

Feinstaubemissionsunter- suchungen in Sachsen-Anhalt: PM₁₀-, PM_{2,5}- und PM_{1,0}- Emissio- nen aus Industrie und Hausbrand

Berichte des
Landesamtes für Umweltschutz
Sachsen-Anhalt

2001 - Sonderheft 1

Inhalt

1	Einleitung, Problemstellung	1
2	Experimentelle Untersuchungen	1
3	Untersuchte Anlagen und Probenahmebedingungen	3
4	Ergebnisse und Diskussion	6
5	Schlussfolgerungen	19
6	Zusammenfassung	19
	Danksagung	20
	Literatur	21
	Anlagenverzeichnis 1 -7	22

Feinstaubemissionsuntersuchungen in Sachsen-Anhalt: PM₁₀-, PM_{2,5}- und PM_{1,0}-Emissionen aus Industrie und Hausbrand

1 Einleitung, Problemstellung

Auf internationaler und auf EU-Ebene wird die gesundheitliche Relevanz von Feinstaub [1], [2], [3], [4] zurzeit neu bewertet.

Epidemiologische Untersuchungen in den letzten Jahren haben gezeigt, dass feine Staubpartikel in der Außenluft durchaus beträchtliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben können. Dies hat auch dazu geführt, dass die Europäische Kommission eine Richtlinie [6] verabschiedet hat, die die Messung und Bewertung von PM₁₀ bzw. PM_{2,5} in der Außenluft vorsieht. Es ist abzusehen, dass die vorgeschlagenen strengen Grenzwerte voraussichtlich nicht in allen Gebieten Deutschlands eingehalten werden können [5]. Es sind Emissionsminderungskonzepte gefragt. Diese können wiederum nur auf der Grundlage exakter Daten zur Feinstaubemission erstellt werden.

Der Kenntnisstand über Feinstaubemissionen ist derzeit noch lückenhaft, da die bisherigen Rechtsvorschriften nur Ermittlungen der Gesamtstaubemission beinhalteten.

Die Ergebnisse eines gezielten Messprogramms im Land Sachsen-Anhalt, das in diesem Beitrag vorgestellt wird, soll zur Aufklärung der Problematik beitragen.

Das Untersuchungsprogramm beinhaltet Ermittlungen an den Anlagen bzw. Anlagengruppen, die einen hohen Anteil an der Gesamtstaubemission des Landes Sachsen-Anhalt haben. Weiterhin erfolgten Messungen an Anlagen, deren Staubemissionen in erhöhtem Maße gesundheitsrelevante Inhaltsstoffe aufweisen. Im Einzelnen wurden Untersuchungen entsprechend der Industriestruktur

des Landes an Anlagen der Zementindustrie, der Buntmetallurgie und an braunkohlegefeuerten Industriekraftwerken durchgeführt. Erste Ergebnisse wurden bereits vorgestellt [15, 19].

In Ostdeutschland ist auf Grund des wirtschaftlichen Umbruchs davon auszugehen, dass die jeweils vermessenen Anlagen dem „neuesten“ Stand der Technik entsprechen, da sie in den letzten Jahren entweder völlig neu gebaut oder entsprechend dem immissionsschutzrechtlichen Vorschriftenwerk gründlich saniert worden sind. Damit ist allerdings auch der Spielraum weiterer Sanierungen hinsichtlich der Feinstaubemissionen eingeschränkt.

Da mit Braunkohlenbrikett gefeuerte Hausbrandfeuerstätten in den neuen Bundesländern auch heute noch Bedeutung haben, erfolgten zusätzlich auch Ermittlungen der Feinstaubemissionen an einer Kleinf Feuerungsanlage (Durchbrandofen) beim Einsatz verschiedener Brikettsorten.

2 Experimentelle Untersuchungen

2.1 Grundlagen

Zur Kennzeichnung von Partikeldispersionen in Gasen wird der aerodynamische Durchmesser d_{ae} benutzt. Dieser ist definiert als Durchmesser einer Kugel aus einem Material der Dichte 1 g/cm³ mit der gleichen Sinkgeschwindigkeit in Gasen, wie sie die betrachteten Partikel besitzen.

Die Referenzmethode für die Probenahme und Messung der PM₁₀-Konzentration (sowie eine vorläufige Verfahrensweise für die Probenahme und Messung der PM_{2,5}-Konzentration) in der Luft sind in

[6] im Anhang IX benannt. Das Verfahren beruht auf der Abscheidung der PM_{10} -Partikelfraktion nach dem Trägheitsprinzip und anschließender gravimetrischer Bestimmung. In Analogie zu dieser immissionsseitigen Ermittlung von PM_{10} (und $PM_{2,5}$) werden per Konvention fraktionierte Staubemissionsmessungen mit Kaskadenimpaktoren durchgeführt [9]. Damit kommt bei Emissionsermittlungen ebenfalls ein Messverfahren zur Anwendung, das auf der Abscheidung von Partikeln nach dem Trägheitsprinzip beruht. Zusätzlich vereinigt das Verfahren gegenüber anderen einsetzbaren Korngrößen-selektiven Verfahren die Vorteile der relativ einfachen Handhabbarkeit sowie der in situ-Probenahme ohne Veränderung der Korngrößenverteilung durch Agglomerisationseffekte [16].

Grundlage der Gewinnung partikelgrößenabhängiger Staubfraktionen mittels Impaktoren ist die Ausnutzung der unterschiedlichen Trägheit von Partikeln. Ein Kaskadenimpaktor beinhaltet mehrere Impaktorstufen, die prinzipiell aus den Elementen Düse und Prallplatte bestehen. Partikel mit ausreichender Trägheit des in der Düse beschleunigten Partikelkollektivs treffen auf die Prallplatte und werden dort gesammelt. Partikel geringerer Trägheit werden auf einer der nachfolgenden Stufen abgeschieden, so dass Stufe für Stufe Fraktionen unterschiedlicher Partikelgröße erhalten werden. Die nicht abgeschiedenen Partikel werden auf einem hinter den Stufen angeordneten Endfilter gesammelt. Die Masse der auf einer Stufe abgeschiedenen Partikel wird im Anschluss an die Probenahme durch Differenzwägung ermittelt und kann bei Bedarf weiteren Analysen z. B. auf Staubinhaltsstoffe durchgeführt werden. Beim Vorhandensein eines größeren Anteils gröberer Partikel wird der Einsatz eines Vorabscheiders notwendig.

Die Messplanung und Probenahme bei Impaktormessungen wird analog der bei Messungen zur Ermittlung der Gesamtstaubemissionen durchgeführt, d. h. Netzmessung mit isokinetischer Teilstromentnahme. Allerdings ist im Gegensatz zu den Staubemissionsmessungen

bei Impaktormessungen der Gasdurchsatz nach Festlegung des Sondendurchmessers nicht mehr frei wählbar, sondern muss für alle Messpunkte der Netzmessung konstant gehalten werden. Es können daher nur Messpunkte mit annähernd gleicher Geschwindigkeit (zulässige Abweichung: maximal $\pm 30\%$) in einer einzelnen Messung beprobt werden. Anderenfalls sind mehrere Messvorgänge erforderlich. Die Probenahmedauer sollte so bemessen sein, dass pro Impaktorstufe einerseits eine mit ausreichender Genauigkeit wägbare Staubmasse gesammelt wird und andererseits eine Überladung der Stufen vermieden wird.

2.2 Probenahmetechnik

Die Probenahmen erfolgten mit einem 8-stufigem Anderson Impaktor Typ Mark III (Material: rostfreier Stahl) und/oder mit einem 6-stufigem Impaktor der Fa. Ströhlein Typ STF 1 (Material: Titan). Voruntersuchungen zeigten, dass die mit den beiden Impaktoren ermittelten technologiebezogenen Partikelgrößenverteilungen unter gleichen Probenahmebedingungen gut übereinstimmten. Beide Impaktoren sind bis $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ hitzebeständig. Zur Partikelabscheidung wurden perforierte Sammelplatten und Endfilter aus Glasfasermaterial verwendet. Die Messung des abgesaugten Teilgasvolumens erfolgte mit thermischen Massendurchflussmessern.

2.3 Probenahme und Auswertung

Die Probenahme und Auswertung der Partikelmessungen erfolgte entsprechend VDI 2066 Bl. 5 [10]. Um die erforderlichen Absaugzeiten für die Impaktormessungen festlegen zu können, wurden im Vorfeld die vorliegenden Emissionskonzentrationen an Gesamtstaub messtechnisch ermittelt. Damit sollten einerseits Überladungen der Impaktorstufen vermieden und andererseits aber auch eine mit ausreichender Genauigkeit wägbare Staubmasse gesammelt werden. Nicht vorhersehbare stark unterschiedliche Beladungen der einzelnen Sammelplatten wurden durch Vorversuche ermittelt, um für die eigentlichen Probenahmen entsprechende Maßnahmen (z. B. Verän-

derung der Probenahmezeit, Einsatz eines Vorabscheiders) ergreifen zu können. Da an den untersuchten industriellen Anlagen in der Regel geringe Emissionskonzentrationen an Gesamtstaub vorlagen, mussten zur Gewährleistung einer ausreichenden Filterbelegung teilweise sehr lange Probenahmezeiten (bis 18 h) realisiert werden. Andererseits verlangten die nach Brennstoffaufgabe hohen Staubkonzentrationen im Abgas der untersuchten Hausbrandfeuerstätte (Durchbrandofen) die Festlegung einer Probenahmezeit, die wesentlich kürzer als die Zeit für den vollständigen Abbrand des Brennstoffes ist. Eigene Untersuchungen belegen aber, dass im ersten Drittel des Abbrandzyklusses (in dieser Zeit erfolgten die Impaktormessungen) die Emission der Partikel nahezu vollständig erfolgt. Die Impaktormessungen wurden als Netzmessung entsprechend den Grundsätzen der VDI-Richtlinie 2066 Bl. 1 [18] durchgeführt. In den Zeiträumen der Impaktorprobenahmen wurden die Parameter der jeweiligen Anlage, die für die Dokumentation des Betriebszustandes von Bedeutung sind, erfasst. Demnach erfolgten alle Messungen bei bestimmungsgemäßem Betrieb mit voller Anlagenauslastung. Ermittelt wurden weiterhin, wenn möglich mit Hilfe kontinuierlicher Messeinrichtungen, zeitparallel zu den Impaktormessungen andere, für die jeweilige Anlage relevante Schadstoffe oder Bestandteile im Abgas (z. B. Staub, CO, CO₂, NO_x, O₂, SO₂ ...). Zum Teil wurden dafür auch betriebliche Messeinrichtungen genutzt. Vor jeder Messung wurden die Abgasrandparameter ermittelt (Geschwindigkeit, statischer Druck, Temperatur, Feuchte ...). Die Analyse der einzelnen Staubfraktionen auf Metallgehalte (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Sn und Tl) erfolgte in Anlehnung an die VDI-Richtlinien 3868 Bl. 1 [12] und VDI 2268 Bl. 1 [13]. Zur Berechnung der aerodynamischen Durchmesser wurde das vom Mitautor Dr. Noll entwickelte Programm IMPAKTOR genutzt.

2.4 Qualitätssicherungsmaßnahmen

Alle Ermittlungen wurden mit einer Reihe von Qualitätssicherungsmaßnahmen entsprechend DIN EN 45001 [17] begleitet. So wurden alle ermittelten Schadstoffemissionen mit standardisierten Messverfahren (VDI-Richtlinien, DIN EN) bestimmt. Sofern zutreffend wurden eignungsgeprüfte kontinuierlich arbeitende Messeinrichtungen verwendet.

Die für die Bewertung der ermittelten Emissionskonzentrationen notwendigen Parameter der Probenahme, Analyse sowie der Anlagenfahrweise wurden jeweils in einem Bericht entsprechend den Vorgaben des bundeseinheitlichen Mustermessberichtes [11] angegeben.

Hinsichtlich der ermittelten Gehalte von Metallen in den Staubfraktionen ist zu berücksichtigen, dass für die Messungen ein Impaktor aus Titan und ein Impaktor aus Edelstahl zur Verfügung stand. Der Vergleich der Verteilungen partikelgebundener Staubinhaltsstoffe weist jedoch für den gleichen Messort keine signifikanten Unterschiede auf. Die Metall-Blindwerte der Sammelplatten wurden für jede Impaktorstufe bestimmt.

3 Untersuchte Anlagen und Parameter der Probenahme

In Tabelle 1 sind die untersuchten Anlagen mit ihren entsprechenden Leistungsgrößen während der Probenahmezeiträume, die eingesetzten Brennstoffe und die Parameter der vorhandenen Entstaubungsanlagen aufgeführt.

Weiterhin wurden die die Probenahme beeinflussenden Abgasrandbedingungen, die ermittelte Gesamtstaubkonzentration im Abgas und daraus resultierende Probenahmezeiten aufgelistet.

Tabelle 1 Untersuchte Anlagen und Probenahmebedingungen

Anlage	Leistung	Brennstoff	Entstaubung	Probenahmeparameter			
				Abgasvolumenstrom in m ³ /h i.N.,tr.	Abgastemperatur in °C	Staubgehalt in mg/m ³ i.N.,tr.	Probenahmedauer in h
Drehrohrofen (DRO), Zementindustrie	85 t/h Klinker	BK-Staub, Altöl	EGR (horizontal)	160.000	148...233	8	8
Rostkühler Messung M1, Zementindustrie	72 t/h Klinker	-	Gewebeabscheider	97.000	95	3,4	18
Rostkühler Messung M2, Zementindustrie	72 t/h Klinker	-	Gewebeabscheider	97.000	79	21,1	4
Konverter, Kupferindustrie	15 t/Charge	Koks	Schlauchabscheider	110.000	63	2,4	18
Industriekraftwerk (IKW), Braunkohleveredlung	200 t/h Dampf	Extrahierte Trockenbraunkohle	EGR (horizontal), Wäsche	240.000	77	4,3	11
Industriekraftwerk (IKW), Zuckerindustrie	125 t/h Dampf	Braunkohlenbrikett	EGR (horizontal)	131.000	145	4,6	16
Industriekraftwerk (IKW), Wirbelschichtfeuerung	150 t/h Dampf	Rohbraunkohle	EGR (horizontal)	180.000	147	14,4	6
Kleinfeuerungsanlage (KEVA), Durchbrandofen	6 KW	Braunkohlenbrikett	-	38...48	<395 vor >47 nach Abkühlung	20...148	1

Im Folgenden werden die untersuchten Anlagen kurz charakterisiert und spezifische Bedingungen der Probenahme benannt (s. auch Tabelle 1). In den meisten Fällen lagen aufgrund von konstant laufenden Gebläsen zeitlich konstante Abgasrandbedingungen vor (außer Durchbrandofen). Die Probenahme war infolge hoher Geschwindigkeitsgradienten nicht in allen Fällen über den gesamten radialen Bereich möglich. Dort konnte nur der Bereich abgedeckt werden, für den annähernd isokinetische Bedingungen realisierbar waren.

Die Drehrohrofenanlage (DRO) dient zur Herstellung von Zementklinker. Das aus dem Vorratssilo pneumatisch antransportierte Ofenmehl wird im Gegenstrom zu den heißen Verbrennungsgasen in einem Zyklonwärmetauscher auf ca. 850 °C erwärmt und im Drehrohrofen zu Zementklinker gebrannt. Der ca. 1350 °C heiße Klinker gelangt aus dem Drehrohrofen in den Rostkühler.

Die Rostkühleranlage wird zur Abkühlung des Zementklinkers genutzt und besteht aus Abluftkühler (Kühlung von 450 °C auf 120 °C), Gewebeabscheider und regelbarem Abluftgebläse. Die Messungen erfolgten bei zwei verschiedenen Stand-

zeiten der Gewebeabscheider (M1 und M2).

In der Konverteranlage werden Krätzkupfer, Messingschrott vom Schachtofen, kupferhaltige Krätze und Raffinierschrott mit Koks und Zuschlägen unter Einsatz von Luft zu Schwarzkupfer verblasen. Die aus dem Konvertermaul entweichenden Prozessabgase werden von einer Absaughaube erfasst. In der nachgeschalteten Nachverbrennungskammer wird Zink zu Zinkoxid nachverbrannt. Daran schließt sich ein Zwangsluftkühler an, in dem die Abgase auf eine für die Schlauchabscheider erforderliche Temperatur (140 °C) abgekühlt werden. Das Reingas wird über den Abgasventilator und einem 70 m hohen Kamin abgeführt.

Das Industriekraftwerk (IKW) in einer Braunkohleveredlungsfabrik besteht aus vier Dampferzeugern zur Erzeugung von Elektroenergie und Prozessdampf. Die Dampferzeugung erfolgt mit rekonstruierten Hochdruckdampfkesseln. Die Wärme-Kraftkopplung wird in zwei Entnahme-Gegendruck-Dampfturbinen umgesetzt. Der übrige Dampf wird der Abdampfkondensationsturbine zugeführt. Die dabei erzeugte Elektroenergie wird

z. T. in den Betriebsbereichen verbraucht. Für die Verfeuerung der extrahierten Trockenbraunkohle wird eine Ventilatormühlenfeuerung mit Rauchgasinertisierung genutzt, die als NO_x -arme Frontfeuerung ausgeführt ist. Je Kessel werden zwei Mühlen eingesetzt. Die Kessel sind zusätzlich mit Ölzündfeuerungen ausgerüstet.

In einem Industriekraftwerk (IKW) der Zuckerindustrie werden zur Erzeugung von Elektroenergie und Prozessdampf zwei baugleiche Naturumlauf-Dampferezeuger in Flossenwandkonstruktion genutzt. Der Feuerraum dieser Kessel ist allseitig mit Flossenrohrwänden umgeben. Am Ende des Feuerraumes passieren die Rauchgase ein Verdampfergitter, das aus Rohren der Feuerraumrückwand gebildet wird. Über Überhitzerstufen gelangen die Rauchgase zum Speisewasservorwärmer und danach über die Rauchgasentstaubungsanlage und dem Saugzug zum Kamin.

Das Industriekraftwerk mit Wirbelschichtfeuerung basiert auf dem Prinzip der Wärme-Kraft-Kopplung und dient der Erzeugung von Elektroenergie, Prozessdampf und Fernwärme. Das IKW besteht aus einem braunkohlegefeuerten Kraftwerks-Block (KW-Block) und einer Reservekesselanlage mit Ölfeuerung. Für den braunkohlegefeuerten KW-Block kommt als Dampferzeuger ein Naturumlaufkessel ohne Zwischenüberhitzung mit einer Feuerung nach dem Prinzip der zirkulierenden atmosphärischen Wirbelschicht zum Einsatz. Die nachgeschaltete Dampfturbinenanlage besteht aus einer Doppel-Entnahme-Kondensationsturbine.

Die Untersuchungen am Durchbrandofen erfolgten an der Kleinf Feuerungsemissionsversuchsanlage (KEVA) des Lan-

desamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, die schon in [7] beschrieben worden ist. Ziel eines Untersuchungsprogramms war die Ermittlung von Emissionsfaktoren relevanter Schadstoffe bei Verbrennung verschiedener Braunkohlebrikettsorten in einem Durchbrandofen (Typ 812 OGH/N, OHRA, 6 kW). Die Ergebnisse sind in [8] dokumentiert. Bei einzelnen Brikettsorten erfolgten zusätzlich zum Versuchsprogramm im heißen Abgas unmittelbar hinter dem Ofen fraktionierte Staubmessungen. Um den Einfluss der Rauchgasabkühlung auf dem Weg zur Schornsteinmündung auf die Korngrößenverteilung des Staubes zu untersuchen, wurde eine Abkühlstrecke in die KEVA integriert und zeitgleich vor und nach Abkühlung fraktionierte Staubmessungen vorgenommen (s. Abb. 1).

Die Ermittlungen am Durchbrandofen unterschieden sich von denen an den untersuchten industriellen Anlagen darin, dass im Verlauf des Kohleabbrandes veränderliche Abgasrandbedingungen und Emissionen vorliegen. Auf Grund der relativ hohen Staubkonzentrationen konnte nur ein Zeitabschnitt des gesamten Abbrandzyklusses für die Probenahme genutzt werden. Die Probenahmen für die fraktionierten Staubmessungen erfolgten aus diesem Grund im Zeitraum der maximalen Staubemission im ersten Drittel des Abbrandzyklusses (nach der 1. Brennstoffzugabe ca. 1 h bei mittlerer Abgasgeschwindigkeit). Um die Vergleichbarkeit bei weiteren Untersuchungen mit anderen Kohlsorten zu gewährleisten, wurde beim Betrieb des Durchbrandofens im Versuchszeitraum besonderer Wert auf ein gleichmäßiges Beschickungs- und Betriebsregime für alle Abbrandzyklen gelegt. Grundlage hierfür waren Herstellerangaben.

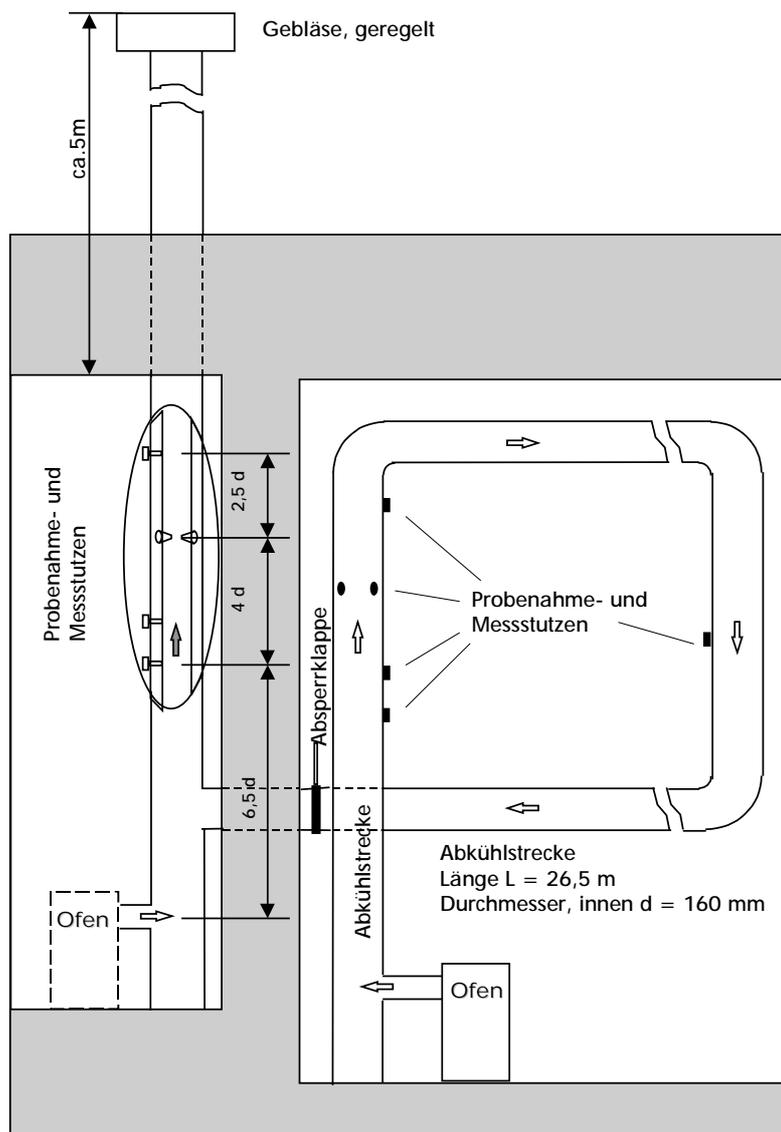


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kleinf Feuerungsemissionsversuchsanlage (KEVA)

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Partikelgrößenverteilungen der Emissionsstäube

In den nachfolgenden Abbildungen 2 und 3 sind die im Reingas ermittelten Partikelgrößenverteilungen des Staubes

im Körnungsnetz nach Rosin-Rammler-Sperling-Bennett (RRSB) bei Verbund- bzw. Direktbetrieb an einem Drehrohr-ofen (DRO) der Zementindustrie dargestellt.

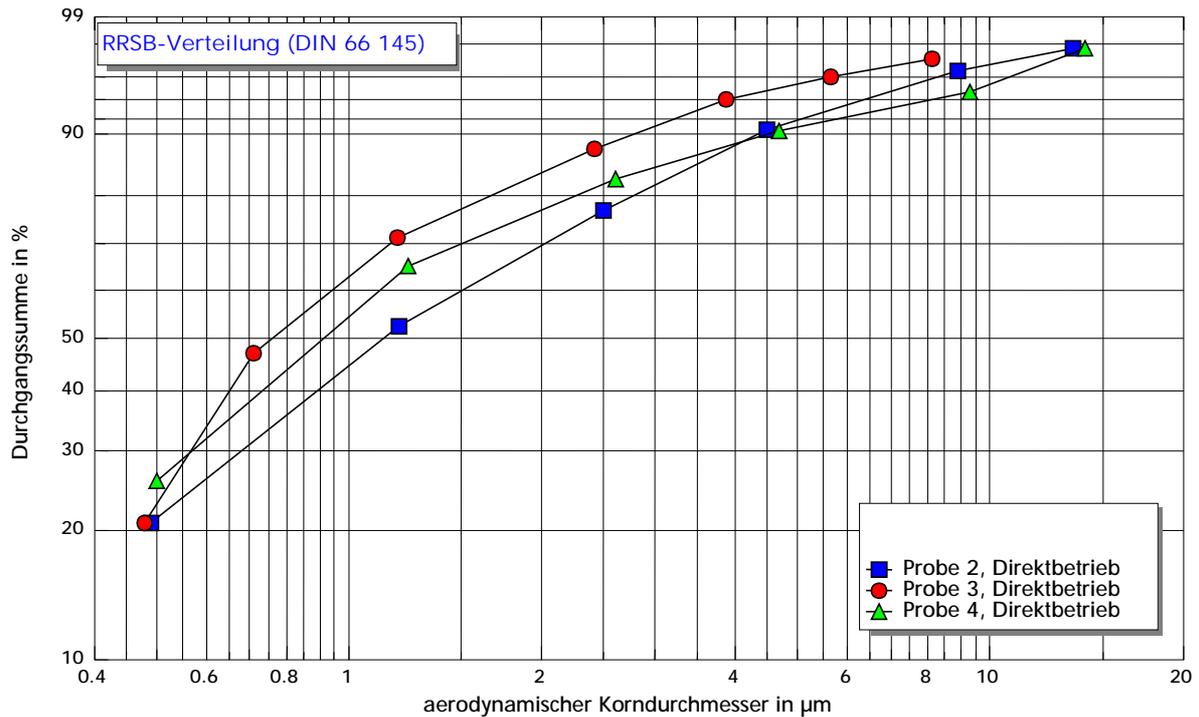


Abbildung 2: Drehrohrofen (DRO) im Direktbetrieb

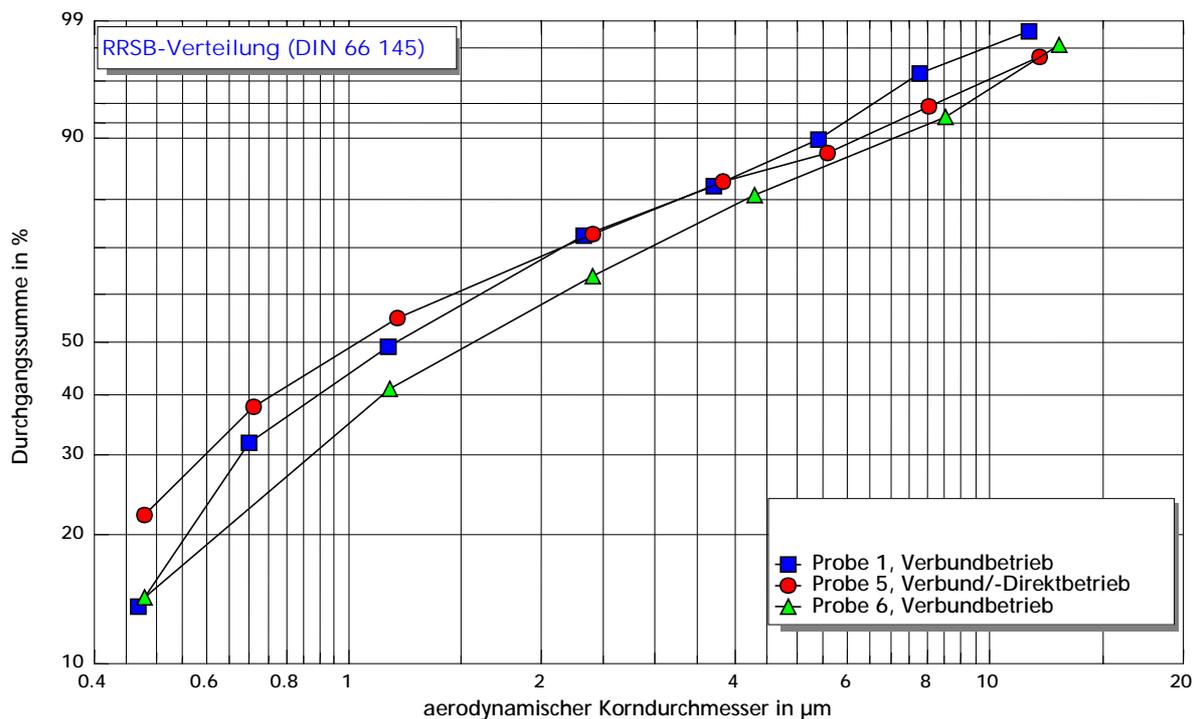


Abbildung 3: Drehrohrofen (DRO) im Verbundbetrieb

Der hohe bis sehr hohe Feinstaubanteil ist deutlich sichtbar. Die PM_{10} -Anteile am Gesamtstaub betragen 95 % bis 98 % (vgl. auch Tabelle 2). Es zeigte sich, dass die Partikelgrößenverteilungen im Verbundbetrieb etwas gröber als die des

Direktbetriebes waren. Das trifft besonders auf die sehr feinen Korngrößenbereiche $PM_{2,5}$ und $PM_{1,0}$ zu. Detaillierte Auswertungen und Originaldaten sind im Anhang, Anlage 1 zu finden.

Die Ergebnisse der Messungen M1 und M2 an der untersuchten Rostkühleranlage der Zementindustrie (Abb. 4 und Anlage 2) zeigen im Vergleich zum Drehrohrofen trotz geringerer Gesamtstaubkonzentrationen wesentlich größere Partikelgrößenverteilungen. Nach Auskunft des Betreibers bzw. des Forschungsinstitutes der Zementindustrie Düsseldorf [14] könnte die Ursache hierfür sein, dass der im Rostkühler für die Entstaubung verwendete Gewebefilter durch den Klinkerstaub einem hohen Verschleiß unterliegt. Poröse Stellen im Filtermedium könnten dazu führen, dass auch größere Partikel den Filter passieren. Da die Rohgasstaubkonzentrationen am Klinkerkühler in der Regel relativ gering sind, müssen jedoch Defekte in einem Filterschlauch nicht unbedingt zu hohen Emissionskonzentrationen führen. Aus der Literatur

[16] ist weiterhin bekannt, dass es speziell bei Gewebefiltern in Abhängigkeit von den Staubeigenschaften durch Wechselwirkung der Teilchen beim Durchtritt durch den Filterkuchen zu Agglomerationserscheinungen im Reingas und damit zu vergrößerten Partikelgrößenverteilungen kommen kann. Durch Wiederholungsmessungen nach einem halben Jahr (Messung M2) konnten die zunächst unerwarteten Ergebnisse bestätigt werden. Die erneuten Messungen an der gleichen Anlage zeigten auch eine weitere Vergrößerung der Partikelgrößenverteilung. So veränderte sich der mittlere PM_{10} -Anteil von 45 % auf 22 %, allerdings erhöhte sich in der Zwischenzeit auch der Gesamtstaubgehalt von $3,4 \text{ mg/m}^3$ auf $21,1 \text{ mg/m}^3$ im Abgas.

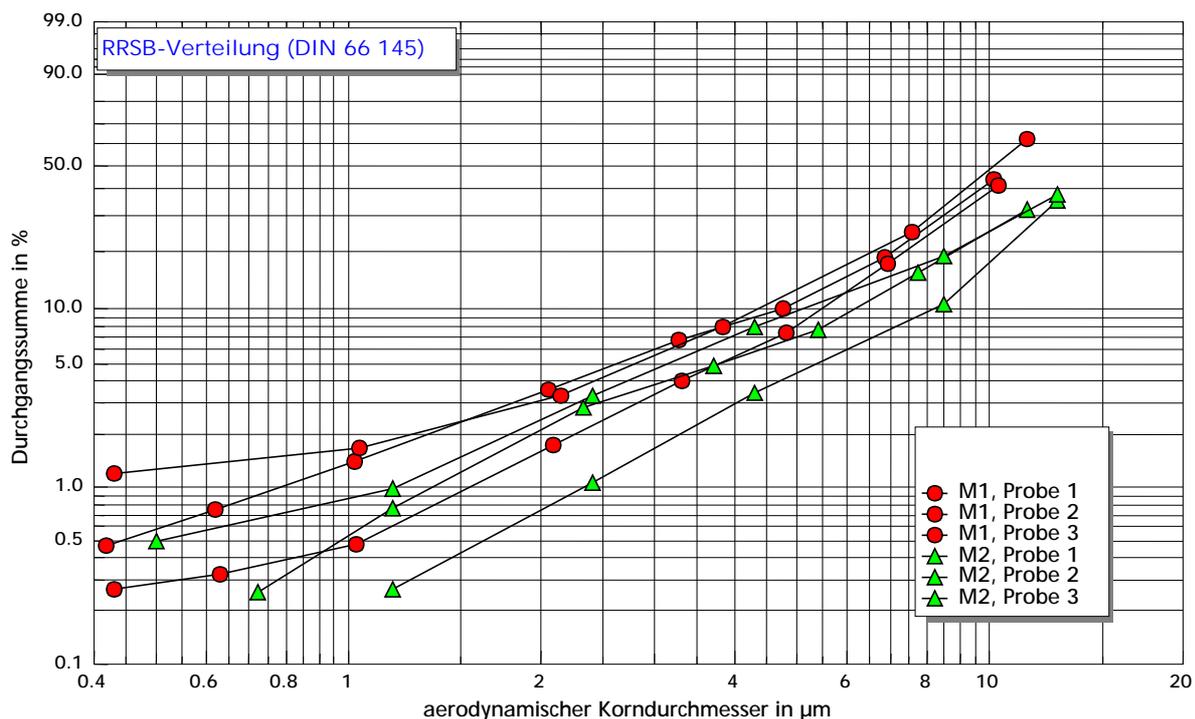


Abbildung 4: Rostkühler (Messung M1 und Messung M2)

Die ermittelten Partikelgrößenverteilungen an der untersuchten Konverteranlage in der Sekundärkupferindustrie (s. Abbildung 5 und Tabelle 2, sowie Anlage 3) besitzen eine geringe Streubreite und

weisen ebenfalls einen sehr hohen Feinstaubanteil mit PM_{10} -Anteilen am Gesamtstaub von 95 % bis 97 % aus.

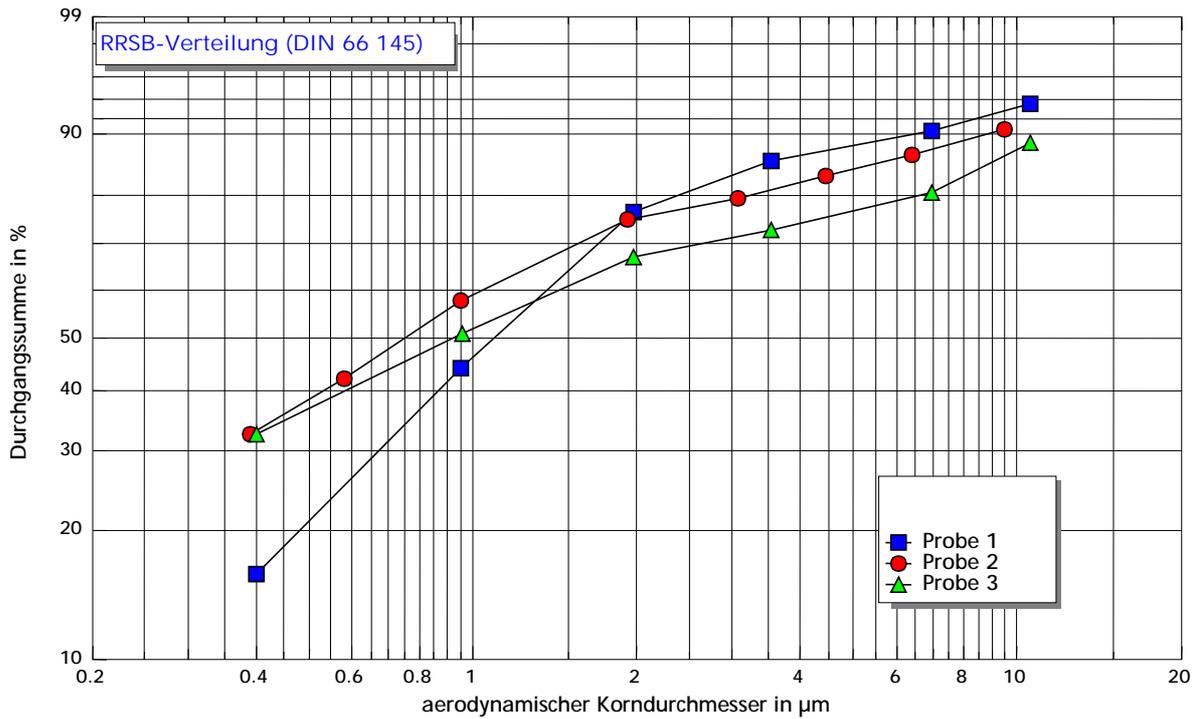


Abbildung 5: Konverter in der Sekundärkupferindustrie

Die Untersuchungen der Partikelgrößenverteilungen im Reingas einer modernen Großfeuerungsanlage auf Braunkohlebasis nach Entstaubung und Entschwefelung

ergaben hohe Feinstaubanteile mit PM_{10} -Anteilen am Gesamtstaub von 88 % bis 93 % (Abb. 6 und Anlage 4).

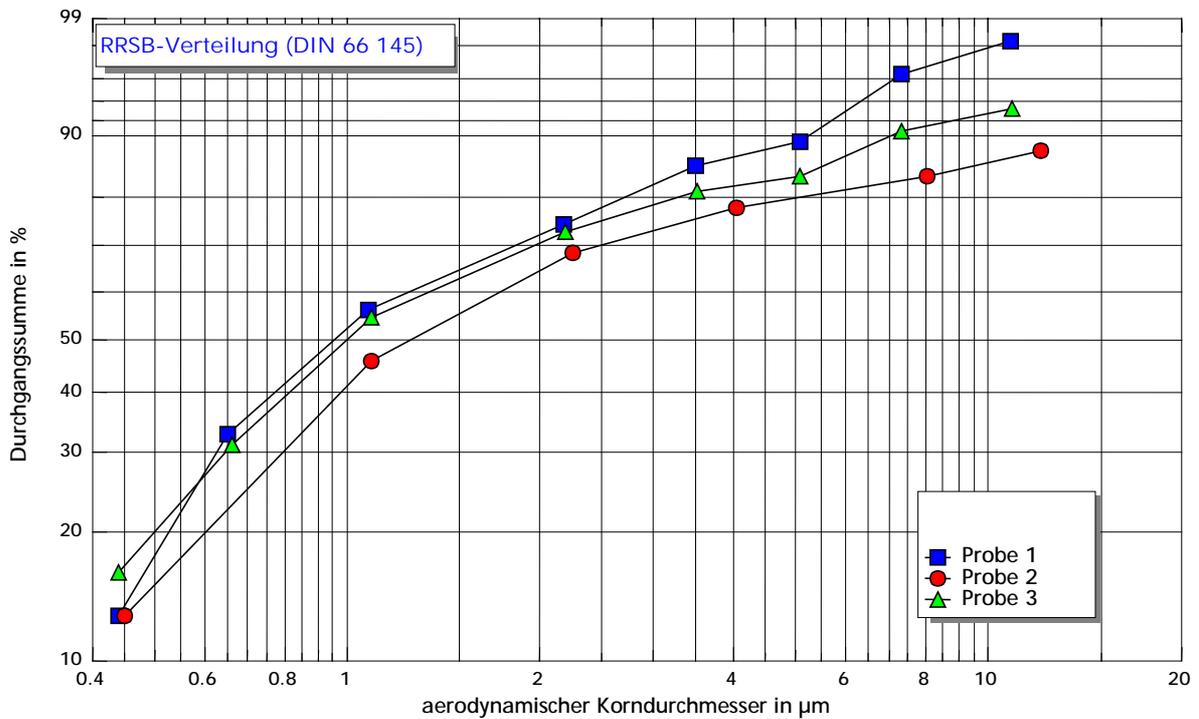


Abbildung 6: Industriekraftwerk in der Braunkohleveredelungsindustrie

Die Ergebnisse von Untersuchungen an einer Großfeuerungsanlage auf der Basis von Braunkohlenbriketts in der Zuckerindustrie (Abb. 7 und Anlage 5) liegen in einem vergleichbaren Bereich (PM_{10} -

Anteil am Gesamtstaub: 86 % bis 98 %). Eine etwas breitere Verteilung mit deutlich geringerem $PM_{1,0}$ -Anteil wurde bei Untersuchungen an einer Wirbelschichtfeuerung gefunden (Abb. 7a u Anlage 6).

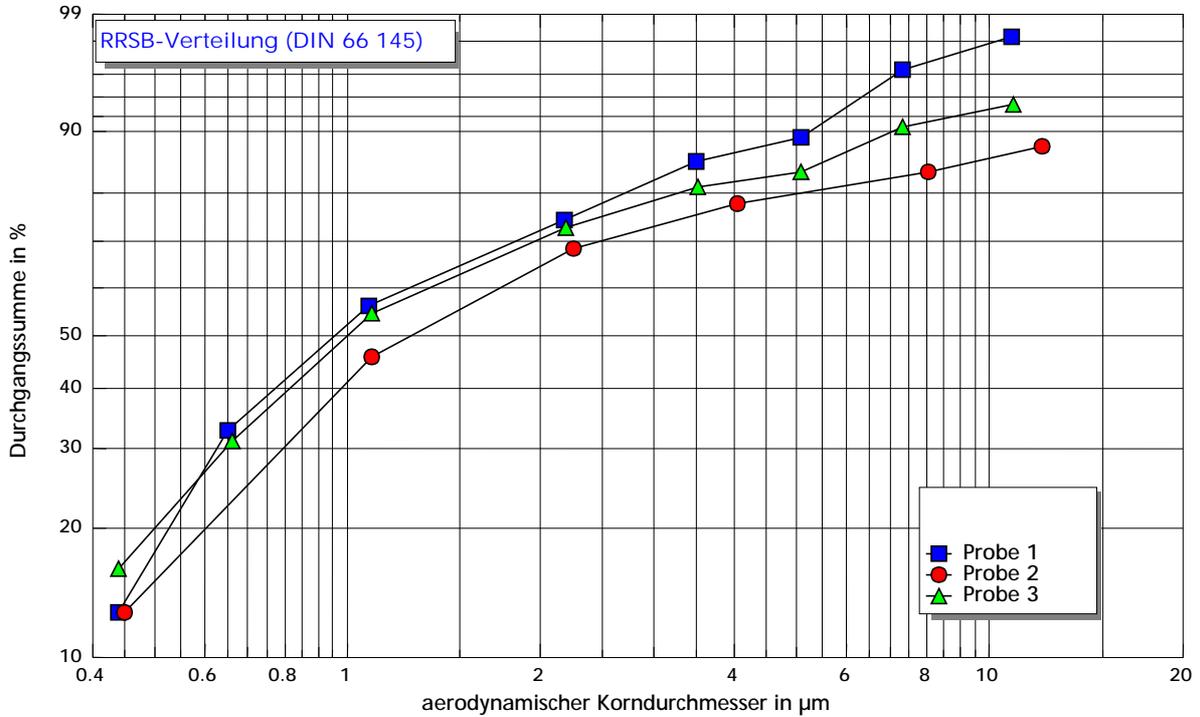


Abbildung 7: Industriekraftwerk in der Zuckerindustrie

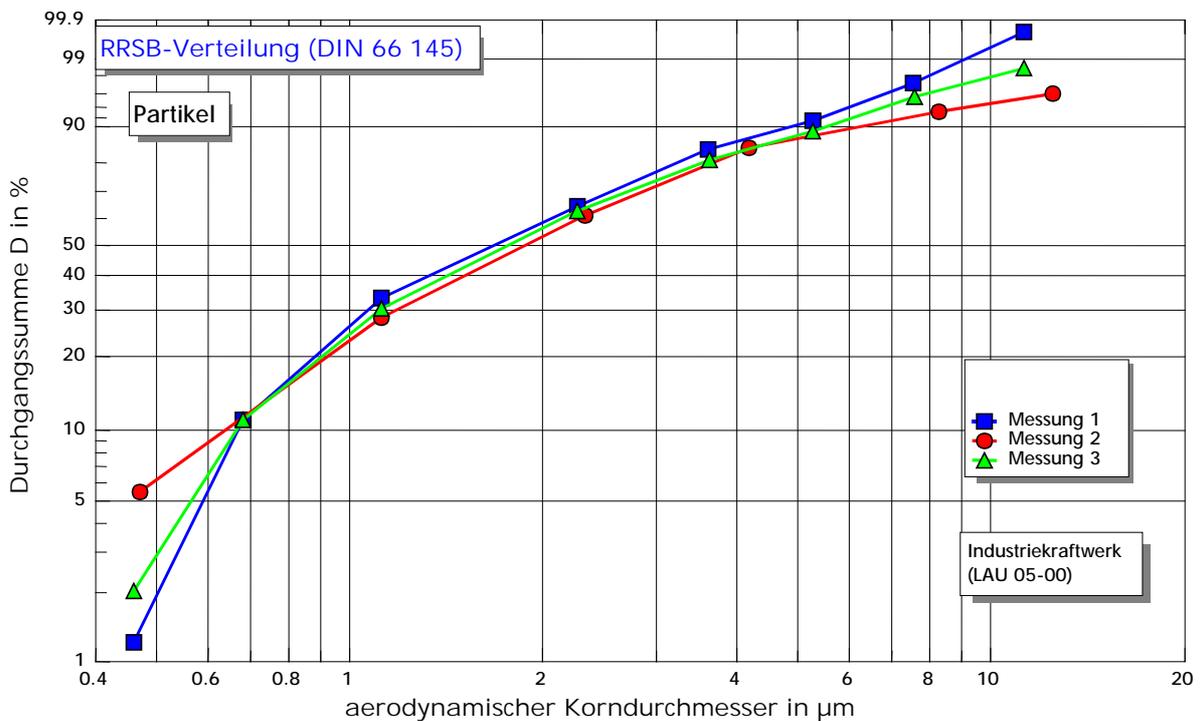


Abbildung 7 a: Industriekraftwerk, Wirbelschicht

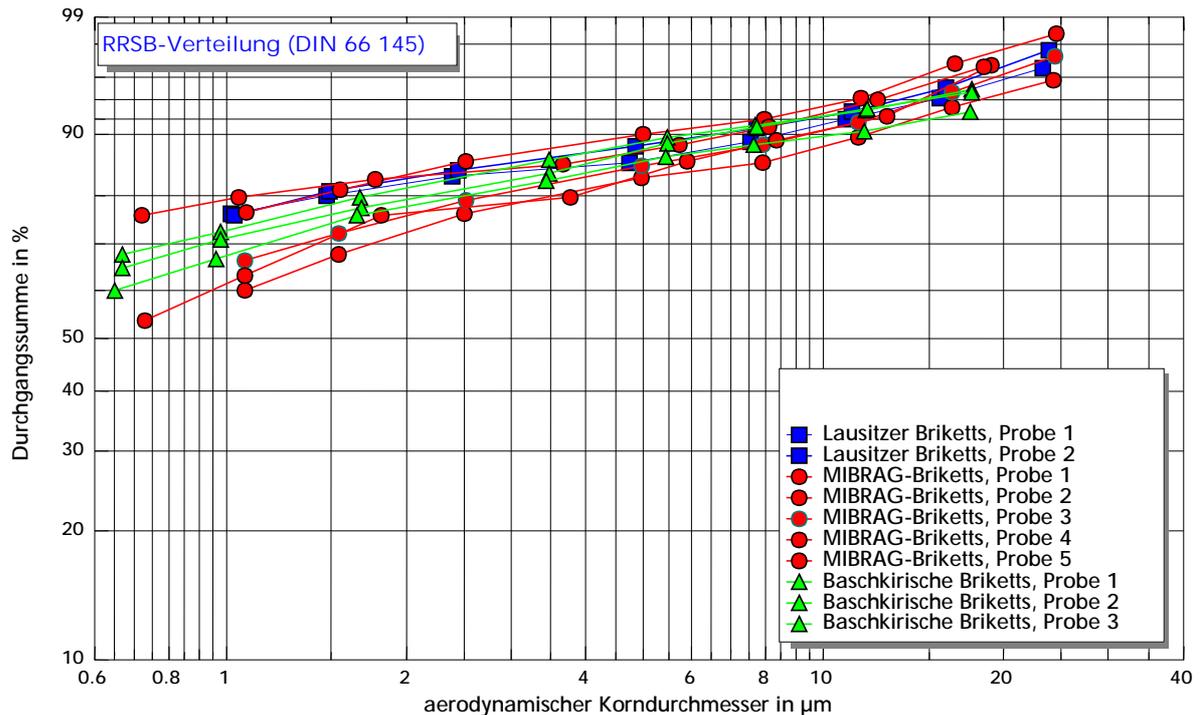


Abbildung 8: KEVA-Durchbrandofen (vor Abkühlung), Lausitzer, MIBRAG und Baschkirische Briketts

Der Anteil von Kohlefeuerungen in Haushalten und bei Kleinverbrauchern ist zwar in den letzten Jahren sehr stark zurückgegangen (1994: 36 % des Endenergieverbrauches, z. Z. etwa 15 - 20 %), dennoch kann diese Emittentengruppe in den Wintermonaten bei austauscharmen Wetterlagen auch auf Grund der geringen Quellhöhen noch einen merklichen Beitrag zur PM_{10} -Immissionsbelastung leisten. Insofern ist es wichtig, die Partikelgrößenverteilungen dieser Emissionsquellen zu kennen.

In Abbildung 8 (und Anlage 7) sind die ermittelten Partikelgrößenverteilungen im Abgas (vor der Abkühlung) des Durchbrandofens bei Verfeuerung von verschiedenen gebräuchlichen Brikettsorten (MIBRAG-Briketts, Lausitzer Briketts, Baschkirische Briketts, Polnische Briketts) dargestellt.

