkteigenschaften zu gewinnen.

Daher beschränkt man sich in der Praxis normalerweise auf die Angabe einer einparametrischen Verteilungsfunktion für die Partikelgröße.

2 Grundlagen

2.1 Auswertung und Darstellung von Partikelgrößenverteilungen

Zur Ermittlung einer Partikelgrößenverteilung muss der Zusammenhang zwischen einem Maß für die Menge (Mengenmaß) und einem Maß für die Größe (Dispersitätsgröße) der Partikeln bestimmt werden.

Die Ermittlung der Partikelgröße x geschieht in der Regel indirekt, das heißt, man misst eine von der Partikelgröße abhängige Eigenschaft (Dispersitätsgröße) und ordnet dieser eine entsprechende Partikelgröße zu. Diese Zuordnung kann bei manchen Dispersitätsgrößen trivial erfolgen (z. B. Projektionsfläche, Maschenweite eines Siebes), bei Kenntnis eines physikalischen Zusammenhanges gerechnet werden (z. B. Sinkgeschwindigkeit, Streulichtverteilung) oder über eine Kalibrierkurve bestimmt werden.

Als Partikelgröße x wird dann der Durchmesser derjenigen Kugel angegeben, die in Bezug auf das Messverfahren dieselben Eigenschaften wie die Partikeln besitzt (Äquivalentdurchmesser x). So liefern Messverfahren, die auf der Bestimmung unterschiedlicher Dispersitätsgrößen beruhen, auch nur für Kugeln vergleichbare Ergebnisse.

Als Mengenmaß sind Anzahl, Oberfläche und Masse gebräuchlich, die entweder direkt (z. B. durch Zählen oder Wägen) oder indirekt (z. B. Schwächung eines Licht- oder Röntgenstrahles) bestimmt werden.

Die Partikelgrößenverteilungen werden als zweiachsige Diagramme dargestellt, wobei die Dispersitätsgröße auf der Abszisse, das Mengenmaß auf der Ordinate aufgetragen wird.

Zur Bezeichnung des Mengenmaßes dient ein Buchstabe mit Index, wobei der Index für die Mengengattung steht und der Buchstabe für die Art der Verteilung:

Tabelle 1: Zur Bezeichnung der Mengenmaße

Index	Mengenmaß
0	Anzahl
1	Länge
2	Fläche
3	Volumen/Masse

$Q(x)$ steht für Summenverteilung:

$$Q(x_i) = \frac{\text{Menge aller Partikeln mit } x \leq x_i}{\text{Gesamtmenge der Partikeln}}$$

$q(x)$ steht für Dichte- oder Häufigkeitsverteilung:

$$q(x_i) = \frac{\text{Mengenanteil der Partikeln im Intervall } x_i < x < x_{i+1}}{\text{Intervallbreite } (x_{i+1} - x_i)} = \frac{Q(x_{i+1}) - Q(x_i)}{(x_{i+1} - x_i)}$$

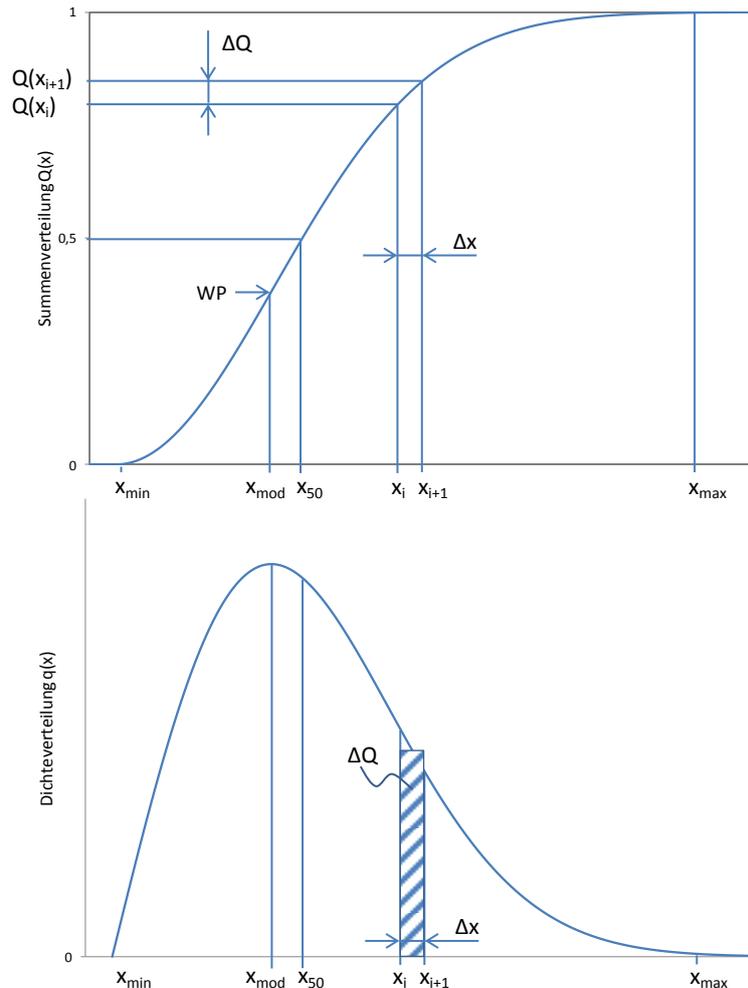


Abbildung 1: Vergleich von Summen- und Dichteverteilung

Aus dieser Art der Definition ergibt sich, dass

- $Q_0(x)$ eine Anzahlsummenverteilung bezeichnet
- $Q(x)$ nur Werte zwischen 0 und 1 annimmt und monoton steigt
- $q_r(x)$ die Ableitung von $Q_r(x)$ darstellt

In der Praxis werden häufig nur einzelne Werte einer Partikelgrößenverteilung genannt, beispielsweise $x_{r,10}$, $x_{r,50}$ und $x_{r,90}$. Dabei steht r für das Mengenmaß (s. o.), der zweite Index bezeichnet den Betrag der Verteilungssumme an der entsprechenden Stelle, sodass also $Q(x_{0,10}) = 0,10$ in der Anzahlsummenverteilung, $Q(x_{3,50}) = 0,50$ in der Volumensummenverteilung bedeutet etc. Gelegentlich wird die Reihenfolge der Indizes vertauscht, dann ist ihre Bedeutung leicht nach der Sinnfälligkeit zu erkennen; häufig wird jedoch der Index für das Mengenmaß unterschlagen, dann muss aufgrund des Kontextes gemutmaßt werden, wenn keine allgemeine Aussage verfolgt wird.

Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass der Medianwert $x_{r,50}$ eine Menge in zwei gleichgroße Anteile halbiert (vgl. Abbildung 1) und natürlich von der Art der Menge abhängt ($x_{0,50} \neq x_{3,50}$). Nur in Spezialfällen stimmt er mit der durchschnittlichen Größe überein, welche sich begrifflich wiederum von der häufigsten Partikelgröße unterscheidet, diese zeigt sich in der Dichteverteilungskurve als (lokales) Maximum. Finden sich dort zwei oder mehr lokale Maxima („Moden“, Sg. Modus), so spricht man von einer bimodalen beziehungsweise multimodalen Verteilung.