Weiterführende Untersuchungen zur Fragestellung, ob Veränderungen der Partikelgrößenverteilung im Verlauf der

Rauchgasabkühlung im Abgas des Durchbrandofens stattfinden, wurden wie folgt durchgeführt. Die Rauchgase wurden über eine Abkühlstrecke von 26,5 m Länge (s. Abbildung 1) geleitet und dabei auf 60 °C abgekühlt (worst case). Die Partikelgrößenverteilung wurde vor und nach der Abkühlstrecke zeitparallel gemessen. Erste Ergebnisse sind in Abbildung 9 dargestellt. Es zeigt sich allgemein, dass der Anteil feinerer Partikel etwas abnimmt ($PM_{1,0}$ -Anteil sinkt z. B. von 58 auf 53 % oder von 74 % auf 70 %) während der Anteil etwas größerer Partikel tendenziell zunimmt (z. B. PM_{10} -Anteil von 88 % auf 93 % oder von 91 % auf 93 %). Diese Effekte könnten einerseits durch Agglomerations- und Kondensationsprozesse bzw. andererseits durch Abscheidung sehr großer Partikel (deutlich größer 10 µm) im Abgasweg erklärt werden. Weitere Untersuchungen und Auswertungen zu diesem Problemkreis sind vorgesehen.

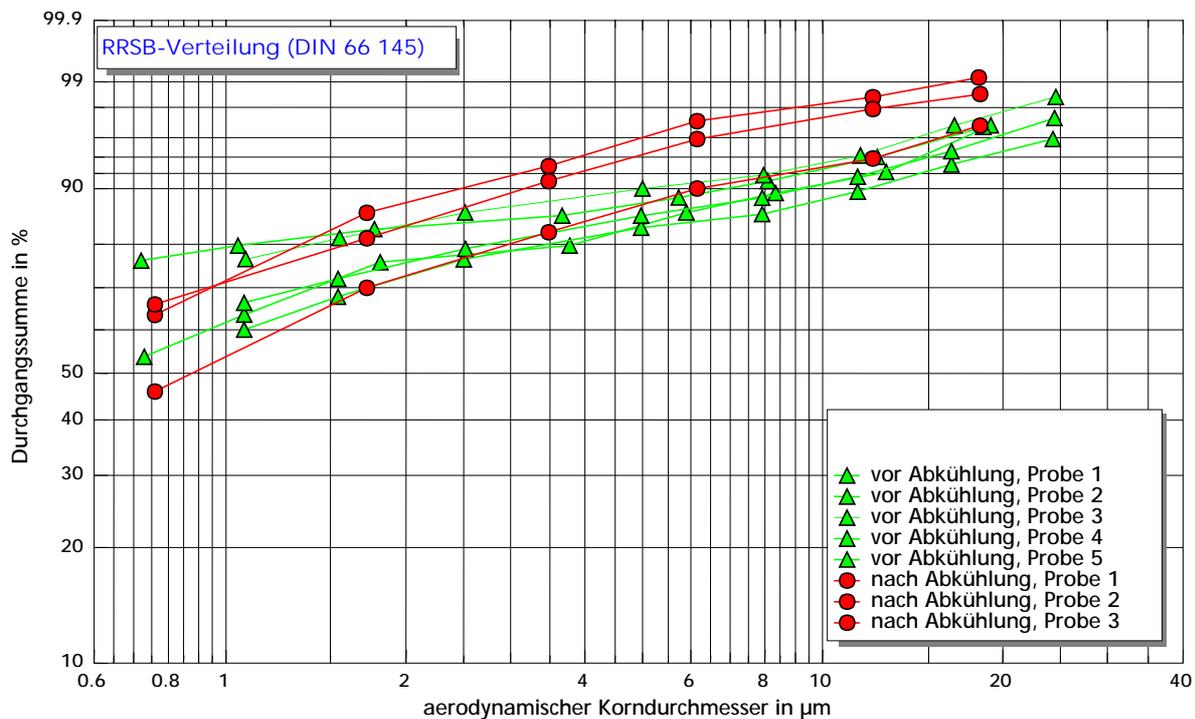


Abbildung 9: KEVA-Durchbrandofen (vor und nach Abkühlung), MIBRAG Braunkohlenbriketts

In Tabelle 2 sind die PM_{10} -, $PM_{2,5}$ - und $PM_{1,0}$ -Emissionsanteile aller untersuchten Industrieanlagen sowie die der Hausbrandfeuerstätten gegenüber gestellt. Mit

Ausnahme der Rost-kühleranlage wurden PM_{10} -Anteile > 85 %, $PM_{2,5}$ -Anteile > 63 % und $PM_{1,0}$ -Anteile > 35 % festgestellt.

Tabelle 2: Durchgangssummen Staub in %

	PM_{10}	$PM_{2,5}$	$PM_{1,0}$
Drehrohrofen (DRO), Zementindustrie, Direktbetrieb	98 - 95	88 - 77	62 - 44
Drehrohrofen (DRO), Zementindustrie, Verbundbetrieb	98 - 95	74 - 65	48 - 35
Rostkühler, Zementindustrie, M1(1998)	48 - 39	4,7 - 2,5	1,7 - 0,5
Rostkühler, Zementindustrie M2 (1999)	26 - 19	3,6 - 1,2	0,9 - 0,2
Konverter, Sekundärkupferindustrie	97 - 95	78 - 76	53 - 48
Industriekraftwerk (IKW), Braunkohleveredlung	93 - 88	80 - 69	59 - 46
Industriekraftwerk (IKW), Zuckerindustrie	98 - 86	77 - 70	52 - 41
Industriekraftwerk (IKW), Wirbelschicht	94 - 99	63 - 68	24 - 27
Kleinf Feuerungsanlage (Durchbrandofen)			
BB ² Baschkirien	92 - 90	83 - 79	73 - 68
BB MIBRAG	98 - 91	95 - 78	85 - 62
BB MIBRAG vor Abkühlung	93 - 88	85 - 77	75 - 58
BB MIBRAG nach Abkühlung	98 - 93	90 - 77	72 - 53
BB Lausitz vor Abkühlung	92 - 91	85 - 84	75 - 74
BB Lausitz nach Abkühlung	95 - 93	88 - 83	84 - 70
BB Polen vor Abkühlung	94 - 93	78 - 76	65 - 62
BB Polen nach Abkühlung	96 - 95	81 - 80	65 - 65

² BB = Braunkohlenbrikett

Die in Abbildung 10 deutlich sichtbare Streubreite der einzelnen Partikelfraktionen ist offenbar anlagen- bzw. prozessabhängig. Die geringsten Streuungen und damit die größte Reproduzierbarkeit der Partikelgrößenverteilung wurde bei der Konverteranlage gefunden, obwohl es sich dort um einen

Chargenprozess handelt. Die größten Streuungen weist dagegen die Partikelgrößenverteilung im Rauchgas des Durchbrandofens bei Verfeuerung von MIBRAG-Briketts auf (Abbildung 11). Abbildung 10 a zeigt die Feinstaubemissionskonzentrationen im Anlagenvergleich.

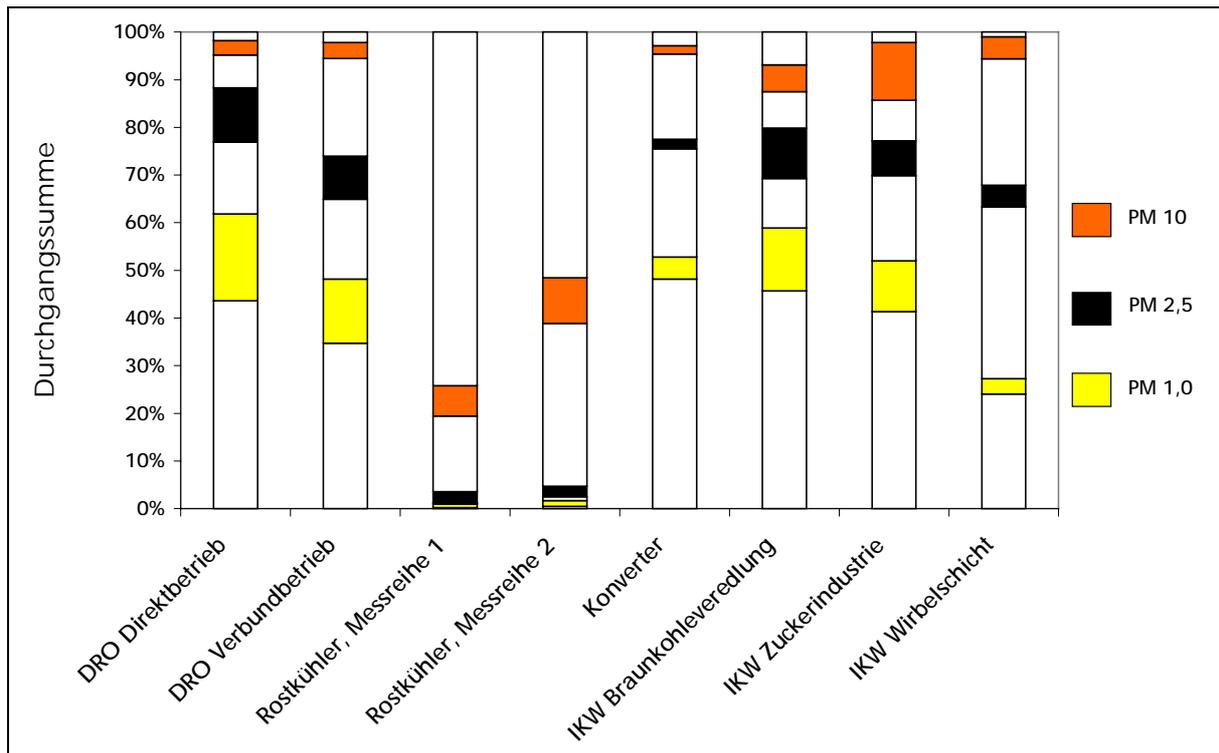


Abbildung 10: Feinstaubemissionen im Vergleich (Industrieanlagen)

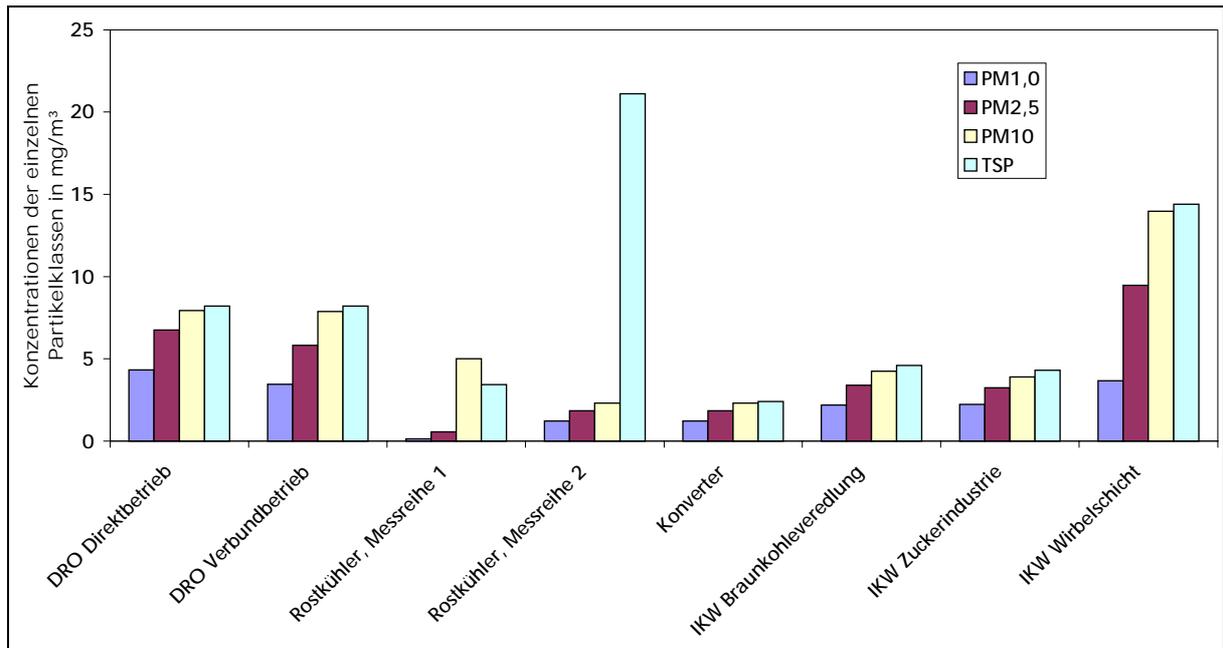


Abbildung 10 a: Feinstaubemissionskonzentrationen im Vergleich (Industrieanlagen)

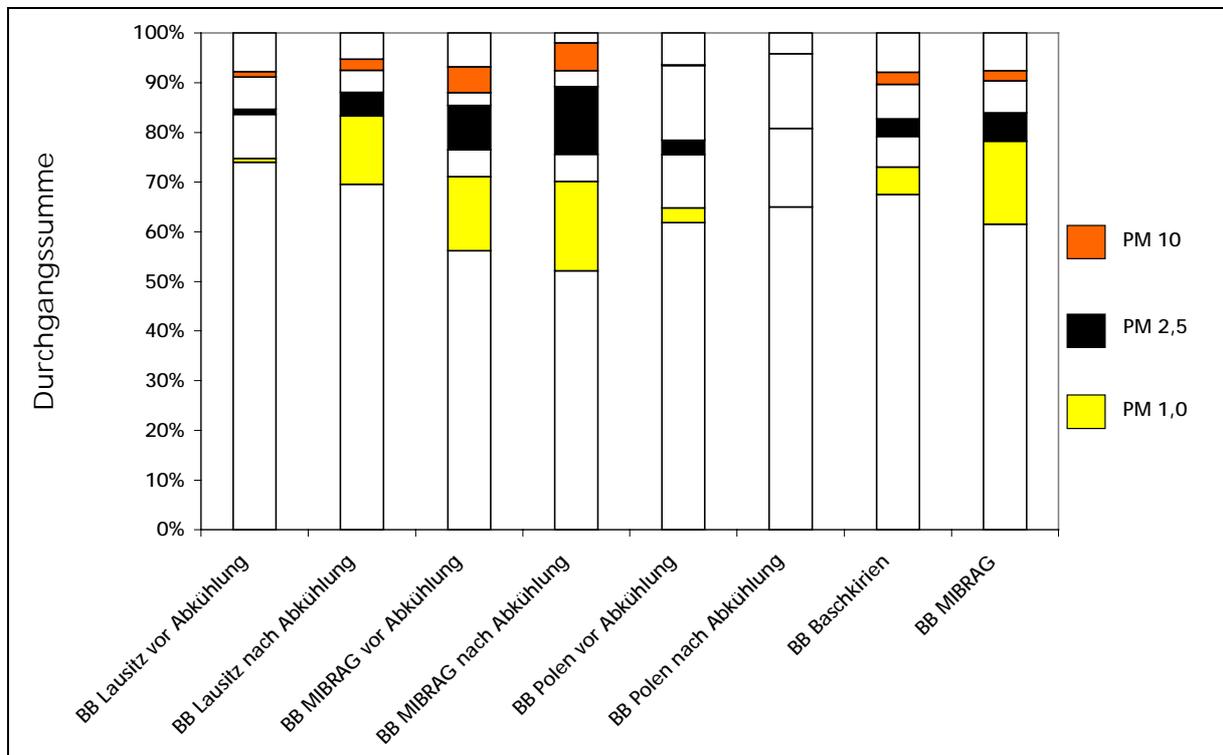


Abbildung 11: Feinstaubemissionen im Vergleich (Durchbrandöfen)

4.2 Verteilungen von Staubinhaltsstoffen auf die Partikelfractionen

In der Diskussion über die Wirkungsmechanismen von Feinststäuben spielen die Staubinhaltsstoffe immer eine besondere Rolle, da sich die partikelförmigen Luftverunreinigungen nicht wie ein homogener Stoff verhalten, sondern sie sind sowohl in physikalischer als auch chemischer Hinsicht sehr viel komplizierter. Deshalb ist Staub auch nicht gleich Staub, sondern die gesundheitliche Wir-

kung der Staubpartikel ist auch von der Herkunft des Staubes abhängig. Die Analyse der Verteilungen der Staubinhaltsstoffe in den untersuchten Feinstaubfraktionen ergibt ein differenziertes Bild. Bei einer Reihe von Verteilungen der untersuchten Anlagen zeigt sich ein in einem gewissen Schwankungsbereich weitgehend ähnlicher Verlauf der Durchgangssummenverteilungen für die Partikelmassen und für die Massenanteile der Inhaltsstoffe z. B. für die Untersuchungen am Konverter (Abb. 12).

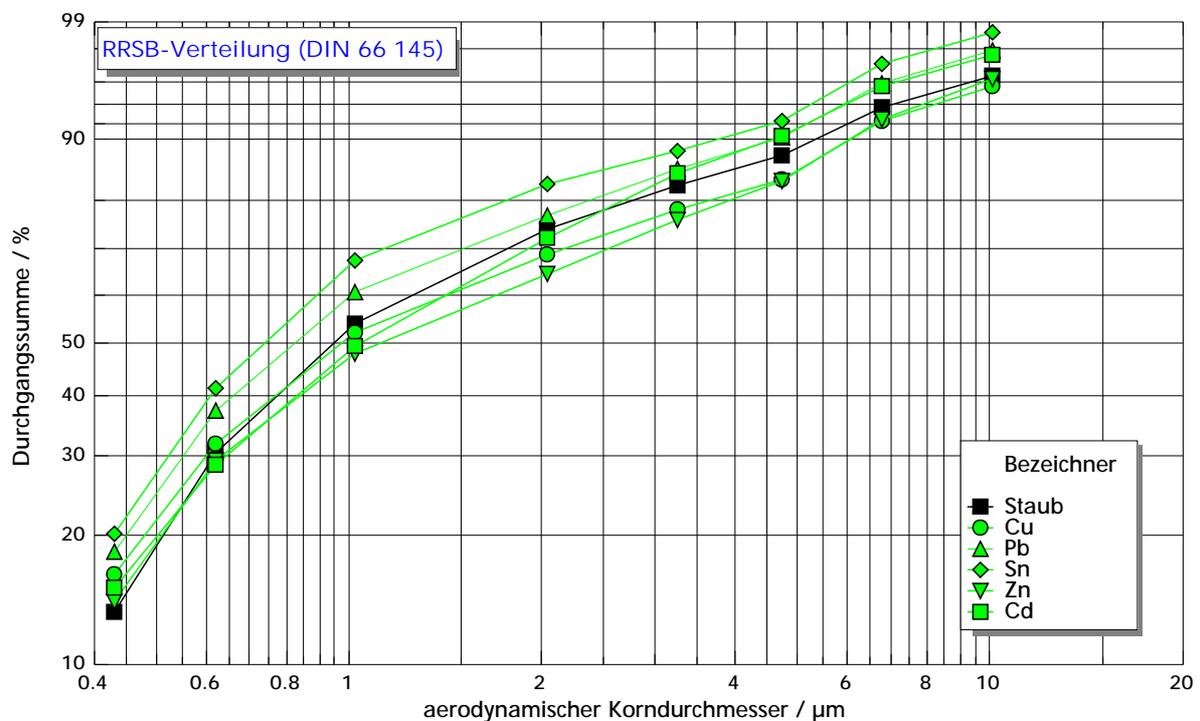


Abbildung 12: Konverter, Verteilungen von Staub und Staubinhaltsstoffen

Deutlich anders dagegen ist die Verteilung der Staubinhaltsstoffe auf die Partikelfractionen im Vergleich zur Verteilung des Staubes beim untersuchten Rostkühler (Abb. 13). Letztere Ergebnisse konn-

ten auch bei Wiederholungsmessungen nach einem halben Jahr (Messung M2) bei deutlich höheren Gesamtstaubgehalten bestätigt werden.

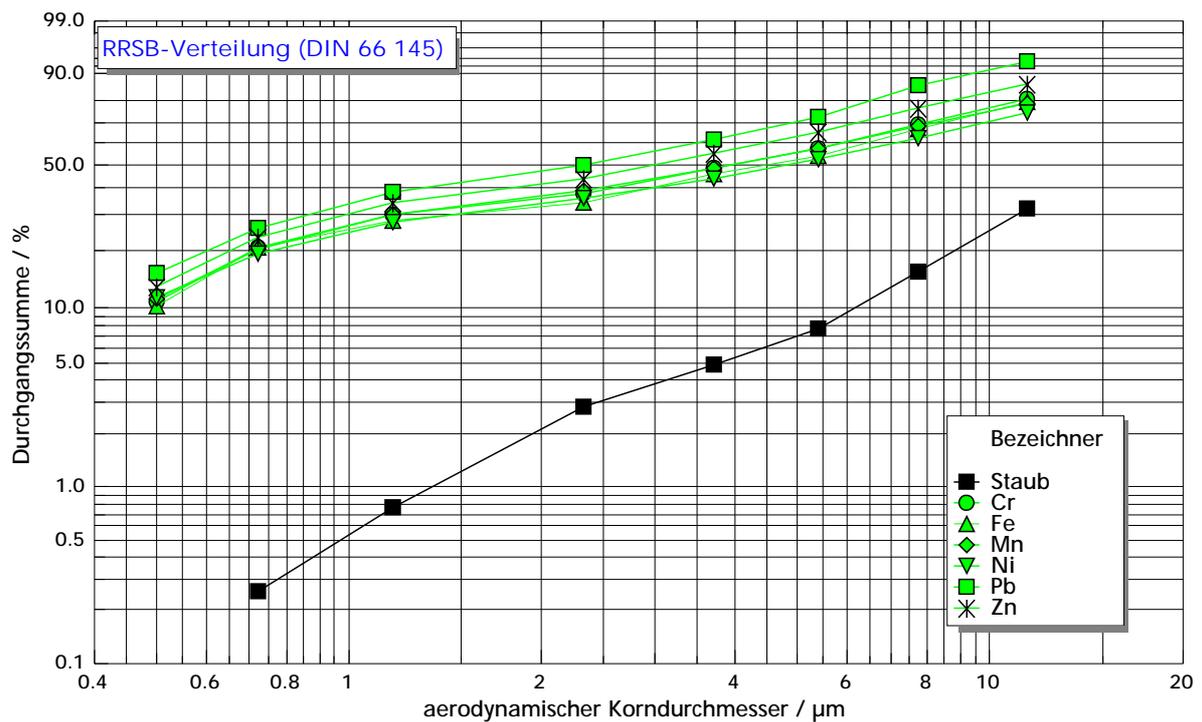
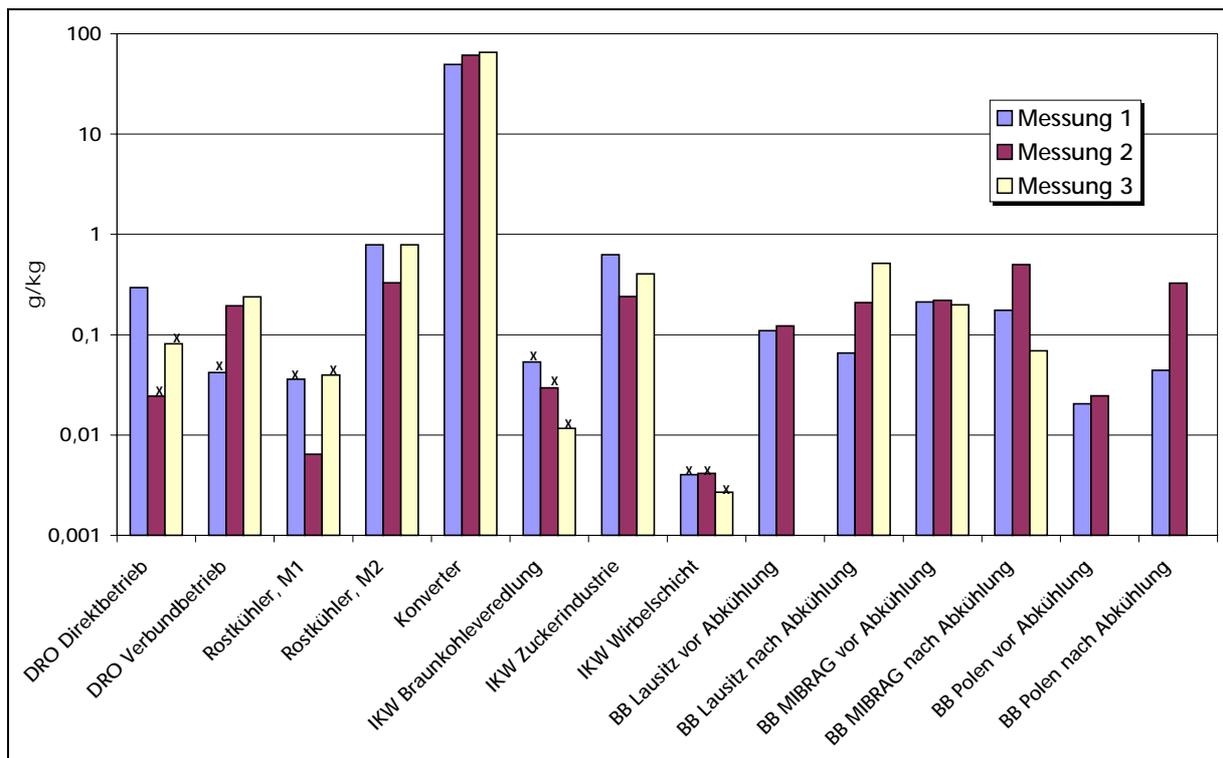


Abbildung 13: Rostkühler, Verteilungen von Staub und Staubinhaltsstoffen

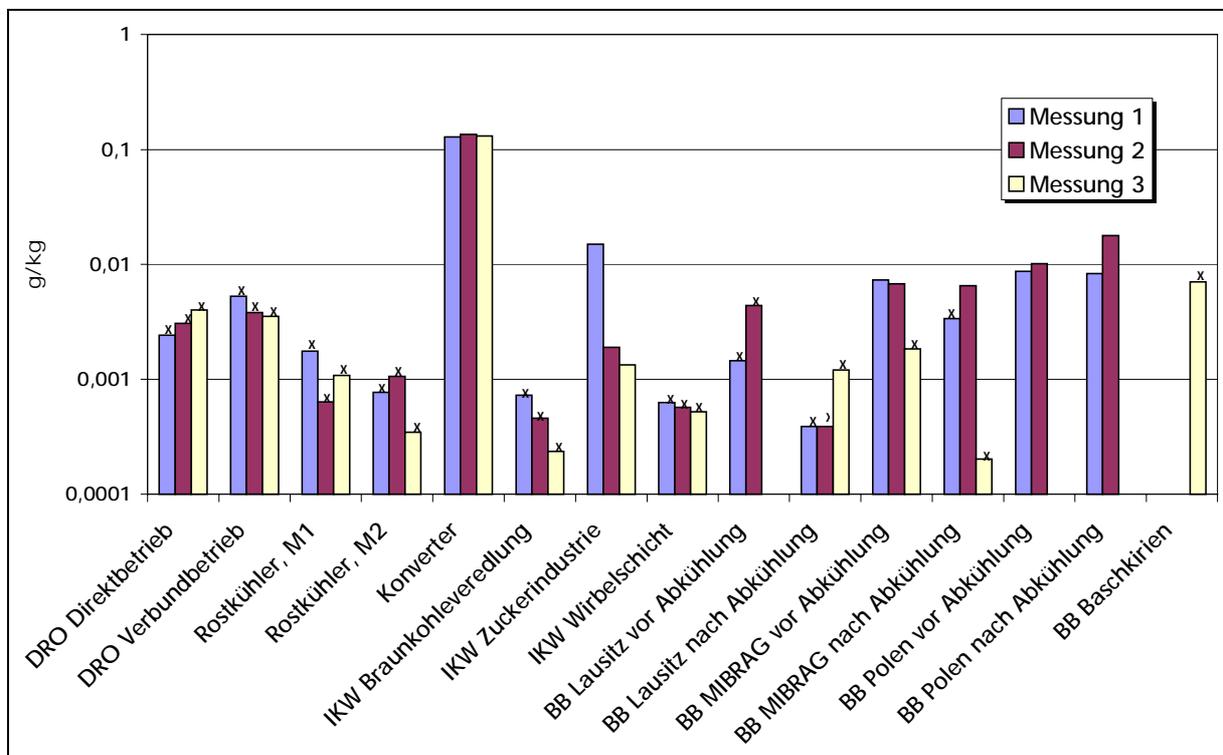
In einer weiteren Auswertung wurden die Staubinhaltsstoffanteile im Feinstaub (PM_{10}) verschiedener Anlagen miteinander verglichen und gegenübergestellt. Dabei zeigen sich erwartungsgemäß für die untersuchte Anlage im Bereich der Sekundärkupferindustrie deutlich erhöhte

Metallanteile (z. B. Blei und Cadmium) im Feinstaub, die bis in den Prozentbereich hineinragen (Abb. 14 und 15). Ebenso wurden erhöhte Anteile von Eisen in der Feinstaubfraktion ($< 10 \mu\text{m}$) bei den Anlagen der Zementindustrie gefunden.



x: in mehr als 3 Fraktionen Pb-Anteil < Nachweisgrenze

Abbildung 14: Bleianteil im emittierten PM₁₀-Staub



x: in mehr als 3 Fraktionen Cd-Anteil < Nachweisgrenze

Abbildung 15: Cadmiumanteil im emittierten PM₁₀-Staub

Werden die Massenanteile der Staubinhaltsstoffe auf die Masse der Partikel für jede untersuchte Impaktorstufe bezogen, wird für den Rostkühler eine beträchtliche Anreicherung der Metalle in den feineren Partikelfractionen sichtbar (Abb. 16, vgl. auch [16]). Für die anderen bisher untersuchten Anlagen konnte dieser Anreicherungseffekt jedoch nicht in die-

sem Maße nachgewiesen werden. Im Gegenteil zeigten sich auch zumindest in der Tendenz umgekehrte Verhältnisse (z. B. bei den untersuchten Feuerungsanlagen) bzw. eine weitgehende Gleichverteilung der Staubinhaltsstoffanteile auf die einzelnen Impaktorstufen und damit auf die Partikelgrößenbereiche.

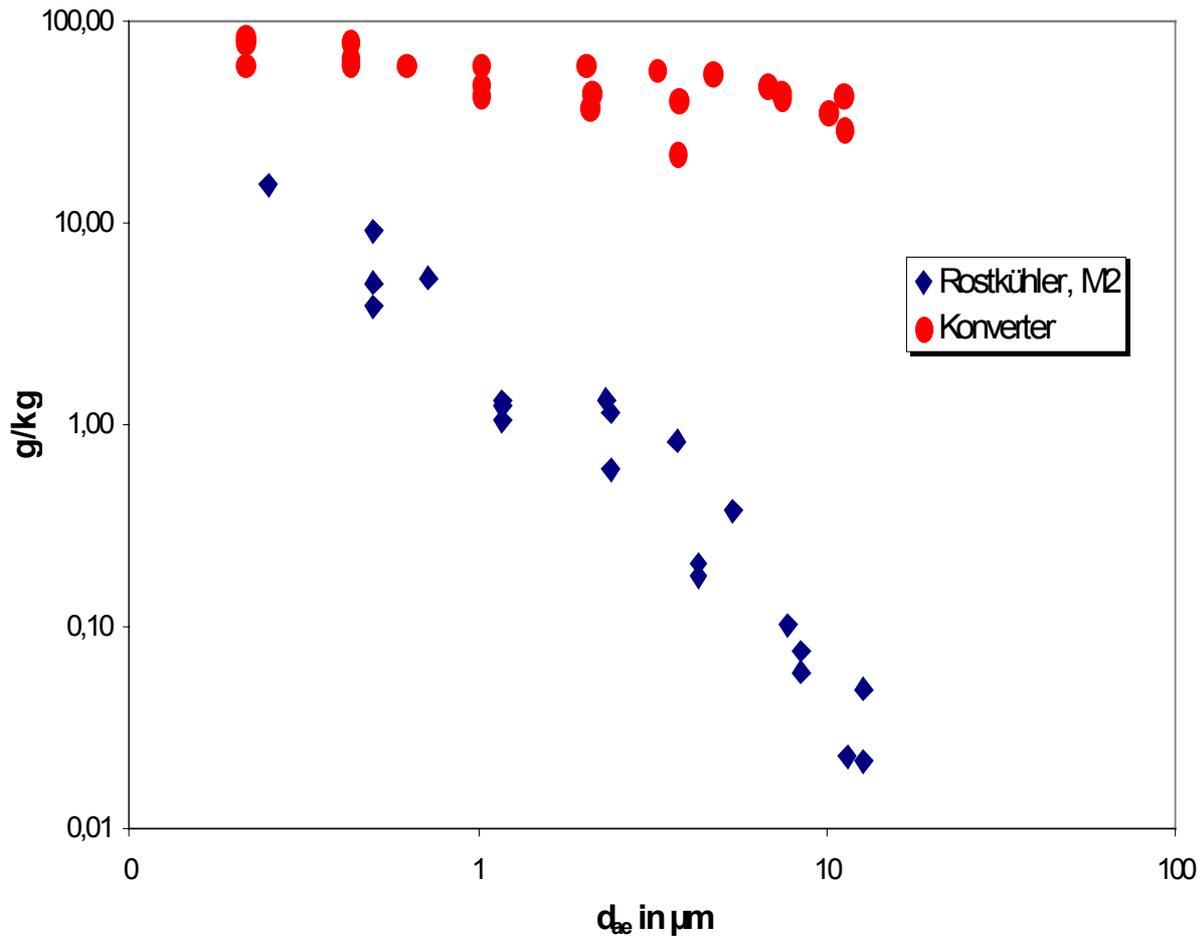


Abbildung 16: Bleianteile in den feinen Partikelfractionen (Rostkühler und Konverter)

In der wissenschaftlichen Diskussion um die gesundheitlichen Wirkungen von feinen und ultrafeinen Partikeln spielt auch der Rußanteil bzw. der Anteil an elementarem Kohlenstoff (EC) eine wichtige Rolle [19]. Erste Untersuchungen in dieser Richtung ergaben einen generell sehr

hohen Anteil von elementarem Kohlenstoff in den Partikeln des Rauchgases aus kohlegefeuerten Haushaltsöfen. Auch hier wurde eine Tendenz zu höheren EC-Anteilen bei den feineren Partikeln beobachtet (Abb.17).

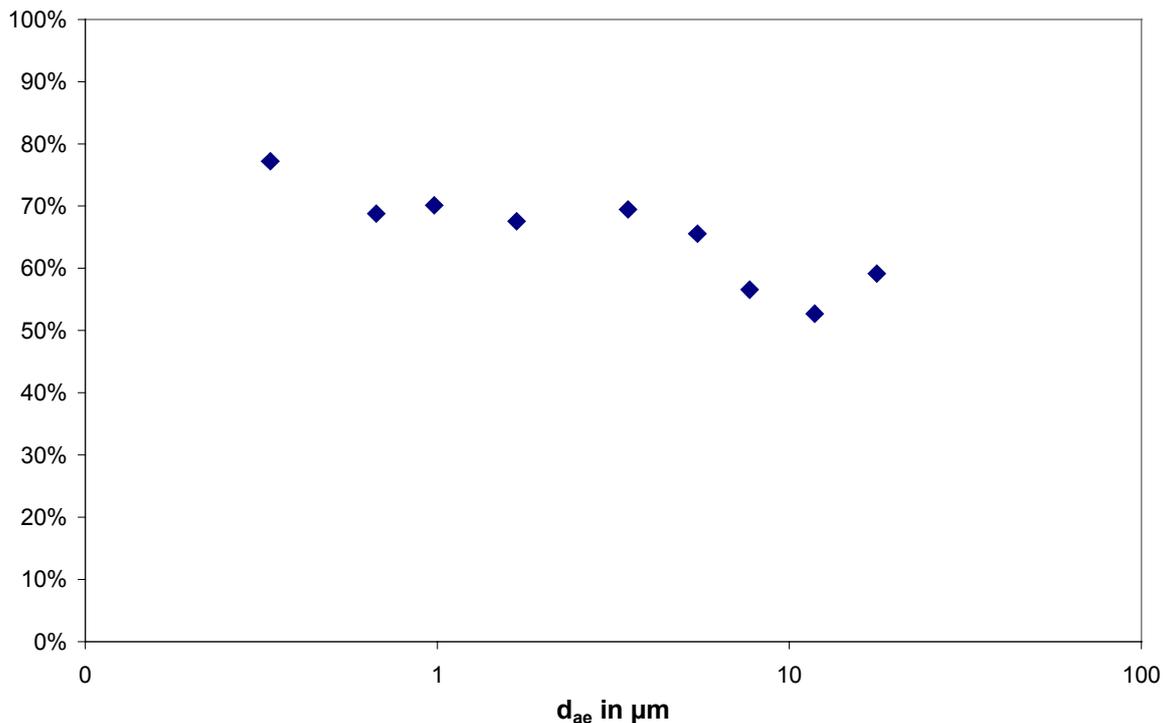


Abbildung 17: KEVA-Durchbrandöfen, EC-Massenanteile in den feinen Partikelfractionen (Baschkirische Briketts)

5 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen der Korngrößenverteilungen der emittierten Partikel aus Industrieanlagen und Hausbrandfeuerstätten zeigten in den meisten Fällen einen PM_{10} -Staubanteil von mehr als 90 %.

Die emittierten Partikel der kohlegefeuerten Haushaltsöfen zeigten auch bei Einsatz verschiedener Brennstoffe eine sehr feine Partikelgrößenverteilung. Hier ist selbst der Anteil von $\text{PM}_{1,0}$ meist größer als 60 %.

Im Ergebnis der Untersuchungen konnte auch festgestellt werden, dass sich die Partikelgrößenverteilungen in Abhängigkeit von der Standzeit bzw. vom Wartungsintervall (z. B. bei Schlauchfiltern in der Rostkühleranlage) verändern können.

Dass die Partikelgrößenverteilungen im Reingas durch veränderte Rohgaspartikelverteilungen beeinflusst werden können, belegen die Ergebnisse der Messungen bei Direkt- und Verbundbetrieb des Zementdrehrohrofens. Bei Experimenten mit Kühlung und Verdünnung des Rauchgases von kohlegefeuerten

Hausbrandöfen konnte eine Veränderung der Korngrößenverteilung durch Kondensation / Sublimation und Agglomeration nachgewiesen werden.

Die Untersuchung der Verteilung von Staubinhaltsstoffen auf die Kornfraktionen ergab in einigen Fällen eine Anreicherung von Schwermetallen in den feinsten Partikelfractionen.

6 Zusammenfassung

Die Emissionsuntersuchungen erfolgten an Industrieanlagen (Zementindustrie, Buntmetallurgie und Industriekraftwerke) und an einer Hausbrandfeuerstätte (Kleinf Feuerungsversuchsanlage) mit einem 8- bzw. 6-stufigen Kaskadenimpaktor.

Die Ergebnisse weisen Feinstaubemissionen meist größer als 90 % auf, allerdings differenziert nach Anlagenart und bei der Kleinf Feuerungsanlage in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff.

Untersuchungen zur Verteilung von Staubinhaltsstoffen auf die einzelnen Fraktionen ergeben in einigen Fällen Anreicherungen von Schwermetallen im Feinststaub.

Danksagung

Der Dank der Autoren gilt allen an den Untersuchungen beteiligten Mitarbeitern des LAU. Dies betrifft insbesondere die Herren Pohle, Maiwald, Lux, Reifert im Bereich „Emissions- und Immissions-

überwachung“ für die Durchführung der Probenahmen und für die Auswertungen sowie die Herren Dr. Schumann, Dr. Jacob, Dr. Bärwald, Frau Lange und Frau Voigt im Bereich „Analytik Luft“ für die analytischen Untersuchungen der Emissionsproben.

Literaturverzeichnis

- [1] EPA: Air Quality Criteria for Particulate Matter. National Center for Environmental Assessment. Office of Research and Development. US Environmental Protection Agency. Report No. EPA /600/P-95/001aF-cF, 1996
- [2] The APHEA project. Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time series data. J. Epidemiol. Commun. Health 50 (1996). Suppl.1.
- [3] Schwebstaubbelastung in Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg und UMEG, Karlsruhe, 1998
- [4] WHO (World Health Organisation): Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition (im Druck)
- [5] Bruckmann, Peter: Die neuen Richtlinien der Europäischen Union zur Luftqualität, Zeitschrift Immissionsschutz, Berlin, 3 (1998) S. 100 –108
- [6] Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft, ABl. Nr. L163 v. 29.06.1999, S. 41
- [7] Ehrlich, Ch., Kalkoff, W.-D.: Eine Kleinf Feuerungsemissionsversuchsanlage (KEVA) zur Ermittlung von Emissionsfaktoren für Kohlefeuerungen in Haushalten. In: Aktuelle Aufgaben der Messtechnik in der Luftreinhaltung, Tagung Heidelberg, 3. bis 5. Juni 1996, VDI- Verlag Düsseldorf, VDI-Berichte: Nr. 1257, S. 535-550
- [8] Untersuchungen zur Emission von Luftschadstoffen aus Hausbrandfeuerstätten beim Einsatz von Braunkohlenbriketts, Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft 5/1998
- [9] Protokolle zu den Fachgesprächen am 27.01.98 und 22.07.98 im Umweltbundesamt zum Thema "Untersuchungen zu Emissionsquellen von Feinstaub", unveröffentlicht
- [10] VDI 2066 Bl. 5 Messen von Partikeln. Staubmessung in strömenden Gasen. Fraktionierende Staubmessung nach dem Impaktionsverfahren - Kaskadenimpaktor
- [11] Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt Halle/Saale, Emissionsermittlungsberichte 01-97, 06-98, 07-98, 08-98, 10-98, 01-99, 02-99, 03-99 und 04-99, unveröffentlicht
- [12] VDI 3868 Bl. 1 Messen der Gesamtemission von Metallen, Halbmetallen und ihren Verbindungen. Manuelle Messung in strömenden, emittierten Gasen. Probenahmesystem für partikelgebundene und filtergängige Stoffe
- [13] VDI 2268 Bl. 1 Stoffbestimmung an Partikeln. Bestimmung der Elemente Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, Zn in emittierten Stäuben mittels atomspektrometrischer Methoden
- [14] Schreiben des Forschungsinstituts der Zementindustrie Düsseldorf vom 22.09.98, unveröffentlicht
- [15] Ehrlich, Chr., Noll, G., Kalkoff, W.-D.: Messtechnische Ermittlung von PM10- und PM2,5-Emissionen aus Industrieanlagen und Hausbrandfeuerstätten. In: Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität, Tagung Heidelberg, 27. bis 29. April 1999, VDI-Verlag Düsseldorf, VDI-Berichte: Nr. 1443, S. 117-129
- [16] Lütze, K., Muhr, W.: Erprobung von Emissionsmessverfahren zur Feststellung von Korngrößenfraktionen, UBA Forschungsbericht 81-10402121, Oktober 1981
- [17] DIN EN 45001 Allgemeine Kriterien zum Betreiben von Prüflaboratorien
- [18] VDI 2066 Bl. 1 Messen von Partikeln. Staubmessung in strömenden Gasen. Gravimetrische Bestimmung der Staubbiladung. Übersicht
- [19] Ehrlich, Chr., Noll, G., Kalkoff, W.-D.: Monitoring PM Emissions from Industrial Sources, Papers of the European Particulate Matter Conference, Science, Sources & Solutions, October 20 - 21 1999, Brussels

Anlagenverzeichnis 1 - 7

Abbildungen³ und Tabellen

Anlage 1: Drehrohrofen in der Zementindustrie

Anlagenbeschreibung

Tabelle 1.1: Drehrohrofen; Partikelfraktionen; Messung 1 bis 3

Tabelle 1.2: Drehrohrofen; Partikelfraktionen; Messung 4 bis 6

Tabelle 1.3: Drehrohrofen; Fraktionen Staubinhaltsstoffe; Messung 1 bis 3

Tabelle 1.4: Drehrohrofen; Fraktionen Staubinhaltsstoffe; Messung 4 bis 6

Abb. 1: Korngrößenverteilungen; Drehrohrofen; Direkt- und Verbundbetrieb

Anlage 2: Rostkühler (Zementindustrie)

Anlagenbeschreibung

Tabelle 2.1.1: Rostkühler; Messreihe M 1; Partikelfraktionen

Tabelle 2.1.2: Rostkühler; Messreihe M 1; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Tabelle 2.2.1: Rostkühler; Messreihe M 2; Partikelfraktionen

Tabelle 2.2.2: Rostkühler; Messreihe M 2; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Abb. 2.1: Korngrößenverteilungen; Rostkühler; Messreihe M 1

Abb. 2.2: Korngrößenverteilungen; Rostkühler; Messreihe M 2

Anlage 3: Konverteranlage (Sekundärkupferindustrie)

Anlagenbeschreibung

Tabelle 3.1: Konverter; Partikelfraktionen

Tabelle 3.2: Konverter; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Abb. 3: Korngrößenverteilungen; Konverter

Anlage 4: Industriekraftwerk Braunkohleveredlung

Anlagenbeschreibung

Tabelle 4.1: Industriekraftwerk; extrahierte Trockenkohle; Partikelfraktionen

Tabelle 4.2: Industriekraftwerk; extrahierte Trockenkohle; Fraktionen
Staubinhaltsstoffe

Abb. 4: Korngrößenverteilungen; Industriekraftwerk; extrahierte Trockenkohle

Anlage 5: Industriekraftwerk Zuckerindustrie

Anlagenbeschreibung

Tabelle 5.1: Industriekraftwerk; Braunkohlenbrikett; Partikelfraktionen

Tabelle 5.2: Industriekraftwerk; Braunkohlenbrikett; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

³ Die grafische Darstellung der Korngrößenverteilungen von Staubinhaltsstoffen erfolgte nur in den Fällen, in denen eine ausreichende Anzahl von verwertbaren Messwerten vorlag (mehr als 50 % der Fraktionen oberhalb der Nachweisgrenze des verwendeten analytischen Verfahrens).