Fragen zum Verständnis:

- Was bedeuten die Bezeichnungen $Q_3(x)$, $q_0(x)$?
- Zeichnen Sie qualitativ zu der gegebenen Massenverteilungssumme $Q_3(x)$ in Abbildung 2 die dazugehörige Massenverteilungsdichte $q_3(x)$:

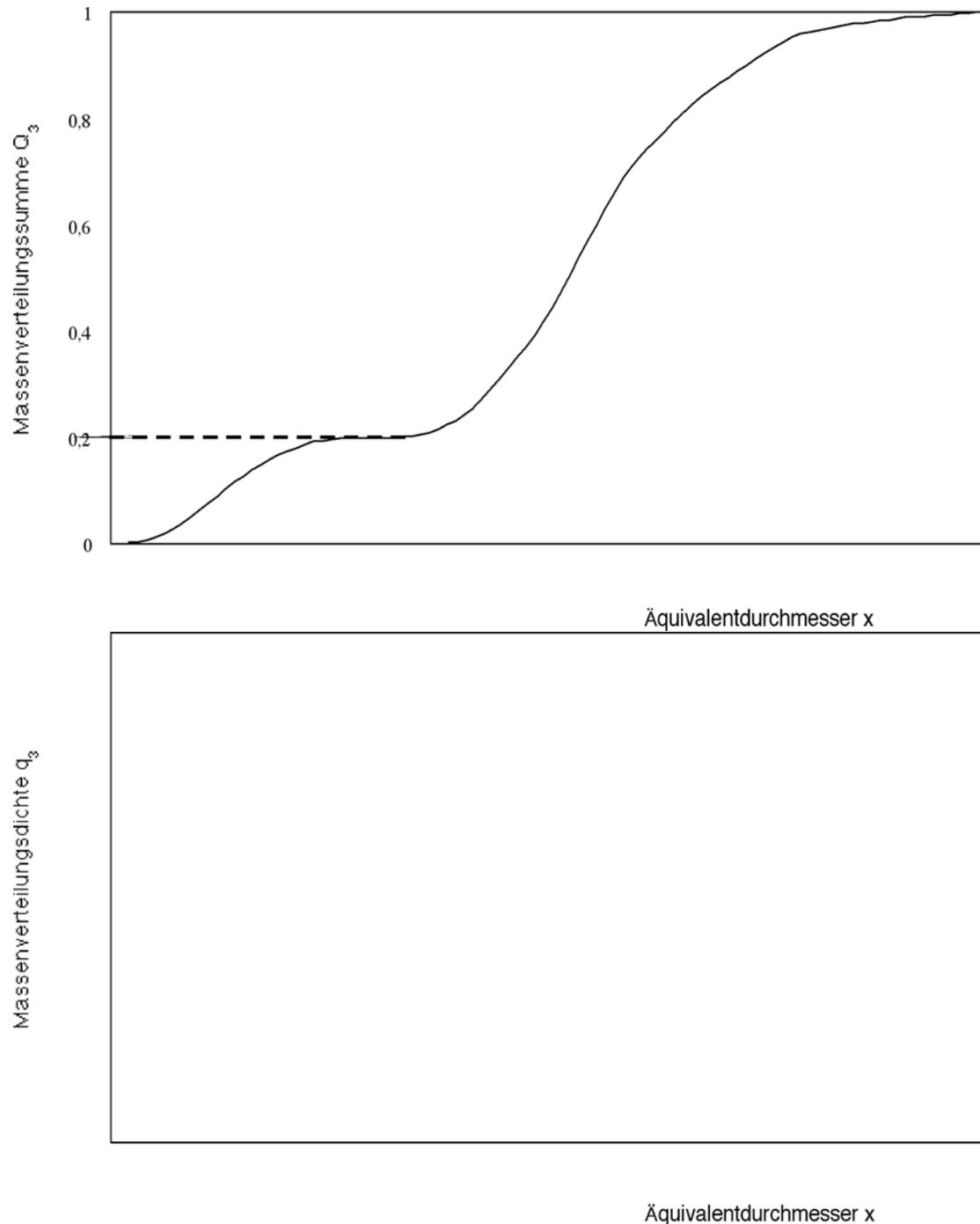


Abbildung 2: Beispiel für eine Partikelsummen- und -dichteverteilung

2.2 Kontrolle und Kennzeichnung von Sieben; Siebgewebekalibrierung

2.2.1 Allgemeine Grundlagen

Siebe sollten im Idealfall Öffnungen einheitlicher Form und Größe aufweisen, sodass alle Partikel möglichst nach dem selben Kriterium getrennt werden. In Wirklichkeit treten infolge von Fertigungs- und Materialtoleranzen Abweichungen vom Sollwert der Öffnungen auf. Gewisse Abweichungen sind laut Norm zulässig und technisch auch hinnehmbar.

Die wichtigste und einfachste Kontrolle ist die Prüfung eines Siebgewebes auf grobe Unregelmäßigkeiten (Webfehler) und Risse. Laut Norm darf ein Prüfsiebgewebe keine Webfehler enthalten. Webfehler sind zum Beispiel Gassen (vgl. Abbildung 3), Drahtabrisse, Schlingen (vgl. Abbildung 4), Falten, Beulen usw. Außerdem müssen die Kett- und Schussdrähte senkrecht zueinander stehen und im Fall von Quadratmaschen gleiche Abstände besitzen. Die Prüfung erfolgt am im Siebrahmen eingespannten Gewebe.

Werden Webfehler in einem Sieb festgestellt, so ist dieses im Allgemeinen für die Siebanalyse ungeeignet. Ein Sieb ohne Webfehler ist dagegen auch bei einer Abweichung vom Sollwert immer noch als Prüfsieb zu verwenden. Je gleichmäßiger die Webung, das heißt je enger die Verteilung der Sieböffnungen, umso besser ist es für die Siebanalyse geeignet. Gleichmäßige Webung ist deshalb wichtiger als die Übereinstimmung des Sollwertes mit der Norm.

Eine Siebbeschädigung kann zum Beispiel auch durch unsachgemäße Handhabung oder die unvermeidliche Reinigung des Gewebes auftreten. Die Reinigung eines Siebgewebes muss deshalb insbesondere bei den kleinen Maschenweiten sehr vorsichtig geschehen. Siebe werden oft mit Pinseln gereinigt. Bleiben Pinselhaare im Siebgewebe hängen, so können die in Abb. 6 dargestellten Beschädigungen leicht auftreten. Deshalb sollte von dieser Methode abgesehen werden. Die gründlichste und zugleich schonendste Reinigung insbesondere feinmaschiger Siebe erfolgt mittels eines regulierbaren feinen Wasserstrahles. Die Anwendung von Ultraschall sollte nur in Ausnahmefällen erfolgen, da Ultraschall das Siebgewebe und besonders die Einspannung stark beansprucht. Siebbeschädigungen können außerdem durch Verkanten beim Auseinandernehmen von Siebsätzen und beim losen Stapeln auftreten.

Besitzt ein Siebgewebe keine Webfehler, so kann die in DIN ISO 3310 angegebene Prüfmethode angewendet werden. Zur internen Kennzeichnung des verwendeten Gewebes bietet sich jedoch die weiter unten beschriebene experimentelle Bestimmung der Anzahlverteilungssummenkurve der Prüfsieböffnungen an.

Nach unserer Erfahrung weisen Prüfsiebe ohne Webfehler Anzahlsummenkurven der Maschenweiten auf, die etwa Gaußschen Normalverteilungen entsprechen. Die Summenhäufigkeiten der Maschenweiten ergeben demnach Geraden im Wahrscheinlichkeitsnetz mit linearer Abszisse.