Abb. 5: Korngrößenverteilungen; Industriekraftwerk; Braunkohlenbrikett

Anlage 6: Industriekraftwerk Wirbelschichtfeuerung

Anlagenbeschreibung

Tabelle 6.1: Industriekraftwerk; Rohbraunkohle; Wirbelschichtfeuerung; Partikelfractionen

Tabelle 6.2: Industriekraftwerk; Rohbraunkohle; Wirbelschichtfeuerung; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Abb. 6: Korngrößenverteilungen; Industriekraftwerk Wirbelschichtfeuerung

Anlage 7: Durchbrandofen

Tabelle 7.1.1: Durchbrandofen; LAUBAG-Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Partikelfractionen

Tabelle 7.1.2: Durchbrandofen; LAUBAG-Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Partikelfractionen

Tabelle 7.1.3: Durchbrandofen; LAUBAG-Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Tabelle 7.1.4: Durchbrandofen; LAUBAG-Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Tabelle 7.2.1: Durchbrandofen; MIBRAG-Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Partikelfractionen

Tabelle 7.2.2: Durchbrandofen; MIBRAG-Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Partikelfractionen

Tabelle 7.2.3: Durchbrandofen; MIBRAG-Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Tabelle 7.2.4: Durchbrandofen; MIBRAG-Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Tabelle 7.3.1: Durchbrandofen; polnische Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Partikelfractionen

Tabelle 7.3.2: Durchbrandofen; polnische Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Partikelfractionen

Tabelle 7.3.3: Durchbrandofen; polnische Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Tabelle 7.3.4: Durchbrandofen; polnische Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Tabelle 7.4.1: Durchbrandofen; Baschkirische Brikett; Partikelfractionen

Tabelle 7.4.2: Durchbrandofen; Baschkirische-Brikett; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Tabelle 7.5: Durchbrandofen; MIBRAG-Brikett; Vorversuche; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Abb. 7.1: Korngrößenverteilungen; Durchbrandofen; LAUBAG-Brikett

Abb. 7.2: Korngrößenverteilungen; Durchbrandofen; MIBRAG-Brikett

Abb. 7.3: Korngrößenverteilungen; Durchbrandofen; Polnische Brikett

Abb. 7.4: Korngrößenverteilungen; Durchbrandofen; Baschkirische Brikett

Abb. 7.5: Korngrößenverteilungen; Durchbrandofen; MIBRAG- Brikett; Vorversuche

Drehrohrofen in der Zementindustrie

Leistung:	2000 t/d
Brennstoff:	Braunkohlenstaub, Altöl
Entstaubung:	EGR (horizontal)



Ausgewählte Parameter im Probenahmezeitraum:

- Mittlerer Volumenstrom:	166.000 (Direktbetrieb DB); $\text{m}^3_{\text{i.N.tr.}}/\text{h}$ 156.000 (Verbundbetrieb VB) $\text{m}^3_{\text{i.N.tr.}}/\text{h}$
- Mittlere Gesamtstaubkonzentration:	8,2 (DB) $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{i.N.tr.}}$
- Mittlere Abgastemperatur:	148 °C (VB); 233 °C (DB)
- Mittlere Probenahmezeit:	8 h

Tabelle 1.1: Drehrohrofen; Partikelfraktionen; Messung 1 bis 3

Anlage	Drehrohrofen, Zementherstellung
Leistungsparameter (Nennleistung)	2000 t/d
Einrichtung zur Abgasreinigung	EGR

Messberichts-Nummer	LAU 06-98		
Gesamtstaubkonzentration [mg/m ³] ¹	Direktbetrieb 9,3	Direktbetrieb 8,5	Direktbetrieb 8,2
Brennstoffe	Heizöl S, Braunkohlenstaub, Altöl, IEG		

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum	87 t/h	88 t/h	88 t/h
Probenahmezeit [h:min]	7:07	6:57	8:10
Abgasfeuchte [g/m ³] ¹	121	114	114
Abgastemperatur [°C]	146	209	204
Abgasgesamtdruck [hPa]	994	998	982
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	14	17	17
Abgasvolumenstrom [m ³ /h] ¹	165.600	156.000	156.000

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1 Verbundbetrieb		Messung 2 Direktbetrieb		Messung 3 Direktbetrieb	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
11,53	0,20	13,45	0,50	12,05	4,68
7,77	0,30	8,90	0,30	8,11	3,59
5,40	1,00	4,49	1,30	5,63	4,06
3,72	1,10	2,50	3,10	3,87	3,47
2,32	1,40	1,20	5,50	2,41	3,67
1,15	3,50	0,49	7,10	1,19	2,81
0,70	2,50	Endfilter	4,70	0,71	3,80
0,47	2,70			0,48	4,33
Endfilter	2,00			Endfilter	5,22

	Messung 1 Verbundbetrieb			Messung 2 Direktbetrieb			Messung 3 Direktbetrieb		
	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]
PM10	97,8	8,5	1,3	96,7	8,4	1,3	98,2	8,5	1,3
PM 2,5	74,0	6,4	1,0	76,9	6,7	1,0	88,3	7,7	1,2
PM1,0	43,3	3,8	0,6	43,6	3,8	0,6	61,8	5,4	0,8

¹ bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand (273 K, 1013 hPa)

Tabelle 1.2: Drehrohrofen; Partikelfraktionen; Messung 4 bis 6

Anlage	Drehrohrofen, Zementherstellung
Nennleistung	2000 t Klinker/d
Einrichtung zur Abgasreinigung	EGR

Messberichts-Nummer	LAU 06-98		
Gesamtstaubkonzentration [mg/m ³] ⁴	Direktbetrieb 9,3	Direktbetrieb 8,5	Direktbetrieb 8,2
Brennstoffe	Heizöl S, Braunkohlenstaub, Altöl, IEG		

	Messung		
	4	5	6
Leistungsparameter im Messzeitraum	84 t/h	81 t/h	83 t/h
Probenahmezeit [h:min]	7:56	9:10	9:05
Abgasfeuchte [g/m ³] ¹	114	120	121
Abgastemperatur [°C]	285	191	151
Abgasgesamtdruck [hPa]	993	985	995
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	17	n.b.	14
Abgasvolumenstrom [m ³ /h] ¹	156.000	n.b.	165.600

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 4 Direktbetrieb		Messung 5 Direkt-/Verbund		Messung 6 Verbundbetrieb	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
14,11	0,30	11,95	0,50	12,87	0,30
9,33	0,40	8,05	0,80	8,52	0,90
4,69	0,60	5,59	1,20	4,30	1,90
2,60	1,00	3,84	1,00	2,40	2,70
1,24	2,40	2,40	2,10	1,16	3,70
0,50	5,30	1,19	3,70	0,48	4,30
Endfilter	3,50	0,71	3,60	Endfilter	2,30
		0,48	3,20		
		Endfilter	4,60		

	Messung 4 Direktbetrieb			Messung 5 Direkt-/Verbundbetrieb			Messung 6 Verbundbetrieb		
	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]
PM10	95,2	8,3	1,3	95,7	8,3	1,3	94,5	8,2	1,3
PM 2,5	81,7	7,1	1,1	73,7	6,4	1,0	64,9	5,6	0,9
PM1,0	52,5	4,6	0,7	48,2	4,2	0,7	34,7	3,0	0,5

¹ bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand (273 K, 1013 hPa)

Tabelle 1.3: Drehrohrofen; Fraktionen Staubinhaltsstoffe; Messung 1 bis 3

Anlage	Drehrohrofen, Zementherstellung
Messberichts-Nummer	LAU 06-98

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
11,53	5,46	1,00	163	4,51	0,99	<0,08	0,09	5,79	<0,01	<0,1
7,77	4,39	1,01	126	3,82	1,02	<0,08	<0,07	3,97	<0,01	<0,1
5,40	4,12	0,89	101	3,82	0,73	<0,08	<0,07	3,87	<0,01	<0,1
3,72	4,02	0,88	100	3,79	0,71	<0,08	0,08	3,72	<0,01	<0,1
2,32	4,36	0,99	115	3,92	0,58	<0,08	0,08	3,59	<0,01	<0,1
1,15	4,76	1,10	154	4,24	1,00	<0,08	0,09	4,60	<0,01	<0,1
0,70	4,95	1,02	124	4,43	1,01	<0,08	0,07	4,82	<0,01	<0,1
0,47	4,97	0,82	170	4,36	0,66	<0,08	0,09	4,71	<0,01	<0,1
Endfilter	8,35	1,60	127	5,68	3,65	<0,08	0,13	7,38	<0,01	<0,1

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
13,45	3,28	2,03	85	3,32	1,56	0,28	0,11	3,08	<0,01	<0,1
8,90	3,16	1,75	82	3,00	0,83	0,77	0,07	2,27	<0,01	<0,1
4,49	3,52	1,68	92	3,18	0,79	0,95	0,11	2,79	<0,01	<0,1
2,50	4,03	1,46	123	3,76	0,98	0,30	0,14	3,99	<0,01	<0,1
1,20	2,91	1,50	83	3,09	0,88	0,83	0,08	2,45	<0,01	<0,1
0,49	3,66	1,64	107	2,87	1,30	2,95	0,12	2,31	<0,01	<0,1
Endfilter	20,24	7,68	138	4,71	18,77	1,21	0,12	8,99	<0,01	<0,1

Messung 3										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
12,05	4,68	0,99	109	3,97	0,79	<0,08	0,07	5,39	<0,01	<0,1
8,11	3,59	0,74	48	3,18	0,66	<0,08	0,07	4,21	<0,01	<0,1
5,63	4,06	0,69	88	3,53	1,28	<0,08	0,10	5,33	<0,01	<0,1
3,87	3,47	0,31	58	3,04	0,52	<0,08	0,07	3,39	<0,01	<0,1
2,41	3,67	0,62	81	3,33	0,47	<0,08	0,10	4,43	<0,01	<0,1
1,19	2,81	0,40	40	2,70	0,34	<0,08	0,07	2,23	<0,01	<0,1
0,71	3,80	0,35	98	3,38	0,46	<0,08	0,07	3,79	<0,01	<0,1
0,48	4,33	0,89	81	4,04	0,66	<0,08	0,07	4,70	<0,01	<0,1
Endfilter	5,22	0,81	53	4,99	3,65	<0,08	0,09	6,32	<0,01	<0,1

Tabelle 1.4: Drehrohrofen; Fraktionen Staubinhaltsstoffe; Messung 4 bis 6

Anlage	Drehrohrofen, Zementherstellung
Messberichts-Nummer	LAU 06-98

Messung 4										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
14,11	3,14	1,17	60,9	2,93	0,83	<0,08	0,13	0,093	<0,01	<0,1
9,33	2,93	1,05	82,0	2,43	0,73	<0,08	0,11	0,083	<0,01	<0,1
4,69	4,01	1,50	92,3	3,30	0,89	0,15	0,14	0,103	<0,01	<0,1
2,60	2,49	1,49	45,1	2,48	1,08	0,47	0,12	0,209	<0,01	<0,1
1,24	3,81	1,46	94,3	3,84	1,14	0,25	0,15	0,110	<0,01	<0,1
0,50	3,51	1,32	136,4	3,75	1,14	<0,08	0,18	0,256	<0,01	<0,1
Endfilter	5,41	2,27	98,1	4,32	1,86	<0,08	0,26	0,145	<0,01	<0,1

Messung 5										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
11,95	3,56	1,29	97,1	3,26	1,71	<0,08	0,20	7,64	<0,01	<0,1
8,05	1,99	0,50	28,5	1,73	0,82	0,38	0,10	8,53	<0,01	<0,1
5,59	2,61	1,56	42,9	2,81	2,02	1,02	<0,07	35,87	<0,01	<0,1
3,84	2,98	1,77	35,9	2,97	1,96	0,31	<0,07	15,58	<0,01	<0,1
2,40	3,28	1,53	76,2	3,29	2,99	0,34	<0,07	7,55	<0,01	<0,1
1,19	3,14	1,45	98,4	2,96	2,78	0,55	0,08	35,99	<0,01	<0,1
0,71	4,01	1,44	112,0	3,99	1,68	0,67	0,26	36,12	<0,01	<0,1
0,48	3,13	1,34	104,8	3,12	1,22	<0,08	0,17	14,87	<0,01	<0,1
Endfilter	4,22	2,36	94,3	3,62	1,96	0,67	0,11	9,55	<0,01	<0,1

Messung 6										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
12,87	2,85	1,33	70,6	2,81	1,35	0,67	0,10	15,29	<0,01	<0,1
8,52	3,17	1,48	76,4	3,20	1,44	0,56	<0,07	43,49	<0,01	<0,1
4,30	3,92	1,39	123,4	3,72	1,63	<0,08	0,14	18,15	<0,01	<0,1
2,40	2,05	0,97	43,1	1,91	1,01	0,41	<0,07	12,72	<0,01	<0,1
1,16	3,15	1,48	110,1	3,37	1,39	0,86	0,13	16,72	<0,01	<0,1
0,48	2,56	1,21	71,9	2,86	1,29	0,95	0,08	13,66	<0,01	<0,1
Endfilter	3,72	1,28	88,9	3,40	1,63	1,12	0,15	7,81	<0,01	<0,1

Abbildung 1.1: Partikelgrößenverteilung

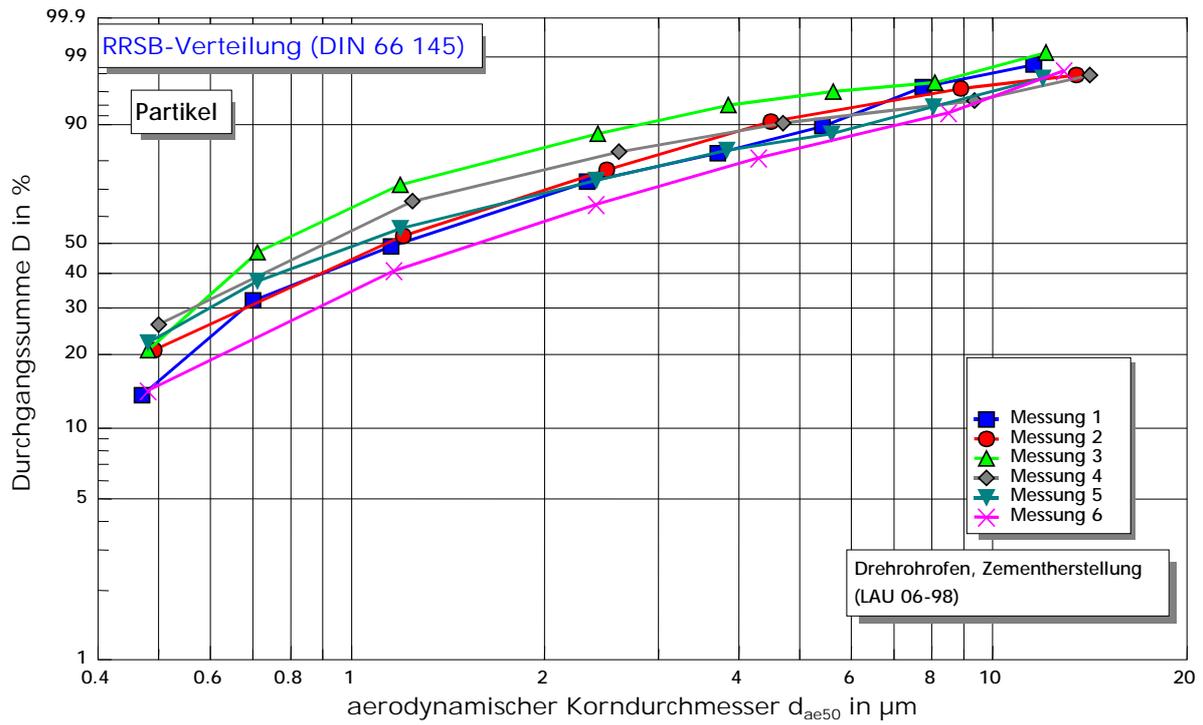


Abbildung 1.2: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Chrom

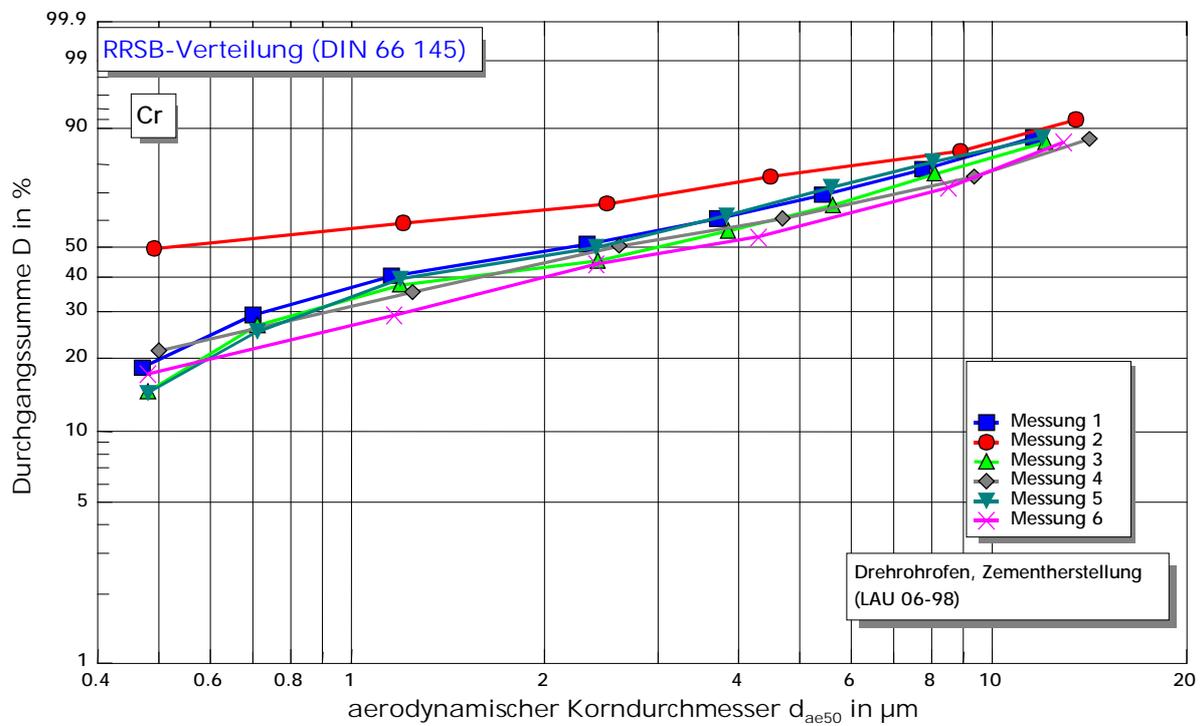


Abbildung 1.3: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Kupfer

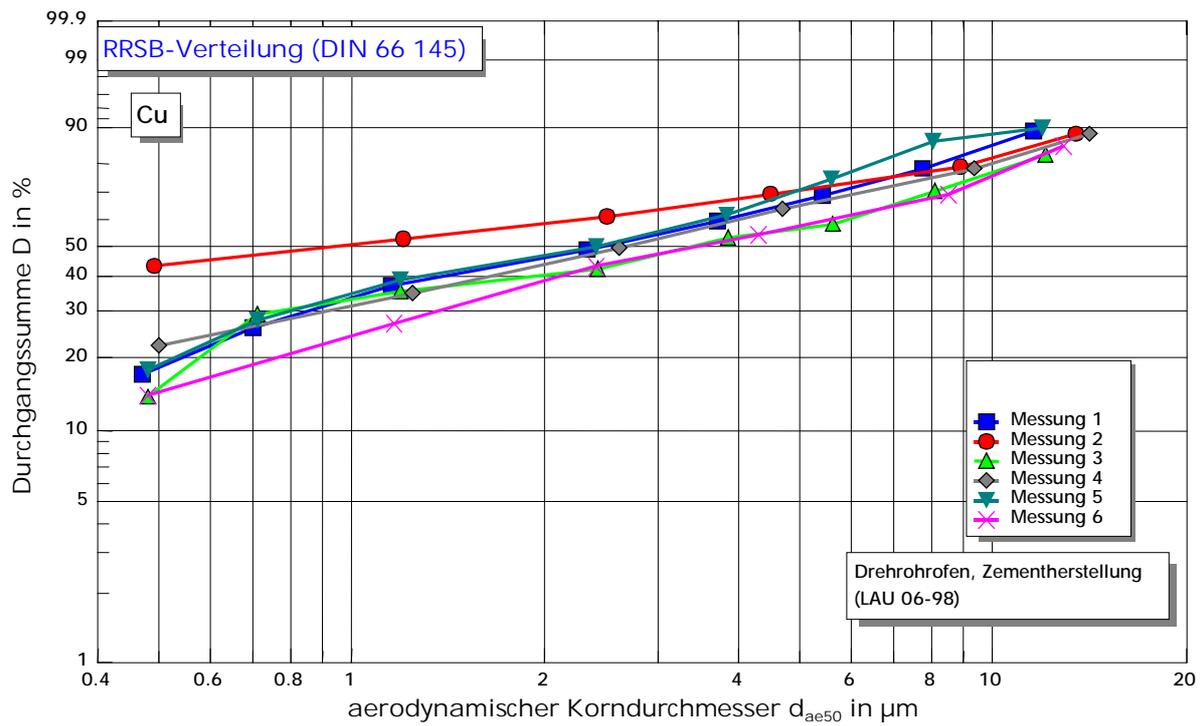


Abbildung 1.4: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Eisen

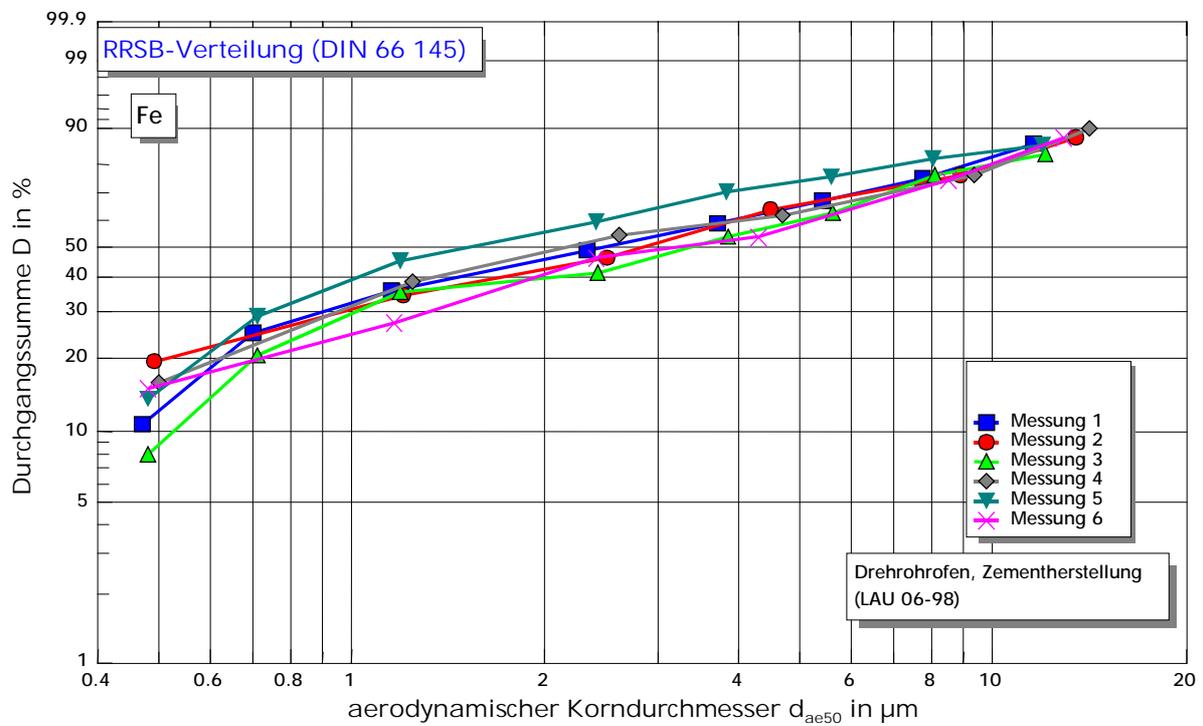


Abbildung 1.5: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Mangan

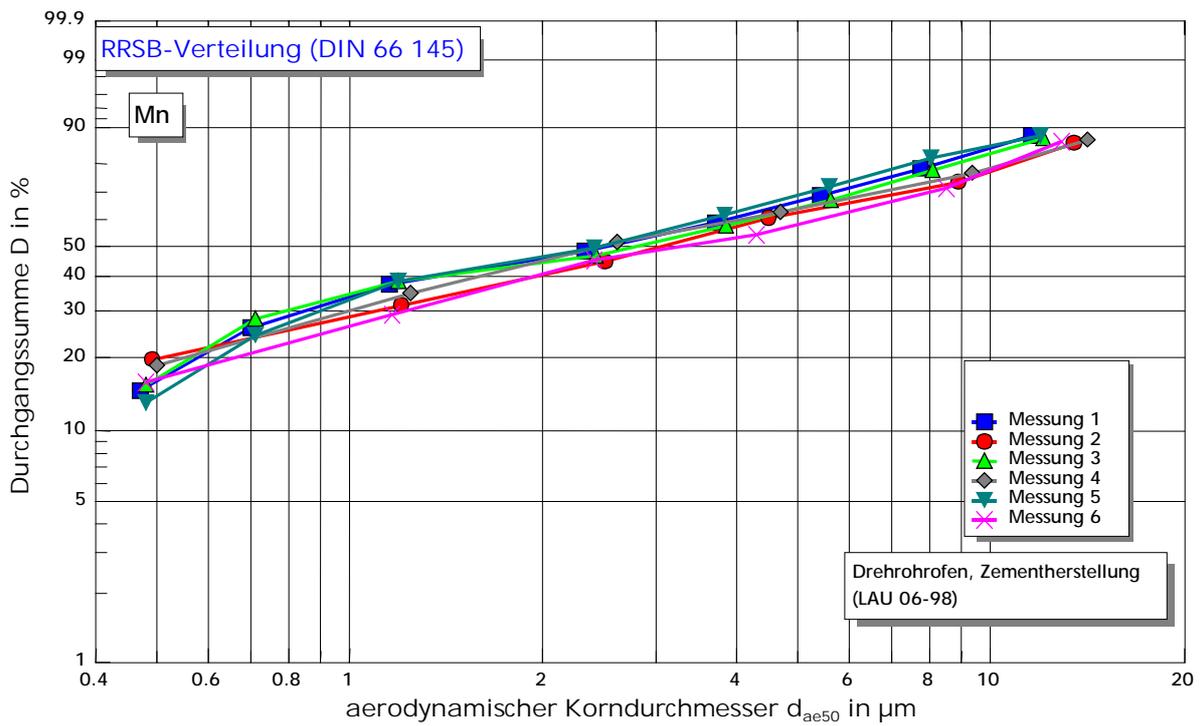


Abbildung 1.6: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Nickel

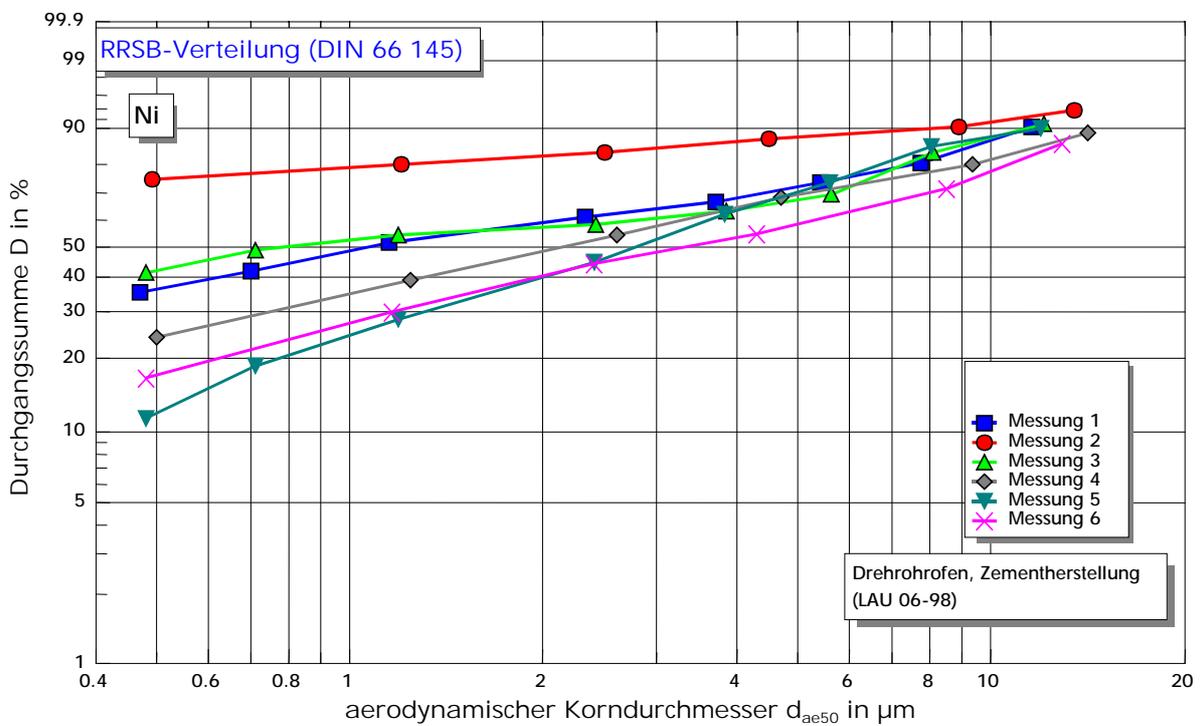


Abbildung 1.7: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Blei

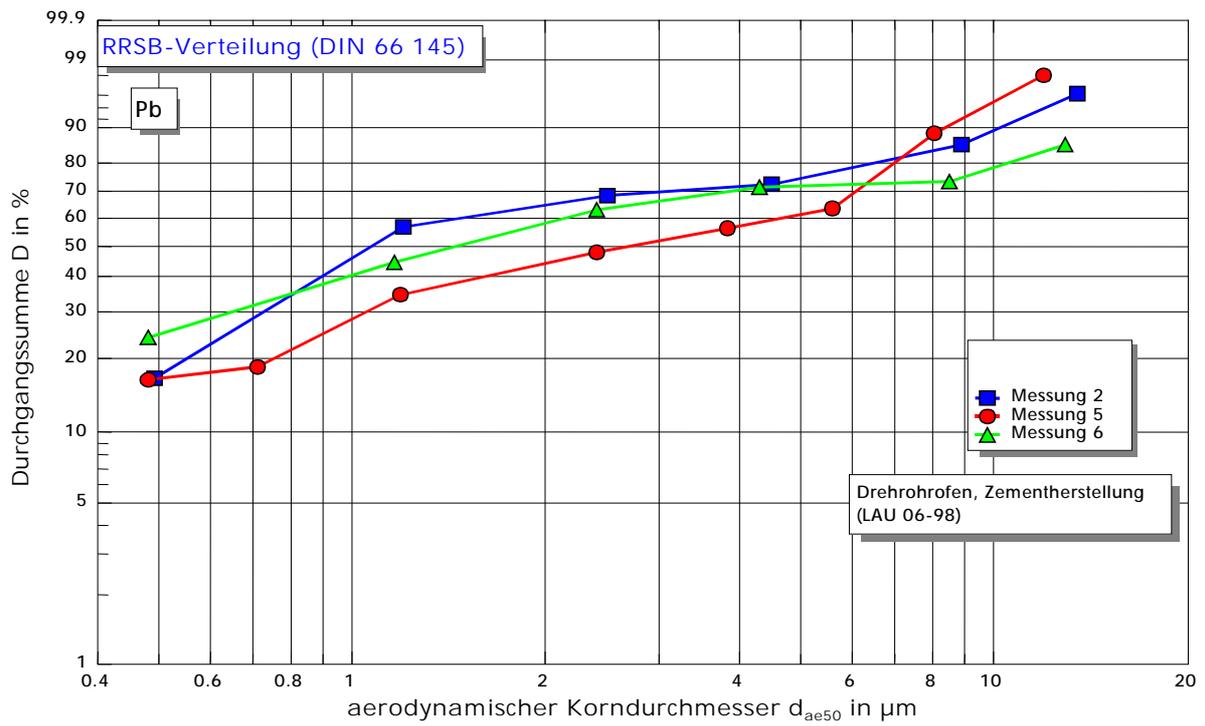


Abbildung 1.8: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Selen

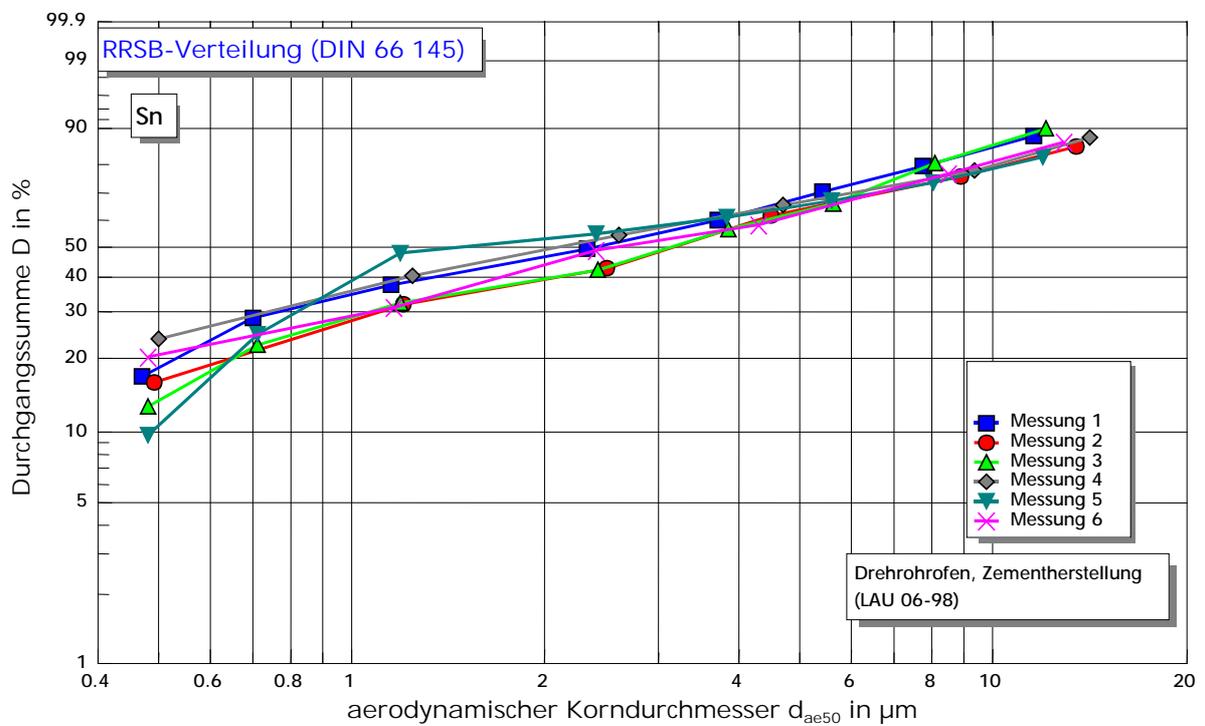
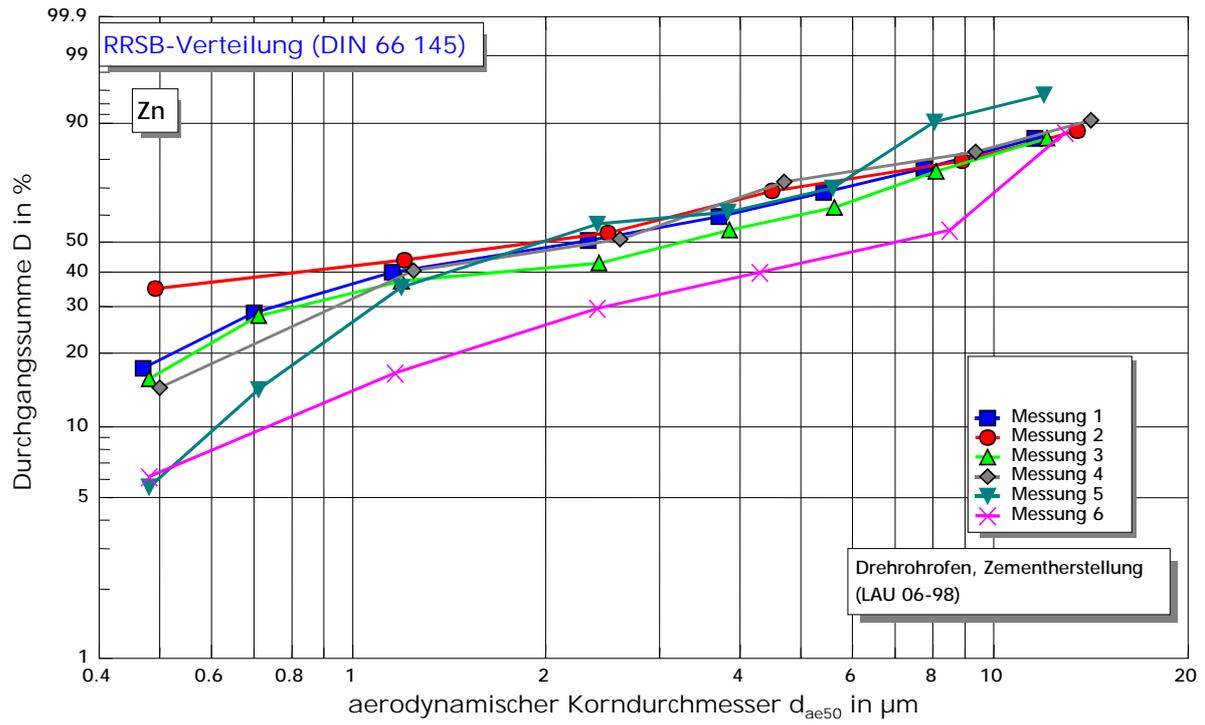


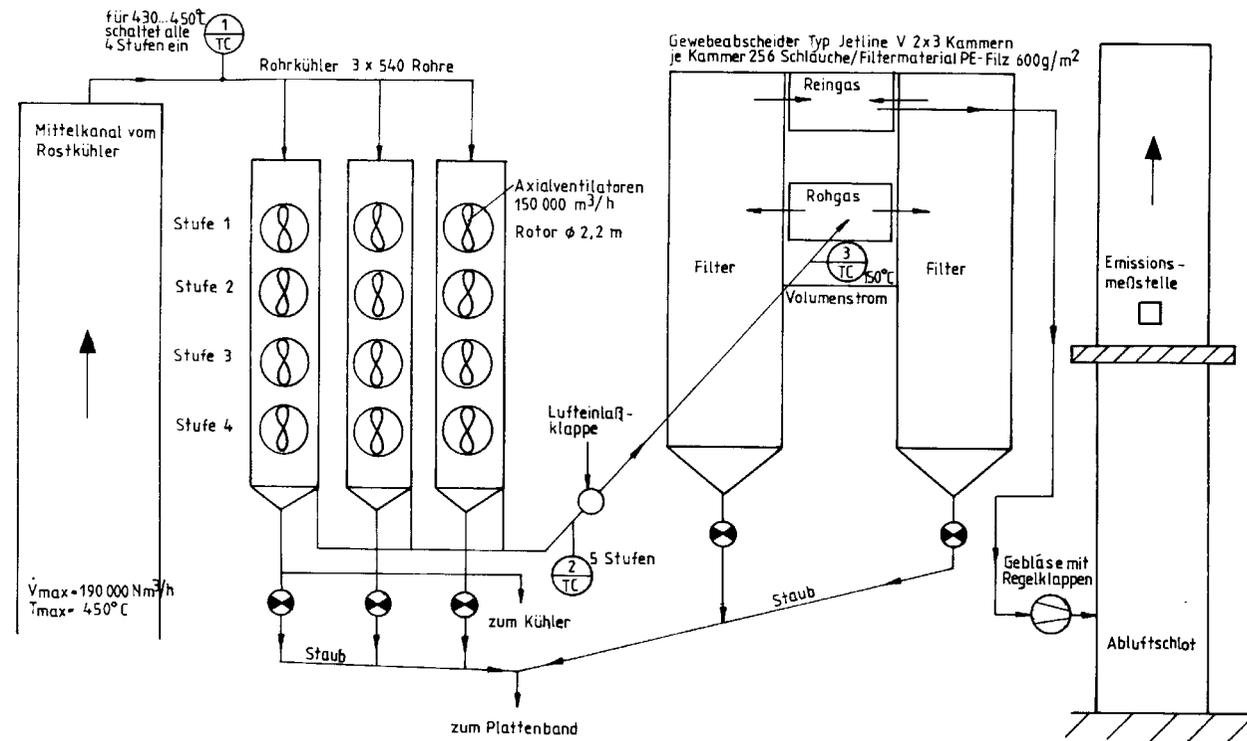
Abbildung 1.9: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Zink



Rostkühler (Zementindustrie)

Klinkerkühlung
und Aufheizung der Sekundärluft
für den Drehrohrföfen

Entstaubung:
Gewebefilter



Ausgewählte Parameter im
Probenahmezeitraum:

- Mittlerer Volumenstrom: 97.000 m³_{i.N.tr.}/h (Messreihe M 1 und M 2)
- Mittlere Gesamtstaubkonzentration: 3,4 (Messreihe M 1) bzw. 21,1 mg/ m³_{i.N.tr.} (Messreihe M 2)
- Mittlere Abgastemperatur: 95 °C (Messreihe M 1) bzw. 79 °C (Messreihe M 2)
- Mittlere Probenahmezeit: 18 h (Messreihe M 1) bzw. 4 h (Messreihe M 2)

Tabelle 2.1.1: Rostkühler; Messreihe M 1; Partikelfractionen

Anlage	Rostkühler
Nennleistung	70 t Klinker /h
Einrichtung zur Abgasreinigung	Gewebeabscheider

Messberichts-Nummer	LAU 07-98		
Gesamtstaubkonzentration [mg/m ³] ⁵	3,4	3,4	3,5

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum	72 t/h	71 t/h	73 t/h
Probenahmezeit [h:min]	26:00	18:00	17:59
Abgasfeuchte [g/m ³] ¹	15,0	15,0	15,0
Abgastemperatur [°C]	85	101	99
Abgasgesamtdruck [hPa]	987	998	982
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	11	11	11
Abgasvolumenstrom [m ³ /h] ¹	96.300	96.300	96.300

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1		Messung 2		Messung 3	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
10,16	59,90	11,47	68,50	10,30	110,6
6,85	26,70	7,59	68,80	6,94	44,2
4,76	9,20	3,83	31,10	4,82	18,9
3,28	3,50	2,14	8,70	3,32	6,3
2,05	3,40	1,04	3,00	2,08	4,3
1,02	2,30	0,43	0,90	1,03	2,4
0,62	0,70	Endfilter	2,20	0,63	0,3
0,42	0,30			0,43	0,1
Endfilter	0,50			Endfilter	0,5

	Messung 1			Messung 2			Messung 3		
	D [%]	c [mg/m ³]	ṁ [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	ṁ [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	ṁ [kg/h]
PM10	42,5	1,5	0,14	48,4	1,7	0,16	38,9	1,3	0,13
PM 2,5	4,7	0,2	0,02	4,3	0,15	0,01	2,54	0,09	0,01
PM1,0	1,4	0,05	0,01	1,7	0,07	0,01	0,47	0,02	0,002

¹ bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand (273 K, 1013 hPa)

Table 2.1.2: Rostkühler; Messreihe M 1; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Rostkühler
Messberichts-Nummer	LAU 07-98

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
10,16	2,01	0,22	85,60	2,54	1,29	<0,08	<0,07	2,88	<0,01	<0,1
6,85	5,48	1,01	123,90	6,38	2,96	1,12	<0,07	8,09	<0,01	<0,1
4,76	3,67	0,54	121,10	3,71	1,37	<0,08	<0,07	6,54	<0,01	<0,1
3,28	3,30	0,58	78,36	3,54	1,65	<0,08	<0,07	7,28	<0,01	<0,1
2,05	2,88	0,76	64,16	3,18	1,24	<0,08	<0,07	6,30	<0,01	<0,1
1,02	3,50	0,76	72,31	3,52	1,58	<0,08	<0,07	7,18	<0,01	<0,1
0,62	2,88	1,00	71,32	3,10	1,36	<0,08	<0,07	9,01	<0,01	<0,1
0,42	2,42	0,94	49,32	2,95	1,60	<0,08	<0,07	14,99	<0,01	<0,1
Endfilter	3,65	0,75	81,54	3,62	1,56	<0,08	<0,07	7,76	<0,01	<0,1

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
11,47	5,12	0,95	236,80	7,70	2,42	0,31	<0,07	12,70	<0,01	<0,1
7,59	5,36	1,07	284,20	10,11	2,57	<0,08	<0,07	7,96	<0,01	<0,1
3,83	3,53	0,66	110,60	4,29	1,39	0,20	<0,07	4,95	<0,01	<0,1
2,14	5,58	0,73	187,40	5,21	1,83	<0,08	<0,07	8,89	<0,01	<0,1
1,04	5,29	0,81	139,10	4,88	1,67	<0,08	<0,07	9,85	<0,01	<0,1
0,43	2,75	0,59	60,55	2,29	0,96	<0,08	<0,07	5,54	<0,01	<0,1
Endfilter	4,14	1,00	91,81	4,14	1,48	<0,08	<0,07	8,94	<0,01	<0,1

Messung 3										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
10,30	7,66	2,07	460,40	16,09	2,64	<0,08	0,25	11,78	<0,01	<0,1
6,94	5,01	1,54	241,20	8,82	2,24	0,50	0,30	8,58	<0,01	<0,1
4,82	5,23	1,49	196,80	6,01	1,65	0,50	0,27	8,54	<0,01	<0,1
3,32	3,53	1,18	76,47	3,72	1,21	<0,08	0,21	6,39	<0,01	<0,1
2,08	3,97	1,11	107,80	4,05	1,28	0,36	0,22	11,46	<0,01	<0,1
1,03	2,87	0,84	103,00	3,14	1,03	0,56	0,14	6,90	<0,01	<0,1
0,63	3,70	1,18	84,88	3,44	1,08	0,39	0,23	7,15	<0,01	<0,1
0,43	3,27	1,08	111,30	3,25	1,02	0,35	0,19	15,46	<0,01	<0,1
Endfilter	4,81	1,43	91,89	4,34	1,82	0,21	0,26	9,88	<0,01	<0,1

Tabelle 2.2.1: Rostkühler; Messreihe M 2; Partikelfractionen

Anlage	Rostkühler
Nennleistung	70 t Klinker /h
Einrichtung zur Abgasreinigung	Gewebeabscheider

Messberichts-Nummer	LAU 04-99		
Gesamtstaubkonzentration [mg/m ³] ⁶	19,7	26,7	16,9

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum			
Probenahmezeit [h:min]	4:00	4:00	4:00
Abgasfeuchte [g/m ³] ¹	15,0	15,0	15,0
Abgastemperatur [°C]	79	79	80
Abgasgesamtdruck [hPa]	1026	1026	996
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	8,5	8,5	8,5
Abgasvolumenstrom [m ³ /h] ¹	97.400	97.400	97.400

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1		Messung 2		Messung 3	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
11,48	26,2	12,78	48,8	12,78	37,4
7,75	6,4	8,47	18,6	8,47	11,3
5,39	3,1	4,29	5,4	4,29	6,7
3,72	1,1	2,40	1,8	2,40	2,8
2,33	0,8	1,17	0,6	1,17	1,4
1,17	0,8	0,50	0,2	0,50	0,3
0,72	0,2	Endfilter	0,0	Endfilter	0,3
0,50	0,1				
Endfilter	0,0				

	Messung 1			Messung 2			Messung 3		
	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]
PM10	25,7	5,4	0,5	19,4	4,1	0,4	25,8	5,4	0,5
PM 2,5	3,1	0,7	0,06	1,2	0,3	0,02	3,6	0,8	0,07
PM1,0	0,6	0,1	0,01	0,2	0,04	0,04	0,9	0,2	0,02

¹ bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand (273 K, 1013 hPa)

Tabella 2.2.2: Rostkühler; Messreihe M 2; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Rostkühler
Messberichts-Nummer	LAU 04-99

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
11,48	8,01	<0,1	271,5	8,40	3,99	0,60	<0,12	12,17	<0,001	<4,5
7,75	4,86	<0,1	172,3	4,15	1,88	0,65	<0,12	8,71	<0,001	<4,5
5,39	4,59	<0,1	172,9	4,23	1,50	1,16	<0,12	10,24	<0,001	<4,5
3,72	3,87	<0,1	107,4	3,38	1,36	0,91	<0,12	8,96	<0,001	<4,5
2,33	4,36	<0,1	148,5	3,89	1,28	1,06	<0,12	9,85	<0,001	<4,5
1,17	3,02	<0,1	80,8	3,43	1,26	0,99	<0,12	8,54	<0,001	<4,5
0,72	3,96	<0,1	101,3	3,72	1,33	1,06	<0,12	9,84	<0,001	<4,5
0,50	4,03	<0,1	138,9	3,64	1,22	0,91	<0,12	9,38	<0,001	<4,5
Endfilter	4,45	<0,1	136,1	4,37	1,78	1,34	<0,12	11,52	<0,001	<4,5

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
12,78	4,65	1,91	249,8	8,36	2,78	1,05	0,304	11,12	<0,001	<4,5
8,47	4,02	<0,10	227,5	6,05	1,79	1,10	0,420	10,43	<0,001	<4,5
4,29	3,68	<0,10	71,4	4,03	1,73	1,10	0,243	9,46	<0,001	<4,5
2,40	3,03	<0,10	37,9	3,27	1,70	1,08	0,242	8,76	<0,001	<4,5
1,17	3,30	<0,10	48,3	3,54	1,71	0,78	0,299	9,14	<0,001	<4,5
0,50	2,85	<0,10	47,6	2,92	1,31	0,77	0,295	7,88	<0,001	<4,5
Endfilter	3,94	<0,10	66,5	3,77	1,65	0,71	0,487	9,20	0,015	<4,5

Messung 3										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
12,78	3,68	1,37	193,6	5,76	1,49	1,82	0,134	8,13	<0,001	<4,5
8,47	2,55	0,16	106,9	2,58	0,83	0,85	<0,12	5,08	<0,001	<4,5
4,29	3,42	<0,10	136,8	3,43	1,21	1,18	<0,12	7,36	<0,001	<4,5
2,40	3,10	0,29	80,2	2,76	1,06	3,20	<0,12	6,33	<0,001	<4,5
1,17	2,97	0,14	105,3	2,64	1,00	1,46	<0,12	6,19	<0,001	<4,5
0,50	3,01	<0,10	99,5	2,61	1,03	1,50	<0,12	6,28	<0,001	<4,5
Endfilter	2,73	0,30	96,3	2,79	1,01	4,60	0,392	11,06	<0,001	<4,5