Wird die gemessene Maschenweitenverteilung angenähert durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung dargestellt, so kann man sie durch den Medianwert x_{50} oder das arithmetische Mittel \bar{x} und die Standardabweichung der Stichprobe s ausreichend kennzeichnen.

x_{50} bzw. \bar{x} sind nicht mit dem in DIN ISO 3310 definierten Sollwert identisch.

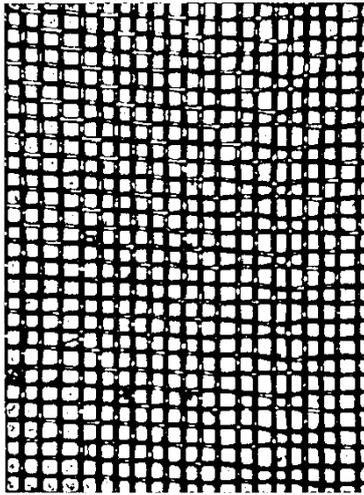


Abbildung 3: Gassen in einem Siebgewebe

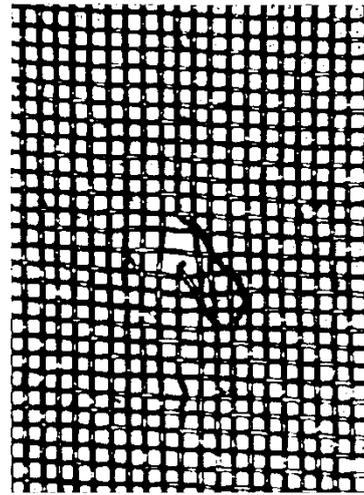


Abbildung 4: Schlingen in einem Siebgewebe

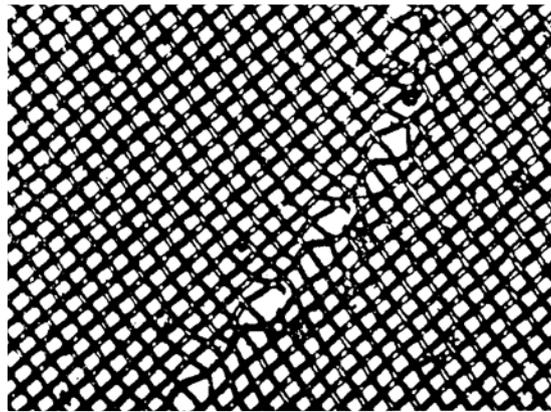


Abbildung 5: Beschädigung eines Siebgewebes durch Reinigung mittels Pinsel

2.2.2 Experimentelle Bestimmung der Größenverteilung von Prüfsieböffnungen

Direktes Ausmessen

Je nach Größe der Sieböffnungen werden diese mittels Maßstab, Schieblehre, Lupe oder Mikroskop ausgemessen, entweder am Sieb selbst oder am Bild des Siebes.

Es sind wenigstens 100 über die Gesamtfläche des Siebes zufällig ausgewählte Siebmaschen auszumessen, wobei Kett- und Schussrichtung gleichermaßen zu erfassen sind. Zu messen ist jeweils auf halber Höhe der Masche (siehe Abbildung 6).

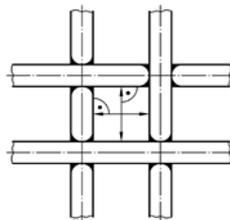


Abbildung 6: Bestimmung der Maschenweite eines Quadratlochsieb

Die Kennzeichnung des Siebes erfolgt durch die Angabe des Medianwertes x_{50} und der Standardabweichung der Stichprobe s aus den Summenhäufigkeiten der Maschenweiten, dargestellt im Wahrscheinlichkeitsnetz mit linearer Abszisse.

Indirektes Ausmessen (Glaskugelkalibrierung)

Die Verteilung der Sieböffnungen lässt sich auch indirekt mittels einer kleinen Menge eines kugelförmigen dispersen Feststoffes ermitteln. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass sich Kugeln im Gegensatz zu Siebmaschen sehr genau ausmessen lassen.

Nach Aufgabe der Kugeln auf das zu prüfende Sieb wird kurz von Hand gesiebt; Siebdurchgang und -rückstand werden entfernt. Ein Teil der Sieböffnungen ist nun durch Kugeln blockiert. Diese Kugeln haben Durchmesser, die den kleinsten Abmessungen der Sieböffnungen entsprechen, welche auch in erster Näherung für die Trennung maßgeblich sind.

Eine repräsentative Probe dieser Kugeln wird nun aus den Maschen entfernt, und die Kugeln werden mit einem geeigneten Instrument (z. B. Mikroskop) ausgemessen. Wie beim direkten Ausmessen beschrieben, werden Medianwert x_{50} und Standardabweichung s berechnet.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass sowohl durch das direkte als auch durch das indirekte Ausmessen nur die Verteilungskurve der Sieböffnungen ermittelt wird. Diese Methoden dienen zur Kennzeichnung von Sieben. Die Trenngrenze der tatsächlich ausgeführten Trennung wird damit nicht bestimmt. Als Trenngrenze kann die nominale mittlere Maschengröße eines Siebes definiert werden.

Eine Trennung erfolgt auch nie ideal scharf. Es wird in der Praxis immer eine gewisse Menge Feingut ins Grobgut und umgekehrt eine gewisse Menge Grobgut ins Feingut gelangen. Man spricht vom „Fehlkorn“ oder „Fehlaustrag“. Dieser ist dadurch bedingt, dass

- nicht alle Sieböffnungen gleich groß sind,
- sich die mittlere Siebmaschenweite während des Siebvorganges durch Verstopfungen verändert,
- das Sieb eine Fehlstelle infolge eines Schadens aufweist,
- Feingut am Grobgut haften bleibt oder
- Der Siebvorgang noch nicht abgeschlossen ist.

In Abbildung 7 ist eine Beispieltabelle für die Siebkalibrierung zu sehen. In Abbildung 8 ist die graphische Darstellung der Auswertung in einem Wahrscheinlichkeitsnetz dargestellt.

Siebgewebekalibrierung

Art der Kalibrierung:Maschenmessung..

Sollmaschenweite: 100.....10⁻⁶m.....

Sieb-Nr.:

1 Skt. = ...110⁻⁶m.....

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	111	112	107	115	109	112	114	106	116	111	108	105	115	111	103	113	111	114	112	114
2	112	113	112	109	112	113	110	116	103	111	109	114	109	115	105	115	107	109	116	112
3	106	113	109	111	110	115	111	114	101	112	105	111	114	111	112	115	103	117	105	113
4	111	104	115	110	112	109	111	112	114	118	110	112	111	114	109	119	110	118	108	113
5	109	112	115	106	111	107	115	111	116	108	116	111	104	114	110	116	112	111	114	111
6	112	109	112	114	119	107	115	106	110	118	112	113	114	110	111	119	109	114	113	119
7	119	112	107	115	109	112	114	106	116	111	108	105	115	111	103	113	111	114	112	114
8	106	113	109	111	110	115	111	114	101	112	105	111	114	111	112	115	103	117	105	113
9	109	112	115	106	111	107	115	111	116	108	116	111	104	114	110	116	112	111	114	111
10	112	113	112	109	112	113	110	116	103	111	109	114	109	115	105	115	107	109	116	112

n_i

v mir	x Skt	$x(10^{-6}m)$		N_i	$\sum_{i=1}^v N_i$	$H_v(\%)$
1	100	100		2	2	1,0
2	102	102		5	7	3,5
3	104	104	I	11	18	9,0
4	106	106		14	32	16,0
5	108	108		23	55	27,5
6	110	110		43	98	49,0
7	112	112		40	138	69,0
8	114	114		40	178	89,0
9	116	116		14	192	96,0
10	118	118		8	200	100
v max	120	120				

Die Häufigkeitsverteilung H_v der Maschen ist im Wahrscheinlichkeitsnetz mit linearer Abszisse (umseitig) einzutragen. Der Medianwert der Verteilung, x_{50} , und die Standardabweichung s sind anzugeben.

$$s = \frac{x_{84} - x_{16}}{2}; H_v(\%) = \frac{\sum_{i=1}^v N_i}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i} \cdot 100$$

$$x_{50} \pm s = (111,4 \pm 3,8) 10^{-6}m$$

Bemerkungen :

Bearbeiter : Datum :

Abbildung 7: Auswertbeispiel zur Siebgewebekalibrierung

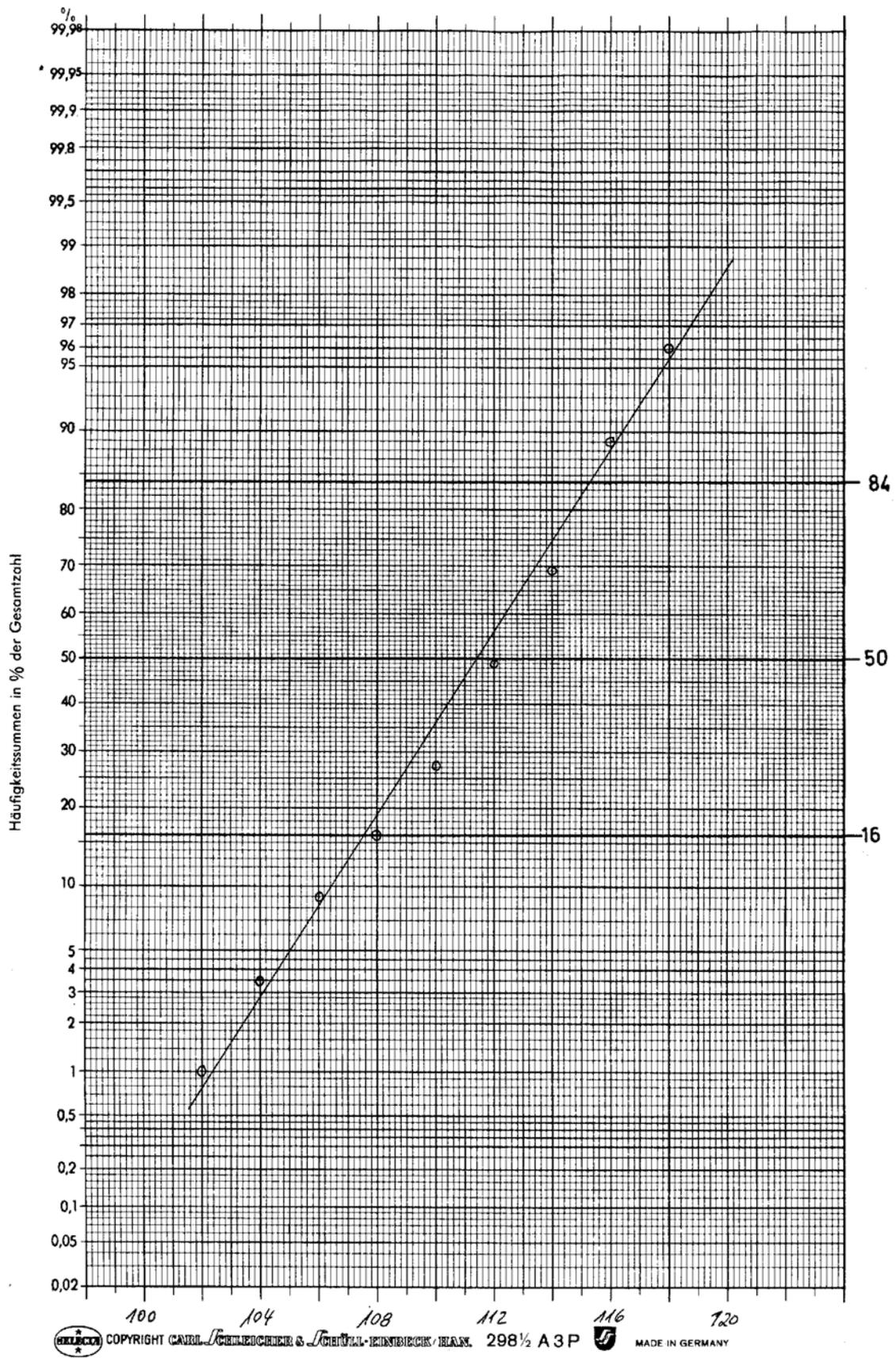


Abbildung 8: Maschenweitenverteilung eines Prüfsiebes, dargestellt im Wahrscheinlichkeitsnetz mit linearer Abszisse

2.3 Einflussgrößen auf die Siebanalyse

Um ein Feststoffpartikel durch eine Sieböffnung transportieren zu können, müssen das Siebgewebe und die Partikeln relativ zueinander bewegt werden. Das Verhältnis von Partikelgröße zur Sieböffnung, die Partikelform, die Flugrichtung und die Orientierung der Partikeln etc. bestimmen ihre Durchgangswahrscheinlichkeit. Letztere wird umso kleiner, je stärker Partikelgröße und Größe der Sieböffnungen übereinstimmen.

Der zeitliche Ablauf der Siebung auf einem Sieb wird im Wesentlichen durch die nachfolgend genannten Einflussgrößen bestimmt:

1. Vom **Siebverfahren** abhängige Einflussgrößen, wie

- Siebbewegung,
- Siebhilfen,
- effektive Verteilung der Sieböffnungen.

2. Vom **Siebgut** abhängige Einflussgrößen, wie

- Aufgabemenge,
- Partikelform und -größe,
- Partikelgrößenverteilung,
- Siebverstopfung,
- Agglomeration,
- Abrieb, Bruch,
- Feuchtigkeit.

Zu 1:

Die Feststoffpartikeln erhalten ihre **Bewegung** durch das Sieb oder durch Förderung in einem Luft- oder Flüssigkeitsstrom. Die die Bewegung hervorrufenden Kräfte sind so einzustellen, dass der Siebdurchgang gefördert wird.

Als **Siebhilfen** werden Gummiwürfel oder -kugeln oder grobe, abriebfeste Feststofffraktionen verwendet.

Zu 2:

Im Allgemeinen sollte man eine niedrige **Aufgabemenge** anstreben, um kurze Siebzeiten zu erhalten. Wäagegenauigkeit und Statistik der Probenahme begrenzen jedoch die Einwaage nach unten.

Zu Beachten: Die erforderliche Aufgabemenge ist durch **Probenteilung** aus der angelieferten größeren Menge zu gewinnen.

Die **Partikelform** ist im Wesentlichen aus zwei Gründen von Einfluss:

- a) Bestimmte Formen (z. B. Kugeln) verklemmen und blockieren damit die Sieböffnungen sehr leicht
- b) Andere Formen (sehr lange oder flache Partikeln) lassen sich nur bedingt sieben, da sich infolge ihrer Form bevorzugte Durchgangslagen ergeben.