Abbildungen 2.1: Korngrößenverteilungen; Rostkühler; Messreihe M 1

Abbildung 2.1.1: Partikelgrößenverteilungen

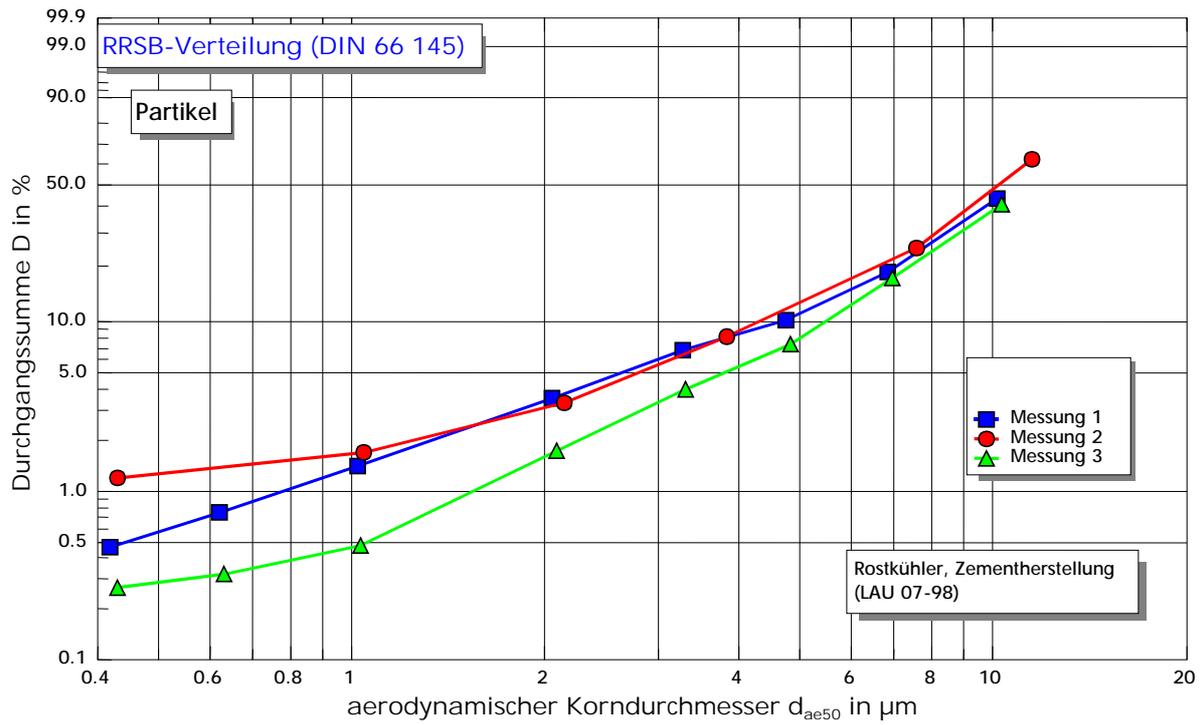


Abbildung 2.1.2: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Chrom

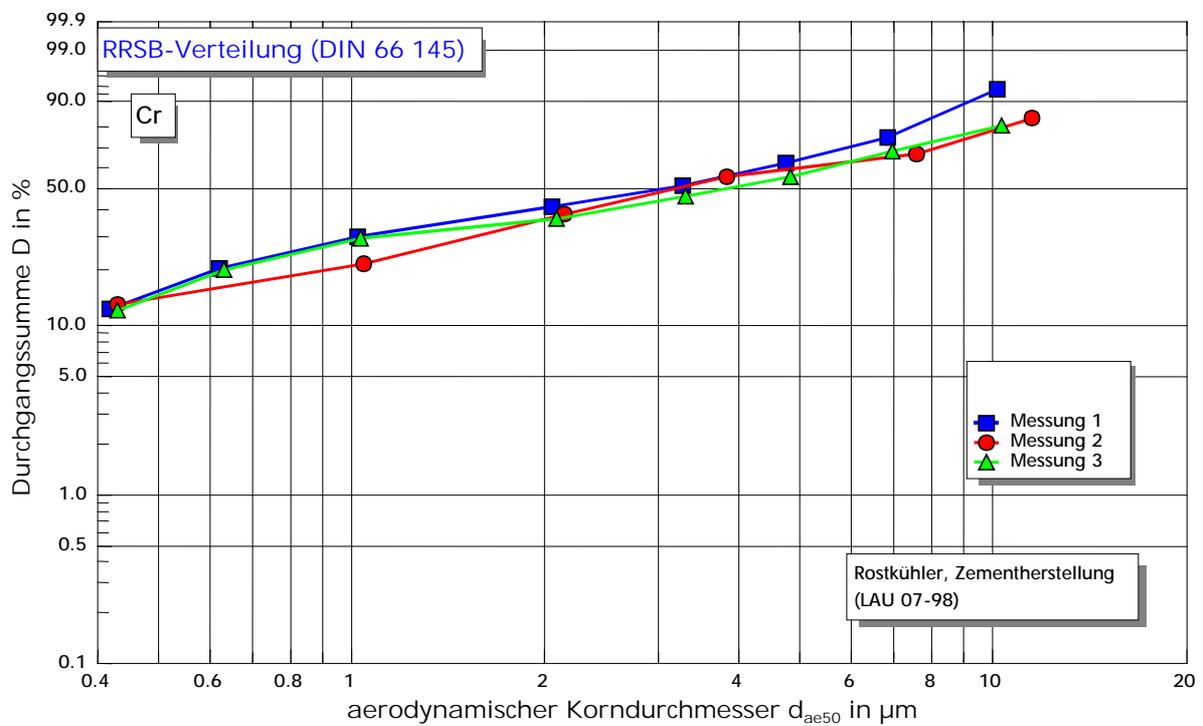


Abbildung 2.1.3: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Kupfer

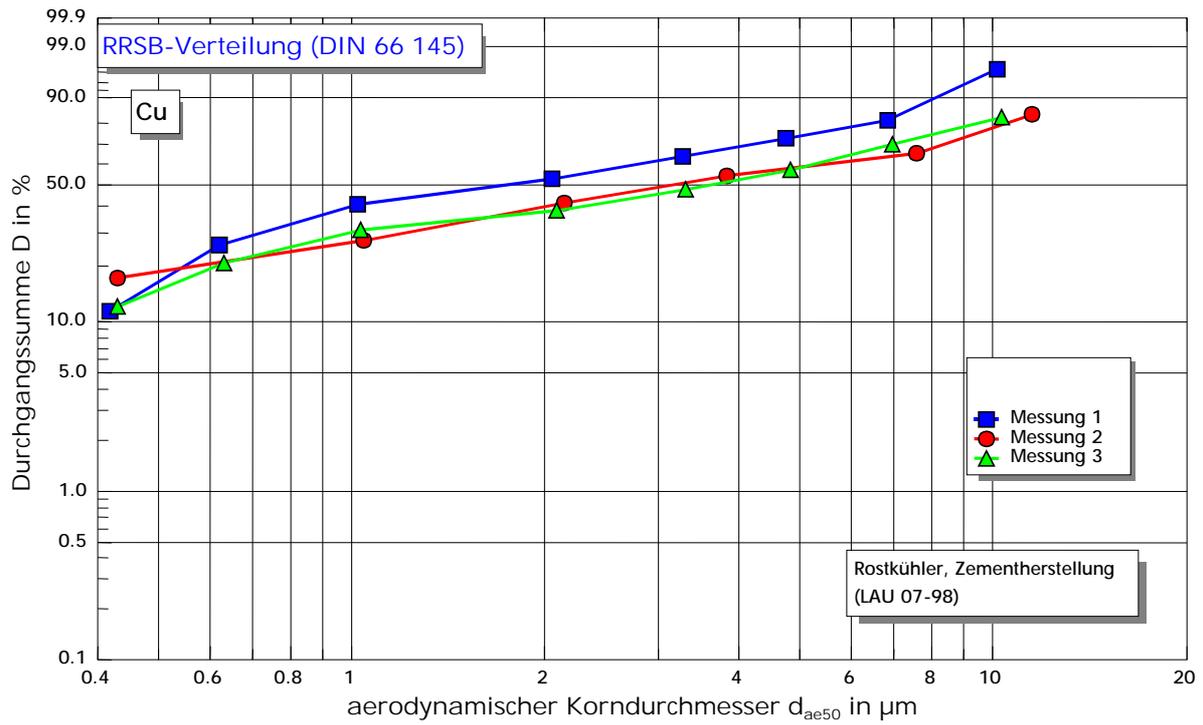


Abbildung 2.1.4: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Eisen

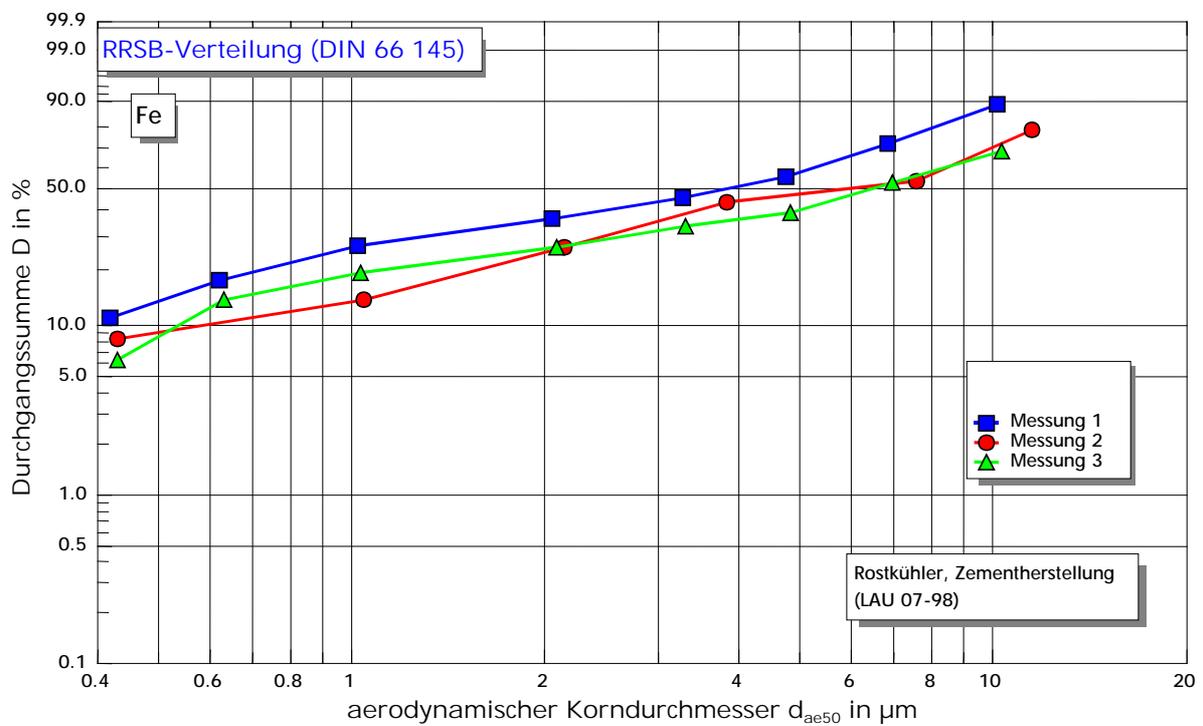


Abbildung 2.1.5: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Mangan

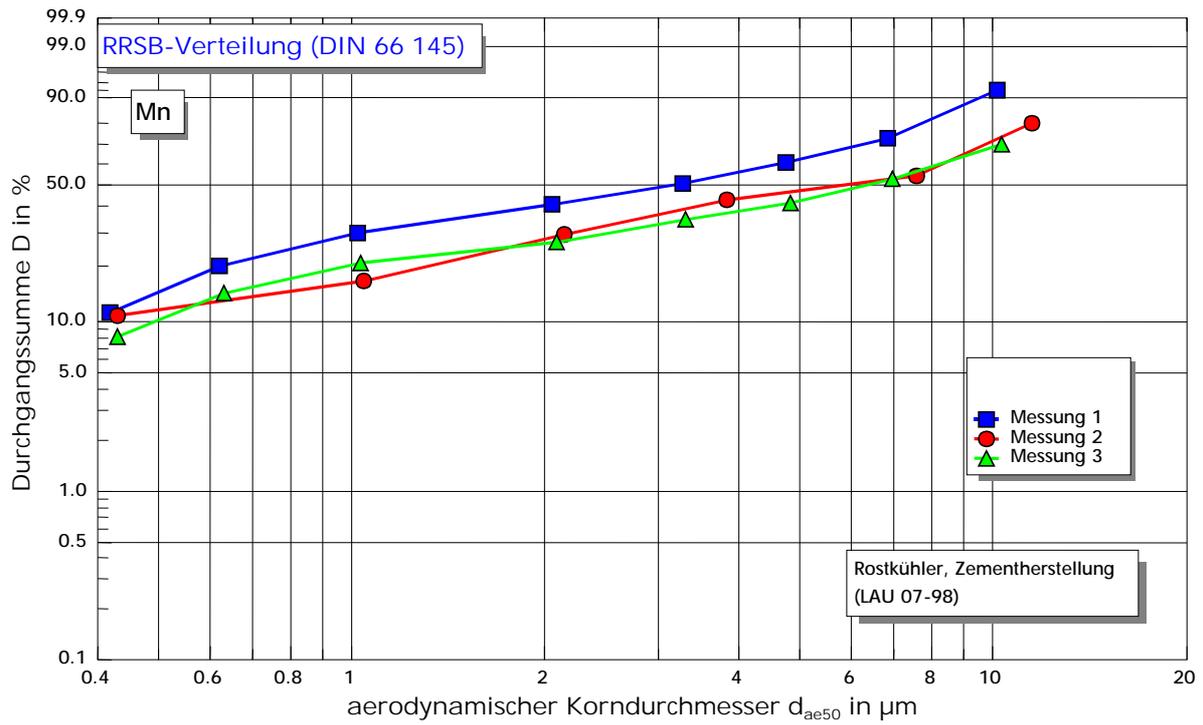


Abbildung 2.1.6: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Nickel

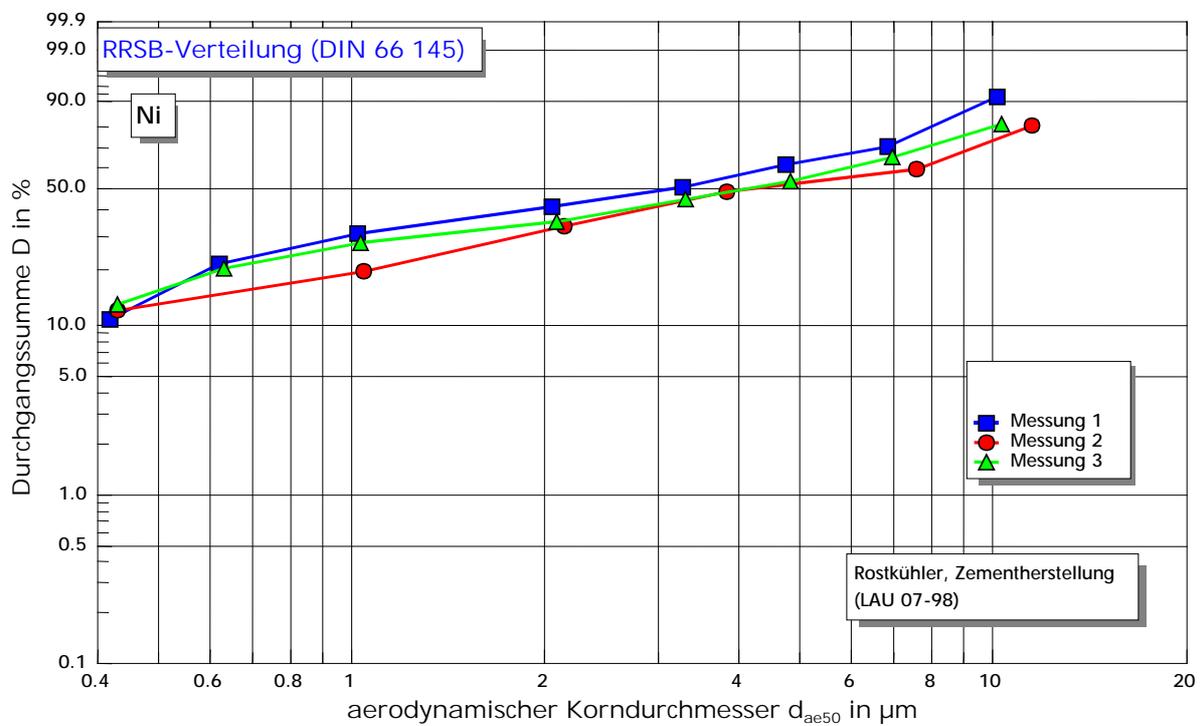


Abbildung 2.1.7: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Blei

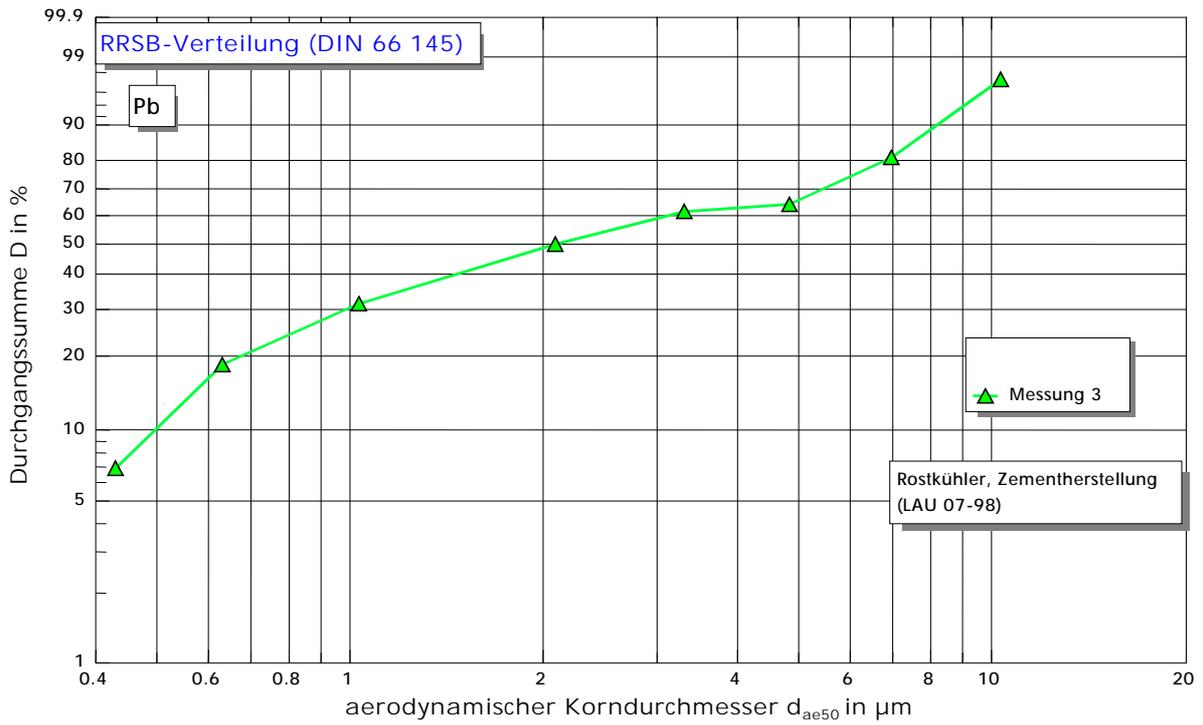


Abbildung 2.1.8: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Selen

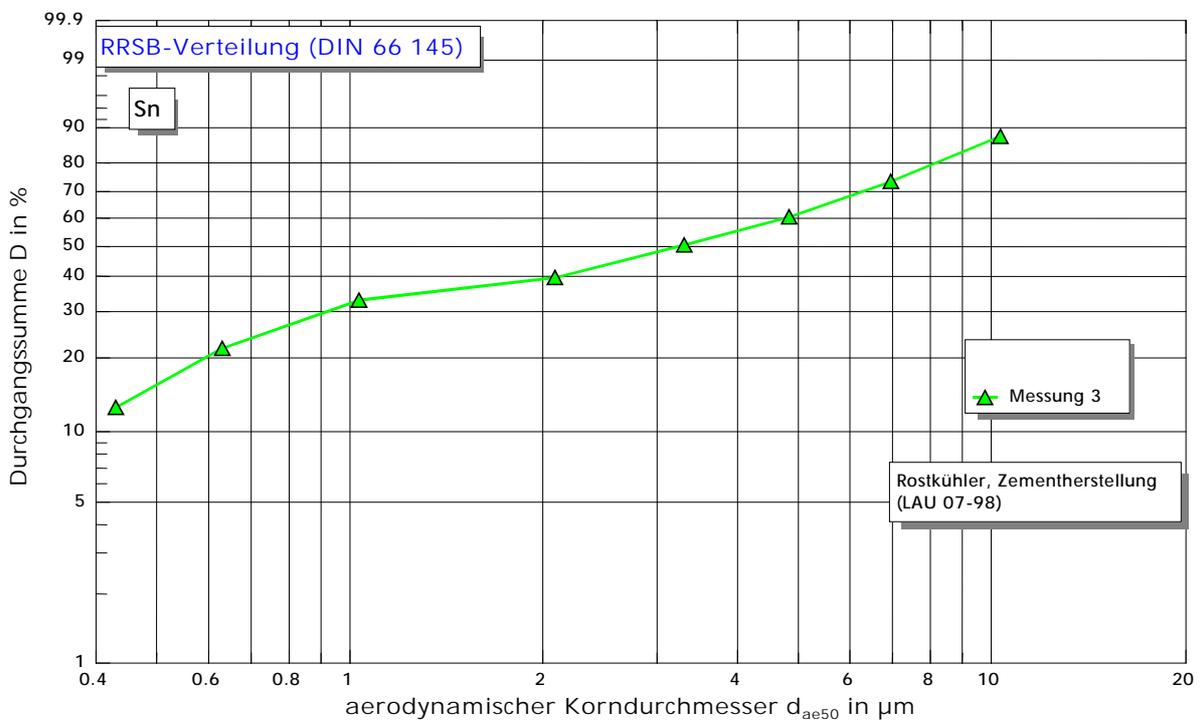
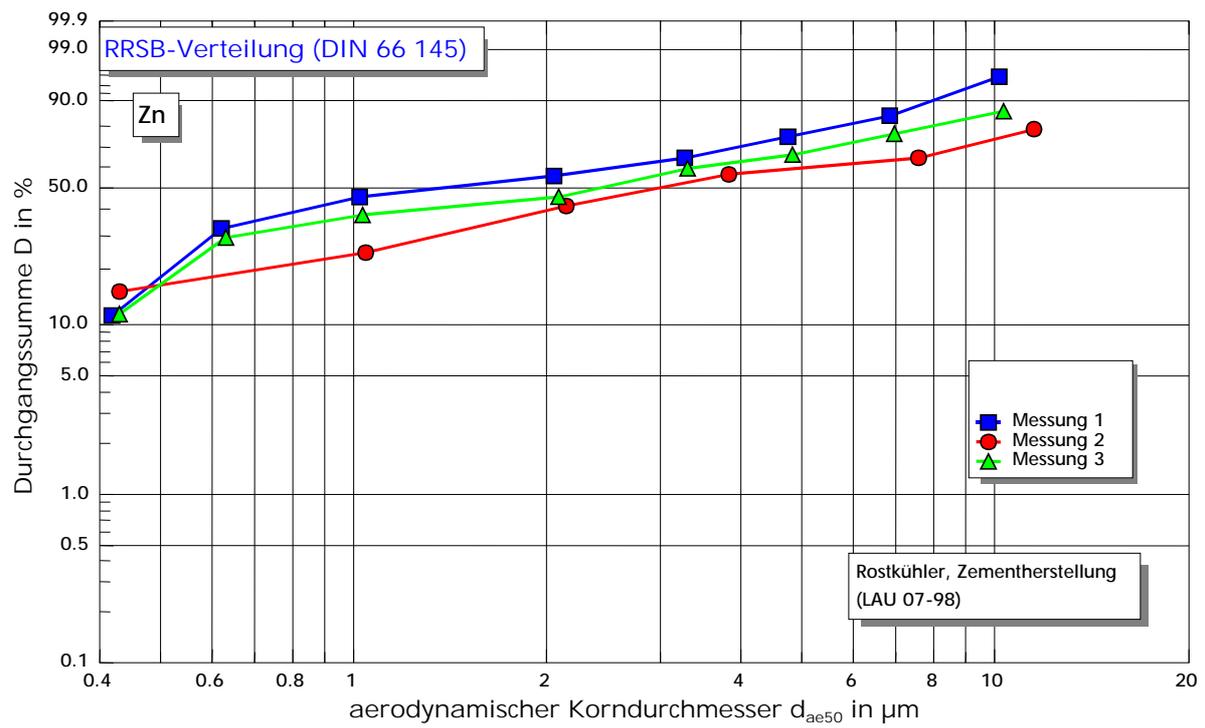


Abbildung 2.1.9: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Zink

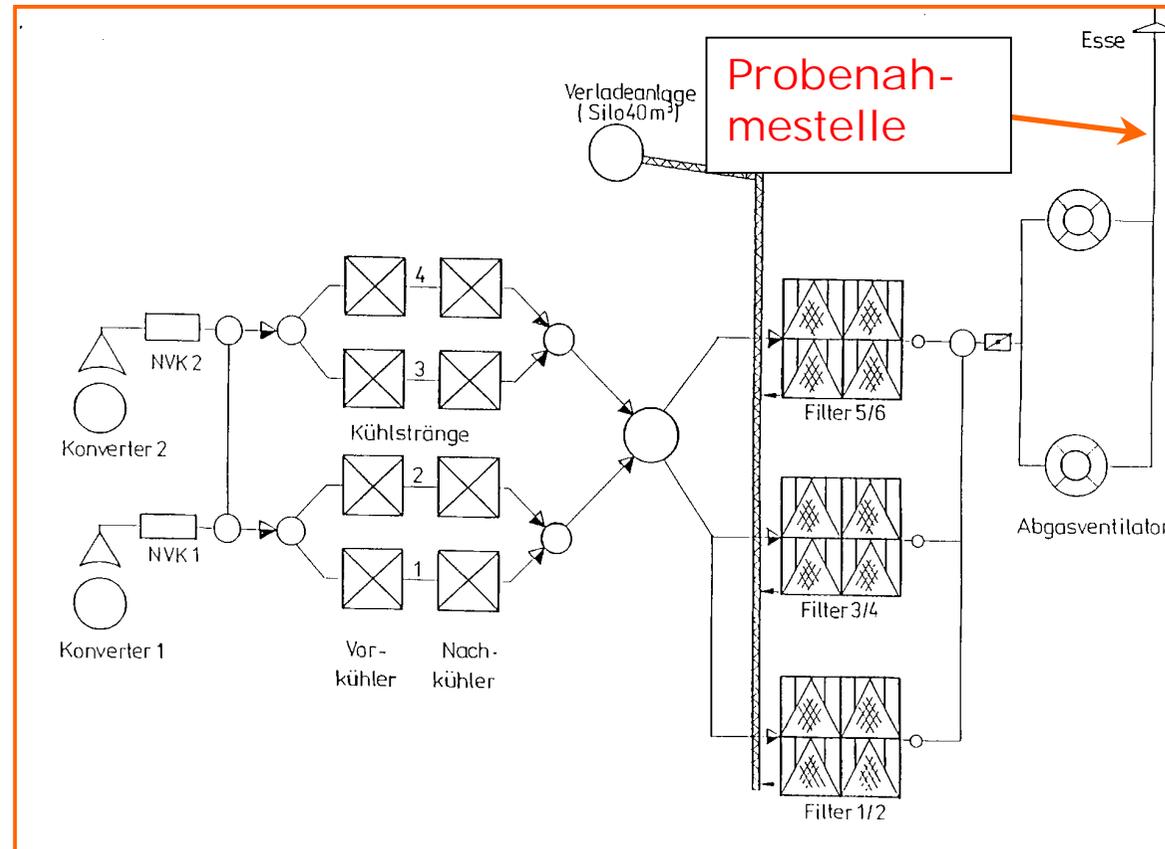


Konverteranlage (Sekundärkupferindustrie)

Konverter:
Verblasen von Kupfer und Messingschrott zu
Schwarzkupfer

Nachbrennkammer

Entstaubung: Gewebefilter



Ausgewählte Parameter im Probenahmezeitraum:

- Mittlerer Volumenstrom: $110.000 \text{ m}^3_{\text{i.N.tr.}}/\text{h}$
- Mittlere Gesamtstaubkonzentration: $2,4 \text{ mg}/\text{m}^3_{\text{i.N.tr.}}$
- Mittlere Abgastemperatur: $63 \text{ }^\circ\text{C}$
- Mittlere Probenahmedauer: 18 h

Tabelle 3.1: Konverter; Partikelfractionen

Anlage	Konverter
Nennleistung	12 t Kupfer/ Charge
Einrichtung zur Abgasreinigung	Gewebeabscheider

Messberichts-Nummer	LAU 08-98	
Gesamtstaubkonzentration [mg/m ³] ⁷	2,4	2,4

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum	58 t	58 t	60 t
Probenahmezeit [h:min]	18:00	18:00	18:00
Abgasfeuchte [g/m ³] ¹	6,7	6,7	6,7
Abgastemperatur [°C]	60	64	66
Abgasgesamtdruck [hPa]	979	998	997
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	19	19	19
Abgasvolumenstrom [m ³ /h] ¹	110.000	110.000	110.000
Weitere Messkomponenten			
Sauerstoff [%]	19,3	19,6	19,6
Stickstoffoxide [mg/m ³] ¹	29	96	145
Schwefeldioxid [mg/m ³] ¹	133	130	124
Kohlenmonoxid [mg/m ³] ¹	51	75	80

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1		Messung 2		Messung 3	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
11,16	0,5	10,09	0,8	11,23	1,1
7,39	0,3	6,80	0,6	7,44	1,0
3,74	2,6	4,73	1,4	3,76	2,9
2,09	2,0	3,26	1,1	2,11	3,3
1,02	4,0	2,04	1,9	1,02	7,3
0,43	6,7	1,02	4,6	0,43	8,9
Endfilter	4,3	0,62	5,3	Endfilter	6,2
		0,43	3,9		
		Endfilter	3,0		

	Messung 1			Messung 2			Messung 3		
	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]
PM10	97,1	2,3	0,3	96,4	2,3	0,3	95,4	2,3	0,3
PM 2,5	76,0	1,8	0,2	77,5	1,9	0,2	75,5	1,8	0,2
PM1,0	52,8	1,3	0,1	52,8	1,3	0,1	48,2	1,2	0,1

¹ bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand (273 K, 1013 hPa)

Tabelle 3.2: Konverter; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Konverter
Messberichts-Nummer	LAU 08-98

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
$d_{ae50}[\mu\text{m}]$	m [μg]									
11,16	<0,15	12,24	<5,0	0,31	<0,35	21,1	1,3	132,9	0,10	50,2
7,39	<0,15	6,61	19,3	<0,3	<0,35	13,0	3,3	98,1	0,02	16,1
3,74	<0,15	22,96	61,1	<0,3	<0,35	56,8	13,2	355,2	0,12	7,1
2,09	<0,15	23,85	9,9	<0,3	<0,35	74,0	17,6	425,7	0,26	38,7
1,02	<0,15	47,87	<5,0	<0,3	<0,35	169,2	32,8	762,4	0,63	28,1
0,43	<0,15	106,30	<5,0	<0,3	<0,35	409,5	118,3	1001,0	0,98	32,5
Endfilter	<0,15	64,72	<5,0	<0,3	<0,35	258,9	76,5	693,3	0,54	8,2

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
$d_{ae50}[\mu\text{m}]$	m [μg]									
10,09	<0,15	13,6	<5	<0,3	<0,35	28,2	6,2	187,1	0,07	16,97
6,80	<0,15	10,8	<5	<0,3	<0,35	28,2	6,7	188,0	0,06	19,64
4,73	<0,15	27,4	52	<0,3	<0,35	77,1	22,7	451,9	0,16	7,77
3,26	<0,15	17,7	33	<0,3	<0,35	62,7	17,8	368,1	0,17	15,10
2,04	<0,15	29,8	<5	0,32	<0,35	114,8	24,9	573,0	0,38	20,70
1,02	<0,15	52,8	44	<0,3	<0,35	222,2	71,2	853,5	0,69	10,48
0,62	<0,15	64,6	53	<0,3	<0,35	317,8	120,0	917,9	0,63	6,36
0,43	<0,15	48,9	21	<0,3	<0,35	255,7	97,6	769,8	0,41	29,70
Endfilter	0,85	52,0	36	1,05	<0,35	250,0	92,7	707,9	0,46	<0,10

Messung 3										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
$d_{ae50}[\mu\text{m}]$	m [μg]									
11,23	<0,15	15,9	<5,0	<0,3	<0,35	31,5	6,20	209,3	0,03	12,16
7,44	<0,15	21,0	21,1	<0,3	<0,35	41,6	9,6	251,2	0,06	<0,10
3,76	<0,15	37,2	18,3	<0,3	<0,35	117,7	28,2	542,9	0,31	3,11
2,11	<0,15	40,0	<5,0	<0,3	<0,35	143,1	34,3	660,8	0,38	37,79
1,02	<0,15	98,3	42,3	2,0	0,83	438,7	106,1	92,5	0,96	<0,10
0,43	<0,15	139,2	88,2	1,87	0,82	690,8	238,1	1076,0	1,12	<0,10
Endfilter	0,40	103,5	42,8	2,88	1,20	489,3	133,7	911,0	1,02	0,10

Abbildungen 3: Korngrößenverteilungen; Konverter

Abbildung 3.1: Partikelgrößenverteilung

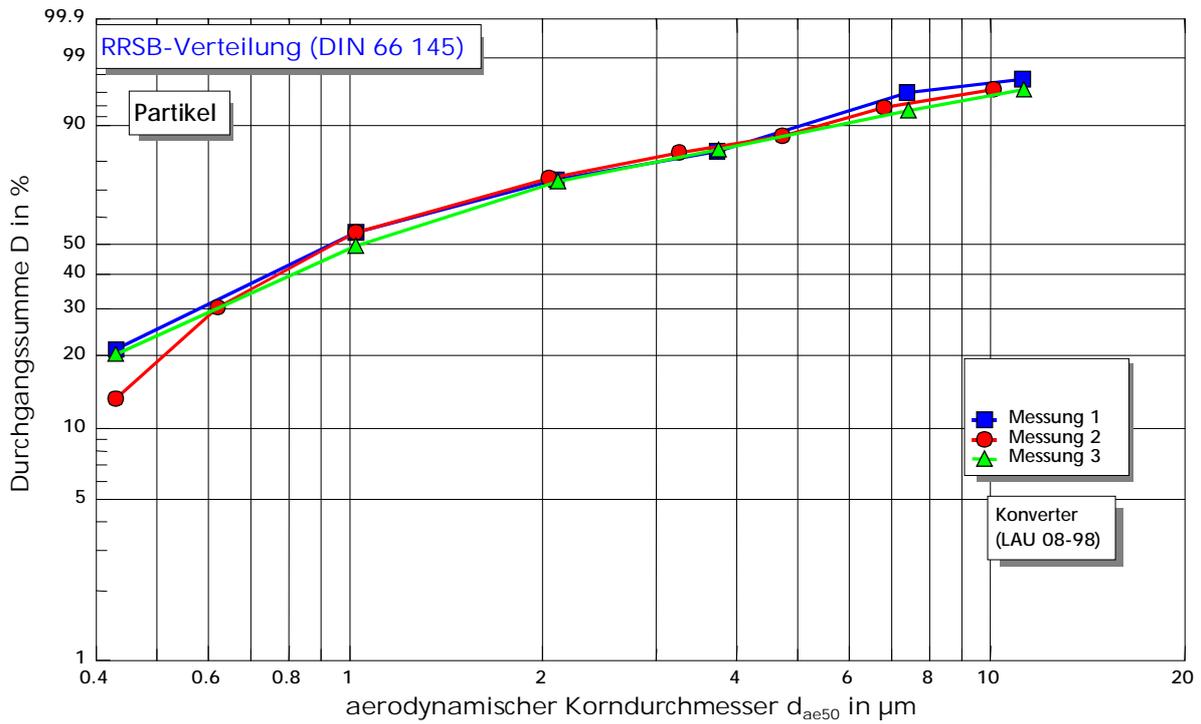


Abbildung 3.2: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Kupfer

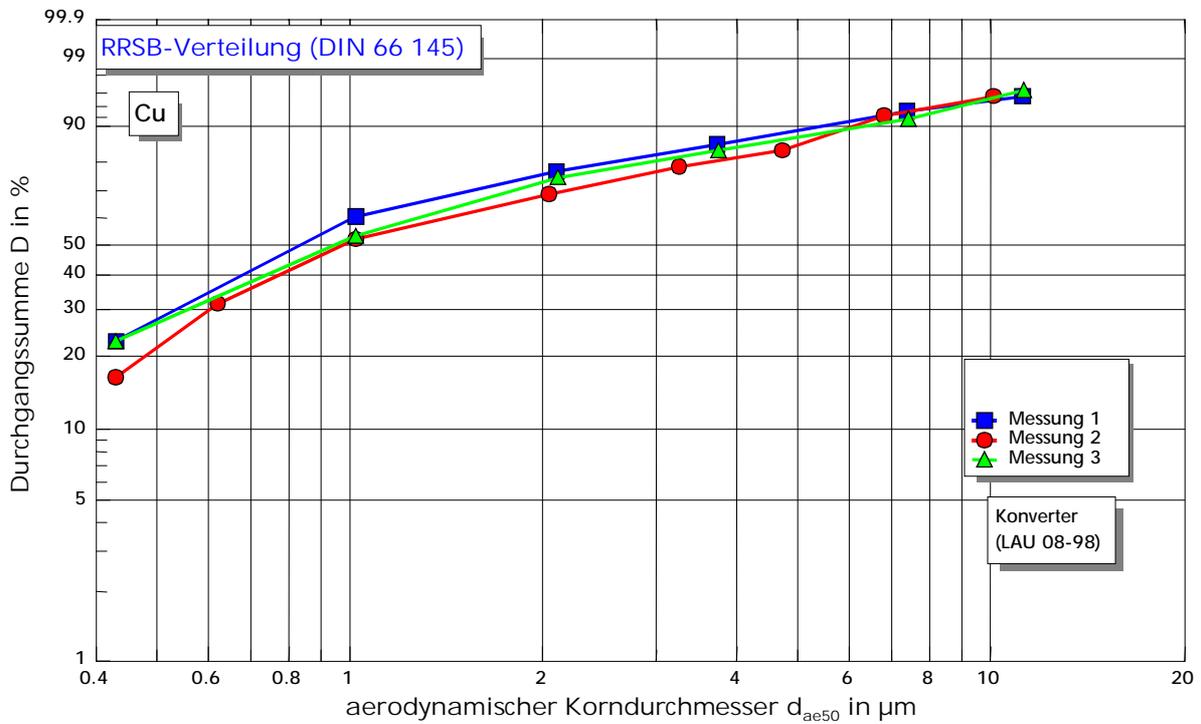


Abbildung 3.3: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Blei

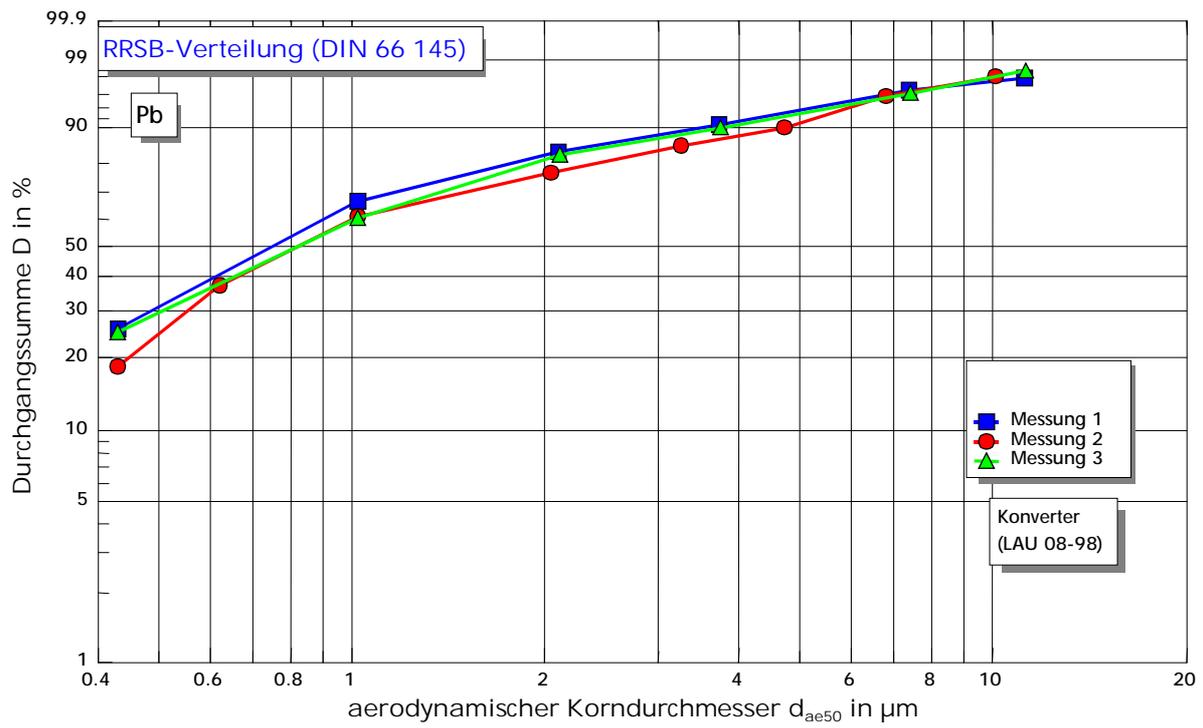


Abbildung 3.4: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Selen

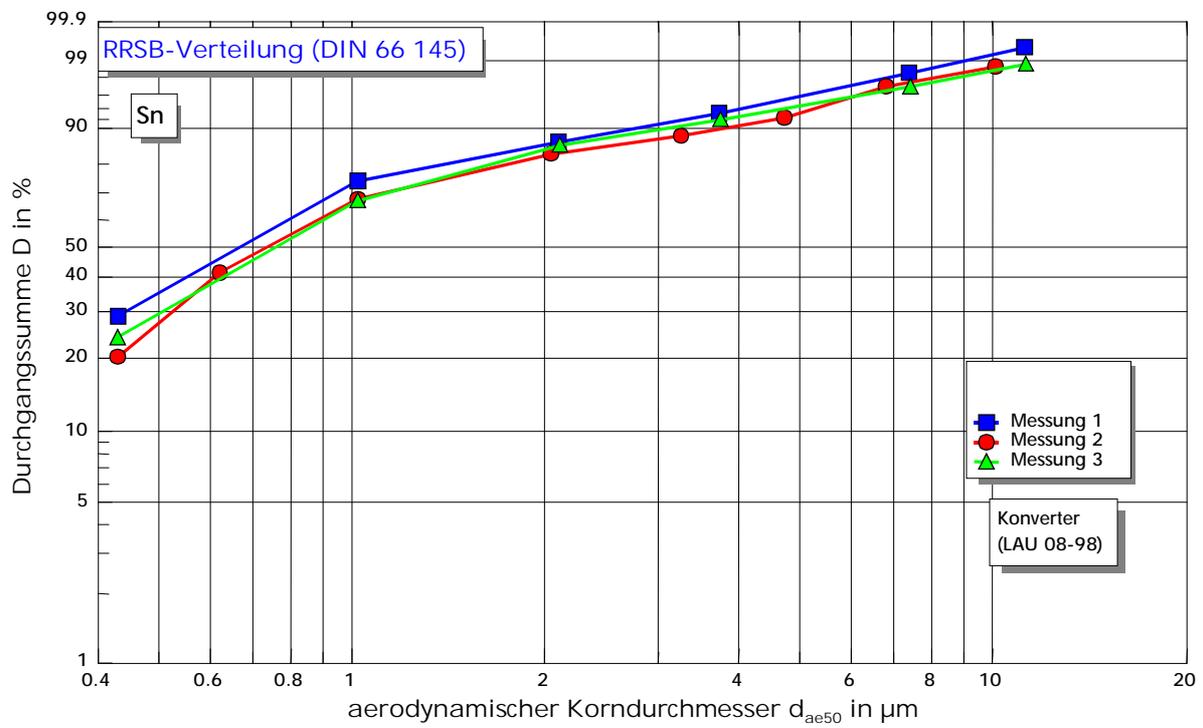


Abbildung 3.5: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Zink

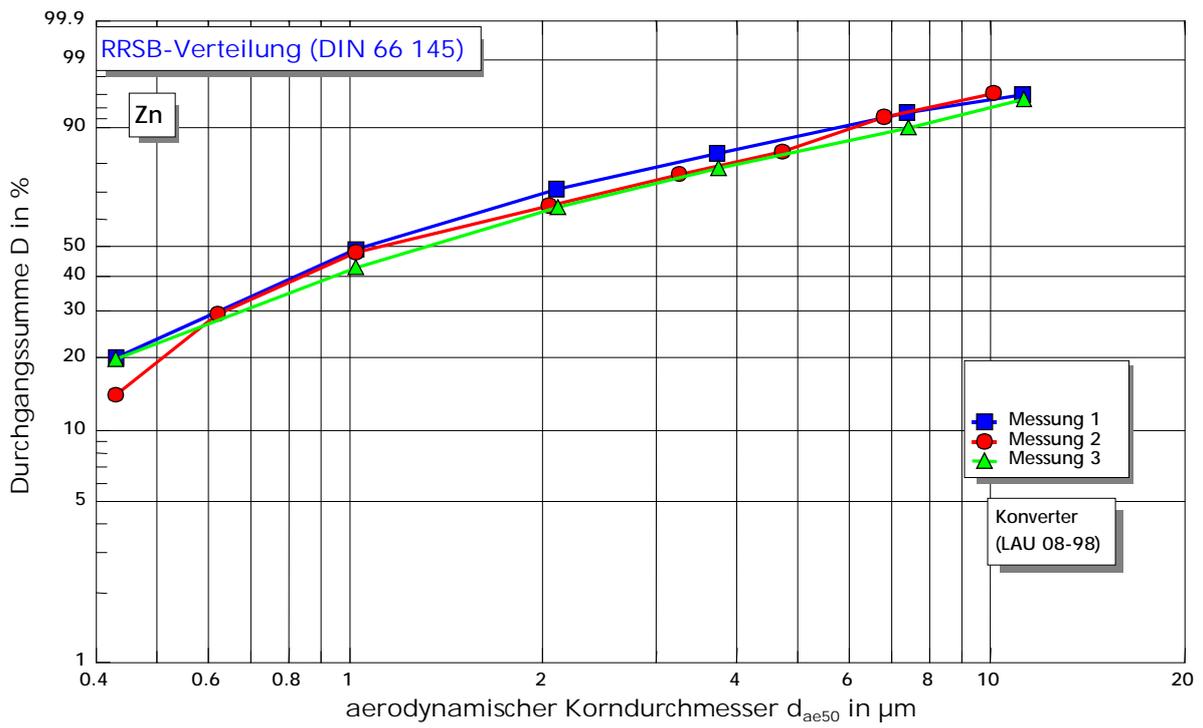


Abbildung 3.6: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Cadmium

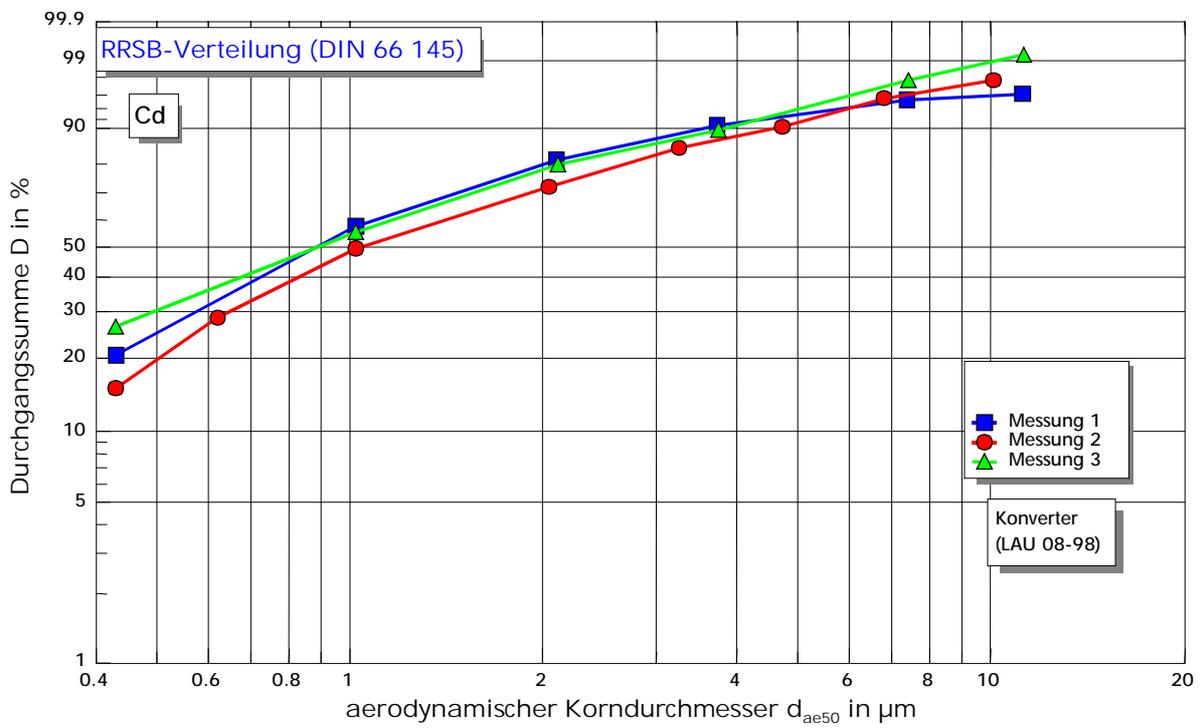


Abbildung 3.7: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Thallium

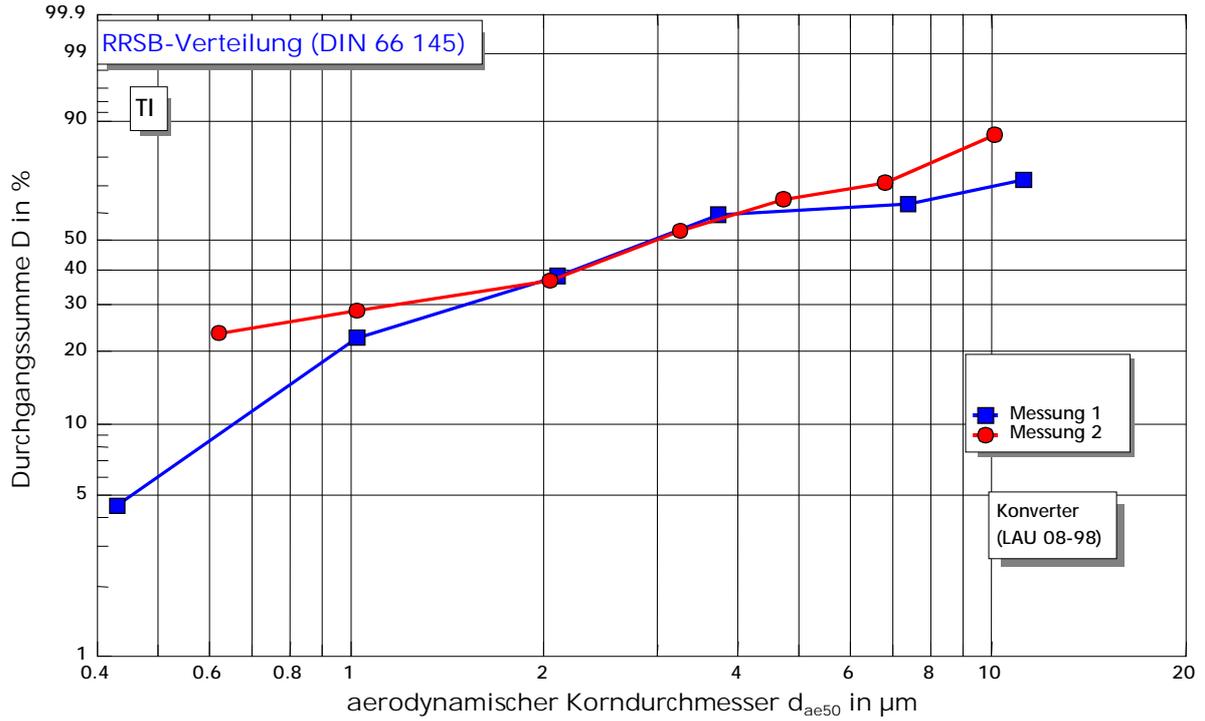
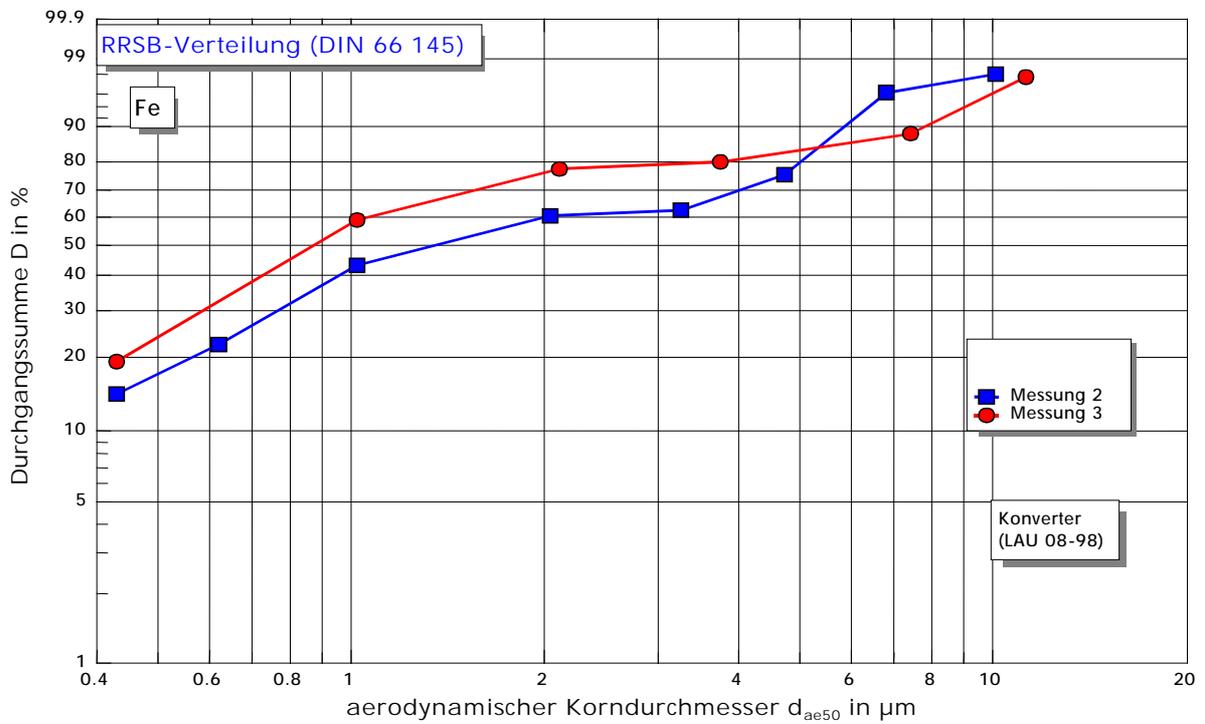