Um einheitliche Ergebnisse zu gewährleisten, sollte außerdem die Form der Sieblochung (rund oder quadratisch) für alle Siebe eines Siebsatzes gleich sein.

Bei feinen Partikeln erschweren die mit abnehmender Partikelgröße stark zunehmenden Haftkräfte die Siebung (**Agglomeration**). Eine Verfälschung der Siebergebnisse kann dann beispielsweise durch ins Grobgut verschlepptes Feingut (infolge Anhaftens an gröberen Partikeln) auftreten. Der Einfluss der Haftkräfte kann beispielsweise durch Nasssiebung verringert werden.

Auch Oberflächenwasser führt zur Agglomeration. **Feuchte Proben** sind deshalb vor der Siebung zu trocknen.

2.4 Bestimmung der Siebzeit

Damit ein Einzelteilchen eine beliebige Siebmasche frei passieren kann, muss sein größter Querschnitt senkrecht zur Flugrichtung kleiner sein als der freie Querschnitt der Masche. Je nach Größe, Flugrichtung, Orientierung usw. besitzt ein Teilchen eine gewisse Durchgangswahrscheinlichkeit, die umso kleiner wird, je mehr sich Teilchengröße und Maschenweite einander nähern. Für diese Teilchen kann die erforderliche Siebzeit außerordentlich lang werden. Mit steigender Siebzeit wird ein Teil der Maschen des Siebes unwirksam. Und zwar handelt es sich dabei, abgesehen von den durch Partikeln verstopften Maschen, um die feineren Siebmaschen. Da das vorhandene Feingut diese Maschen bereits passiert hat, sind sie für die weitere Siebung bedeutungslos. Die nutzbare freie Siebfläche verringert sich deshalb ständig, bis theoretisch am Ende, nach einer sehr langen Siebzeit, die größte im Sieb noch vorhandene Masche die Trennung bestimmt. Diese Überlegung zeigt die Bedeutung der Maschenweitenverteilung des Siebgewebes. Je gleichmäßiger ein Sieb gewebt ist, umso größer ist die Zahl der gleichgroßen Maschen und umso kürzer ist im Allgemeinen die erforderliche Siebzeit.

Weitere wichtige Parameter sind die Amplitude und die Frequenz, mit der das Siebgut bewegt wird. Außerdem bestimmt die Beladung des Siebes mit Siebgut die Wahrscheinlichkeit, mit der ein einzelnes Teilchen auf eine Sieböffnung auftreffen kann.

Dadurch sind sowohl der Rückstand auf dem Sieb wie auch die Trennkorngröße eine Funktion der Siebzeit, -amplitude und -beladung.

Die Bestimmung der notwendigen Siebzeit geht aus dem Diagramm in Abbildung 9 hervor.

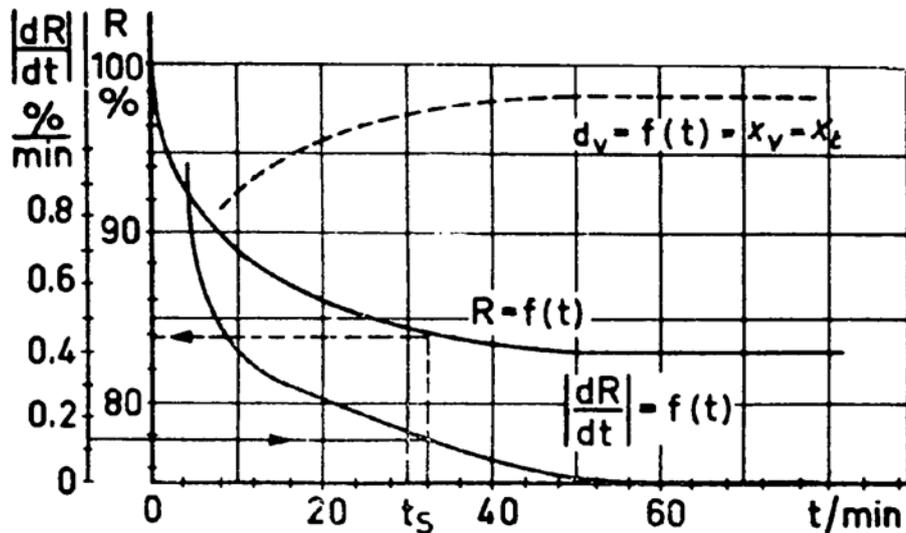


Abbildung 9: Exemplarische Siebzeitbestimmung

Die Abnahme des Siebrückstandes $R = f(t)$ ist im oben stehenden Bild in Abhängigkeit von der Siebzeit dargestellt. Sie folgt bei einer Siebung auf einem einzelnen Sieb im Allgemeinen einer e-Funktion. Nach anfänglich starkem Abfall verringert sich der Rückstand immer weniger, bis er nach einer gewissen Zeit nahezu konstant wird. Wir definieren hier als Siebzeit diejenige Zeit t_s , zu der der absolute Betrag von dR/dt den Wert $0,1 \text{ \%}/\text{min}$ unterschreitet. Jedem Punkt dieser Kurve ist eine bestimmte Trenngrenze zugeordnet. Der Verlauf der Trenngrenze in Abhängigkeit der Siebzeit $x_v = f(t)$ ist qualitativ eingezeichnet.

Beendet man die Siebung nach einer bestimmten Siebzeit, so kann man durch Messen des Rückstandes und der zugehörigen Trenngrenze einen Punkt der Rückstandssummenkurve finden. Je breiter die Verteilung der Maschenweiten eines Siebes ist, desto größer ist die Abhängigkeit der Trennkorngröße von der Siebzeit. Trägt man jedoch den gemessenen Rückstandswert über dem Sollwert des verwendeten Siebes auf, so wird strenggenommen über der falschen Dispersitätsgröße aufgetragen. Der auftretende Fehler kann groß sein. Bei den hier verwendeten maschinell gewobenen oder photographisch hergestellten Sieben kann jedoch mit guter Näherung davon ausgegangen werden, dass bei Erreichen der oben definierten Siebzeit die Trenngröße mit der Nennmaschenweite des Siebes übereinstimmt.

2.5 Siebverfahren

Die Siebanalyse ist ein Trennverfahren, das heißt bei der Analyse wird das Siebgut in mehrere Fraktionen aufgetrennt. Trennkriterium ist dabei die Passage der Partikel durch die Sieböffnungen.

Damit die Trennung erfolgen kann, müssen die Haftkräfte der Partikel untereinander und am Siebgewebe überwunden werden. Je nachdem, welche Hilfsmittel hierfür eingesetzt werden, unterscheidet man verschiedene Siebverfahren:

- Trockensiebung Überwindung der Haftkräfte durch Bewegen des Siebes von Hand (Handsiebung) oder auf einer Siebmaschine.
Nur für $x \geq 60 \text{ }\mu\text{m}$ geeignet.

Nasssiebung	Verringerung der Haftkräfte durch Aufgabe einer Flüssigkeit; Unterstützung durch mechanische Vibration bzw. Ultraschall. Für $x \geq 5 \mu\text{m}$ geeignet.
Luftstrahlsiebung	Dispergierung der Partikeln durch einen Luftstrahl und durch Aufprall auf eine feste Oberfläche. Für $x \geq 20 \mu\text{m}$ geeignet.