Abbildung 3.8: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Eisen



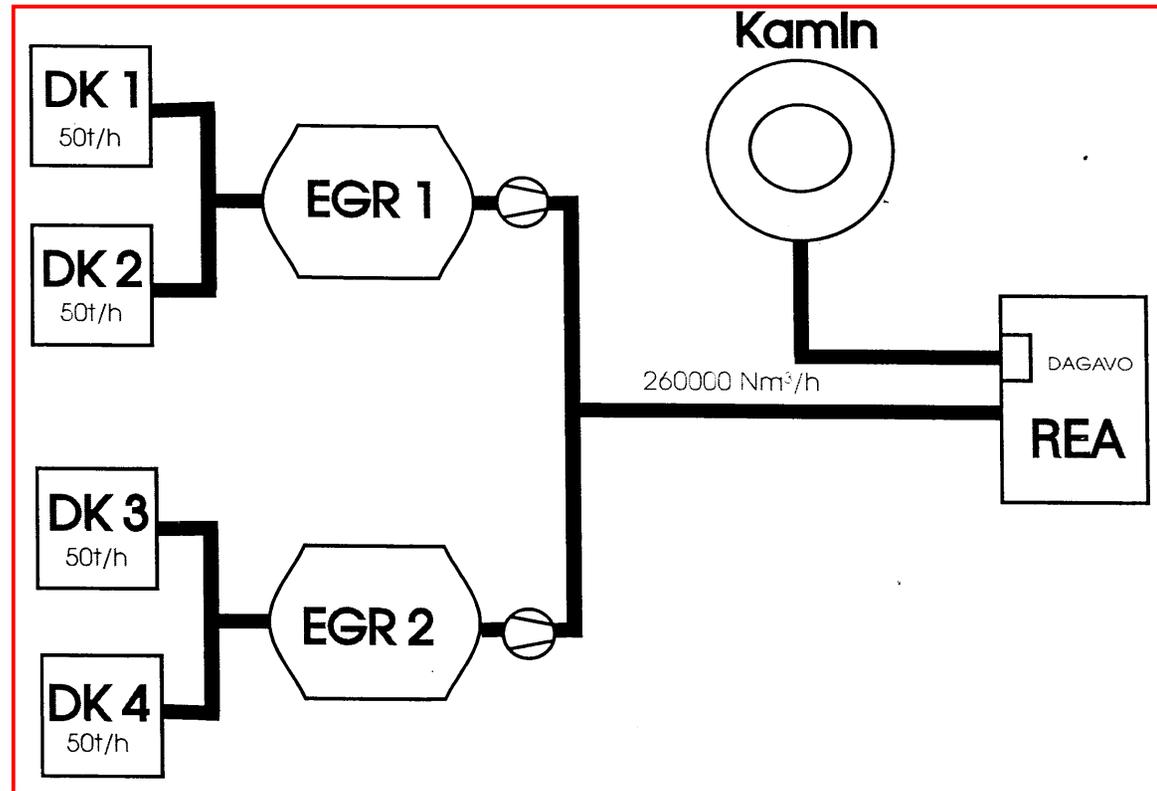
Industriekraftwerk Braunkohleveredlung

Dampferzeuger: 4 x 50 t/h

Brennstoff: Trocken-
braunkohle

Entstaubung: EGR
horizontal

Entschwefelung: Wäscher,
Kalkstein-
suspension



Ausgewählte Parameter im Probenahmezeitraum:

Mittlerer Volumenstrom:	240.000 m ³ _{i.N.tr.} /h
Mittlere Gesamtstaubkonzentration:	4,3 mg/m ³ _{i.N.tr.}
Mittlere Abgastemperatur:	77 °C
Mittlere Probenahmezeit:	11 h

Table 4.1: Industriekraftwerk; extrahierte Trockenkohle; Partikelfractionen

Anlage	Industriekraftwerk
Leistungsparameter (Nennleistung)	4x 50 t/h
Einrichtung zur Abgasreinigung	EGR, Entschwefelung

Messberichts-Nummer	LAU 01-99		
Gesamtstaubkonzentration [mg/m ³] ⁸	7,3	3,5	2,1
Brennstoffe	Extrahierte Trockenkohle		

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum	201 t/h	198 t/h	202 t/h
Probenahmezeit [h:min]	11:03	11:09	11:07
Abgasfeuchte [g/m ³] ¹	160	160	160
Abgastemperatur [°C]	77	78	78
Abgasgesamtdruck [hPa]	988	996	1009
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	22	22	22
Abgasvolumenstrom [m ³ /h] ¹	240.000	240.000	240.000
Weitere Messkomponenten			
Sauerstoff [%]	4,4	5,0	4,9
Stickstoffoxide [mg/m ³] ¹	353	370	343
Schwefeldioxid [mg/m ³] ¹	1170	1120	815
Kohlenmonoxid [mg/m ³] ¹	21	19	21

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1		Messung 2		Messung 3	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
10,56	1,4	9,51	1,8	10,56	3,2
6,99	0,7	6,41	0,7	6,99	2,4
3,53	1,0	4,45	0,7	3,53	2,1
1,97	2,0	3,07	0,8	1,97	1,6
0,95	7,2	1,92	0,8	0,96	4,7
0,40	6,2	0,95	3,3	0,40	5,2
Endfilter	3,5	0,58	3,1	Endfilter	9,3
		0,39	1,8		
		Endfilter	6,3		

	Messung 1			Messung 2			Messung 3		
	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]
PM10	93,1	4,0	1,0	91,6	3,9	0,9	87,5	3,8	0,9
PM 2,5	80,0	3,4	0,8	77,2	3,3	0,8	69,3	3,0	0,7
PM1,0	45,7	2,0	0,5	58,9	2,5	0,6	51,5	2,2	0,5

¹ bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand (273 K, 1013 hPa)

Tabelle 4.2: Industriekraftwerk; extrahierte Trockenkohle; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Industriekraftwerk
Messberichts-Nummer	LAU 01-99

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
10,56	<0,06	<0,05	<2,5	<0,15	0,24	<0,05	<0,1	<0,5	0,001	<5,3
6,99	<0,06	<0,05	2,7	<0,15	<0,15	<0,05	<0,1	<0,5	<0,001	<5,3
3,53	<0,06	1,38	<2,5	<0,15	<0,15	<0,05	<0,1	<0,5	<0,001	<5,3
1,97	<0,06	<0,05	37,2	0,35	<0,15	0,25	<0,1	<0,5	<0,001	<5,3
0,95	0,07	<0,05	68,1	3,05	<0,15	0,37	<0,1	<0,5	0,008	<5,3
0,40	<0,06	<0,05	36,9	1,26	<0,15	<0,05	<0,1	<0,5	0,002	<5,3
Endfilter	0,44	<0,05	<2,5	0,48	0,46	0,34	<0,1	0,8	0,002	<5,3

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
9,51	<0,06	0,05	<2,5	<0,15	1,08	<0,05	<0,10	<0,5	<0,001	<5,3
6,41	0,27	<0,05	13,6	<0,15	0,44	<0,05	<0,10	<0,5	<0,001	<5,3
4,45	0,56	<0,05	66,6	<0,15	<0,15	0,07	<0,10	<0,5	<0,001	<5,3
3,07	<0,06	<0,05	24,5	<0,15	<0,15	0,15	<0,10	<0,5	<0,001	<5,3
1,92	<0,06	<0,05	43,8	<0,15	0,61	<0,05	<0,10	<0,5	<0,001	<5,3
0,95	<0,06	<0,05	34,1	0,42	<0,15	<0,05	1,55	<0,5	<0,001	<5,3
0,58	0,32	<0,05	61,2	1,21	0,20	<0,05	0,33	<0,5	<0,001	<5,3
0,39	<0,06	<0,05	51,6	<0,15	<0,15	<0,05	<0,10	<0,5	<0,001	<5,3
Endfilter	0,93	0,90	<2,5	0,34	0,92	<0,05	<0,10	0,98	<0,001	<5,3

Messung 3										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
10,56	3,79	<0,05	82,25	0,67	1,96	<0,05	<0,10	<0,5	<0,001	<5,3
6,99	<0,06	<0,05	<2,50	<0,15	<0,15	<0,05	<0,10	<0,5	<0,001	<5,3
3,53	1,08	<0,05	34,15	<0,15	0,46	<0,05	<0,10	<0,5	<0,001	<5,3
1,97	0,69	<0,05	67,95	0,15	0,21	<0,05	<0,10	<0,5	<0,001	<5,3
0,96	0,44	<0,05	72,55	1,65	<0,15	<0,05	0,15	<0,5	<0,001	<5,3
0,40	<0,06	<0,05	41,95	1,00	<0,15	<0,05	<0,10	<0,5	<0,001	<5,3
Endfilter	1,53	0,16	75,45	0,75	0,83	<0,05	<0,10	1,95	<0,001	<5,3

Abbildung 4.1: Partikelgrößenverteilungen

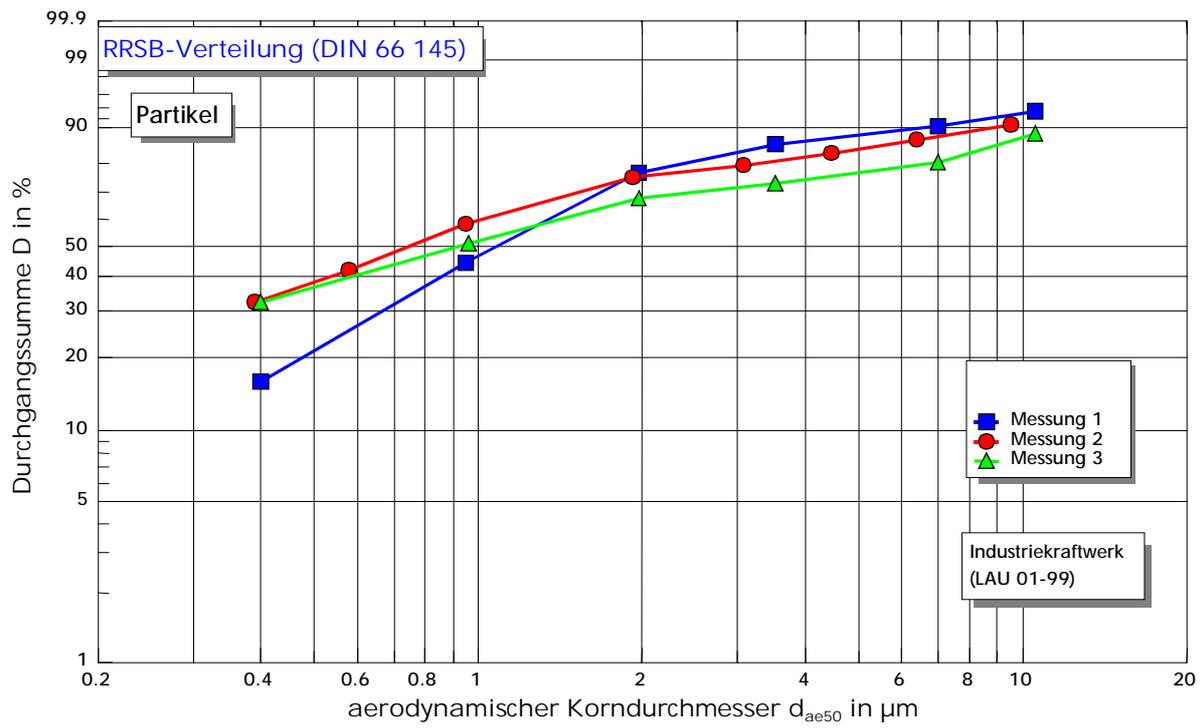


Abbildung 4.2: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Eisen

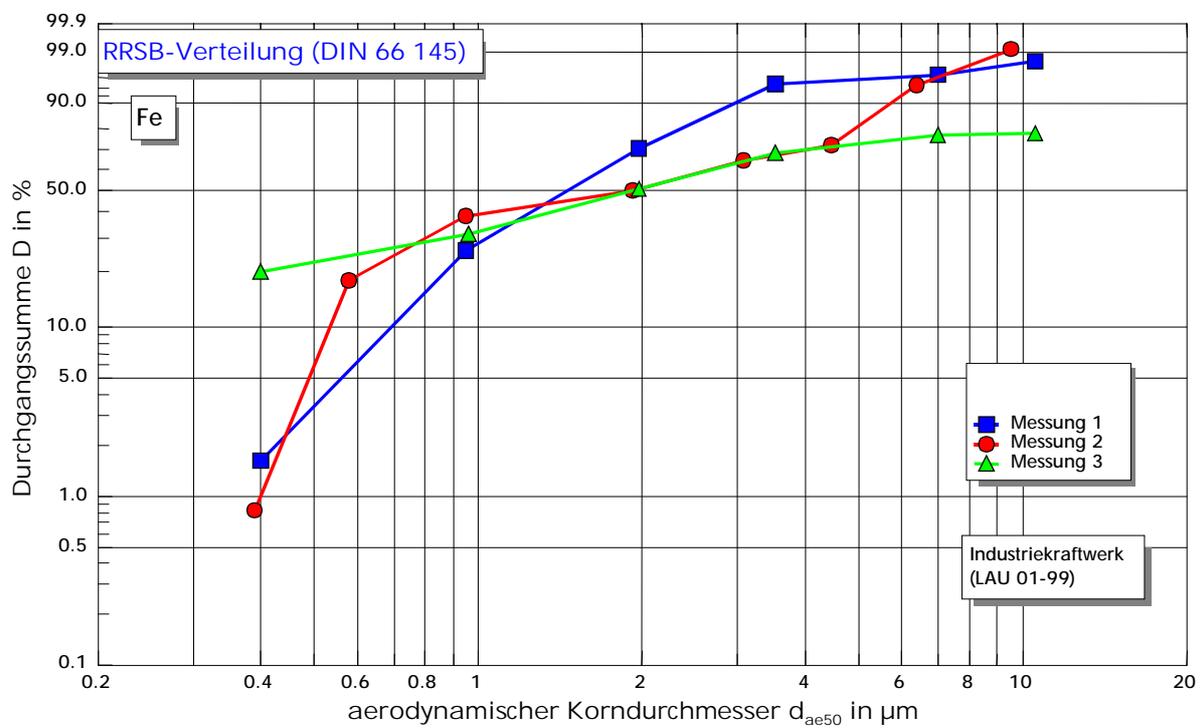


Abbildung 4.3: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Chrom

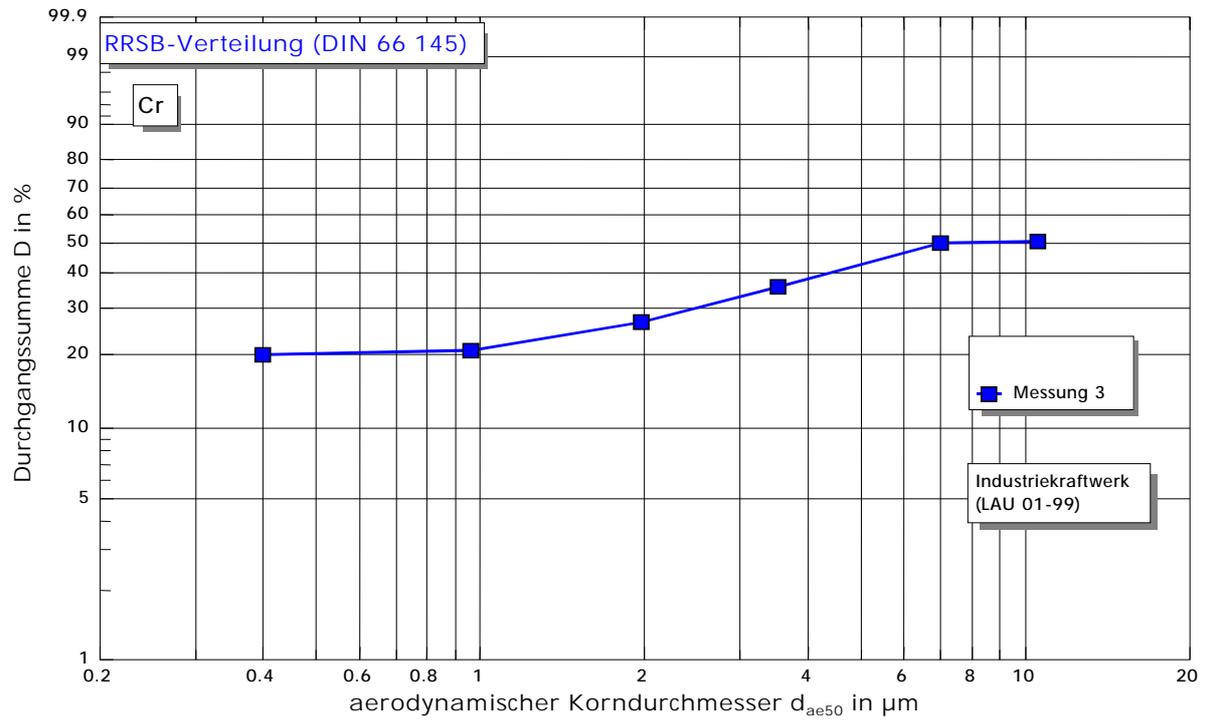


Abbildung 4.4: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Mangan

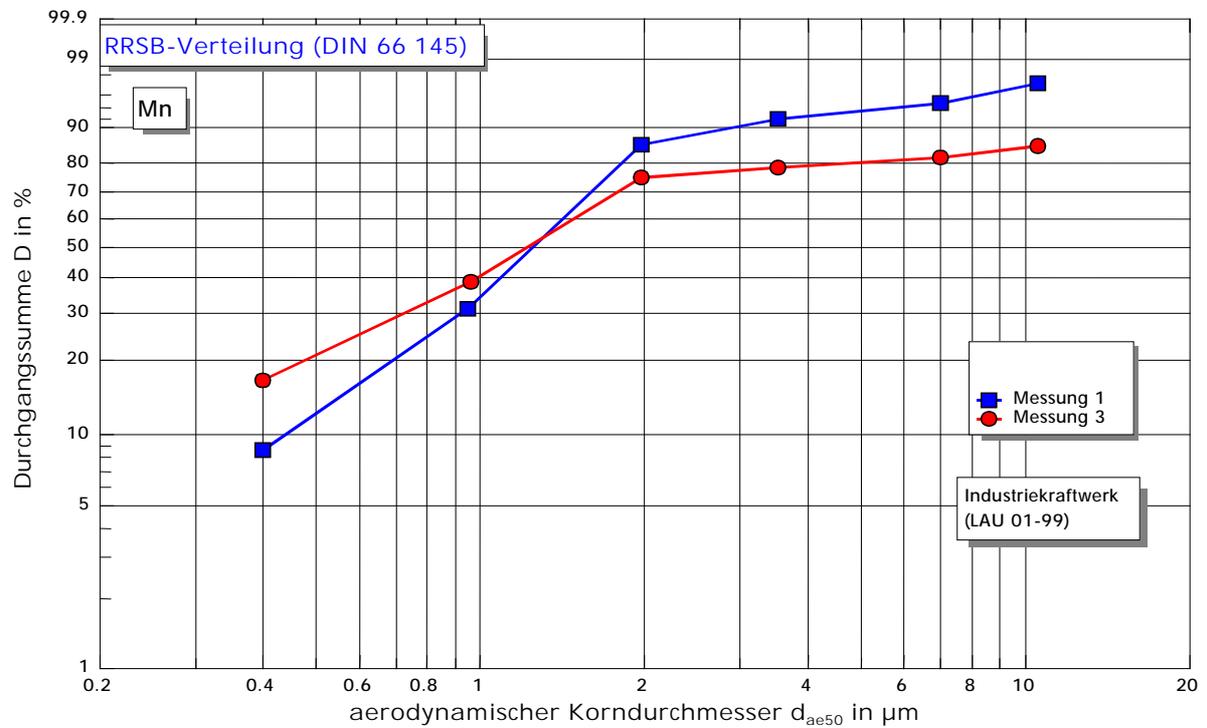


Abbildung 4.5: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Nickel

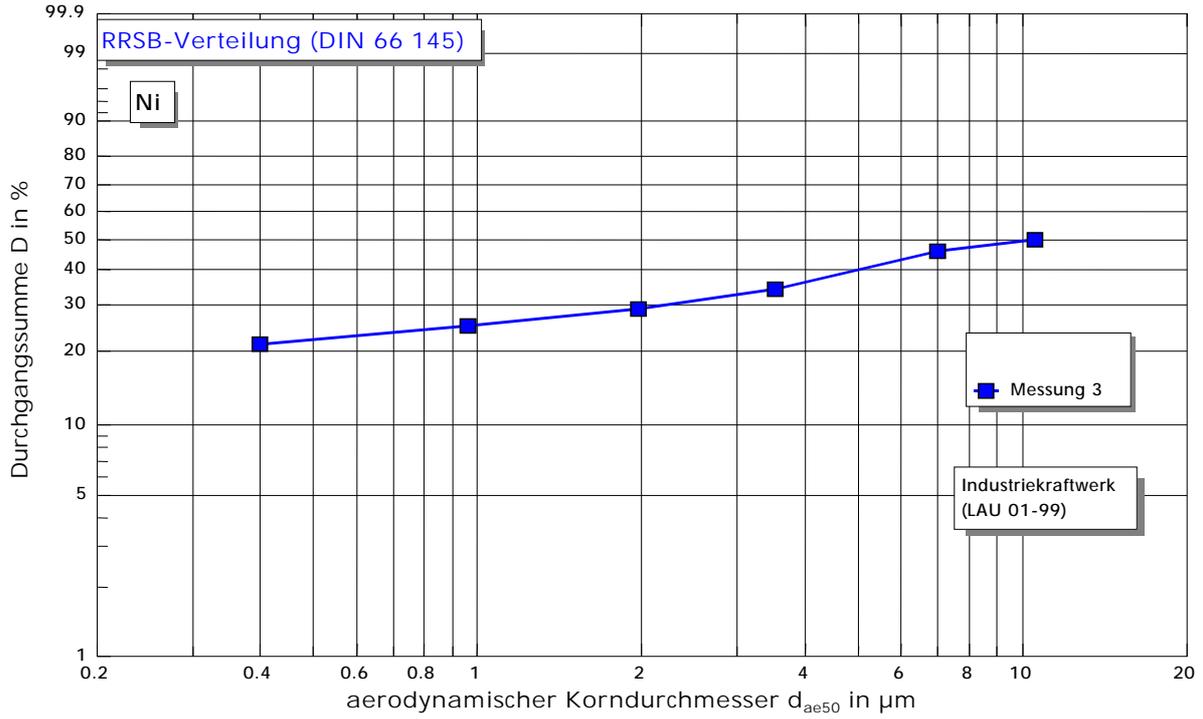
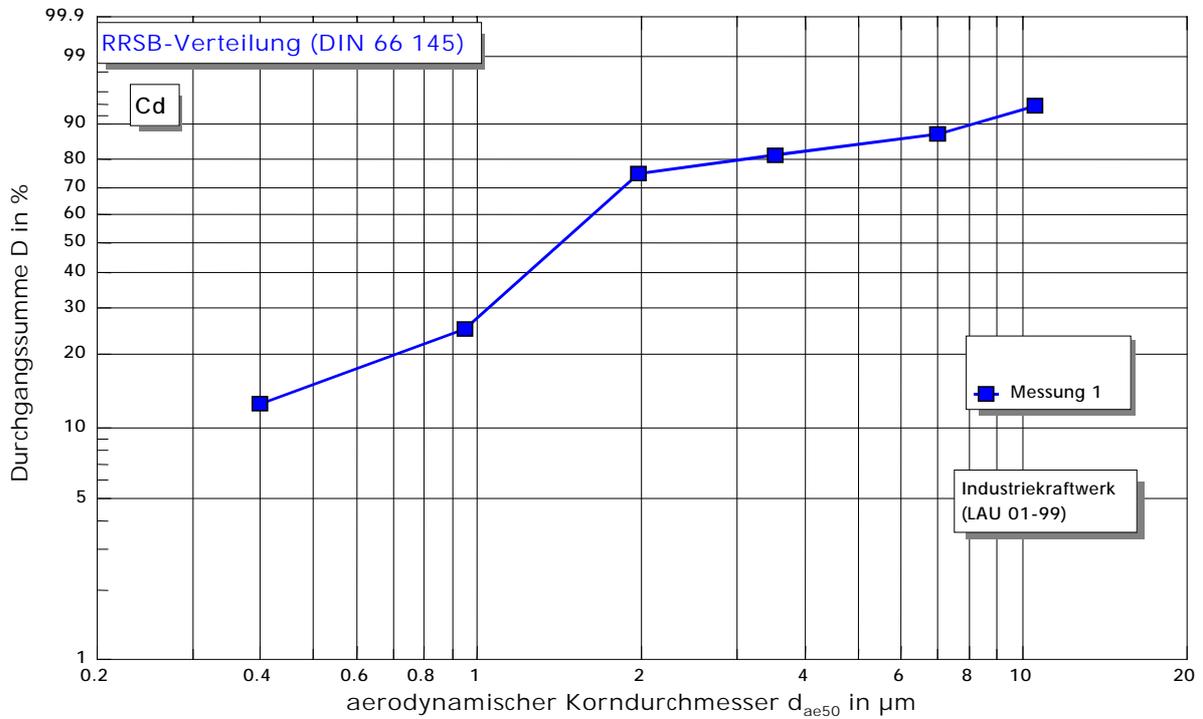


Abbildung 4.6: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Cadmium



Industriekraftwerk Zuckerindustrie

Dampferzeuger:	80 t/h
Brennstoff:	Braunkohlenbrikett
Entstaubung:	Horizontal-EGR
Entschwefelung:	Additiv [Ca (OH) ₂ nach DIN 19611]



Ausgewählte Parameter im Probenahmezeitraum:

- Mittlerer Volumenstrom:	131.000 m ³ _{i.N.,tr.} /h
- Mittlerer Staubgehalt:	4,6 mg/m ³ _{i.N.,tr.}
- Mittlere Abgastemperatur:	145 °C
- Mittlere Probenahmedauer:	16 h

Tabelle 5.1: Industriekraftwerk; Braunkohlenbrikett; Partikelfractionen

Anlage	Industriekraftwerk
Nennleistung	80 t/h Dampf
Einrichtung zur Abgasreinigung	EGR, Entschwefelung

Messberichts-Nummer	LAU 10-98		
Gesamtstaubkonzentration [mg/m ³] ⁹	4,1	4,3	5,4
Brennstoffe	Braunkohlenbrikett LAUBAG		

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum	124 t/h	125 t/h	125 t/h
Probenahmezeit [h:min]	8:00	16:00	16:00
Abgasfeuchte [g/m ³] ¹	101,5	101,5	101,5
Abgastemperatur [°C]	141	146	147
Abgasgesamtdruck [hPa]	1001	996	1013
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	19	19	19
Abgasvolumenstrom [m ³ /h] ¹	131.000	131.000	131.000
Weitere Messkomponenten			
Sauerstoff [%]	5,4	5,4	5,5
Stickstoffoxide [mg/m ³] ¹	241	239	238
Schwefeldioxid [mg/m ³] ¹	601	630	620
Kohlenmonoxid [mg/m ³] ¹	37	43	44

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1		Messung 2		Messung 3	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
10,85	0,1	12,11	2,1	10,90	1,0
7,31	0,1	8,02	0,7	7,34	0,4
5,08	0,4	4,04	1,0	5,10	1,0
3,50	0,2	2,25	1,6	3,51	0,4
2,18	0,6	1,09	3,9	2,19	1,2
1,08	1,0	0,45	5,7	1,09	2,7
0,65	1,3	Endfilter	2,2	0,66	3,5
0,44	1,1			0,44	2,2
Endfilter	0,7			Endfilter	2,4

	Messung 1			Messung 2			Messung 3		
	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]
PM10	98	4,5	0,6	86	4,0	0,5	93	4,3	0,6
PM 2,5	77	3,5	0,5	70	3,2	0,4	75	3,5	0,5
PM1,0	52	2,4	0,3	41	1,9	0,3	50	2,3	0,3

¹ bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand (273 K, 1013 hPa)

Tabelle 5.2: Industriekraftwerk; Braunkohlenbrikett; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Industriekraftwerk
Messberichts-Nummer	LAU 10-98

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
10,85	<0,03	<0,08	<3,0	<0,05	<0,03	<0,05	<0,16	7,15	0,010	<2,0
7,31	<0,03	<0,08	20,4	<0,05	<0,03	<0,05	<0,16	<0,30	0,007	<2,0
5,08	<0,03	0,12	59,6	0,11	<0,03	0,70	0,34	10,54	0,012	<2,0
3,50	<0,03	0,12	<3,0	<0,05	<0,03	0,09	<0,16	<0,30	0,013	<2,0
2,18	2,55	0,76	66,7	2,94	1,07	1,34	0,66	11,54	0,006	<2,0
1,08	<0,03	0,09	61,5	0,29	<0,03	0,34	0,23	<0,30	0,026	<2,0
0,65	<0,03	0,23	44,8	0,80	0,12	0,50	0,26	10,34	0,012	<2,0
0,44	<0,03	0,14	13,2	0,12	0,11	0,32	0,24	<0,30	0,005	<2,0
Endfilter	<0,03	<0,08	<3,0	<0,05	<0,03	<0,05	<0,16	<0,30	<0,001	<2,0

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
12,11	0,42	<0,075	46,3	0,35	<0,03	0,78	0,44	9,88	0,010	<2,0
8,02	0,07	<0,075	29,8	0,14	<0,03	0,82	4,75	<0,30	0,008	<2,0
4,04	0,44	<0,075	19,1	0,57	0,63	0,82	3,11	10,82	0,007	<2,0
2,25	0,12	<0,075	75,7	0,24	<0,03	0,55	0,43	<0,30	0,002	<2,0
1,09	<0,03	<0,075	61,9	1,38	<0,03	0,49	<0,16	10,31	<0,001	<2,0
0,45	0,43	<0,075	156,8	2,44	<0,03	0,42	0,77	<0,30	0,004	<2,0
Endfilter	1,10	<0,075	106,2	1,91	0,12	0,88	<0,16	2,06	0,010	<2,0

Messung 3										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [μg]									
10,90	1,96	0,81	258,4	1,36	0,26	0,88	<0,16	1,95	0,004	<2,0
7,34	1,19	<0,075	100,5	0,77	0,09	0,46	<0,16	2,85	0,007	<2,0
5,10	1,42	0,13	206,8	<0,05	0,09	0,74	<0,16	1,38	0,001	<2,0
3,51	1,29	<0,075	124,4	0,88	<0,03	0,49	<0,16	2,12	<0,001	<2,0
2,19	1,57	<0,075	128,9	1,44	0,93	0,78	<0,16	4,09	0,002	<2,0
1,09	1,09	<0,075	168,3	1,59	0,05	0,56	4,04	1,88	0,003	<2,0
0,66	1,08	<0,075	159,2	1,88	<0,03	0,53	<0,16	1,86	0,002	<2,0
0,44	0,92	<0,075	135,7	1,21	<0,03	1,18	0,45	1,51	<0,001	<2,0
Endfilter	1,06	<0,075	152,4	2,09	<0,03	0,92	<0,16	2,95	0,003	<2,0

Abbildung 5.1: Partikelgrößenverteilungen

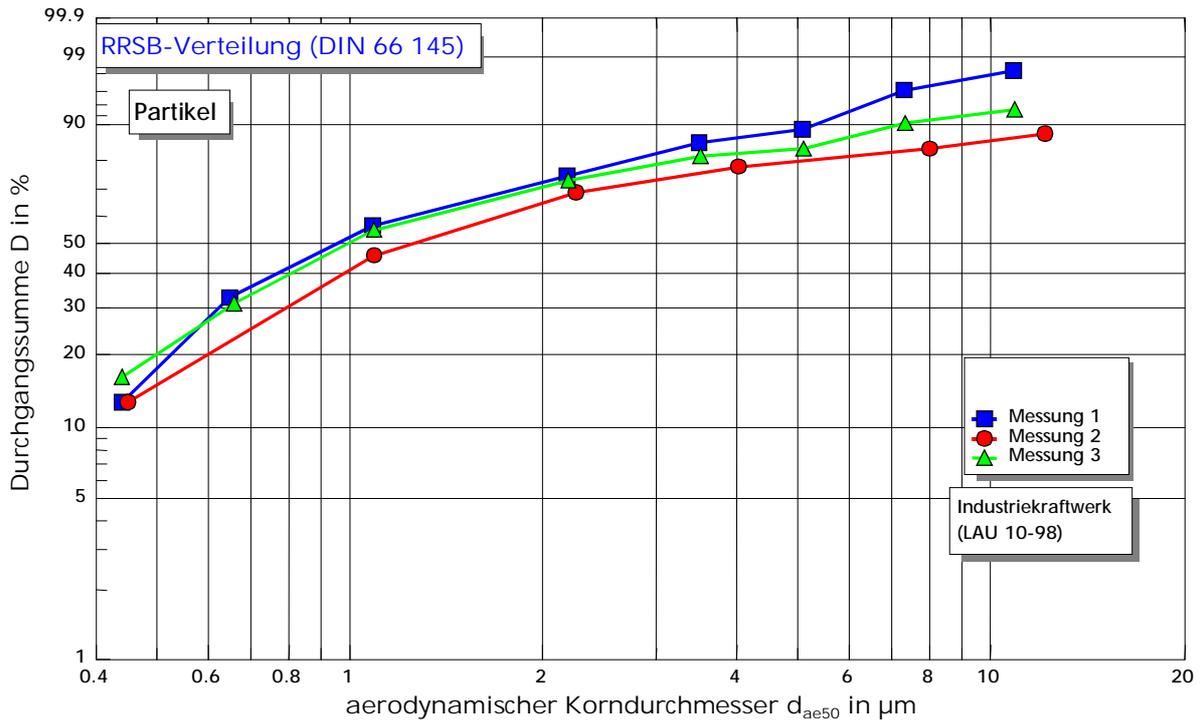


Abbildung 5.2: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Chrom

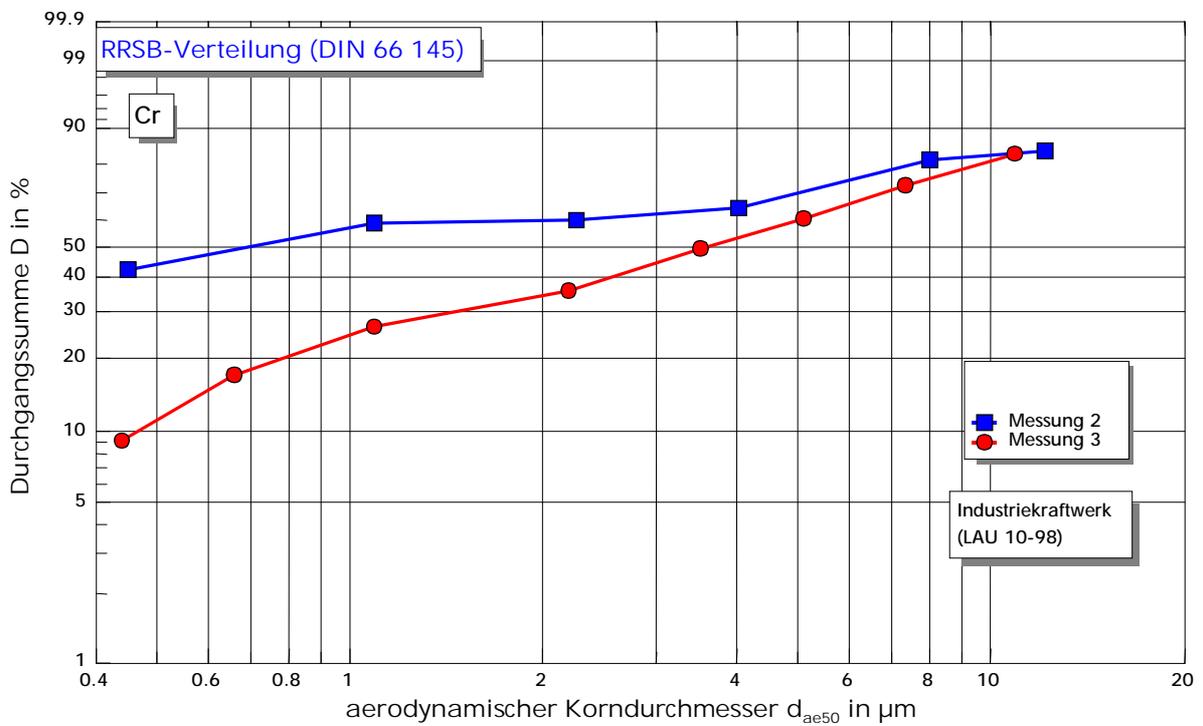


Abbildung 5.3: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Eisen

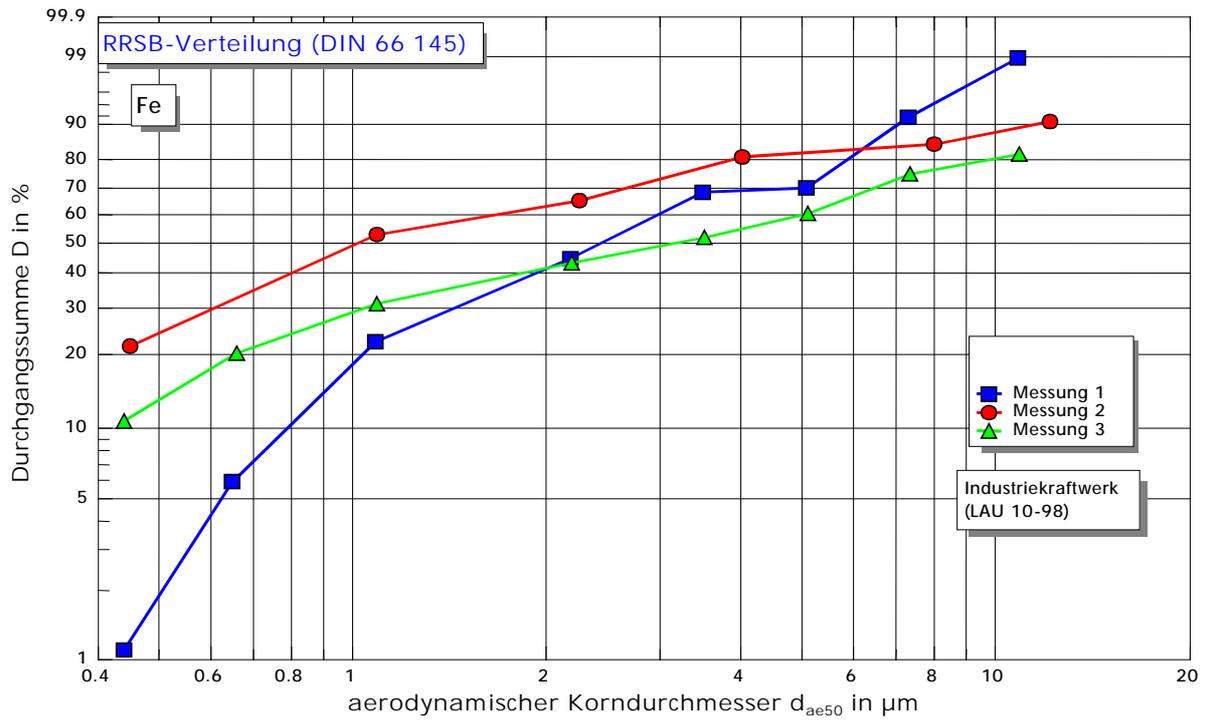


Abbildung 5.4: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Mangan

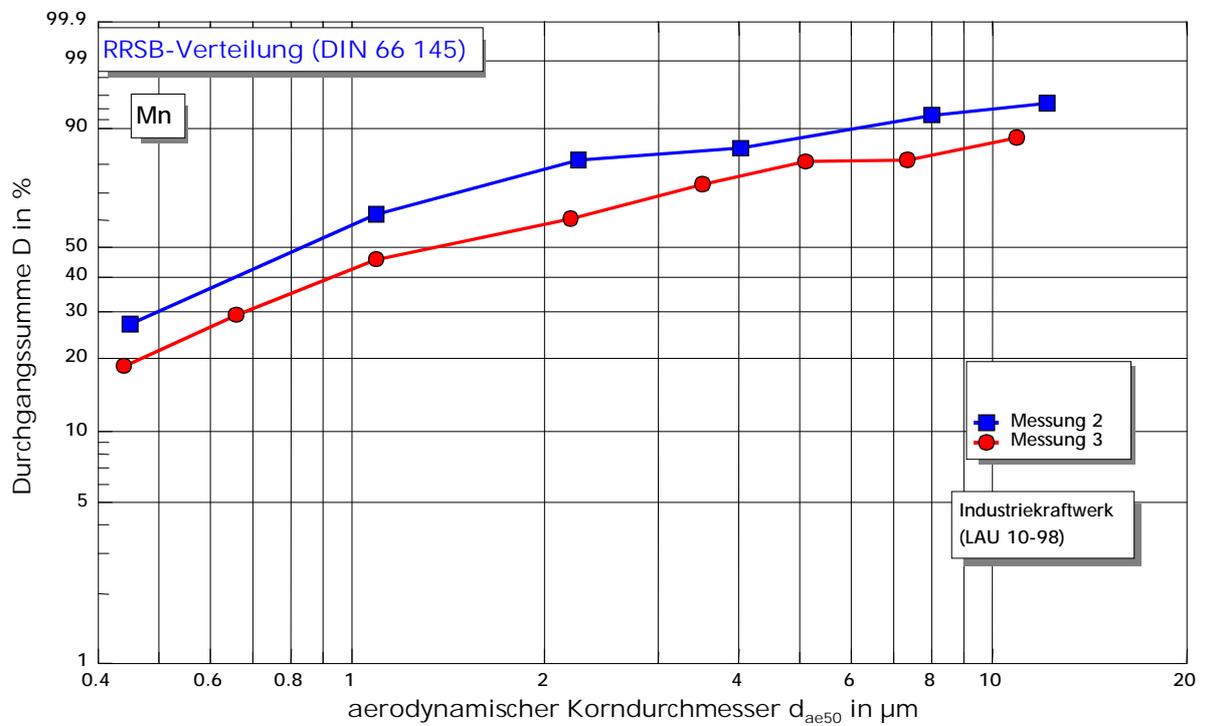


Abbildung 5.5: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Blei

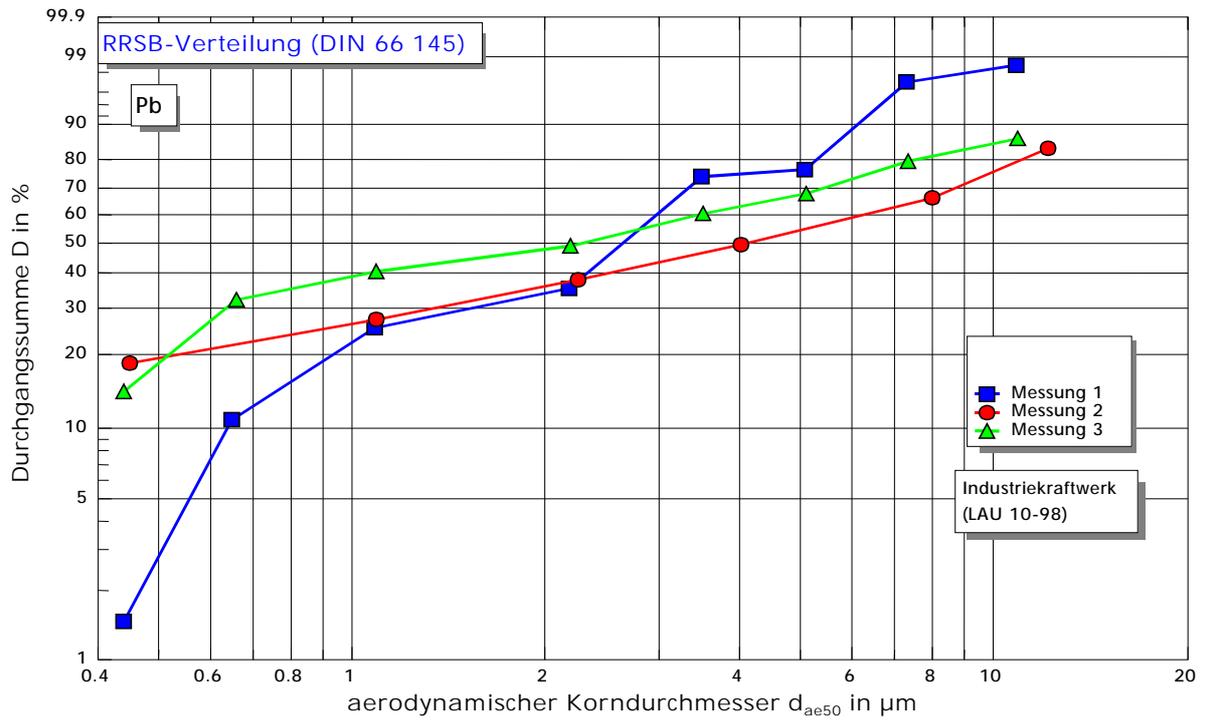


Abbildung 5.6: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Cadmium

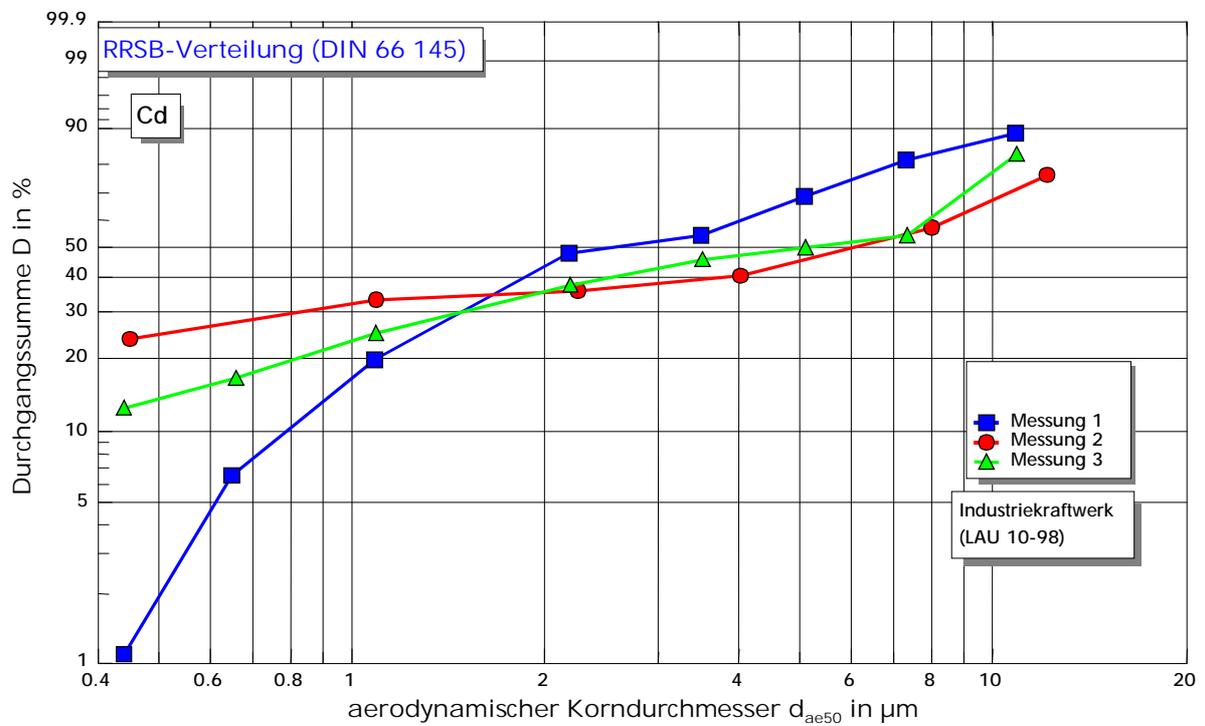


Abbildung 5.7: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Kupfer

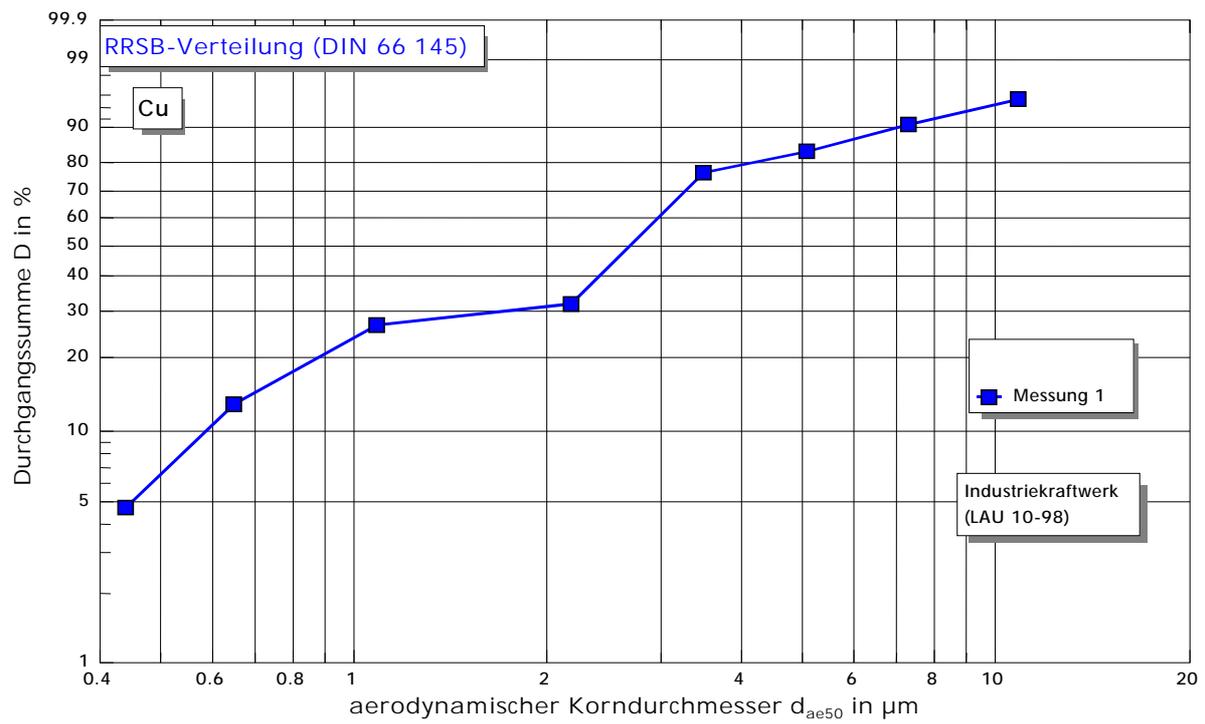


Abbildung 5.8: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Selen

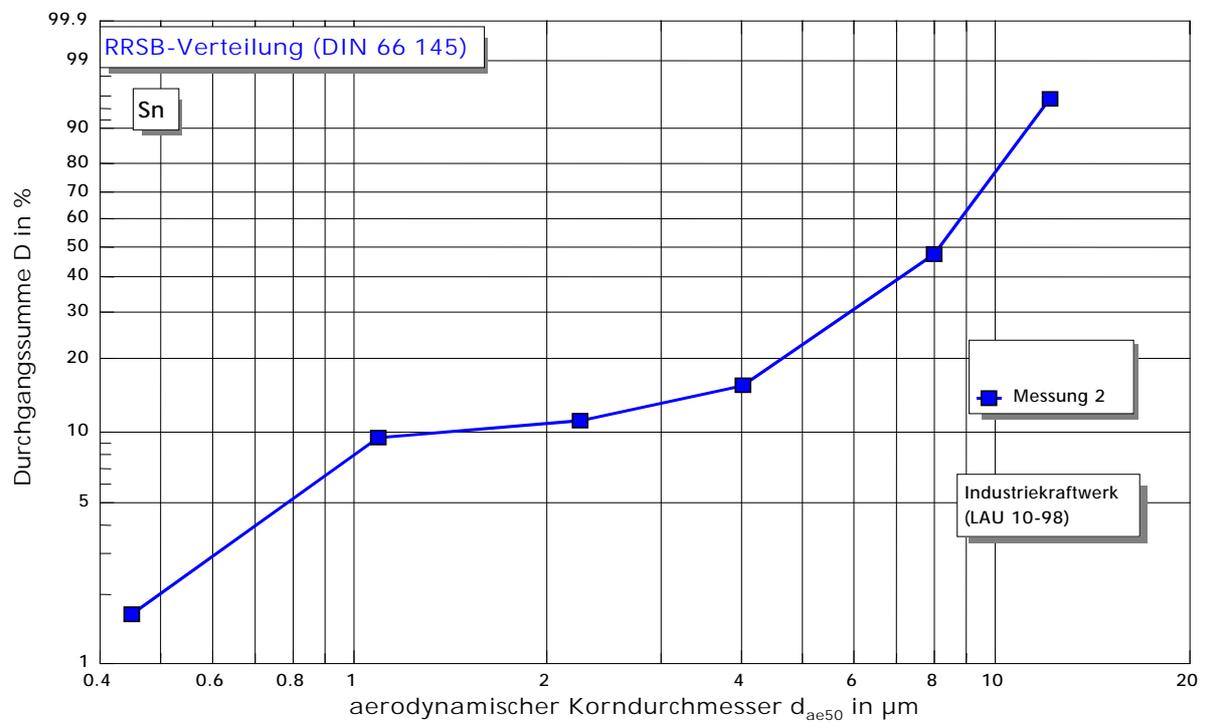
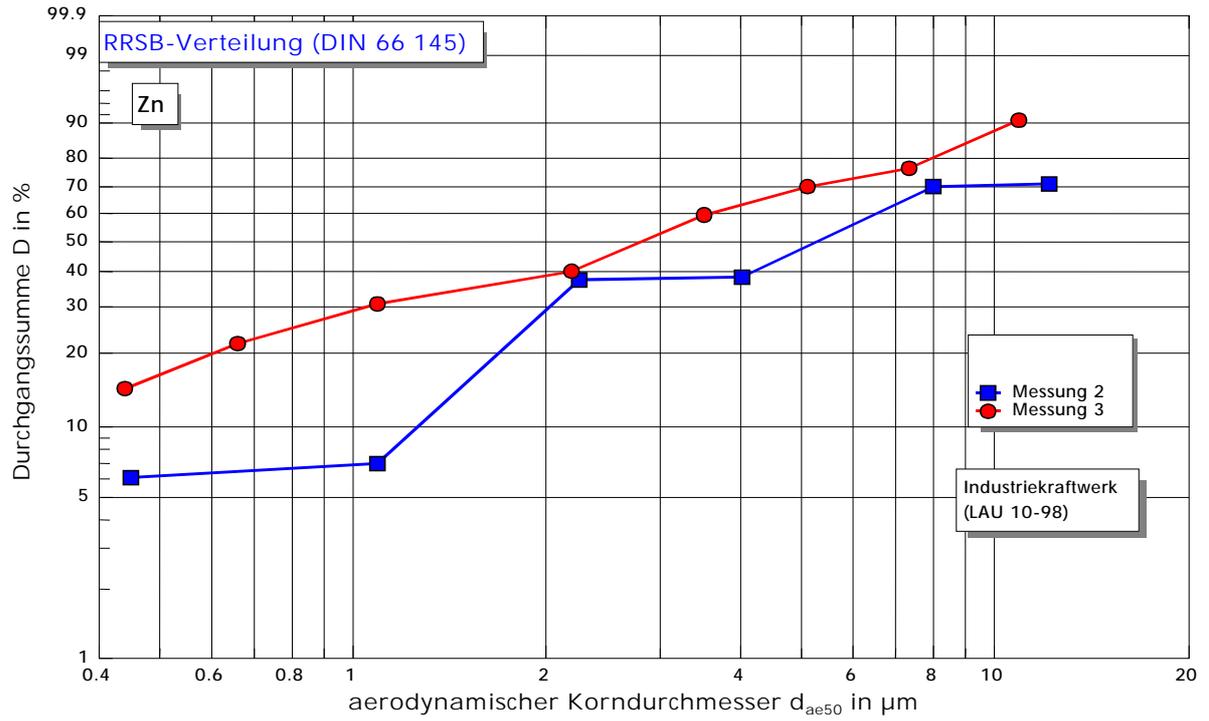