Man unterscheidet zwei Möglichkeiten: Die Einzelsiebung mit nur einem Sieb und die Siebung im Siebsatz.

Einzelsiebung

Die Siebung mit nur einem Sieb wird vielfach aus Zeitgründen abgelehnt. Dies ist sicherlich bei den üblichen Siebmaschinen gerechtfertigt. Verwendet man jedoch eine entsprechend intensivere Methode - wie zum Beispiel die Luftstrahlsiebung - so kann die Zeitersparnis pro Sieb so groß sein, dass auch dann, wenn mehrere Siebe einzeln gesiebt werden, gegenüber der Siebung im Siebsatz kein zeitlicher Nachteil entsteht.

Bei der Einzelsiebung kann außerdem für jedes Sieb die zeitliche Abnahme des Rückstandes und damit die optimale Siebzeit t_s ermittelt werden.

Man beginnt mit dem feinsten Sieb und gibt den Rückstand anschließend auf das nächstgrößere Sieb. Das Allerfeinste passiert also nur einmal das feinste Sieb des Siebsatzes, während es bei der Siebung im Siebsatz alle gröberen Siebe ebenfalls passieren muss. Eine typische Siebmaschine mit Einzelsiebung ist das Luftstrahlsieb.

Das **Luftstrahlsieb** ist einsetzbar für Trennungen im Feinbereich bis herab zu etwa $20 \mu\text{m}$ bei erheblich kürzeren Siebzeiten als bei anderen Siebmaschinen. Bei Stoffen mit einem sehr hohen Feinanteil können jedoch auch auf dem Luftstrahlsieb Schwierigkeiten auftreten. Man ist dann im Allgemeinen auf Nasssiebungen angewiesen.

Die **Nasssiebung** kann zwar auch im Siebsatz ausgeführt werden, die Einzelsiebung ist jedoch vorzuziehen. Insbesondere mit Hilfe von Mikropräzisionssieben (elektrogeformte Siebe) ist sie im Bereich von $10 \mu\text{m}$ bis in den Millimeterbereich ein schnelles und sehr trennscharfes Analysenverfahren.

Es gibt Siebe bis unter $5 \mu\text{m}$ Öffnungsweite; die Siebung damit erfordert jedoch besondere Hilfsmittel (Ultraschall).

Die Nasssiebung ist besonders dann einzusetzen, wenn das zu untersuchende Gut einen hohen Feinanteil besitzt und/oder zur Agglomeration neigt, weil die Dispergierung/ Desagglomeration in einer Suspension leichter vonstatten geht als in trockenem Zustand.

Siebung im Siebsatz

Bei der herkömmlichen Maschinensiebung, die nahezu immer eine Siebung im Siebsatz ist, kann man zwischen einer Vielzahl unterschiedlicher Siebmaschinen unterscheiden. Die einzelnen Geräte differieren in der Art der Sieb- und Gutbewegung.

Die Siebbewegung muss zwei Aufgaben erfüllen:

Das aufgegebene Siebgut ist möglichst gleichmäßig auf dem Gewebe zu verteilen und so intensiv in Bewegung zu halten, dass den einzelnen Partikeln möglichst oft neue freie Maschen angeboten werden. Dieser Bewegung ist eine zweite überlagert, die in den Maschen festgeklemmte Partikeln wieder herausschleudern soll. Es handelt sich meist um eine Klopfbewegung, die die wirkenden Siebkräfte infolge kurzzeitiger hoher Beschleunigung stark erhöht.

In Abbildung 10 ist ein Auswertungsbeispiel für eine Siebanalyse gegeben.

Siebanalyse

Probe : Kalkstein Analysen-Nr.:

Naßsiegung Rundloch - Siebe

Trockensiegung Quadratloch - Siebe

Dispergierflüssigkeit : Amplitude : 40 %

Dispergierung : Siebzeit : 1.5 min

Inv. - Nr.	x 10 ⁻⁶ m	Sieb 10 ⁻³ kg	Sieb + St. 10 ⁻³ kg	ΔR 10 ⁻³ kg	R 10 ⁻³ kg	R %	Q ₃ %	Einwaage 10 ⁻³ kg
870061	1200	436,88	437,27	0,39	0,39	0,73	99,27	53,30
870060	1048	428,32	430,02	1,70	2,09	3,92	96,08	
870053	753	413,50	417,30	3,80	5,89	11,05	88,95	
870051	626	395,90	400,42	4,52	10,41	19,53	80,47	
930112	521	353,69	356,36	2,67	13,08	24,54	75,46	
A42.112	404	330,45	335,14	4,69	17,77	33,34	66,66	
870057	313	295,41	300,29	4,88	22,65	42,50	57,50	
870058	194	290,77	297,15	6,38	29,03	54,47	45,53	

Bemerkungen : Retsch - Siebmaschine AS 200 digit verwendet

Bearbeiter : Datum :

Abbildung 10: Auswertbeispiel für eine Siebanalyse

3 Versuchsaufbau und -durchführung; Versuchsauswertung

3.1 Versuchsaufbau und -vorbereitung

Vor der Analyse wird ein Siebsatz, der die gesamte Breite der zu erwartenden Partikelgrößenverteilung überdecken muss, zusammengestellt. Im Allgemeinen verwendet man die Siebe in der in DIN ISO 3310 angegebenen Stufung. Die Siebe werden als Turm so übereinander angeordnet, dass sich das Sieb mit den größten Sieböffnungen ganz oben befindet. Unten ist der sogenannte Siebboden.

Mit Hilfe eines rotierenden Probeteilers ist eine Pulvermenge von insgesamt 240 g in 8 Teilproben zu je ca. 30 g zu teilen. Vor der Verwendung der jeweiligen Probe ist die genaue Masse noch einmal durch Wägung zu bestimmen.

3.2 Versuchsdurchführung und -auswertung

1. Zur Ermittlung der benötigten Siebzeit wird eine Einzelsiebung durchgeführt. Hierzu wird ein Sieb gewählt, dessen Öffnungen etwa der mittleren Partikelgröße entsprechen.

Eine der Teilproben wird genau gewogen und dann auf das Sieb aufgegeben, das Sieb mit einem Deckel verschlossen und in die Siebmaschine eingespannt. Die Amplitude wird eingestellt und die zeitliche Abnahme des Rückstandes bestimmt (siehe Kapitel 2.4). Es ist auf die ordentliche Einspannung der Siebe in der Siebmaschine zu achten, sodass eine definierte Bewegung gewährleistet (und die Geräuschentwicklung minimiert) ist.

Jeweils nach 1, 5, 10 und 20 Minuten wird der Siebvorgang unterbrochen und die Masse des Durchganges wird durch Wägung ermittelt.

Der jeweilige prozentuale Rückstand R [%] wird berechnet:

$$R = \frac{m_A - m_D}{m_A} \cdot 100 \%$$

m_A = Gesamte Aufgabegutmasse

m_D = Masse des Durchganges

Die Messergebnisse sind in die Tabelle 2 im Anhang einzutragen, in das dazugehörige Diagramm 1 zu übertragen.

Die notwendige Siebzeit t_s ist durch Berechnung von Werten für $\Delta R/\Delta t$ ist zu bestimmen. Der Betrag von dR/dt soll nicht größer sein als 0,1 %/min.

2. Nach Bestimmung der Siebzeit wird der Siebsatz mit dem Siebboden in die Maschine eingesetzt; eine repräsentative Probe des zur Analyse anstehenden Materials gewogen und vorsichtig auf das oberste Sieb aufgegeben. Nun wird der Siebturm mit einem Deckel verschlossen und in die Siebmaschine eingespannt. Die vorher ermittelte Siebzeit und die Amplitude werden eingestellt und die Analyse gestartet.

Nachdem die Siebung beendet ist, entnimmt man den Siebsatz aus der Maschine und bestimmt die auf den Sieben zurückgebliebenen Materialmengen Δm_{Ri} durch Wägung (entweder Differenzwägung (Sieb + Gut) - Siebleergewicht oder möglichst vollständiges Entfernen des Siebgutes aus dem Sieb über Glanzpapier). Die zu den einzelnen Siebmaschenweiten gehörenden Werte der

aufsummierten Rückstandsmassen m_{Ri} werden auf die Einwaage bezogen, so erhält man den Rückstand R. Seine Ergänzung zu Eins ist der Durchgang D (also die Massenverteilungssumme Q_3).

$$Q_3(x) = 1 - \frac{\sum_{x_{\min}}^x \Delta m_{Ri}}{\sum_{x_{\min}}^{x_{\max}} \Delta m_{Ri}}$$

Die ermittelten Daten sind in die Tabelle 3 im Anhang einzutragen.

Die Verteilungssummenkurve $Q_3(x)$ wird graphisch im Diagramm 2 dargestellt.

3. Bewerten Sie das Ergebnis Ihrer Messung und besprechen Sie das weitere Vorgehen mit Ihrer Betreuerin bzw. Ihrem Betreuer.

4 Anhang

Tabelle 2: Protokoll- und Rechenblatt zur Siebzeitbestimmung

t [min]	1	5	10	20
m_A [g]				
m_D [g]				
m_R [g]				
R [%]				
$ \Delta R $ [%]				
Δt [min]				
$ \Delta R/\Delta t $ [%/min]				