Abbildung 5.9: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Zink



Industriekraftwerk Wirbelschichtfeuerung

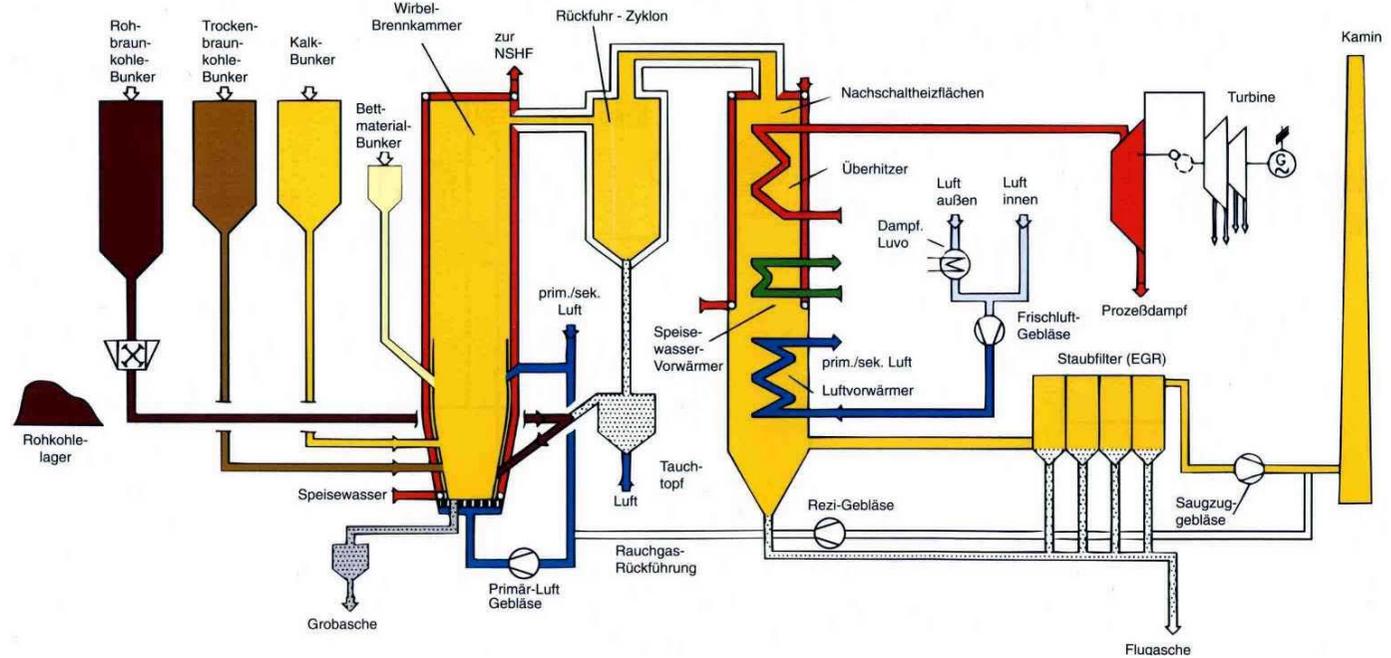
Leistung: 150 t/h

Brennstoff: Rohbraunkohle

Entstaubung:
EGR (horizontal)

Entschwefelung: Zugabe von
Kalksteinmehl

NO_x-Minderung: externe
Rauchgaszirkulation



Ausgewählte Parameter im Probenahmezeitraum:

- Mittlerer Volumenstrom: 180.000 m³_{i.N.tr.}/h
- Mittlere Gesamtstaubkonzentration: 14,4 mg/m³_{i.N. tr}
- Mittlere Abgastemperatur: 147 °C
- Mittlere Probenahmezeit: 6 h

Tabelle 6.1: Industriekraftwerk; Rohbraunkohle; Wirbelschichtfeuerung; Partikelfractionen

Anlage	Industriekraftwerk
Leistungsparameter (Nennleistung)	144 MW
Einrichtung zur Abgasreinigung	EGR, Entschwefelung, Entstickung

Messberichts-Nummer	LAU 05-00		
Gesamtstaubkonzentration [mg/m ³] ¹⁰	13,4	13,8	16,0
Brennstoffe	Rohbraunkohle		

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum	116 MW	114 MW	113 MW
Probenahmezeit [h:min]	6:14	6:09	6:09
Abgasfeuchte [g/m ³] ¹	202	202	202
Abgastemperatur [°C]	145	150	145
Abgasgesamtdruck [hPa]	1012	1012	1001
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	18	18	18
Abgasvolumenstrom [m ³ /h] ¹	180.000	180.000	180.000
Sauerstoff [%]	6,0	5,9	6,1

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1		Messung 2		Messung 3	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
11,23	0,1	12,50	1,9	11,25	1,3
7,57	1,0	8,28	1,3	7,58	2,5
5,26	2,5	4,18	4,1	5,27	5,8
3,62	3,0	2,33	11,1	3,63	7,5
2,26	8,2	1,12	15,5	2,26	15,9
1,12	12,9	0,47	10,8	1,12	28,7
0,68	9,3	Endfilter	2,6	0,68	17,1
0,46	4,1			0,46	8,0
Endfilter	0,5			Endfilter	1,8

	Messung 1			Messung 2			Messung 3		
	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]	D [%]	c [mg/m ³]	\dot{m} [kg/h]
PM10	99,0	14,2	2,6	94,4	13,6	2,5	97,6	14,1	2,5
PM 2,5	67,9	9,8	1,8	63,3	9,1	1,6	65,9	9,5	1,7
PM1,0	27,3	3,9	0,7	24,1	3,5	0,6	25,1	3,6	0,6

¹ bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand (273 K, 1013 hPa)

Tabelle 6.2: Industriekraftwerk; Rohbraunkohle; Wirbelschichtfeuerung; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Industriekraftwerk
Messberichts-Nummer	LAU 05-00

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [ng]	m [ng]	m [μg]	m [μg]	m [μg]	m [ng]	m [ng]	m [μg]	m [ng]	m [ng]
11,23	<50	<15	n.b. ²	1,03	0,72	<10	130	2,43	3,3	<2
7,57	<50	<15	n.b.	0,93	0,54	32,2	<100	2,13	<2	<2
5,26	<50	<15	n.b.	1,65	2,10	24,5	105	2,34	<2	<2
3,62	<50	<15	n.b.	1,35	0,24	17,6	117	0,97	<2	<2
2,26	<50	<15	n.b.	3,73	0,84	16,1	153	2,52	6,0	<2
1,12	<50	<15	n.b.	4,47	0,42	<10	210	2,45	5,1	<2
0,68	<50	<15	n.b.	4,78	0,96	<10	201	2,40	<2	<2
0,46	<50	<15	n.b.	1,99	0,57	<10	148	0,81	4,0	<2
Endfilter	118	<15	n.b.	1,88	1,21	57,1	126	7,63	3,3	<2

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [ng]	m [ng]	m [μg]	m [μg]	m [μg]	m [ng]	m [ng]	m [μg]	m [ng]	m [ng]
12,50	<50	<15	n.b.	0,84	0,35	<10	<100	0,99	<2	3,07
8,28	504	79,1	n.b.	0,90	0,29	<10	<100	1,32	<2	3,13
4,18	344	36,7	n.b.	2,36	0,29	<10	<100	1,99	<2	3,18
2,33	801	167,3	n.b.	6,54	0,53	69,2	185	2,13	7,4	3,47
1,12	657	113,1	n.b.	5,42	0,40	61,5	151	1,99	<2	3,76
0,47	554	95,2	n.b.	5,85	0,31	30,6	123	1,27	3,9	3,80
Endfilter	381	27,7	n.b.	2,24	0,36	<10	113	6,06	9,3	3,39

Messung 3										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [ng]	m [ng]	m [μg]	m [μg]	m [μg]	m [ng]	m [ng]	m [μg]	m [ng]	m [μg]
11,25	<50	<15	n.b.	1,1	0,37	<10	112	2,28	<2	<2
7,58	<50	<15	n.b.	<0,4	<100	<10	<100	<0,5	<2	<2
5,27	<50	<15	n.b.	1,8	0,15	<10	102	0,86	<2	<2
3,63	<50	<15	n.b.	3,0	0,50	<10	112	1,09	<2	<2
2,26	<50	<15	n.b.	4,6	0,11	<10	140	1,74	20,7	<2
1,12	193	41	n.b.	9,5	0,14	<10	113	0,33	6,6	<2
0,68	244	52	n.b.	10,9	<100	18	151	<0,5	6,9	<2
0,46	1105	231	n.b.	3,1	<100	159	<100	<0,5	<2	<2
Endfilter	177	53	n.b.	<0,4	134	<10	<100	0,69	3,5	<2

² nicht bestimmt

Abbildung 6.1: Partikelgrößenverteilungen

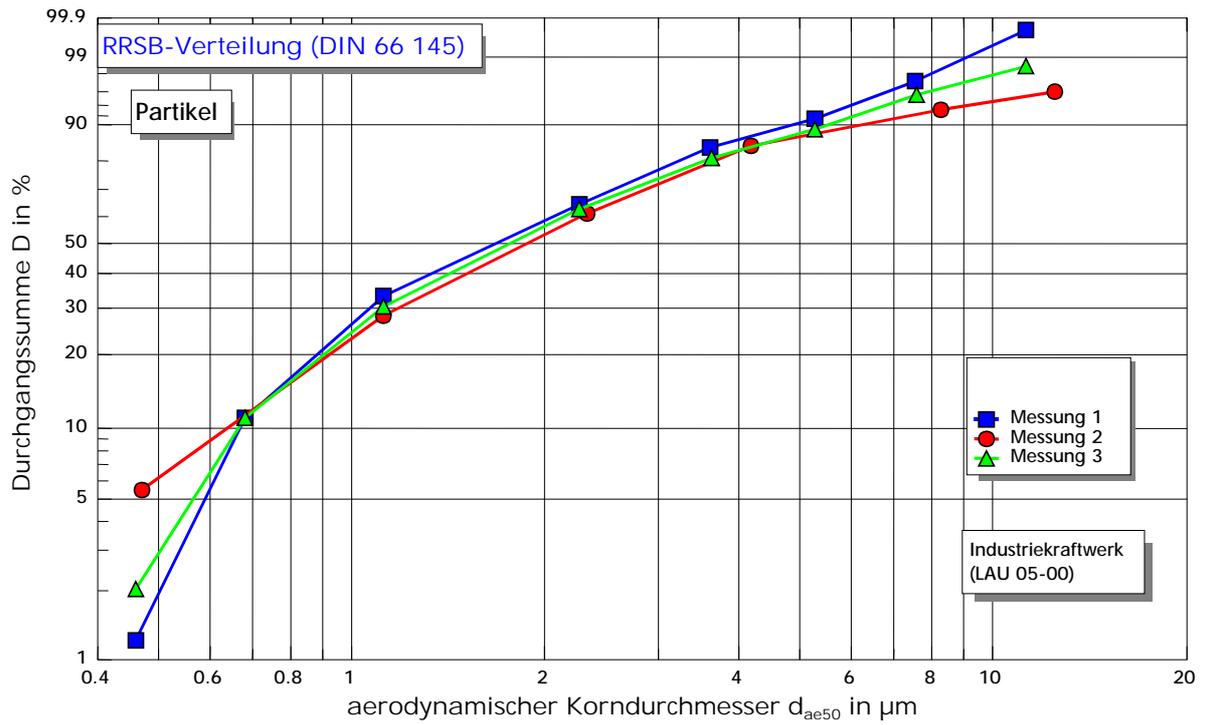


Abbildung 6.2: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Chrom

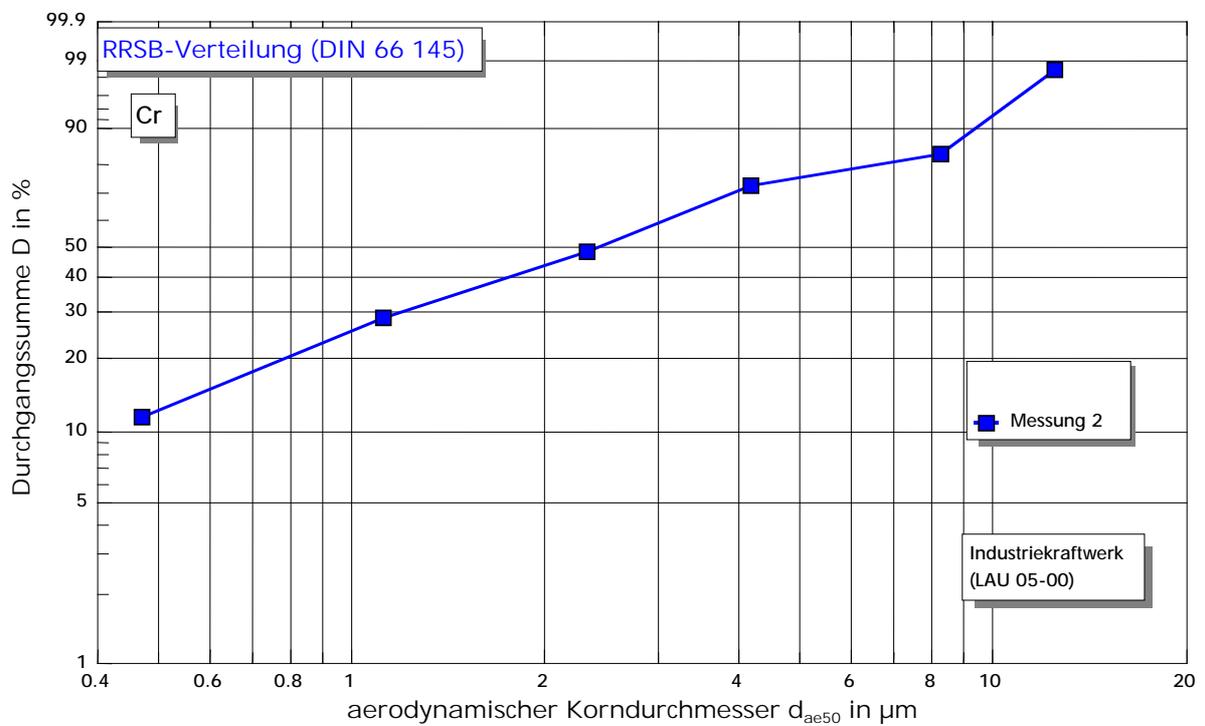


Abbildung 6.3: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Kupfer

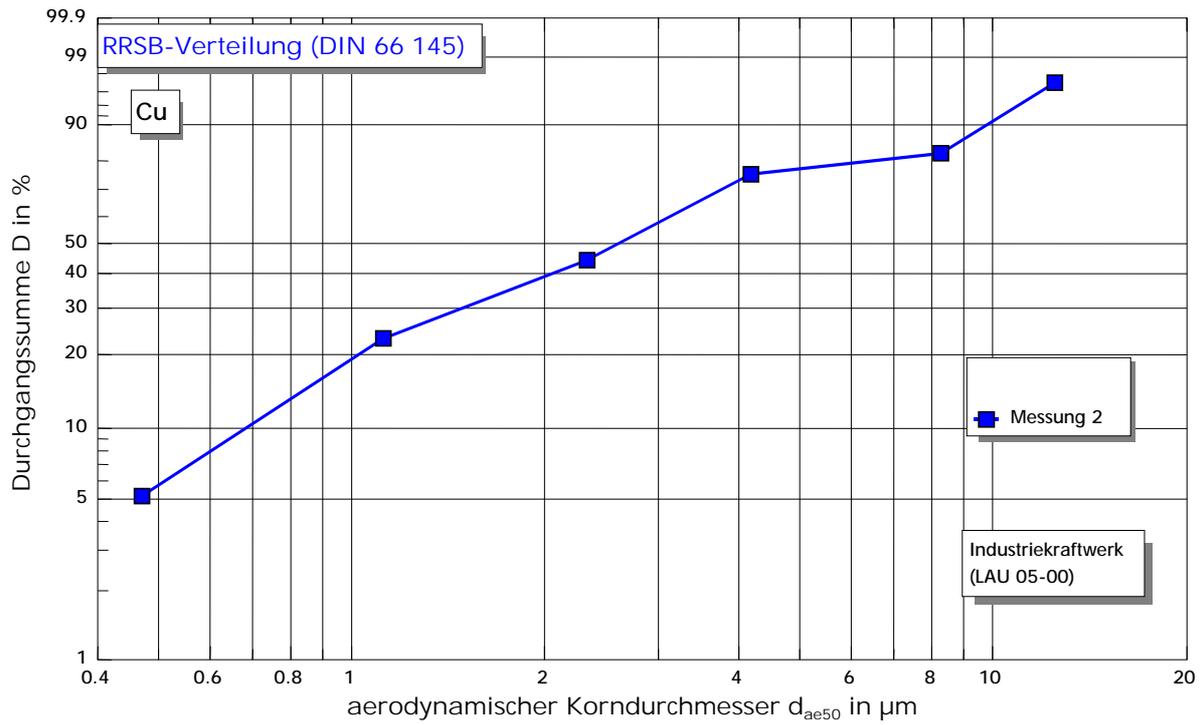


Abbildung 6.4: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Mangan

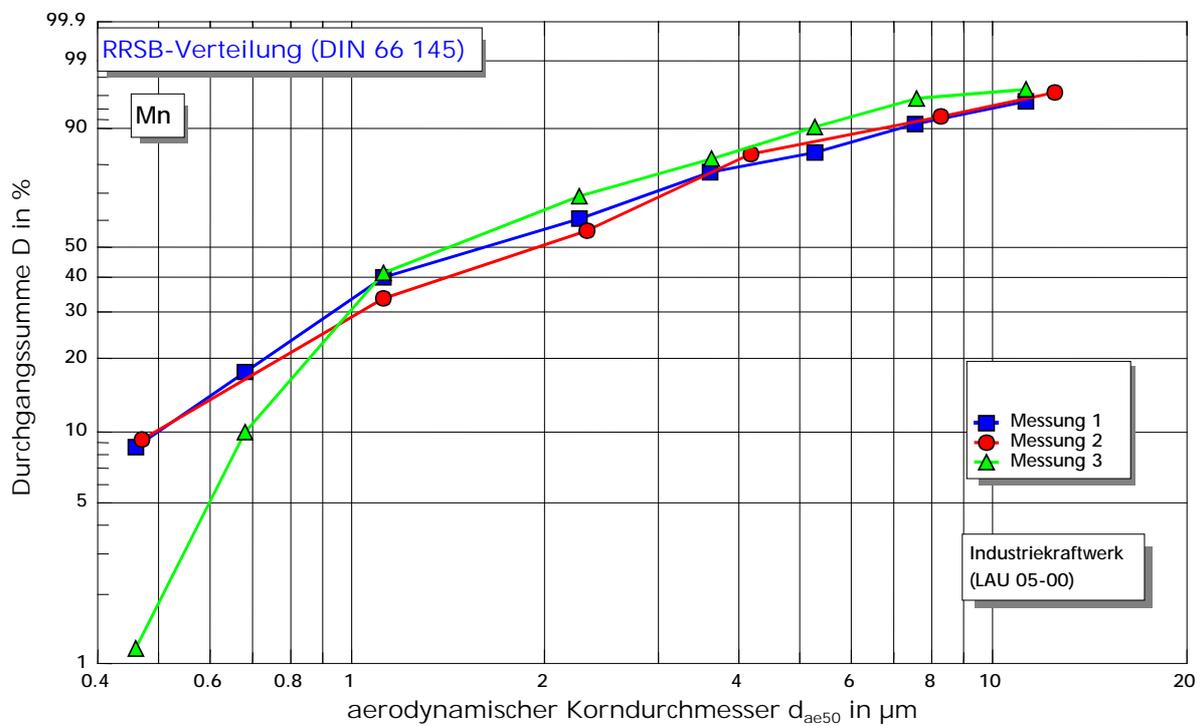


Abbildung 6.5: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Nickel

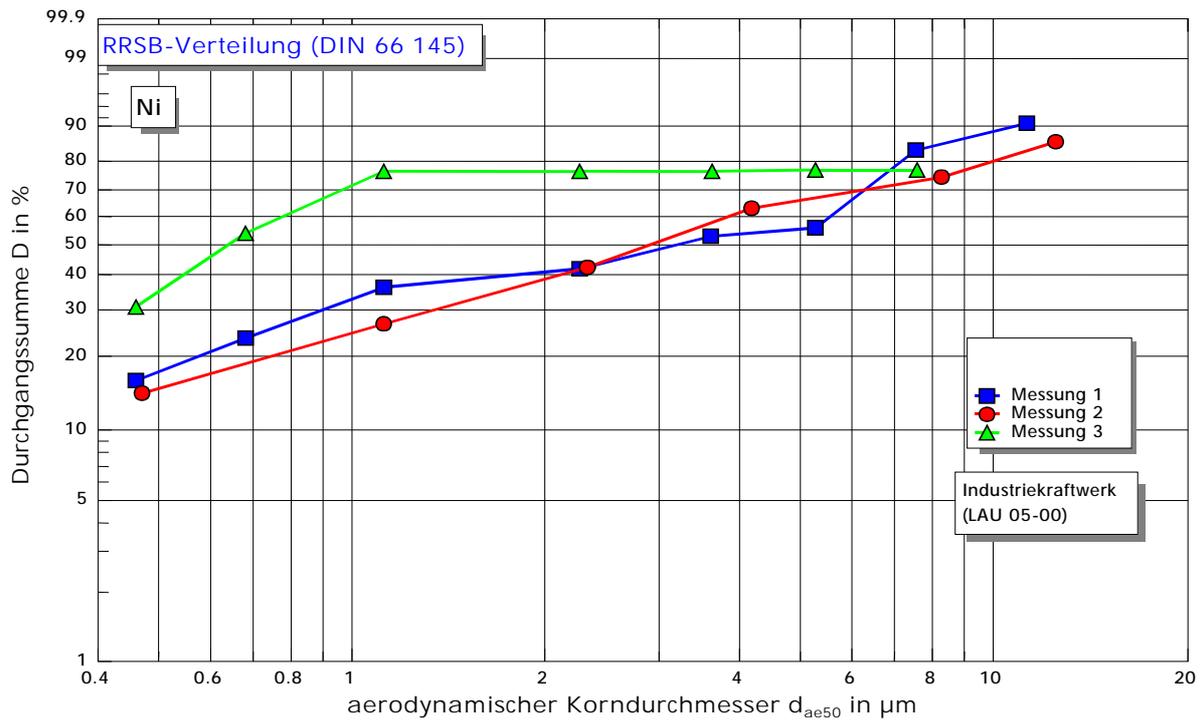


Abbildung 6.6: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Selen

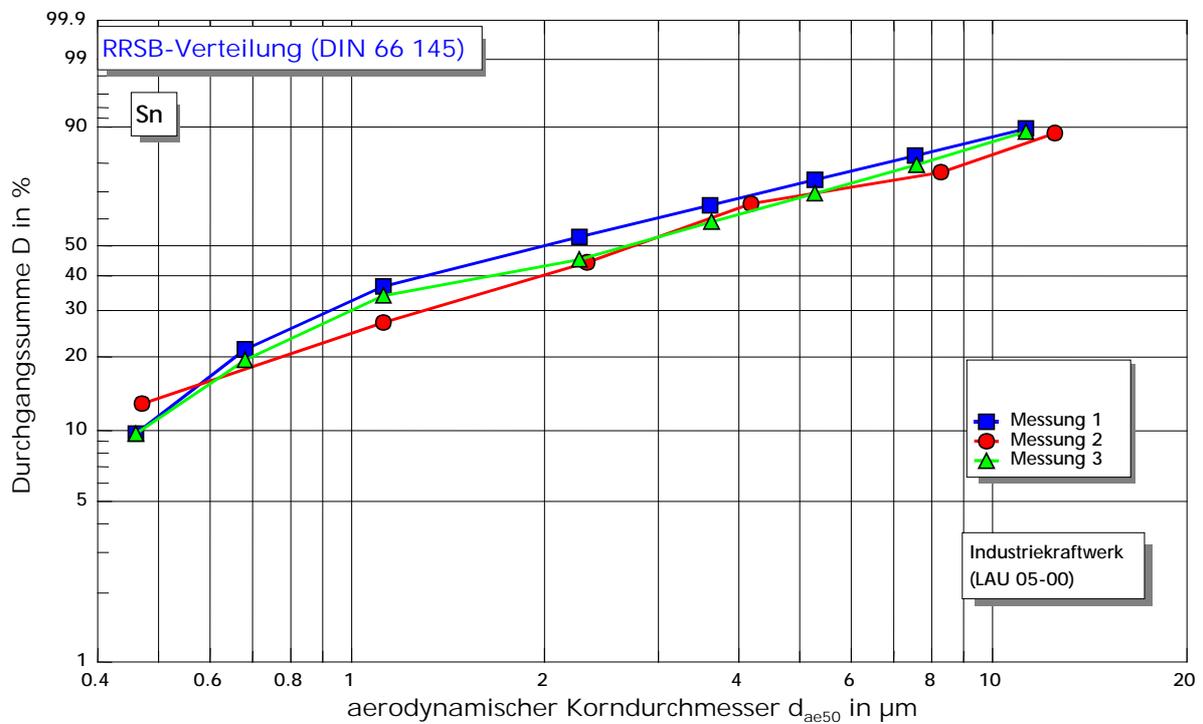


Abbildung 6.7: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Zink

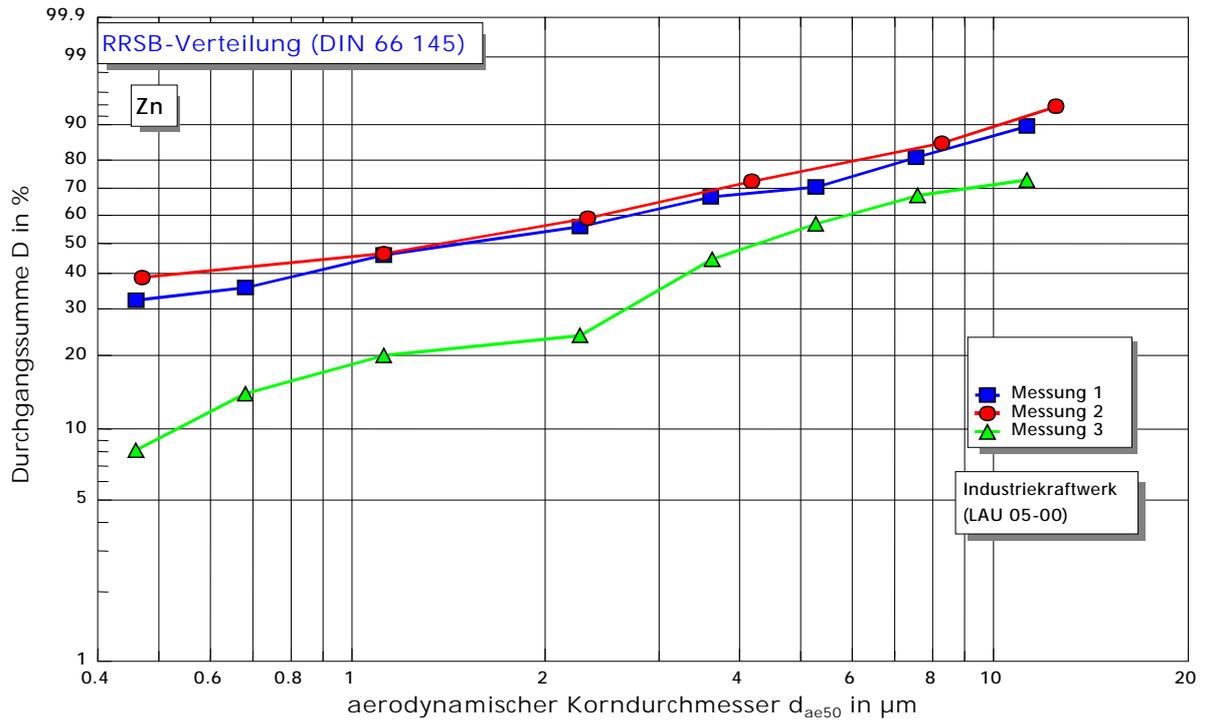
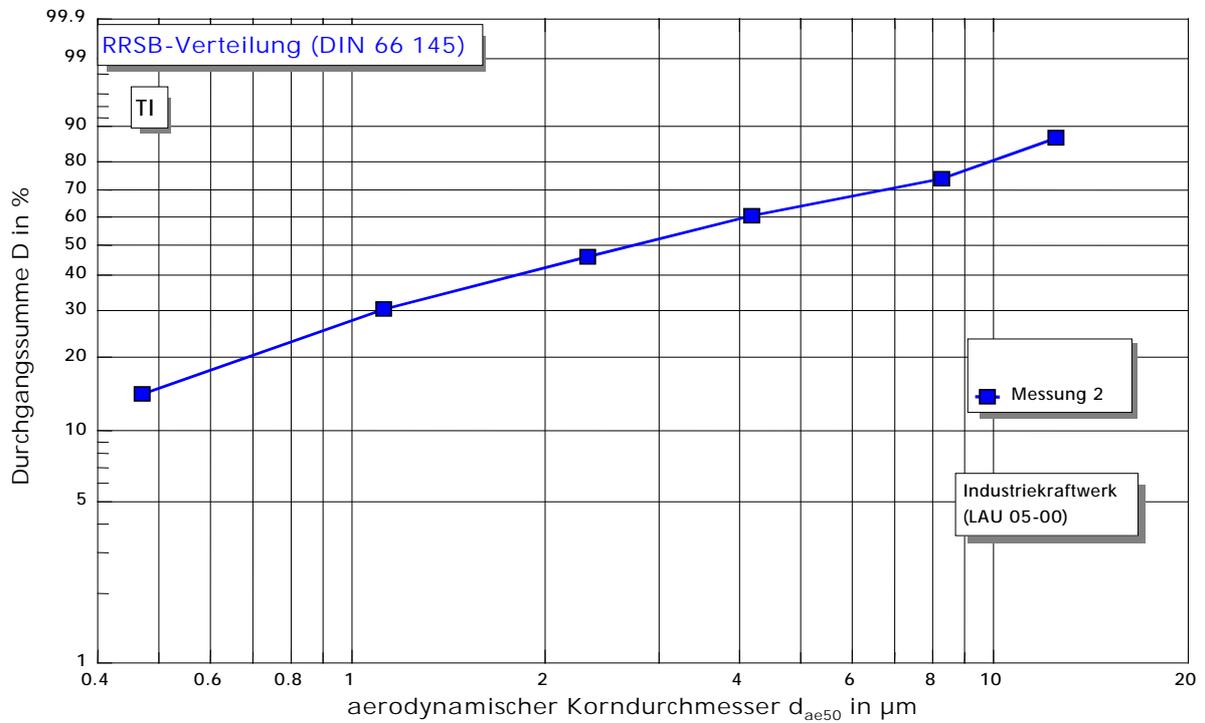


Abbildung 6.8: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Thallium



Durchbrandofen

- Leistung: 6 KW
- Typ: OHRA 812 DGH/N
- Brennstoff: Braunkohlenbrikett
- MIBRAG (M)
 - LAUBAG (L)
 - Polnische Brikett (P)
 - Baschkirische Brikett (B)



Ausgewählte Parameter im Probenahmezeitraum:

- Mittlerer Volumenstrom: 48 (M); 40 (L); 38 (B) $\text{m}^3_{\text{i.N.,tr.}}/\text{h}$ im Gesamtzyklus
- Mittlerer Staubgehalt: 50(M); 20(L); 148 (B) $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{i.N.,tr.}}$ im Gesamtzyklus
- Mittlere Probenahmedauer: 1 h

Tabelle 7.1.1: Durchbrandofen; LAUBAG-Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Partikelfraktionen

Anlage	Durchbrandofen
Nennleistung	6 KW
Brennstoff	Braunkohlenbrikett LAUBAG

Messberichts-Nummer	LAU 02-99
Messort	Vor Abkühlung der Rauchgase

	Messung	
	1	2
Leistungsparameter im Messzeitraum	6 KW	6 KW
Probenahmezeit [h:min]	1:00	1:00
Abgasfeuchte [g/m ³]	45	47
Abgastemperatur [°C]	289	330
Abgasgesamtdruck [hPa]	1000	981
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	1,3	1,3

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung			
Messung 1		Messung 2	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
23,27	1,3	23,81	0,8
15,70	1,0	16,06	0,9
10,93	0,9	11,18	0,8
7,55	1,1	7,72	0,7
4,74	1,3	4,84	0,9
2,39	0,9	2,44	1,3
1,47	1,4	1,49	1,3
1,02	1,4	1,03	1,6
Endfilter	30,0	Endfilter	26,6

	Messung 1	Messung 2
	D [%]	D [%]
PM10	91,1	92,2
PM 2,5	83,6	84,6
PM1,0	74,8	74,0

Tabelle 7.1.2: Durchbrandofen; LAUBAG-Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Partikelfractionen

Anlage	Durchbrandofen
Nennleistung	6 KW
Brennstoff	Braunkohlenbrikett LAUBAG

Messberichts-Nummer	LAU 02-99
Messort	Nach Abkühlung der Rauchgase

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum	6 KW	6 KW	6 KW
Probenahmezeit [h:min]	1:00	1:00	1:00
Abgasfeuchte [g/m ³]	47	47	47
Abgastemperatur [°C]	47	67	63
Abgasgesamtdruck [hPa]	1000	981	981
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	1,24	1,24	1,24

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1		Messung 2		Messung 3	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
16,10	0,9	16,46	0,4	16,38	0,4
10,68	0,7	10,92	0,5	10,87	0,4
5,43	0,9	5,54	0,7	5,52	0,6
3,06	1,0	3,12	0,4	3,10	0,3
1,51	1,0	1,54	0,8	1,53	0,6
0,66	1,3	0,67	2,1	0,67	1,2
Endfilter	26,6	Endfilter	8,6	Endfilter	9,5

	Messung 1 D [%]	Messung 2 D [%]	Messung 3 D [%]
PM10	94,7	92,5	93,1
PM 2,5	88,1	82,9	85,2
PM1,0	83,7	69,6	76,6

Tabelle 7.1.3: Durchbrandofen; LAUBAG-Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Durchbrandofen
Brennstoff	LAUBAG-Brikett
Messort	Vor Abkühlung der Rauchgase
Messberichts-Nummer	LAU 02-99

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
23,27	0,901	<0,10	44,6	0,785	0,712	0,75	<0,12	4,22	<0,001	<4,5
15,70	0,425	<0,10	20,6	0,398	0,364	0,56	<0,12	2,54	<0,001	<4,5
10,93	0,740	<0,10	30,0	0,672	0,519	0,64	<0,12	3,68	<0,001	<4,5
7,55	0,746	<0,10	33,1	0,666	0,542	<0,10	0,137	3,96	<0,001	<4,5
4,74	0,598	<0,10	27,6	0,547	0,492	0,85	<0,12	3,29	<0,001	<4,5
2,39	0,380	<0,10	18,7	0,394	0,348	0,74	<0,12	2,74	<0,001	<4,5
1,47	0,785	<0,10	36,1	0,673	0,510	0,74	<0,12	4,14	<0,001	<4,5
1,02	0,601	<0,10	23,9	0,494	0,499	1,35	<0,12	3,26	<0,001	<4,5
Endfilter	0,453	<0,10	11,4	0,449	0,435	0,16	<0,12	4,52	0,047	<4,5

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
23,81	1,31	<0,10	59	1,32	0,41	0,710	<0,120	4,2	<0,001	<4,5
16,06	0,58	<0,10	32	0,83	0,29	0,246	<0,120	2,2	<0,001	<4,5
11,18	3,96	0,59	128	3,70	1,68	0,660	0,133	10,2	<0,001	<4,5
7,72	3,96	<0,10	154	3,39	1,34	0,540	0,145	8,9	<0,001	<4,5
4,84	4,24	<0,10	163	3,95	1,49	0,700	<0,120	10,1	<0,001	<4,5
2,44	3,73	<0,10	142	3,40	1,33	0,660	0,217	8,6	<0,001	<4,5
1,49	4,05	<0,10	150	3,64	1,91	0,376	0,206	12,1	<0,001	<4,5
1,03	3,01	<0,10	116	2,73	1,01	0,440	<0,120	7,3	<0,001	<4,5
Endfilter	43,11	14,12	514	14,07	14,01	1,400	<0,120	17,6	0,136	<4,5

Table 7.1.4: Durchbrandofen; LAUBAG-Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Durchbrandofen
Brennstoff	LAUBAG-Brikett
Messort	Nach Abkühlung der Rauchgase
Messberichts-Nummer	LAU 02-99

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
16,10	2,64	<0,10	104,6	2,28	1,52	0,285	<0,12	6,26	<0,001	<4,50
10,68	3,61	<0,10	99,9	3,38	1,25	0,309	<0,12	9,68	<0,001	<4,50
5,43	3,40	<0,10	110,5	2,98	1,27	0,363	<0,12	8,26	<0,001	<4,50
3,06	3,52	<0,10	149,3	3,19	1,18	0,354	<0,12	8,82	<0,001	<4,50
1,51	3,97	<0,10	131,9	3,22	2,16	0,296	<0,12	9,30	<0,001	<4,50
0,66	3,96	<0,10	158,4	3,61	1,44	0,342	<0,12	10,18	0,008	<4,50
Endfilter	15,32	5,61	108,0	5,33	23,19	0,710	<0,12	15,33	<0,001	<4,50

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
16,46	3,77	<0,10	147,0	3,36	1,25	0,810	0,170	8,99	<0,001	<4,50
10,92	3,65	<0,10	138,5	3,20	1,44	0,870	0,143	8,83	<0,001	<4,50
5,54	3,97	<0,10	154,3	3,63	3,36	0,880	0,513	9,55	<0,001	<4,50
3,12	3,76	<0,10	154,5	3,42	1,58	0,690	0,237	10,74	<0,001	<4,50
1,54	4,23	<0,10	142,2	3,93	1,51	0,690	0,140	10,13	<0,001	<4,50
0,67	3,25	<0,10	130,4	3,06	1,33	0,159	<0,120	7,88	0,001	<4,50
Endfilter	1,03	<0,10	37,4	0,93	0,33	0,335	<0,120	2,13	<0,001	<4,50

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
16,38	3,64	<0,10	136,2	3,27	1,22	1,05	0,328	8,66	<0,001	<4,50
10,87	4,23	0,26	145,2	3,59	1,54	1,10	0,294	9,10	<0,001	<4,50
5,52	3,83	<0,10	128,7	3,63	1,26	1,10	0,265	9,53	<0,001	<4,50
3,10	3,53	<0,10	129,6	3,39	1,35	1,08	0,305	8,73	<0,001	<4,50
1,53	3,32	<0,10	134,4	3,18	1,13	0,78	0,267	8,24	<0,001	<4,50
0,67	3,41	<0,10	129,4	3,12	1,14	0,77	0,374	8,26	<0,001	<4,50
Endfilter	3,99	<0,10	116,6	3,94	1,63	2,71	0,355	12,07	0,015	<4,50

Tabelle 7.2.1: Durchbrandofen; MIBRAG-Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Partikelfractionen

Anlage	Durchbrandofen
Nennleistung	6 KW
Brennstoff	Braunkohlenbrikett MIBRAG

Messberichts-Nummer	LAU 03-99
Messort	Vor Abkühlung der Rauchgase

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum	6 KW	6 KW	6 KW
Probenahmezeit [h:min]	1:00	1:00	1:00
Abgasfeuchte [g/m ³]	60	60	60
Abgastemperatur [°C]	331	310	315
Abgasgesamtdruck [hPa]	996	1014	1007
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	1,2	1,2	1,2

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1		Messung 2		Messung 3	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
24,57	0,4	24,30	1,0	24,38	0,5
16,58	0,4	16,40	0,6	16,45	0,5
11,54	0,7	11,42	0,9	11,46	0,6
7,97	0,6	7,89	0,9	7,91	0,6
5,00	0,5	4,96	0,6	4,97	0,6
2,52	1,0	2,50	1,6	2,51	1,2
1,55	1,3	1,54	2,0	1,54	1,3
1,08	1,1	1,07	1,9	1,07	1,1
Endfilter	19,8	Endfilter	14,3	Endfilter	12,7

	Messung 1 D [%]	Messung 2 D [%]	Messung 3 D [%]
PM10	93	88	91
PM 2,5	85	77	80
PM1,0	75	58	65

Tabelle 7.2.2: Durchbrandofen; MIBRAG-Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Partikelfraktionen

Anlage	Durchbrandofen
Nennleistung	6 KW
Brennstoff	Braunkohlenbrikett MIBRAG

Messberichts-Nummer	LAU 03-99
Messort	Nach Abkühlung der Rauchgase

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum	6 KW	6 KW	6 KW
Probenahmezeit [h:min]	1:00	1:00	1:00
Abgasfeuchte [g/m ³]	60	60	60
Abgastemperatur [°C]	62	65	64
Abgasgesamtdruck [hPa]	996	1014	1007
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	1,0	1,0	1,0

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1		Messung 2		Messung 3	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
18,25	0,4	18,30	0,7	18,30	0,4
12,11	0,3	12,14	0,7	12,14	0,2
6,16	0,6	6,17	0,9	6,17	0,6
3,47	1,9	3,48	1,7	3,48	1,4
1,72	3,2	1,72	2,8	1,72	2,8
0,76	10,4	0,76	5,5	0,76	4,3
Endfilter	29,4	Endfilter	10,5	Endfilter	19,1

	Messung 1 D [%]	Messung 2 D [%]	Messung 3 D [%]
PM10	98	93	97,3
PM 2,5	90	77	87
PM1,0	72	53	71

Tabelle 7.2.3: Durchbrandofen; MIBRAG-Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Durchbrandofen
Brennstoff	MIBRAG-Brikett
Messort	Vor Abkühlung der Rauchgase
Messberichts-Nummer	LAU 03-99

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
24,57	0,415	<0,10	<2,5	0,29	<0,20	0,54	<0,12	1,43	0,078	<4,5
16,58	0,324	<0,10	16,7	0,21	<0,20	1,43	<0,12	<0,50	0,072	<4,5
11,54	0,568	<0,10	11,3	0,28	<0,20	1,44	<0,12	0,90	0,022	<4,5
7,97	0,075	6,38	3,0	0,15	<0,20	0,61	<0,12	<0,50	<0,001	9,0
5,00	0,125	6,43	6,6	0,15	<0,20	0,47	<0,12	<0,50	0,010	14,5
2,52	0,075	<0,10	12,1	0,15	<0,20	<0,10	<0,12	<0,50	<0,001	20,4
1,55	0,573	<0,10	40,7	0,51	<0,20	1,19	<0,12	1,22	0,029	17,3
1,08	0,075	2,11	25,8	0,15	<0,20	1,05	<0,12	<0,50	<0,001	<4,5
Endfilter	0,620	3,35	<2,5	1,25	0,23	1,94	<0,12	2,74	0,134	21,4

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
24,30	0,575	<0,10	30,9	0,632	<0,20	1,14	<0,12	2,33	0,028	<4,5
16,40	0,075	<0,10	22,1	0,150	<0,20	0,12	<0,12	0,63	<0,001	<4,5
11,42	0,432	<0,10	34,4	0,184	<0,20	1,13	<0,12	0,51	<0,001	<4,5
7,89	0,128	8,70	<2,5	0,150	<0,20	1,06	<0,12	<0,50	0,040	33,8
4,96	0,357	8,85	12,9	0,201	0,27	0,80	<0,12	<0,50	0,036	23,7
2,50	0,008	<0,10	10,5	0,150	<0,20	0,15	<0,12	<0,50	0,013	<4,5
1,54	0,499	<0,10	32,6	0,636	<0,20	0,23	<0,12	1,88	0,003	<4,5
1,07	0,078	<0,10	21,2	0,150	<0,20	0,96	<0,12	<0,50	0,005	<4,5
Endfilter	0,450	<0,10	20,4	0,416	<0,20	1,84	<0,12	1,62	0,061	<4,5

Messung 3										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
24,38	7,15	<0,10	130,2	3,55	3,10	0,65	<0,120	8,47	<0,001	<4,50
16,45	14,13	<0,10	126,8	4,42	7,12	0,83	<0,120	9,92	<0,001	<4,50
11,46	5,28	<0,10	152,0	3,74	2,09	0,82	0,165	9,38	<0,001	<4,50
7,91	4,27	<0,10	90,0	3,44	1,87	0,78	0,263	9,67	<0,001	<4,50
4,97	2,60	<0,10	122,7	3,33	1,82	0,99	0,143	9,31	<0,001	<4,50
2,51	3,30	<0,10	166,0	4,43	2,11	0,56	0,122	11,77	<0,001	<4,50
1,54	3,34	<0,10	114,7	3,18	1,35	<0,10	<0,120	8,28	<0,001	<4,50
1,07	1,77	<0,10	65,1	1,69	0,73	0,45	0,178	5,71	<0,001	<4,50
Endfilter	3,75	<0,10	117,3	3,78	1,43	0,86	<0,120	10,11	0,027	<4,50

Tabelle 7.2.4: Durchbrandofen; MIBRAG-Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Durchbrandofen
Brennstoff	MIBRAG-Brikett
Messort	Nach Abkühlung der Rauchgase
Messberichts-Nummer	LAU 03-99

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
18,25	4,14	<0,10	129,3	3,76	1,30	2,72	0,22	10,11	<0,001	<4,50
12,11	3,35	<0,10	113,5	3,18	1,08	1,10	0,22	8,47	<0,001	<4,50
6,16	1,42	<0,10	89,3	2,09	0,80	2,24	<0,12	5,63	<0,001	<4,50
3,47	3,97	<0,10	151,3	3,71	1,38	1,96	0,30	10,07	<0,001	<4,50
1,72	4,18	<0,10	151,3	4,07	1,64	1,06	0,35	11,06	0,006	<4,50
0,76	3,86	<0,10	148,8	3,71	1,50	0,91	0,29	10,42	<0,001	<4,50
Endfilter	4,76	<0,10	158,1	4,60	1,79	2,56	0,34	12,84	0,144	<4,50

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
18,30	4,17	<0,10	69,1	3,88	1,41	0,23	0,239	10,45	<0,001	<4,50
12,14	4,43	<0,10	130,2	3,87	1,66	2,72	0,316	10,16	<0,001	<4,50
6,17	4,56	<0,10	130,1	4,22	1,55	2,66	0,335	11,32	0,005	<4,50
3,48	3,92	<0,10	102,9	3,70	1,41	1,96	0,281	9,78	<0,001	<4,50
1,72	4,50	<0,10	105,1	4,08	1,52	2,68	0,316	10,98	0,015	<4,50
0,76	3,80	<0,10	117,9	3,55	1,29	1,98	0,143	9,74	0,015	<4,50
Endfilter	4,94	<0,10	120,3	4,53	1,62	2,24	0,328	13,33	0,103	<4,50

Messung 3										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d _{ae50} [µm]	m [µg]									
18,30	0,14	<0,10	26,78	0,828	0,43	0,90	<0,120	2,90	<0,001	<4,50
12,14	1,32	<0,10	46,06	0,768	1,26	0,97	<0,120	3,55	<0,001	<4,50
6,17	1,07	<0,10	53,49	0,992	0,73	0,93	<0,120	6,16	<0,001	<4,50
3,48	0,77	<0,10	32,94	0,737	0,53	0,46	0,186	3,76	<0,001	<4,50
1,72	0,72	<0,10	38,68	0,684	0,67	0,39	<0,120	3,86	<0,001	<4,50
0,76	0,36	<0,10	20,72	0,349	0,40	0,39	0,172	2,38	<0,001	<4,50
Endfilter	0,01	<0,10	1,36	<0,150	<0,20	<0,10	<0,120	0,57	0,002	<4,50

Tabelle 7.3.1: Durchbrandofen; polnische Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Partikelfractionen

Anlage	Durchbrandofen
Nennleistung	6 KW
Brennstoff	Polnische Braunkohlenbrikett

Messberichts-Nummer	LAU 01-00
Messort	Vor Abkühlung der Rauchgase

	Messung	
	1	2
Leistungsparameter im Messzeitraum	6 KW	6 KW
Probenahmezeit [h:min]	1:00	1:00
Abgasfeuchte [g/m ³]	50	50
Abgastemperatur [°C]	380	395
Abgasgesamtdruck [hPa]	1023	1013
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	1,21	1,21
Sauerstoffgehalt in Vol.-%	11,6	10,6

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung			
Messung 1		Messung 2	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
18,70	1,1	19,01	1,6
12,25	1,0	12,81	1,5
8,52	1,3	8,90	2,0
5,87	1,6	6,13	3,8
3,67	2,9	3,82	4,2
1,84	3,7	1,90	5,4
1,12	3,5	1,15	6,0
0,76	2,7	0,78	4,2
Endfilter	27,4	Endfilter	39,8

	Messung 1	Messung 2
	D [%]	D [%]
PM10	93,6	93,4
PM 2,5	78,4	75,5
PM1,0	64,8	61,8

Tabelle 7.3.2: Durchbrandofen; polnische Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Partikelfractionen

Anlage	Durchbrandofen
Nennleistung	6 KW
Brennstoff	Polnische Braunkohlenbrikett

Messberichts-Nummer	LAU 01-00
Messort	Nach Abkühlung der Rauchgase

	Messung	
	1	2
Leistungsparameter im Messzeitraum	6 KW	6 KW
Probenahmezeit [h:min]	1:00	1:00
Abgasfeuchte [g/m ³]	50	50
Abgastemperatur [°C]	60	54
Abgasgesamtdruck [hPa]	1023	1013
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	1,25	1,25
Sauerstoffgehalt in Vol.-%	16,6	16,2

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung			
Messung 1		Messung 2	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
21,85	0,4	21,74	0,6
14,51	0,3	14,44	0,5
7,38	0,6	7,35	1,4
4,17	1,5	4,15	3,3
2,07	2,7	2,06	5,3
0,92	3,8	0,92	7,4
Endfilter	16,5	Endfilter	23,8

	Messung 1	Messung 2
	D [%]	D [%]
PM10	95,8	95,8
PM 2,5	80,8	80,8
PM1,0	65,0	65,0

Tabelle 7.3.3: Durchbrandofen; polnische Brikett; vor Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Durchbrandofen
Brennstoff	Polnische Brikett
Messort	Vor Abkühlung der Rauchgase
Messberichts-Nummer	LAU 01-00

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [ng]									
18,70	<50	124	<3000	<1	260	26	<100	122	7	8
12,25	348	216	<3000	<1	290	143	<100	948	4	9
8,52	<50	97	<3000	<1	100	137	101	749	8	9
5,87	201	178	<3000	<1	244	199	<100	1460	16	9
3,67	<100	<50	<3000	<5	<100	<150	<100	<500	<25	<250
1,84	62	108	<3000	<1	920	105	<100	750	33	8
1,12	<50	13	<3000	<1	<50	26	<100	414	21	9
0,76	<50	69	<3000	<1	149	32	<100	407	13	8
Endfilter	<50	<15	<3000	<1	<50	302	<100	<100	255	11

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [ng]									
19,01	<50	<15	<3000	<1	<50	<10	<100	<100	8,0	3,7
12,81	165	42	<3000	<1	119	127	<100	599	5,3	4,1
8,90	206	65	<3000	<1	192	125	<100	947	7,8	4,5
6,13	157	41	<3000	<1	118	52	<100	452	10,6	4,0
3,82	<50	65	<3000	<1	100	61	<100	861	15,3	4,0
1,90	337	76	<3000	<1	190	99	<100	710	23,7	4,3
1,15	328	69	<3000	<1	189	147	<100	1002	35,0	4,3
0,78	38	28	<3000	<1	151	54	<100	280	31,0	3,9
Endfilter	1118	294	<3000	<1	412	1126	<100	<100	531,0	8,3

Table 7.3.4: Durchbrandofen; polnische Brikett; nach Abkühlung der Rauchgase: Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Durchbrandofen
Brennstoff	Polnische Brikett
Messort	Nach Abkühlung der Rauchgase
Messberichts-Nummer	LAU 01-00

Messung 1										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [ng]									
21,85	<100	<50	<3000	<5	<100	<150	<100	<500	<25	<250
14,51	152	84	<3000	<1	185	188	<100	930	1	3
7,38	<50	25	<3000	16	<50	54	<100	<100	<25	1
4,17	245	371	<3000	<1	326	233	<100	1599	8	3
2,07	194	113	<3000	<1	239	71	<100	499	15	1
0,92	<100	<50	<3000	<5	<100	<150	<100	<500	<25	<250
Endfilter	758	323	<3000	<1	325	615	<100	<100	149	5

Messung 2										
	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Cd	Tl
d_{ae50} [μm]	m [ng]									
21,74	86	37	<3000	<1	112	642	<100	3997	17,4	6,7
14,44	<50	<15	<3000	<1	<50	661	<100	3725	118,0	5,8
7,35	92	21	<3000	<1	127	706	<100	<25	6,8	6,3
4,15	58	27	<3000	<1	155	619	<100	3715	27,9	12,8
2,06	607	144	<3000	<1	326	1241	<100	6535	16,4	14,3
0,92	739	174	<3000	<1	448	1734	<100	8324	38,9	14,7
Endfilter	879	185	<3000	<1	364	4239	<100	15810	354,0	24,5

Tabelle 7.4.1: Durchbrandofen; Baschkirische Brikett; Partikelfractionen

Anlage	Durchbrandofen
Nennleistung	6 KW
Brennstoff	Braunkohlenbrikett Baschkirien

Messberichts-Nummer	LAU 01-97
Messort	Rauchgas

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum	6 KW	6 KW	6 KW
Probenahmezeit [h:min]	0:37	0:30	0:42
Abgasfeuchte [g/m ³]	42	42	42
Abgastemperatur [°C]	276	265	292
Abgasgesamtdruck [hPa]	1009	989	980
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	1,51	1,48	1,55
Sauerstoffgehalt [Vol.-%]	15,7	15,9	14,4

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1		Messung 2		Messung 3	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
17,67	2,2	17,73	2,5	17,59	2,9
11,77	0,9	11,81	0,8	11,71	0,9
7,69	0,8	7,71	1,0	7,65	0,8
5,46	0,7	5,48	1,1	5,43	0,7
3,47	1,4	3,48	2,3	3,44	1,6
1,67	2,9	1,68	3,1	1,65	2,7
0,98	3,0	0,98	3,1	0,96	3,6
0,67	2,2	0,67	2,8	0,65	2,7
Endfilter	29,7	Endfilter	31,2	Endfilter	24,1

	Messung 1 D [%]	Messung 2 D [%]	Messung 3 D [%]
PM10	92,1	92,2	89,7
PM 2,5	82,7	80,4	79,2
PM1,0	73,0	71,2	67,5

Tabelle 7.4.2: Durchbrandofen; Baschkirische-Brikett; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Durchbrandofen
Brennstoff	Baschkirien-Brikett
Messort	Rauchgas
Messberichts-Nummer	LAU 01-97

Messung 3					
	Mn	Co	Cd	Se	Elementarer Kohlenstoff
d_{ae50} [μm]	m [ng]				
17,59	5118	<5,0	<1,0	<50	1479
11,71	1953	<5,0	<1,0	<50	427
7,65	1940	58,8	1,4	<50	543
5,43	2703	<5,0	<1,0	<50	708
3,44	<2	86,3	<1,0	<50	1591
1,65	<2	40,0	5,6	<50	2074
0,96	1128	153,8	13,9	<50	2160
0,65	965	205,0	6,6	<50	1954
Endfilter	1028	196,3	222,3	<50	24064

Tabelle 7.5: Durchbrandofen; MIBRAG-Brikett; Vorversuche; Fraktionen Staubinhaltsstoffe

Anlage	Durchbrandofen
Nennleistung	6 KW
Brennstoff	Braunkohlenbrikett MIBRAG

Messberichts-Nummer	LAU
Messort	Rauchgas

	Messung		
	1	2	3
Leistungsparameter im Messzeitraum	6 KW	6 KW	6 KW
Probenahmezeit [h:min]	1:00	1:00	1:00
Abgasfeuchte [g/m ³]	49	49	49
Abgastemperatur [°C]	245	198	218
Abgasgesamtdruck [hPa]	988	988	988
Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	1,24	1,24	1,24
Sauerstoffgehalt [Vol.-%]	16,6	16,8	16,8

Ergebnisse der fraktionierten Partikelmessung					
Messung 1		Messung 2		Messung 3	
d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]	d _{ae50} [µm]	m _{Staub} [mg]
17,18	2,9	16,65	1,4	16,90	1,7
11,58	4,2	11,23	1,2	11,40	1,4
8,05	2,8	7,81	1,3	7,93	1,8
5,55	3,1	5,39	1,1	5,47	1,6
3,47	5,7	3,38	1,3	3,42	2,2
1,74	3,3	1,69	1,2	1,72	4,1
1,06	11,6	1,04	1,4	1,05	14,1
0,73	9,1	0,71	1,5	0,72	38,5
Endfilter	49,4	Endfilter	33,3	Endfilter	150,4

	Messung 1 D [%]	Messung 2 D [%]	Messung 3 D [%]
PM10	90,9	93,0	98,2
PM 2,5	77,7	84,2	94,9
PM1,0	61,7	79,2	84,8

Abb. 7.1.1: Partikelgrößenverteilung vor Abkühlung der Rauchgase

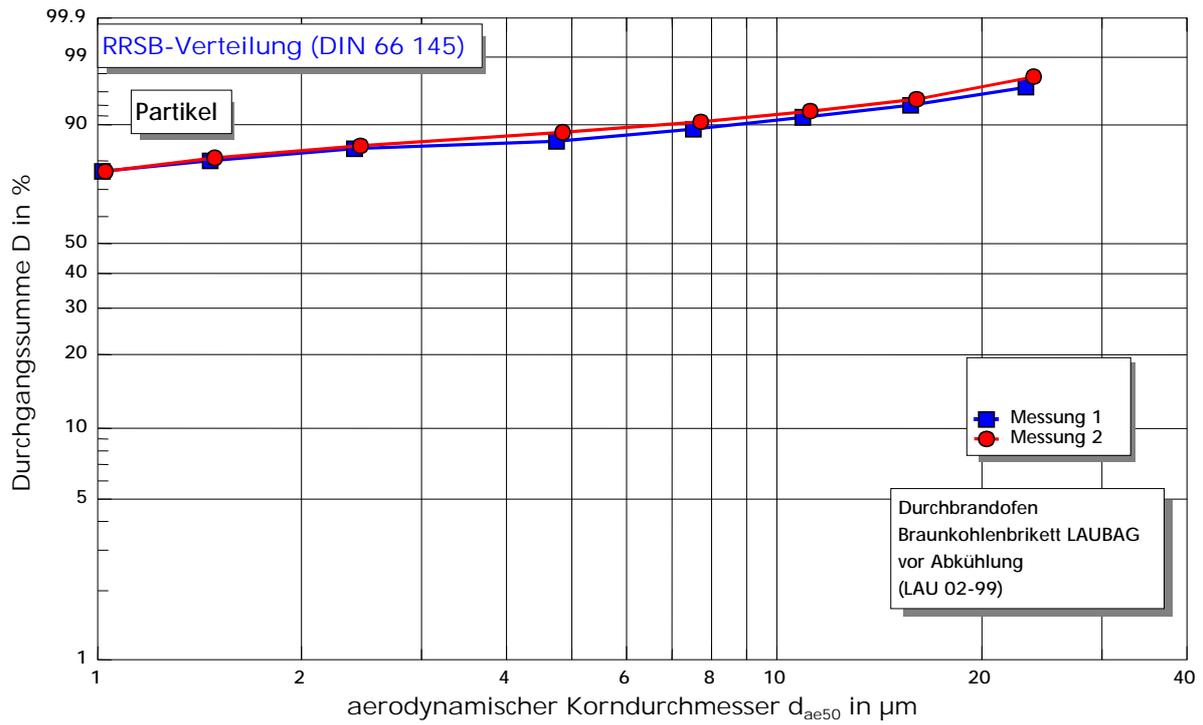


Abbildung 7.1.2: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Chrom vor Abkühlung der Rauchgase

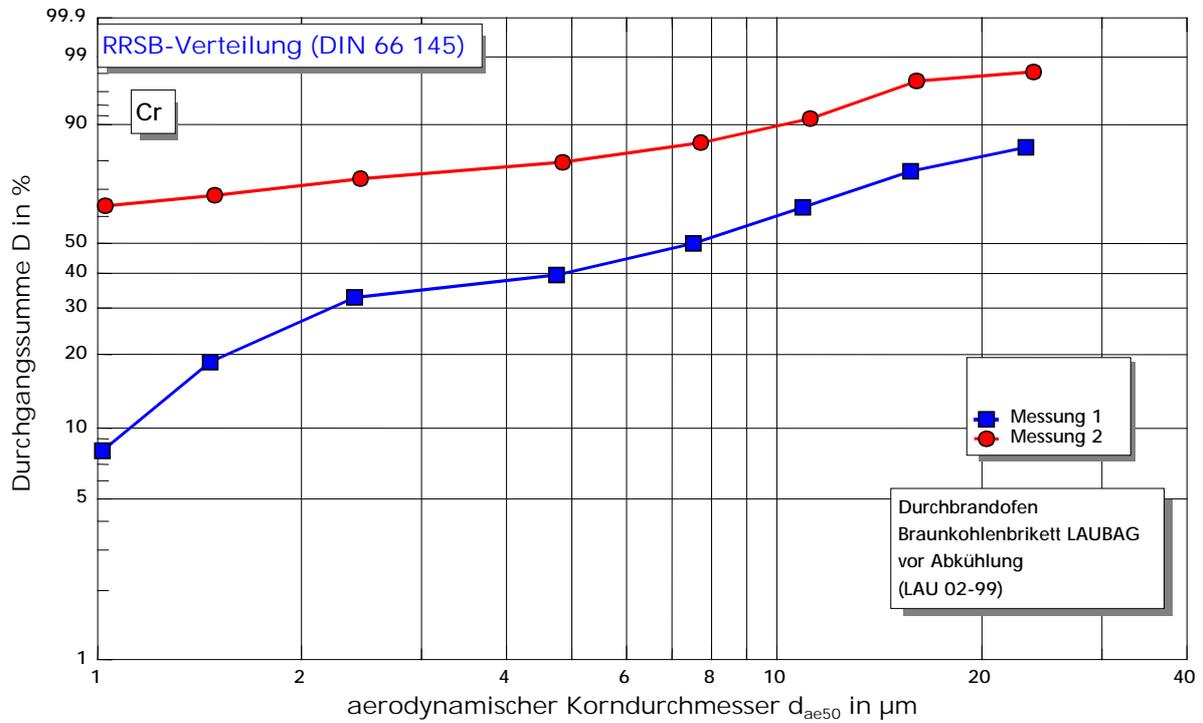


Abbildung 7.1.3: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Eisen vor Abkühlung der Rauchgase

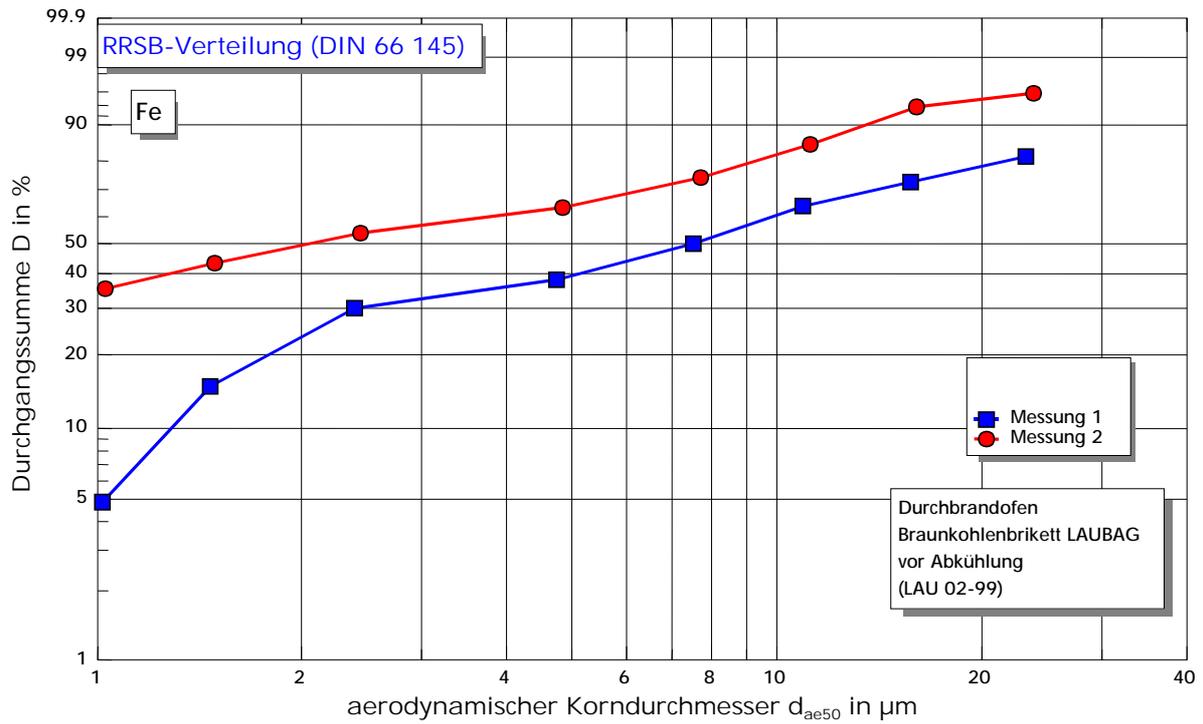


Abbildung 7.1.4: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Mangan vor Abkühlung der Rauchgase

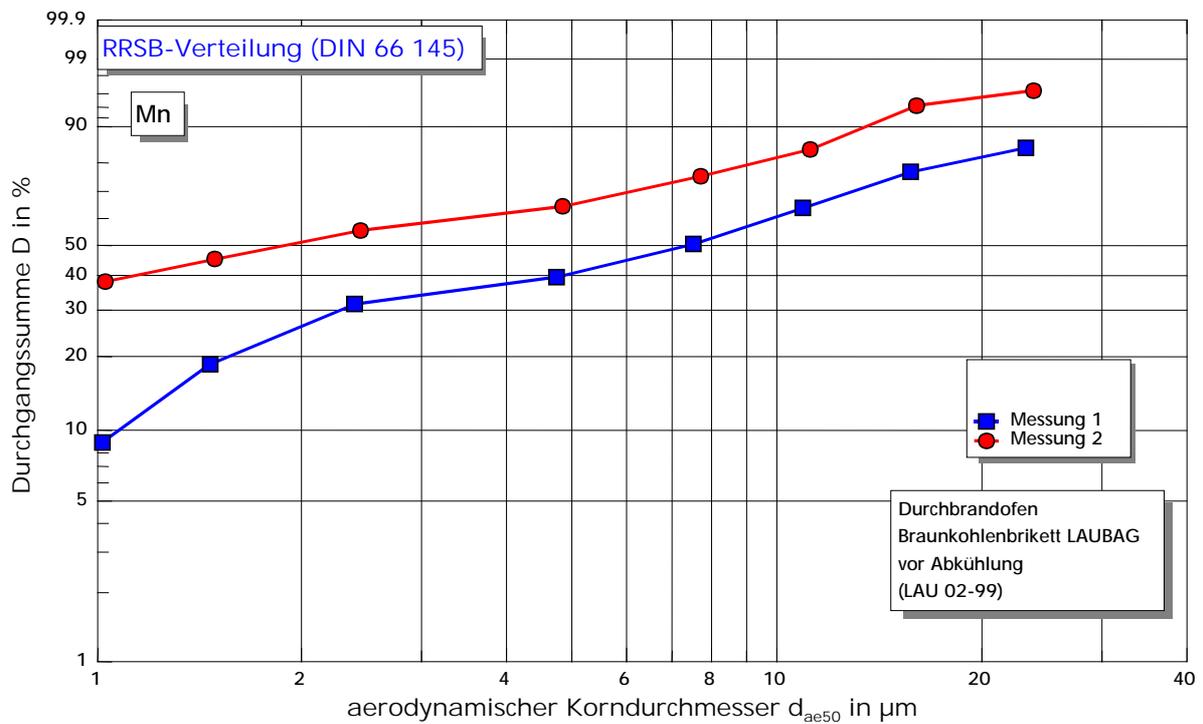


Abbildung 7.1.5: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Nickel vor Abkühlung der Rauchgase

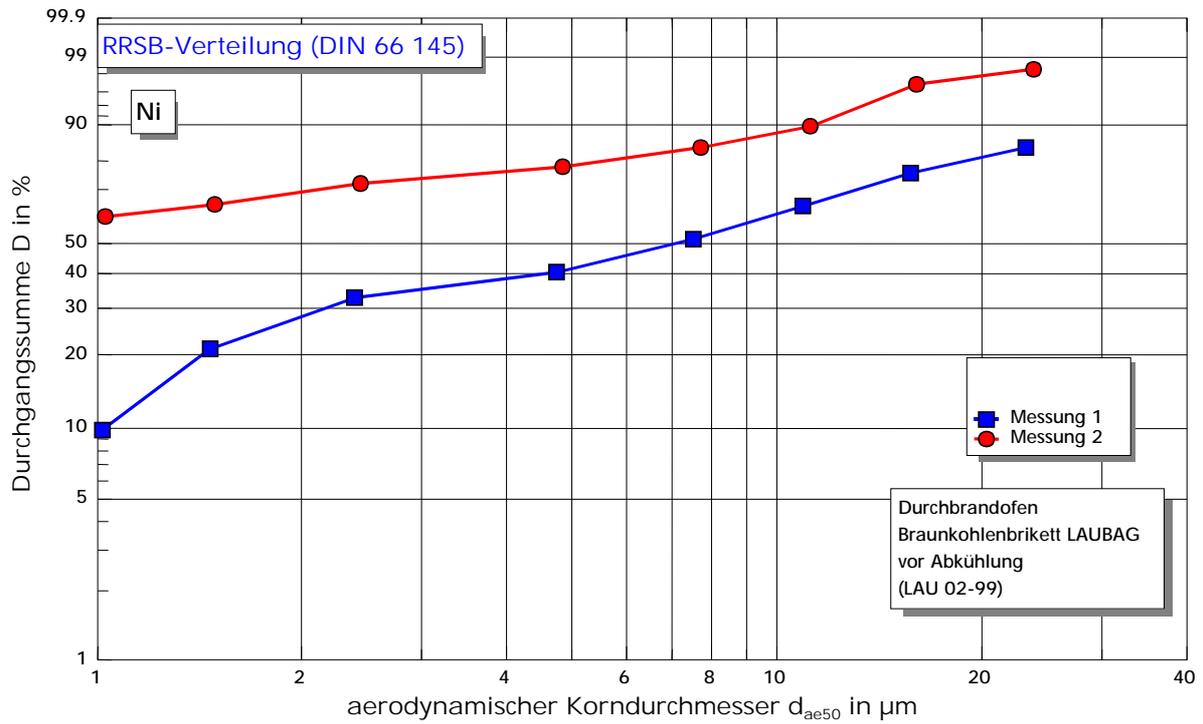


Abbildung 7.1.6: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Blei vor Abkühlung der Rauchgase

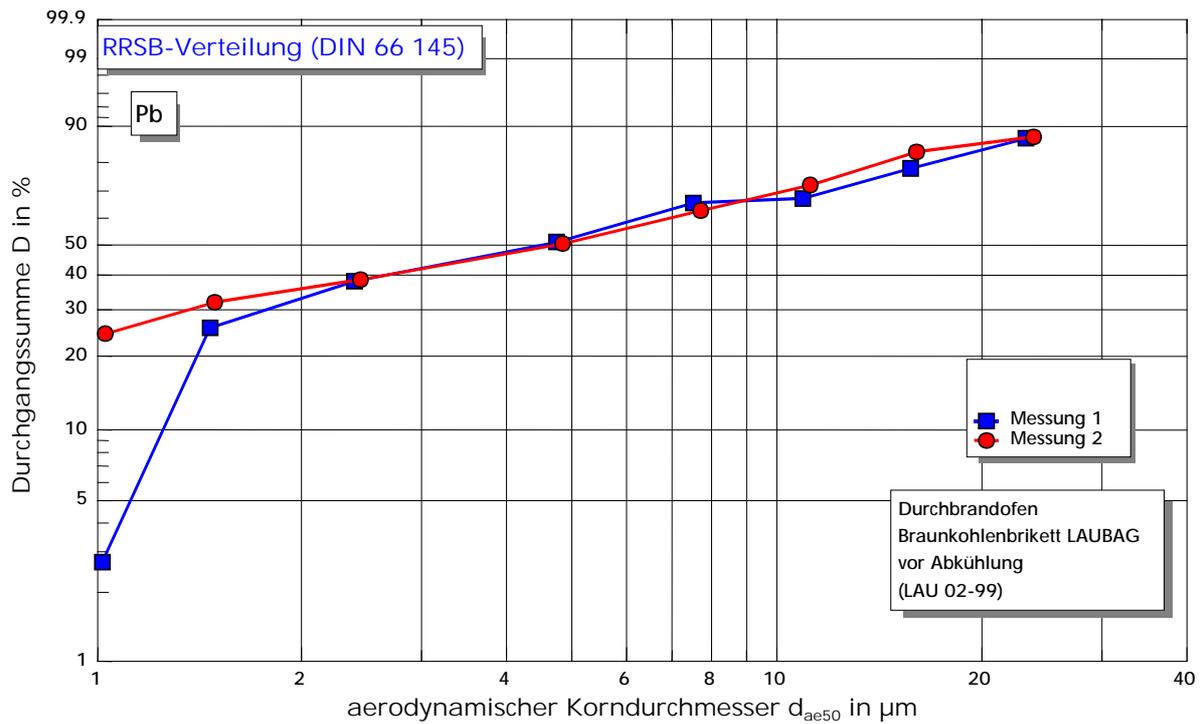


Abbildung 7.1.7: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Zink vor Abkühlung der Rauchgase

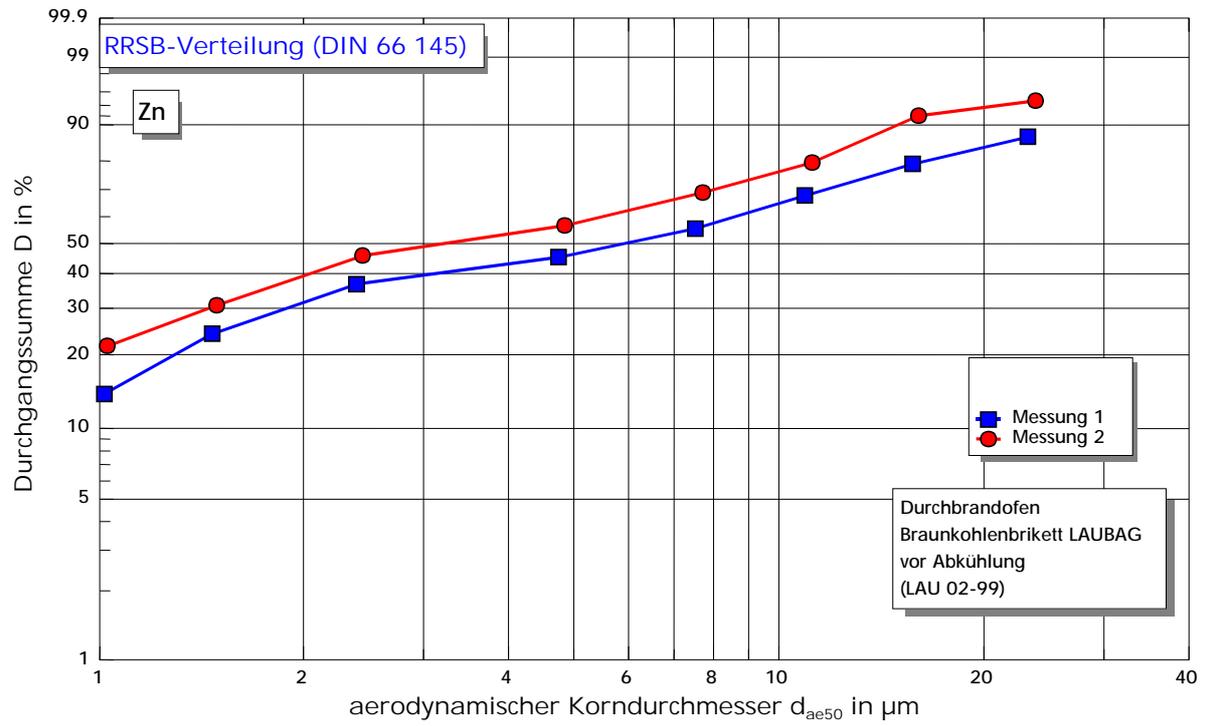


Abb. 7.1.8: Partikelgrößenverteilung nach Abkühlung der Rauchgase

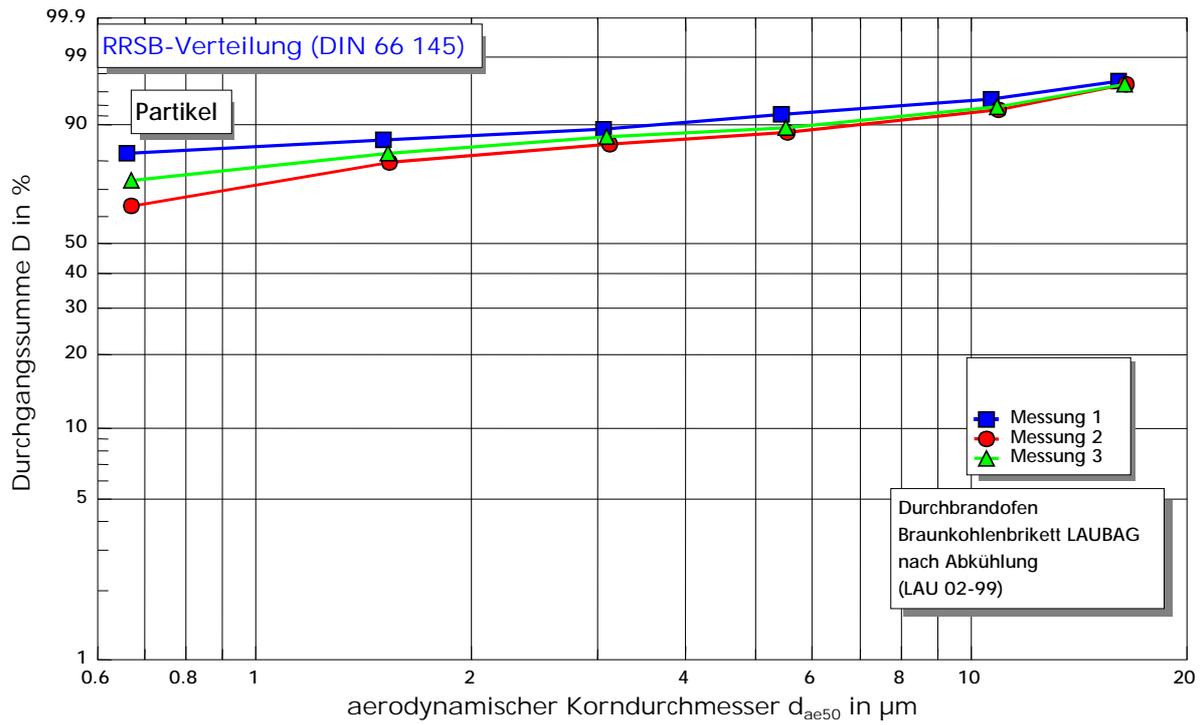


Abbildung 7.1.9: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Chrom nach Abkühlung der Rauchgase

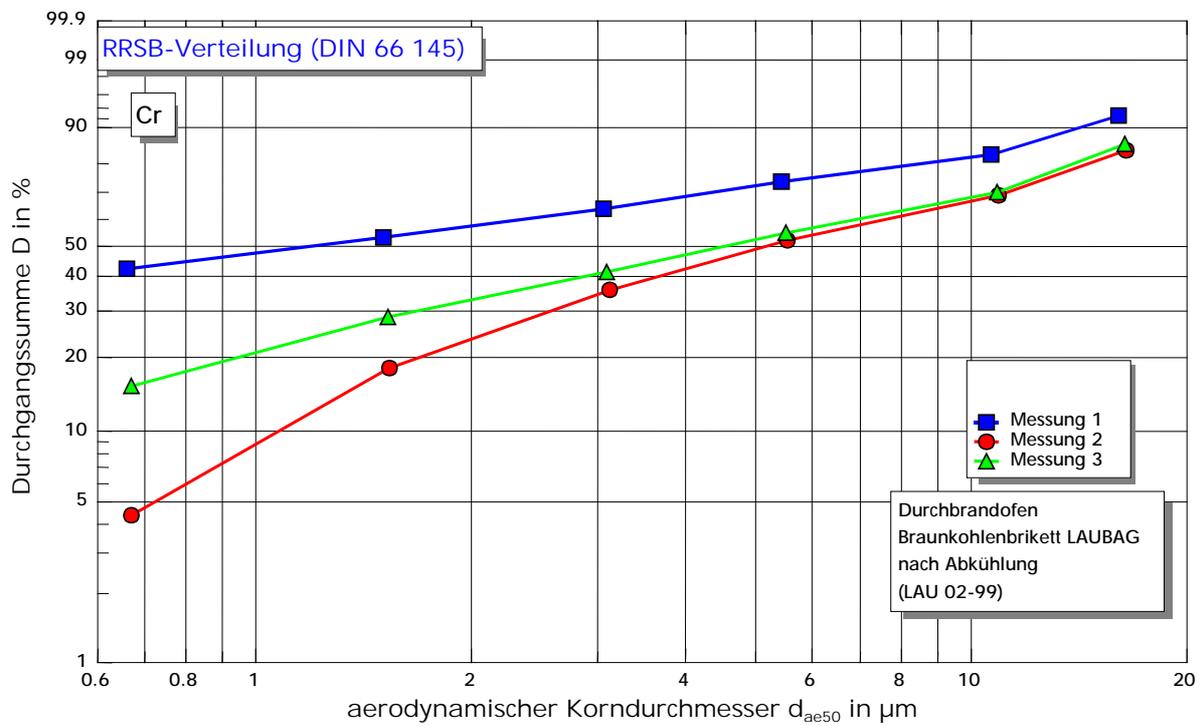


Abbildung 7.1.10: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Eisen nach Abkühlung der Rauchgase

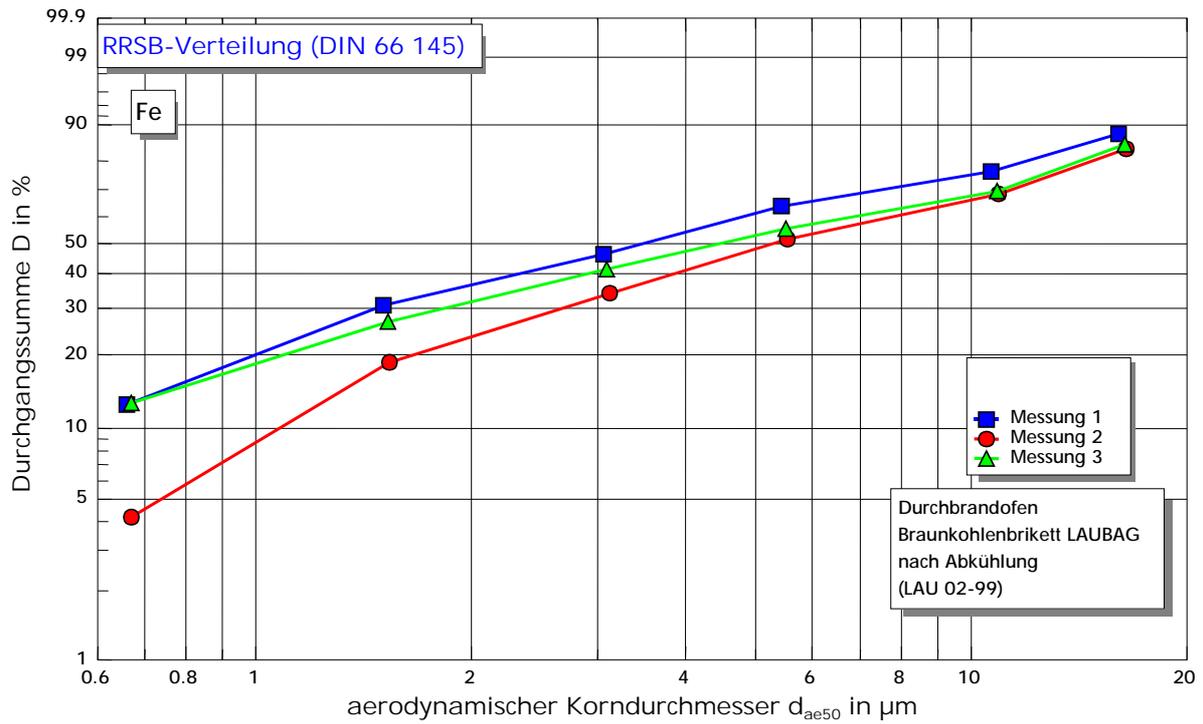


Abbildung 7.1.11: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Mangan nach Abkühlung der Rauchgase

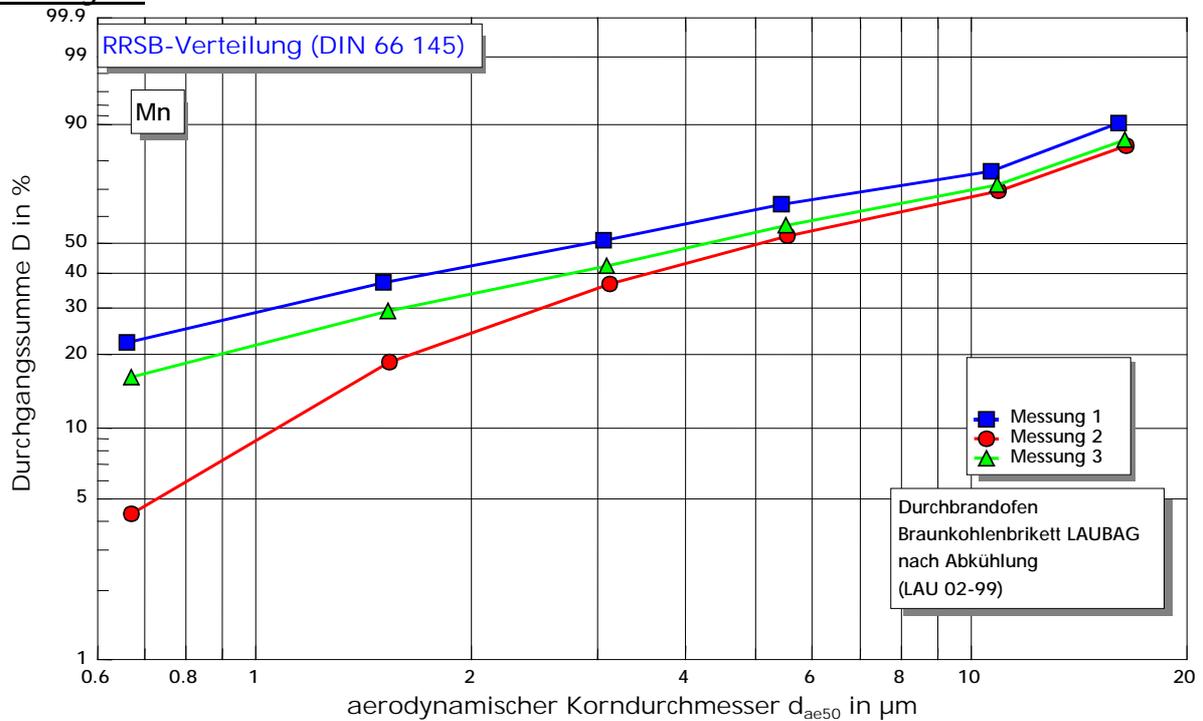


Abbildung 7.1.12: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Nickel nach Abkühlung der Rauchgase

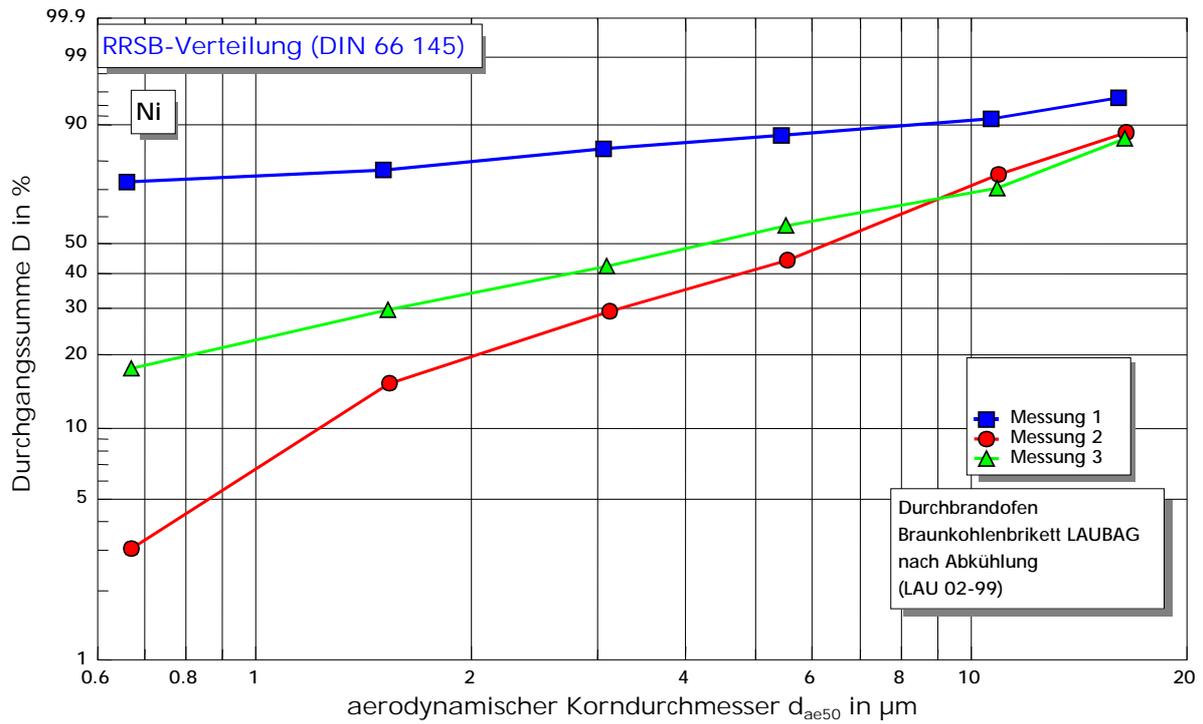


Abbildung 7.1.13: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Blei nach Abkühlung der Rauchgase

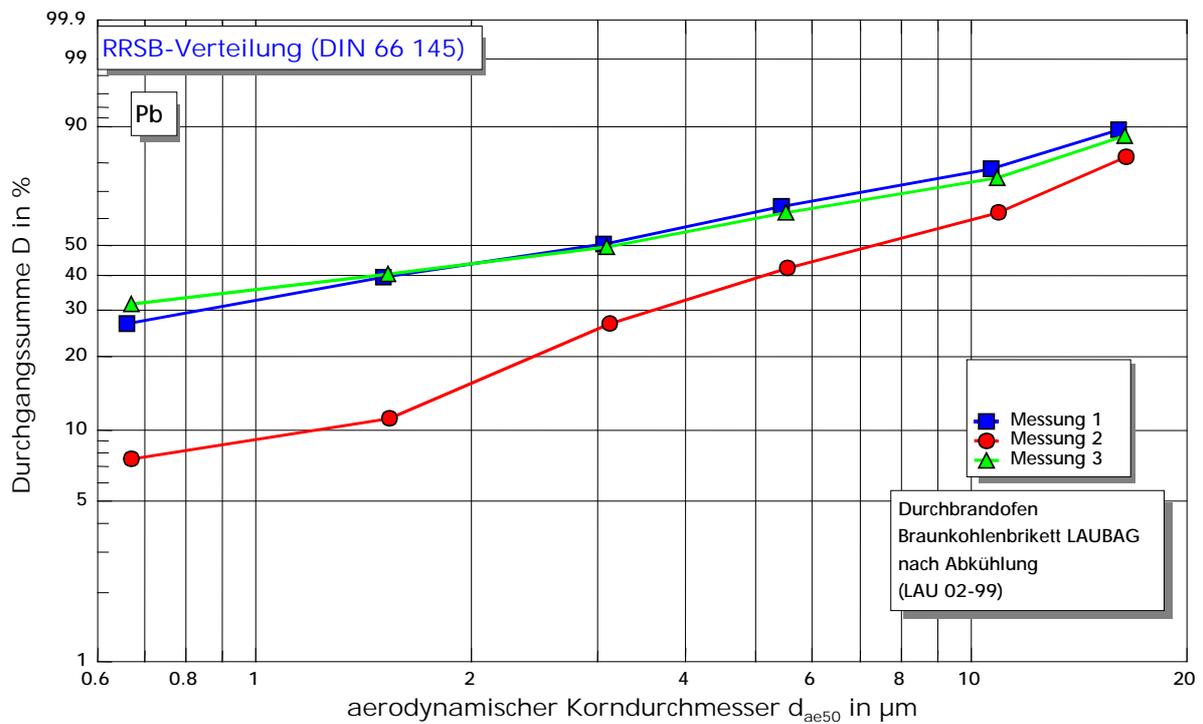


Abbildung 7.1.14: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Selen nach Abkühlung der Rauchgase

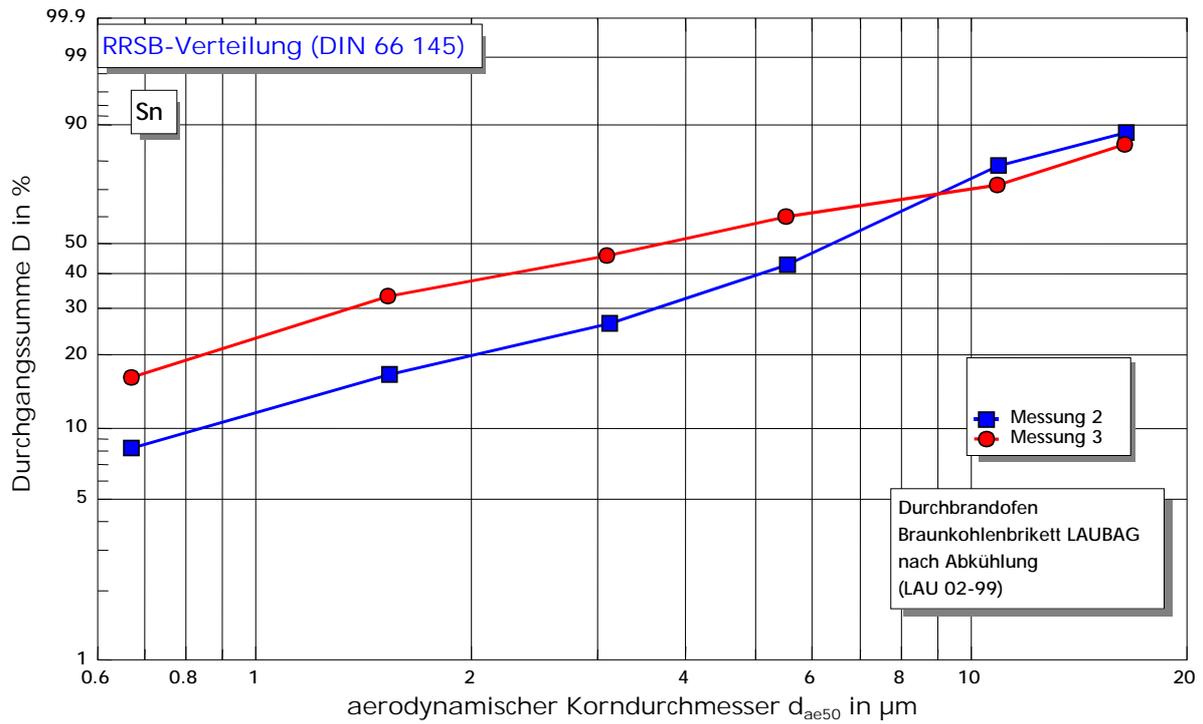


Abbildung 7.1.15: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Zink nach Abkühlung der Rauchgase