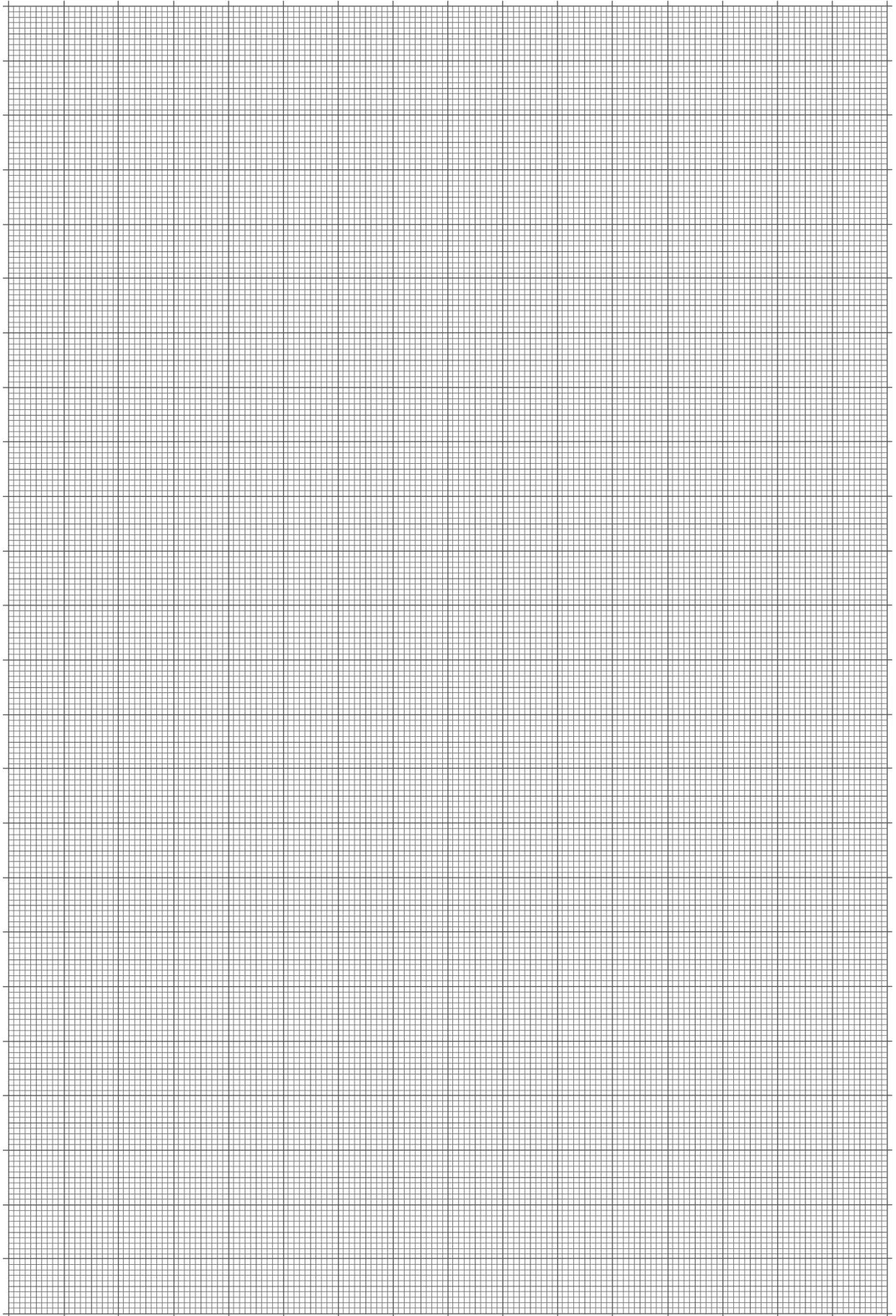


Diagramm 1: Millimeterpapier

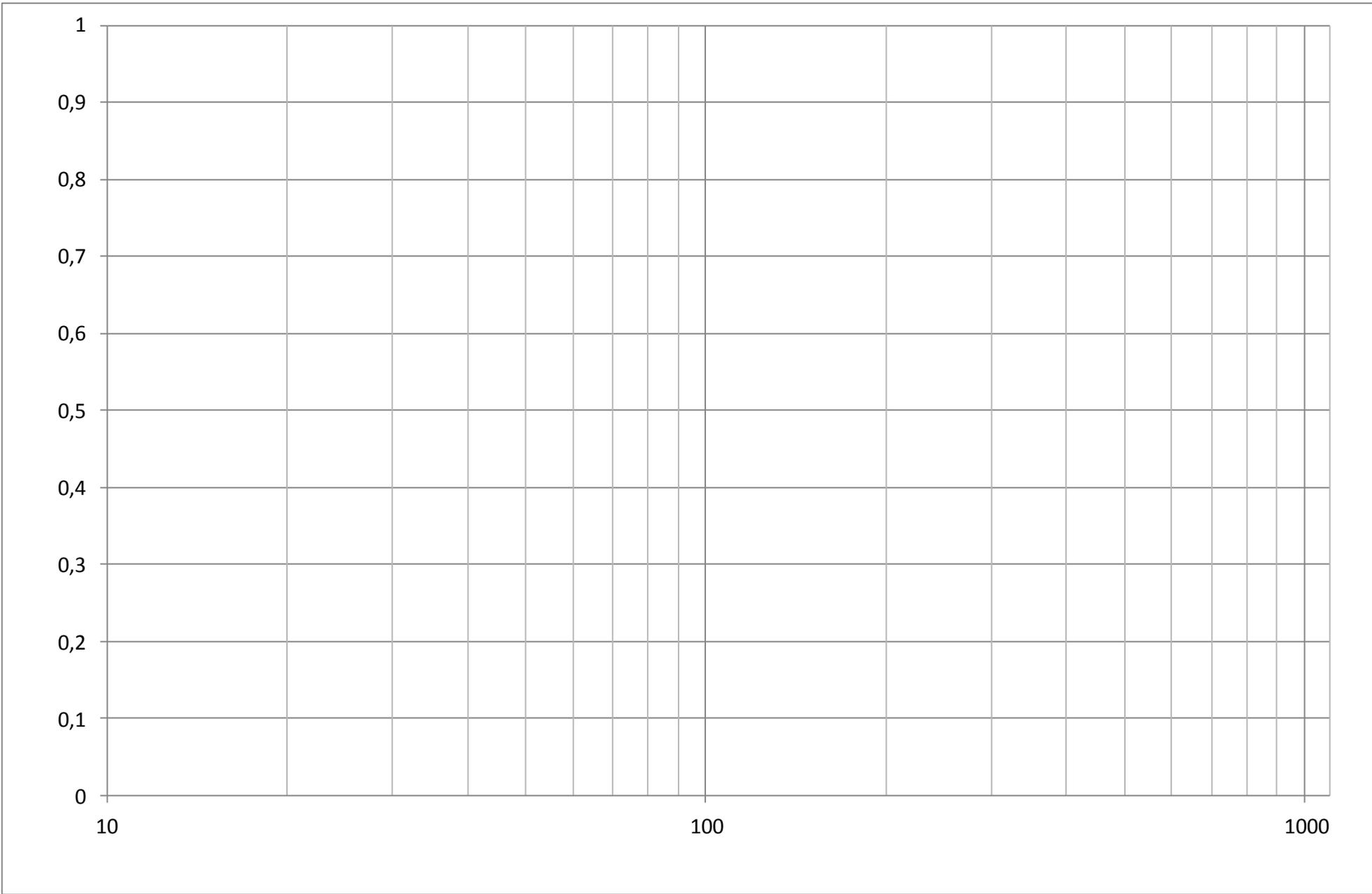


Diagramm 2: Halblogarithmisches Koordinatensystem zur Auftragung der Partikelgrößenverteilung

Tabelle 4: Protokoll- und Auswertblatt zur Siebgewebekalibrierung

Siebgewebekalibrierung

Art der Kalibrierung: 1 Skalenteil = $\cdot 10^{-6}$ m

Sieb-Nr.: Nennmaschenweite: $\cdot 10^{-6}$ m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				

v_{min}	x [Skt.]	x [10^{-6} m]	n_i	N_i	$\sum_{i=1}^v N_i$	H_v [%]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
v_{max}						

Die Häufigkeitsverteilung H_v der Maschen ist im Wahrscheinlichkeitsnetz mit linearer Abszisse einzutragen. Der Medianwert x_{50} der Verteilung und die Standardabweichung s sind anzugeben.

$$s = \frac{x_{84} - x_{16}}{2};$$

$$H_v(\%) = \frac{\sum_{i=1}^v N_i}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i} \cdot 100$$

$$x_{50} \pm s = (\quad \pm \quad) \cdot 10^{-6} \text{m}$$

Bemerkungen:

Bearbeiter: Datum:

Wahrscheinlichkeitsnetz
Merkmalsgrenzwert g

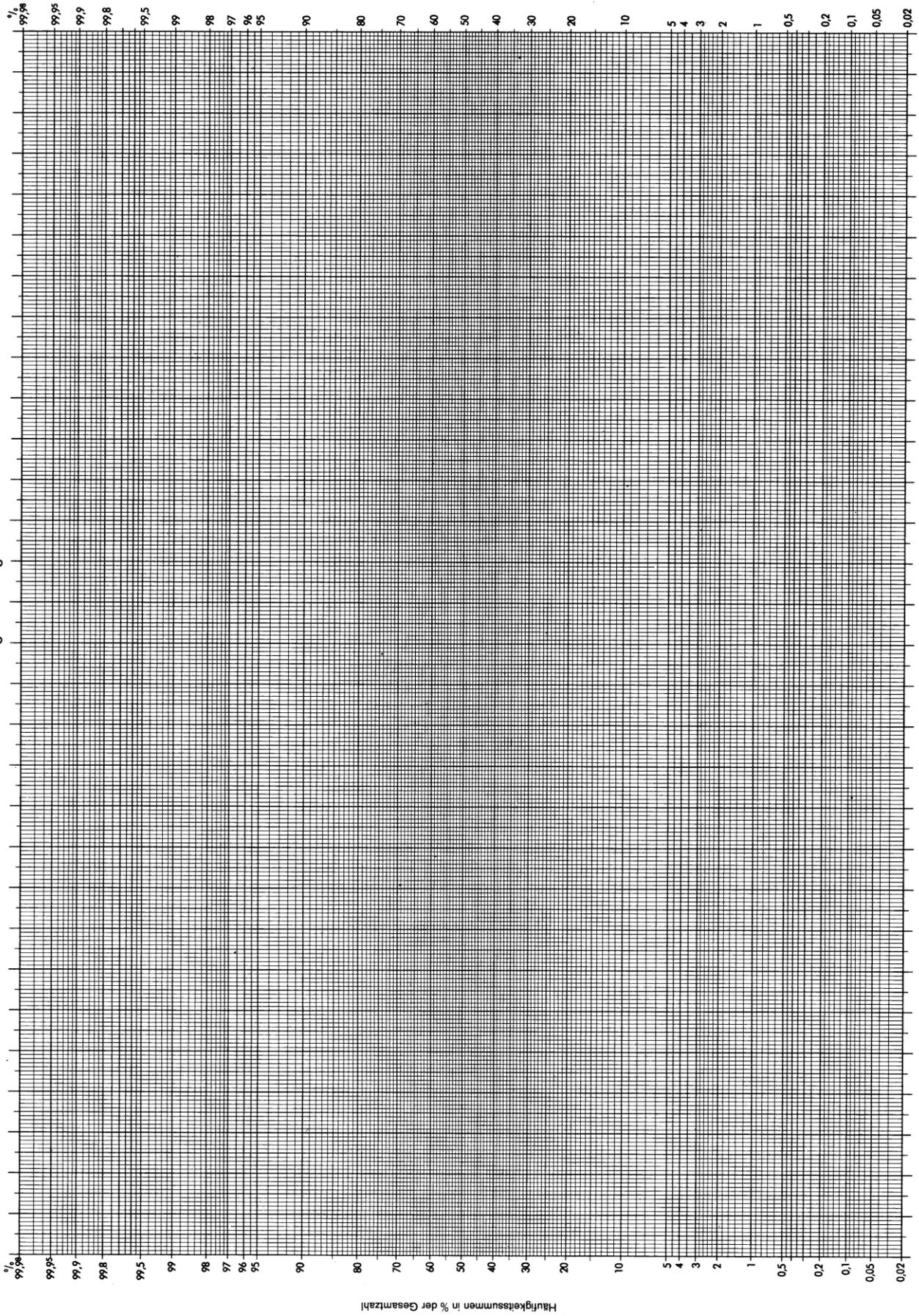


Diagramm 3: Gaußsches Wahrscheinlichkeitsnetz mit linearer Abszisse