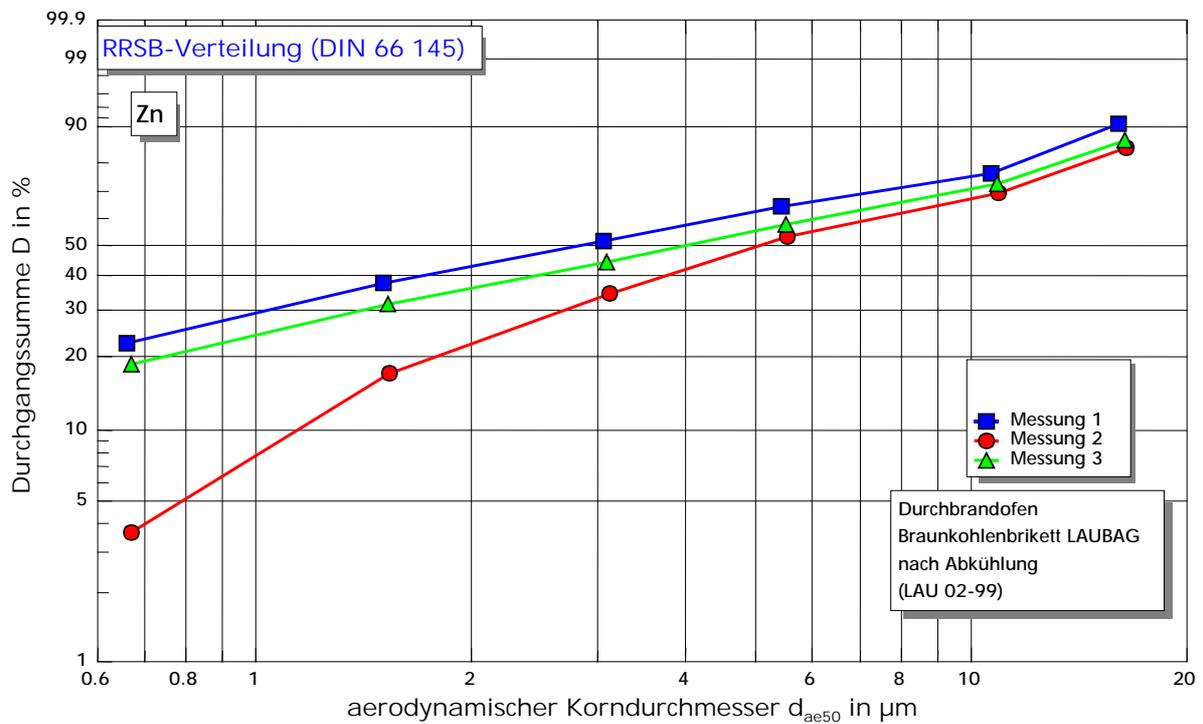


Abbildung 7.2.1: Partikelgrößenverteilung vor Abkühlung der Rauchgase

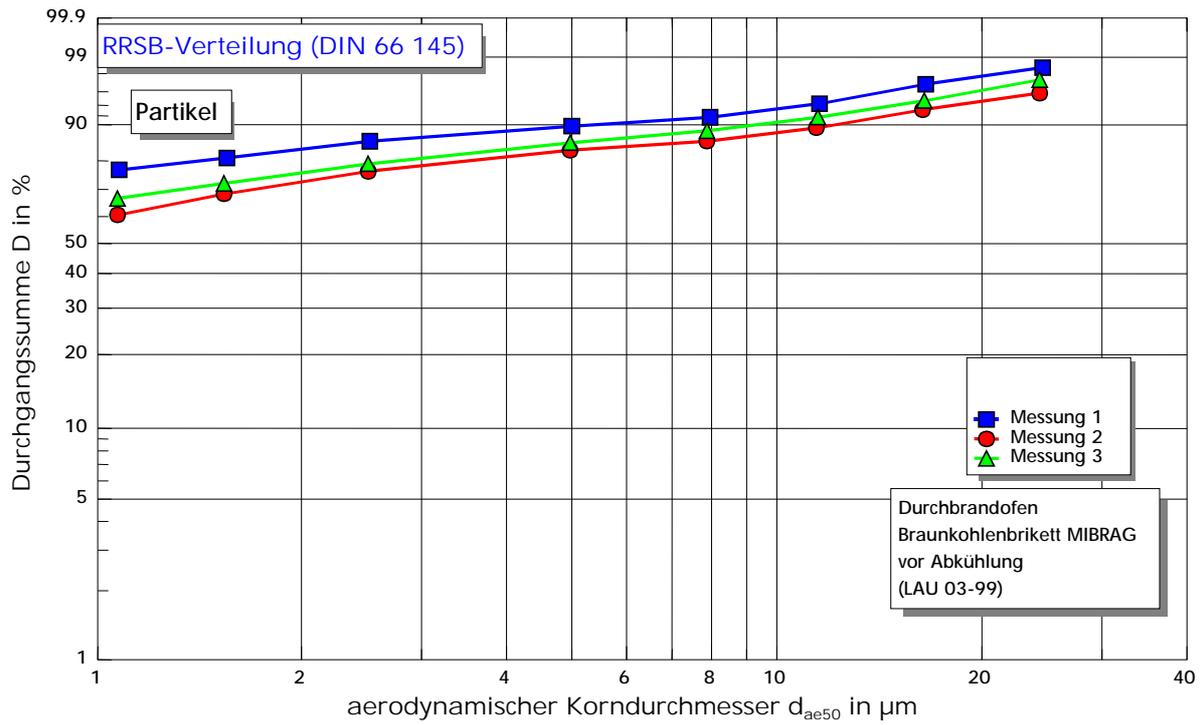


Abbildung 7.2.2: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Chrom vor Abkühlung der Rauchgase

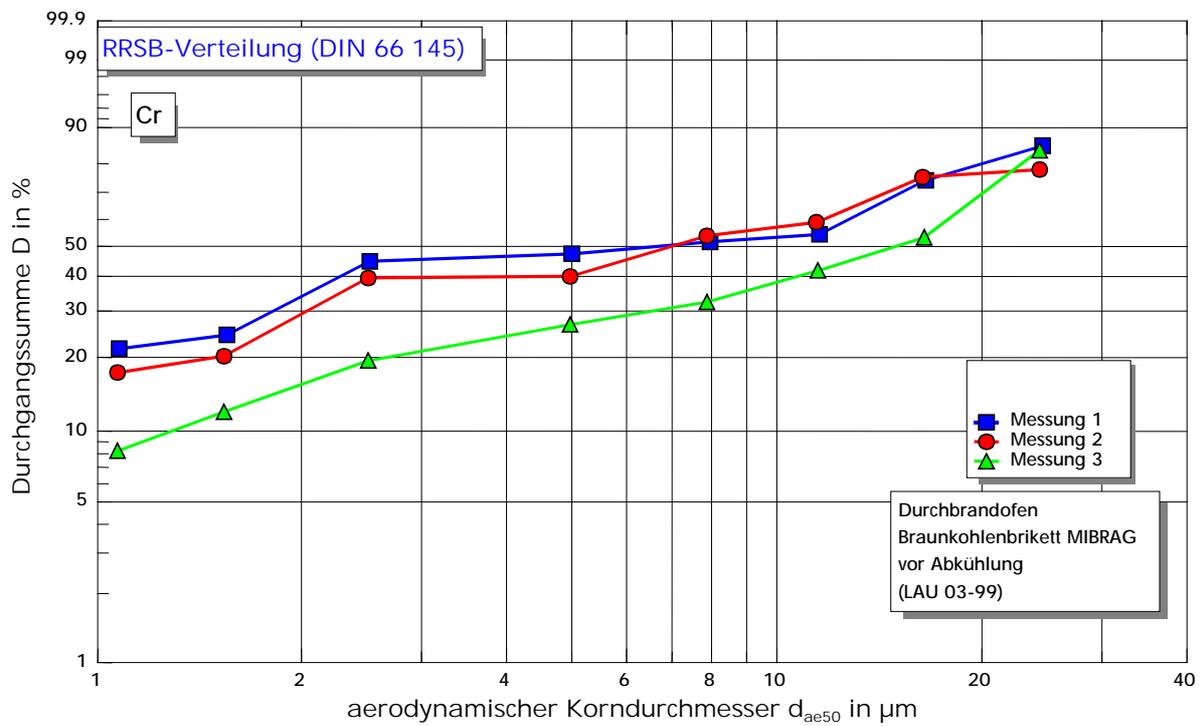


Abbildung 7.2.3: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Eisen vor Abkühlung der Rauchgase

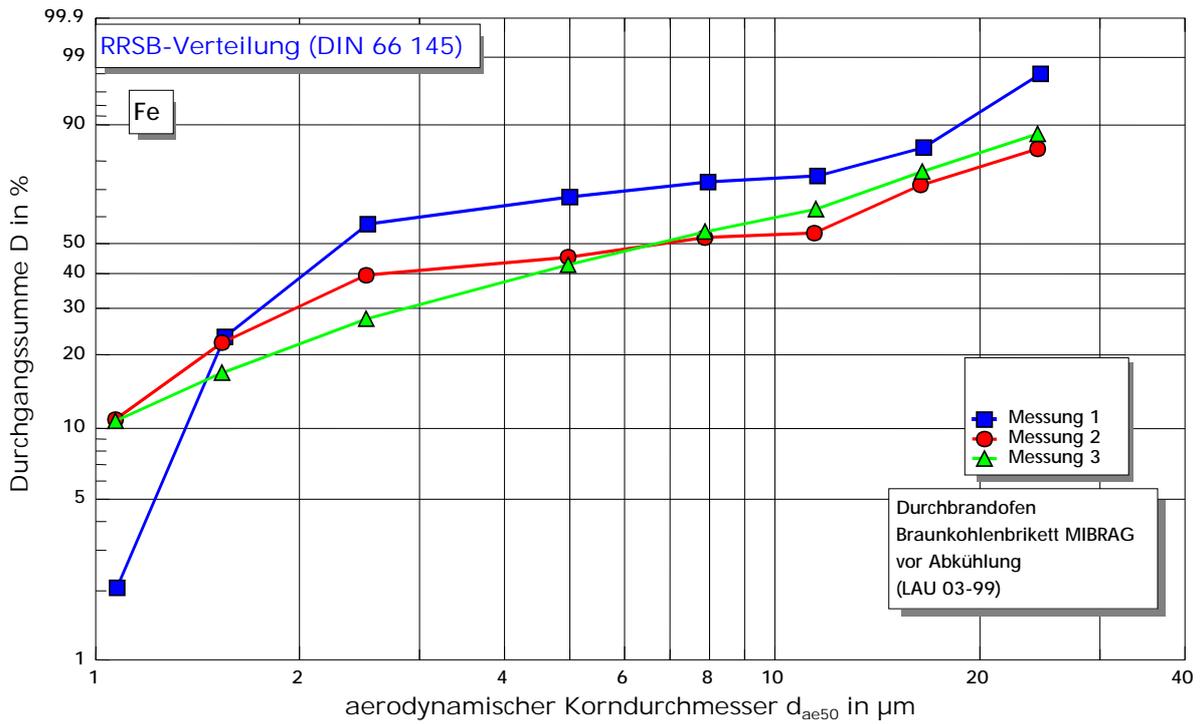


Abbildung 7.2.4: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Mangan vor Abkühlung der Rauchgase

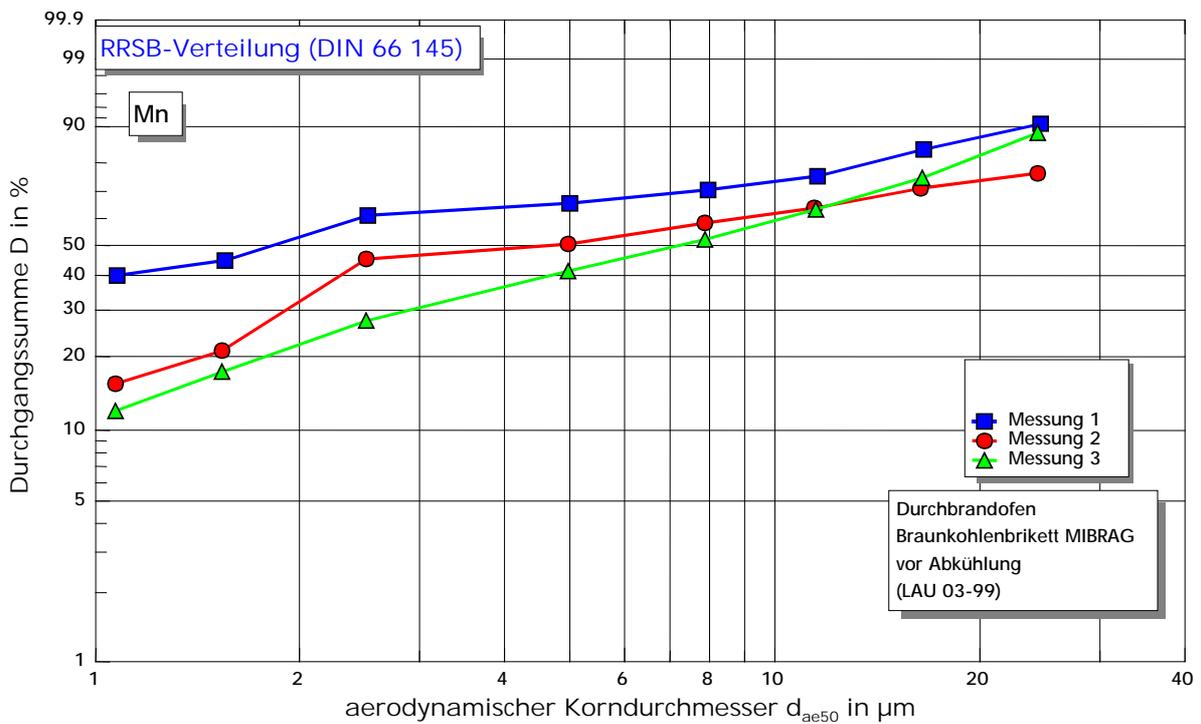


Abbildung 7.2.5: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Blei vor Abkühlung der Rauchgase

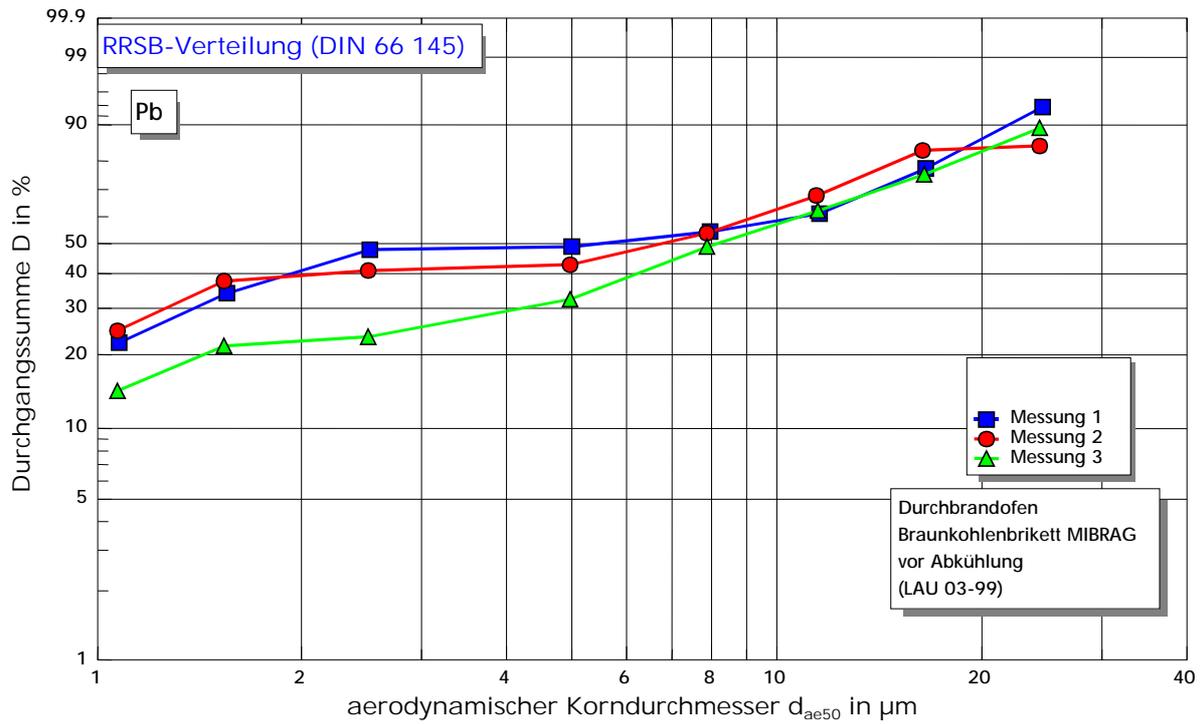


Abbildung 7.2.6: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Nickel vor Abkühlung der Rauchgase

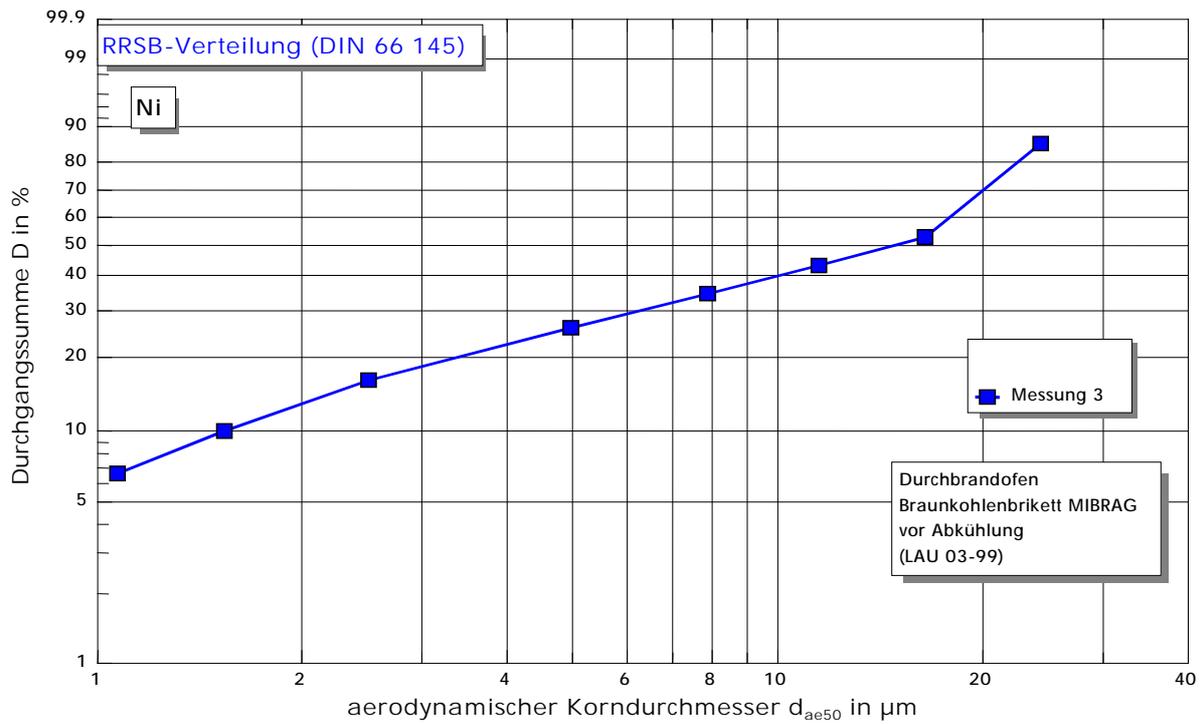


Abbildung 7.2.7: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Zink vor Abkühlung der Rauchgase

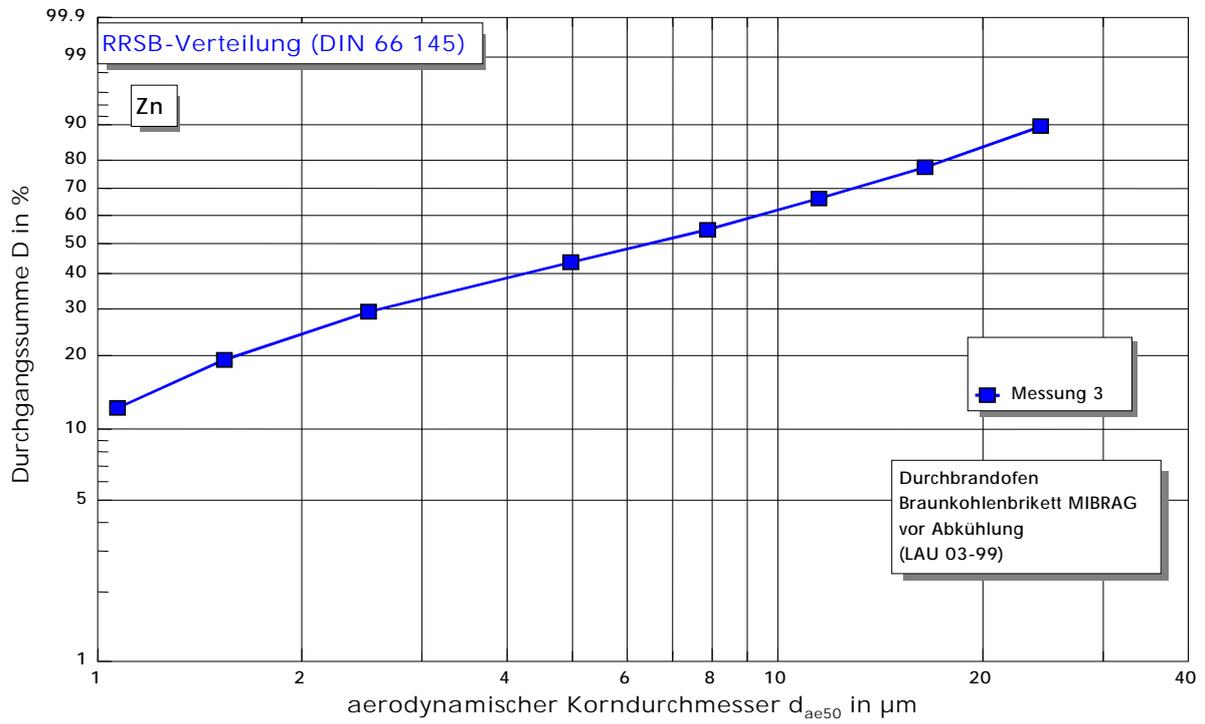


Abbildung 7.2.8: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Cadmium vor Abkühlung der Rauchgase

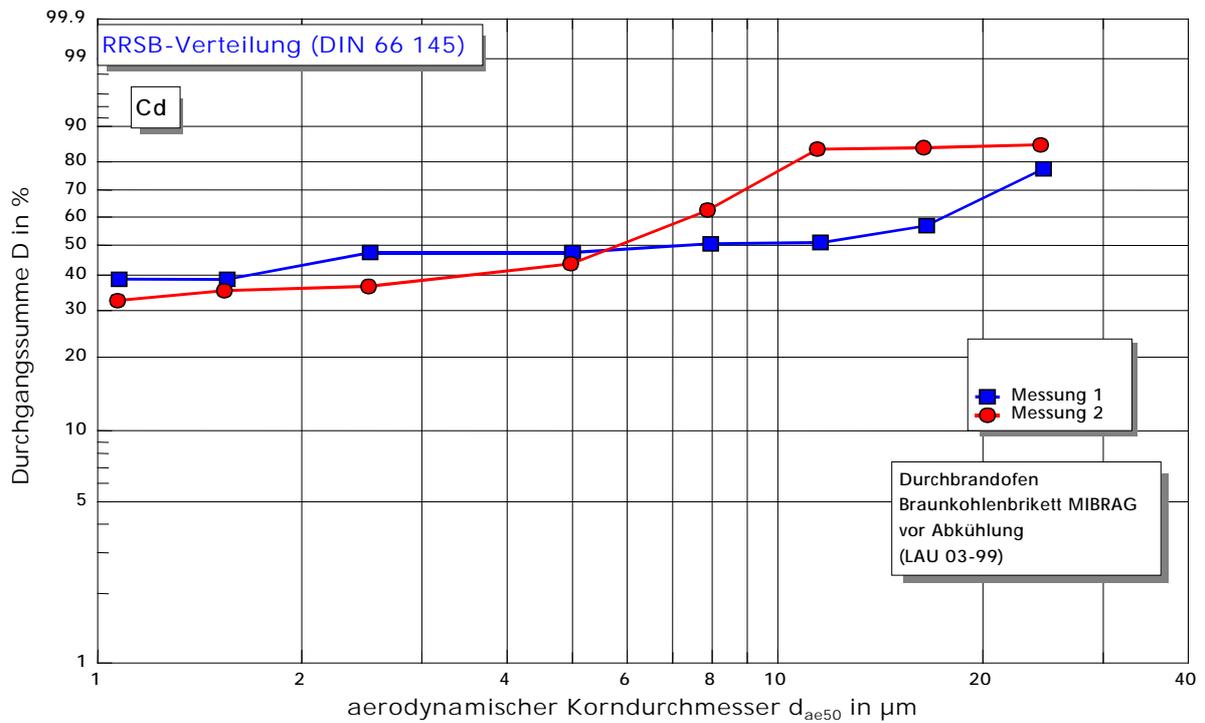


Abbildung 7.2.9: Partikelgrößenverteilung nach Abkühlung der Rauchgase

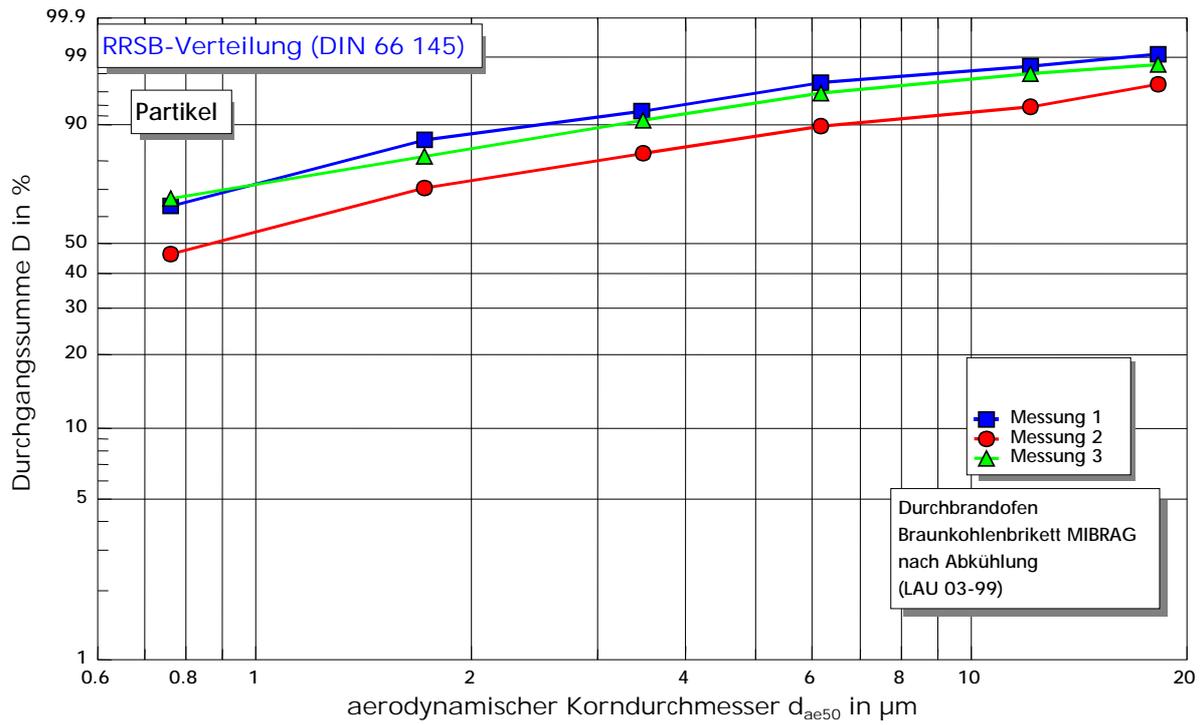


Abbildung 7.2.10: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Chrom nach Abkühlung der Rauchgase

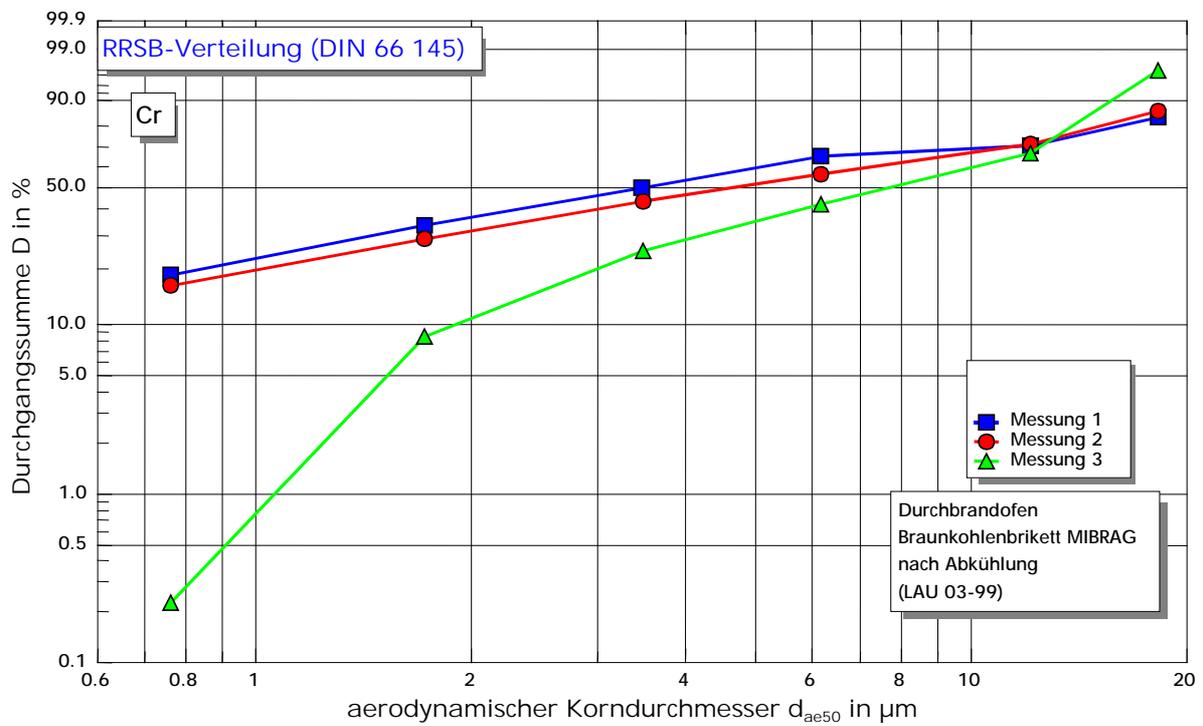


Abbildung 7.2.11: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Eisen nach Abkühlung der Rauchgase

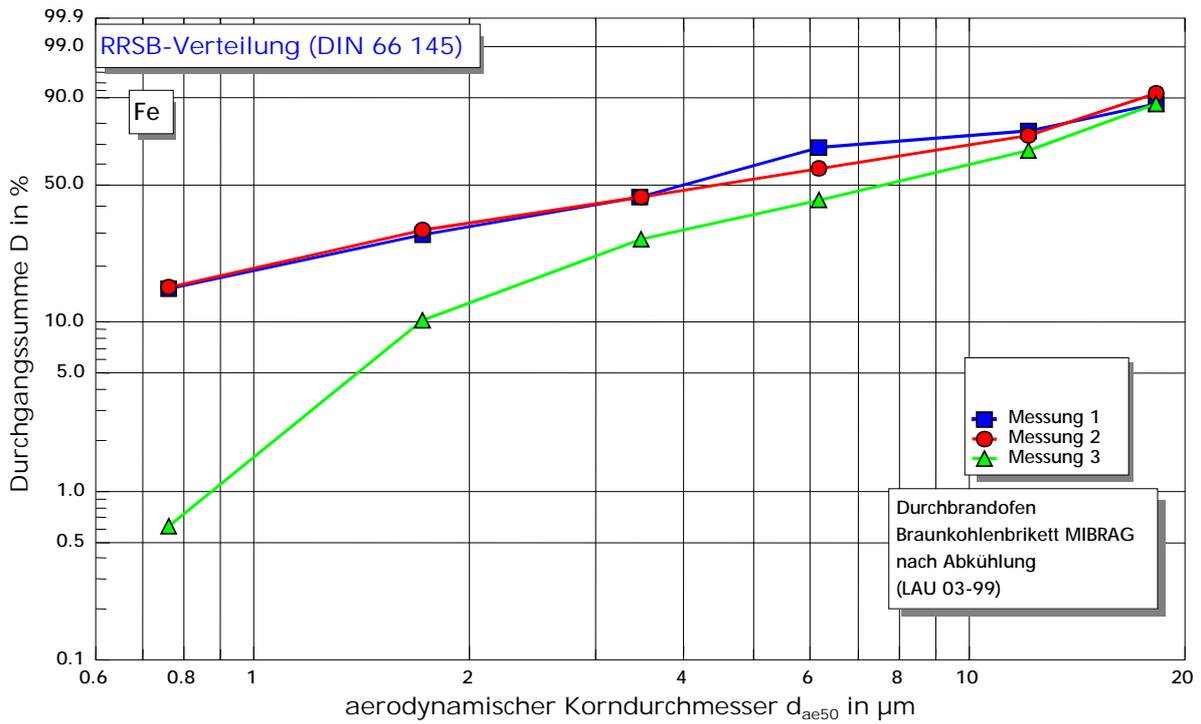


Abbildung 7.2.12: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Mangan nach Abkühlung der Rauchgase

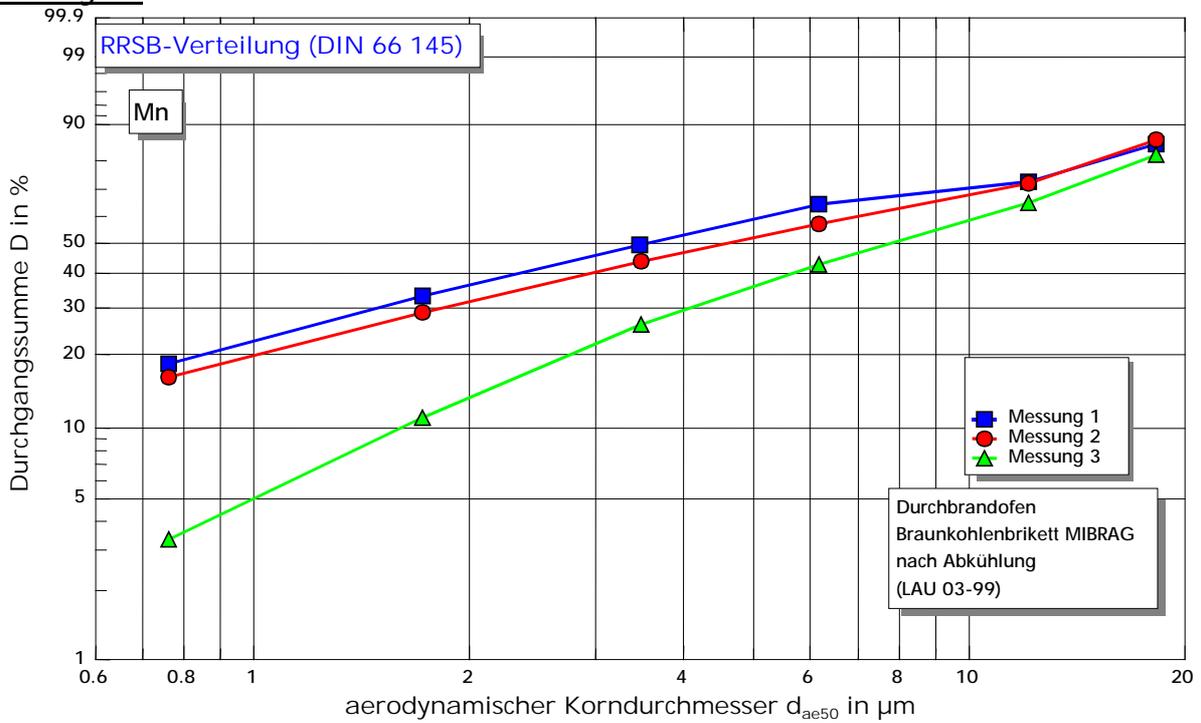


Abbildung 7.2.13: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Nickel nach Abkühlung der Rauchgase

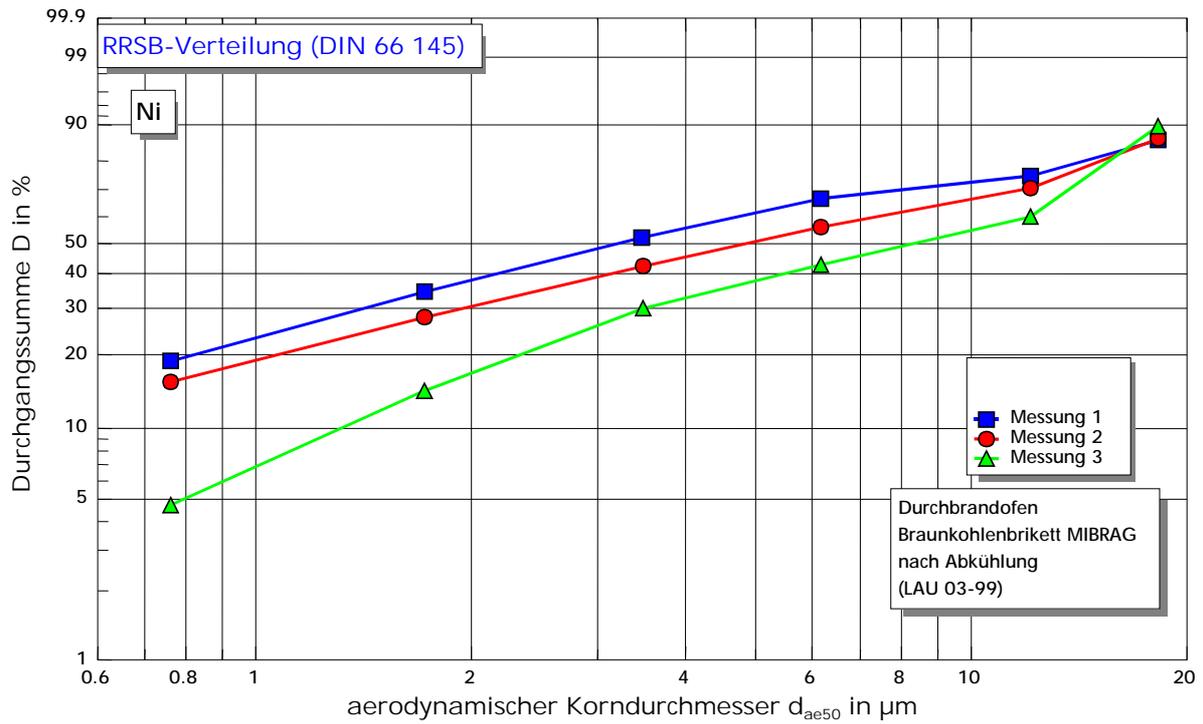


Abbildung 7.2.14: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Blei nach

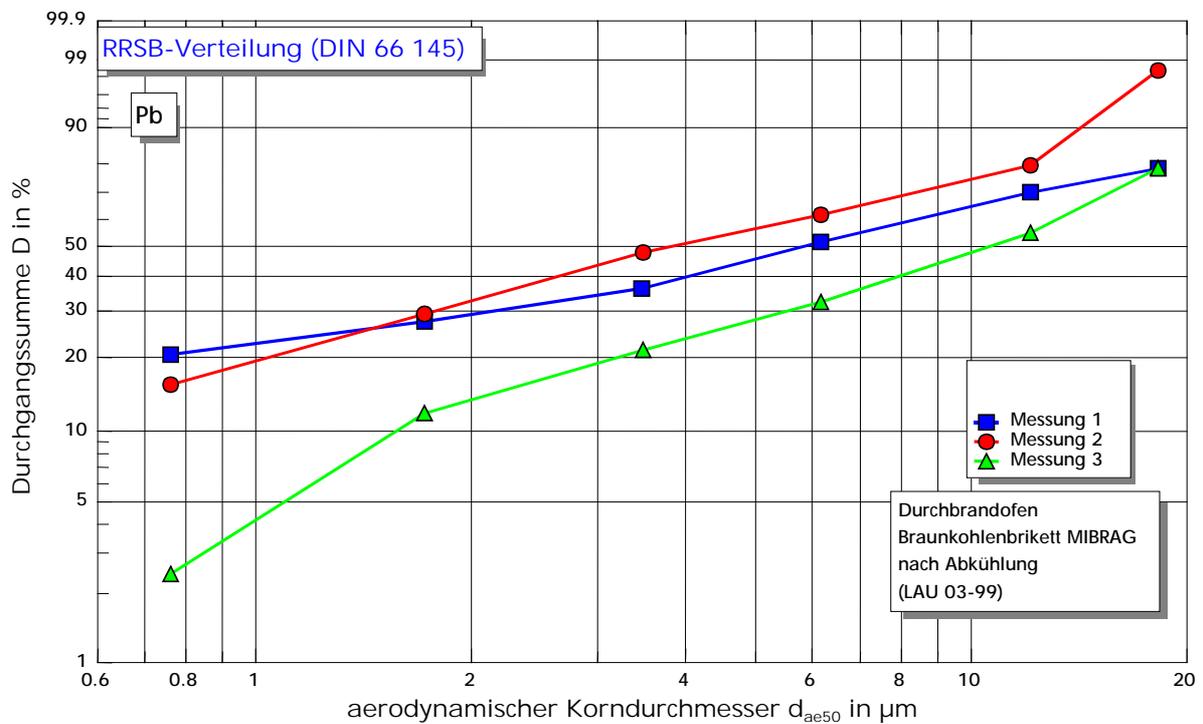


Abbildung 7.2.15: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Selen nach Abkühlung der Rauchgase

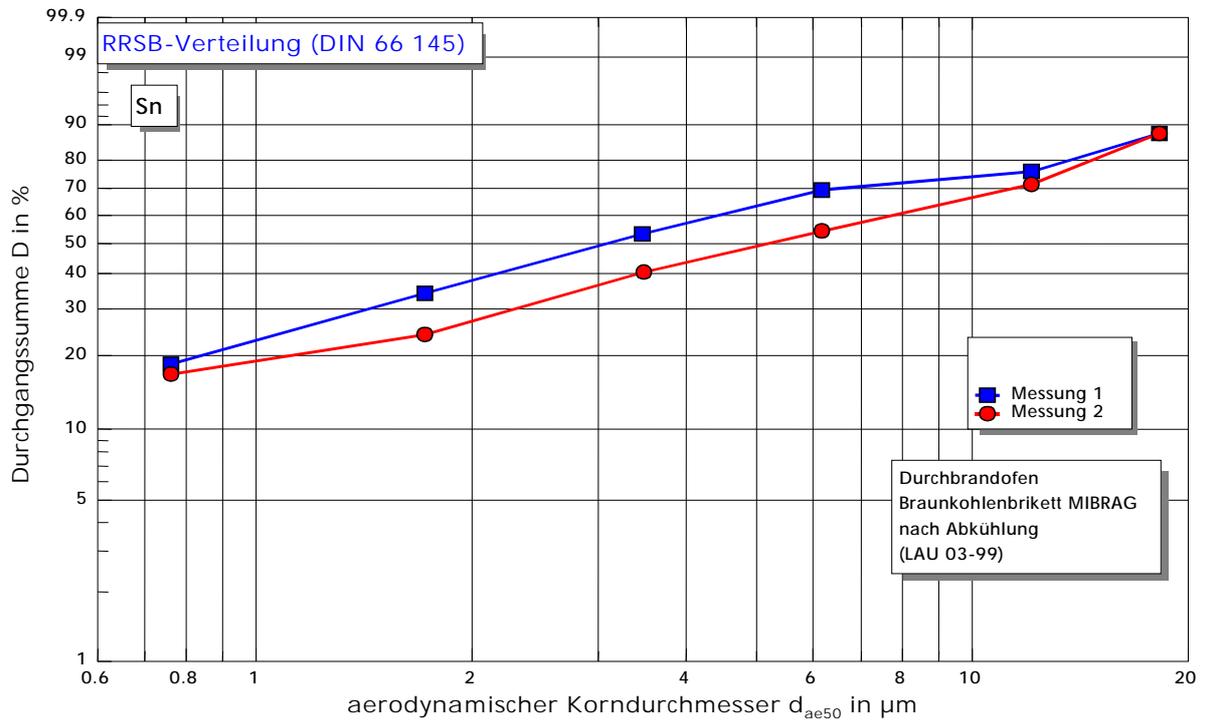


Abbildung 7.2.16: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Zink nach Abkühlung der Rauchgase

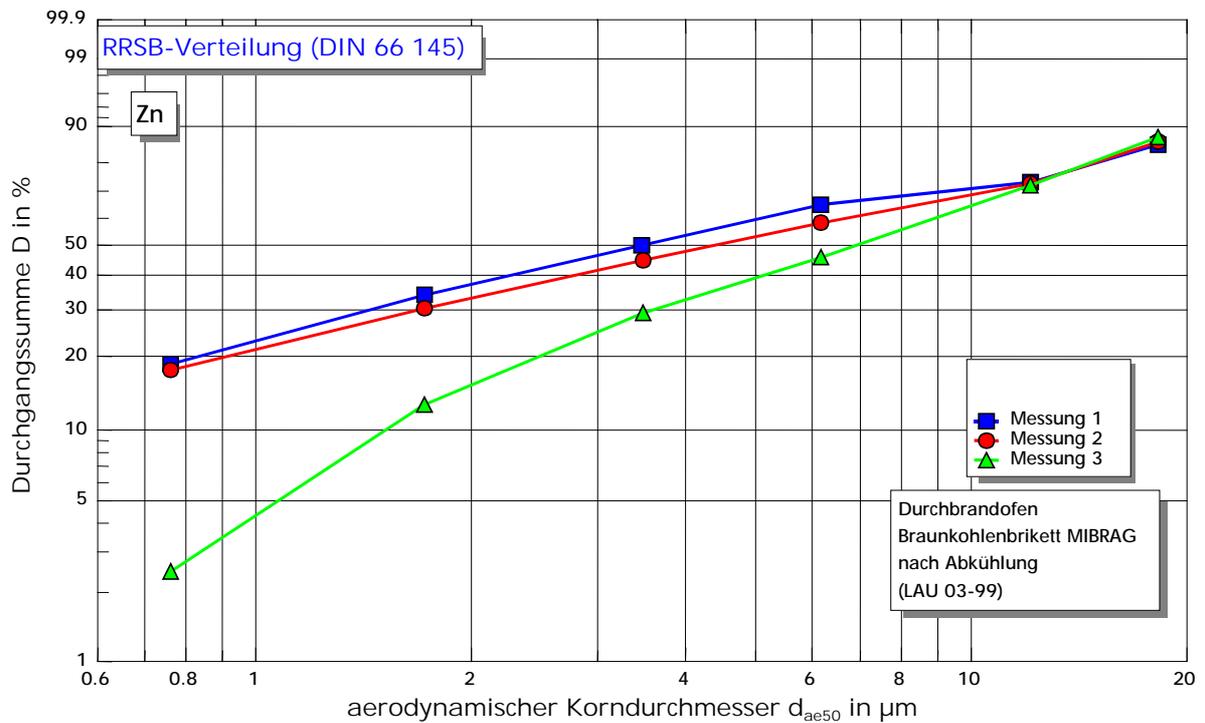
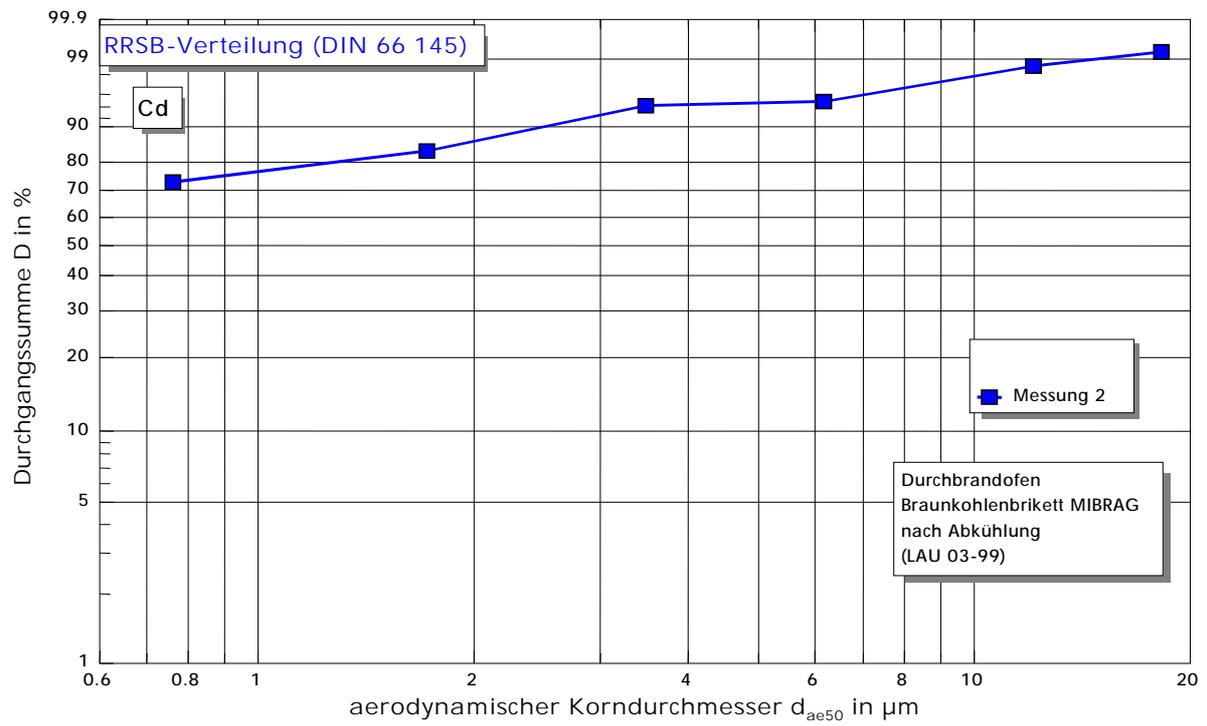


Abbildung 7.2.17: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Cadmium nach Abkühlung der Rauchgase



Abbildungen 7.3: Korngrößenverteilungen; Durchbrandofen; Polnische Brikket

Abbildung 7.3.1: Partikelgrößenverteilung vor Abkühlung der Rauchgase

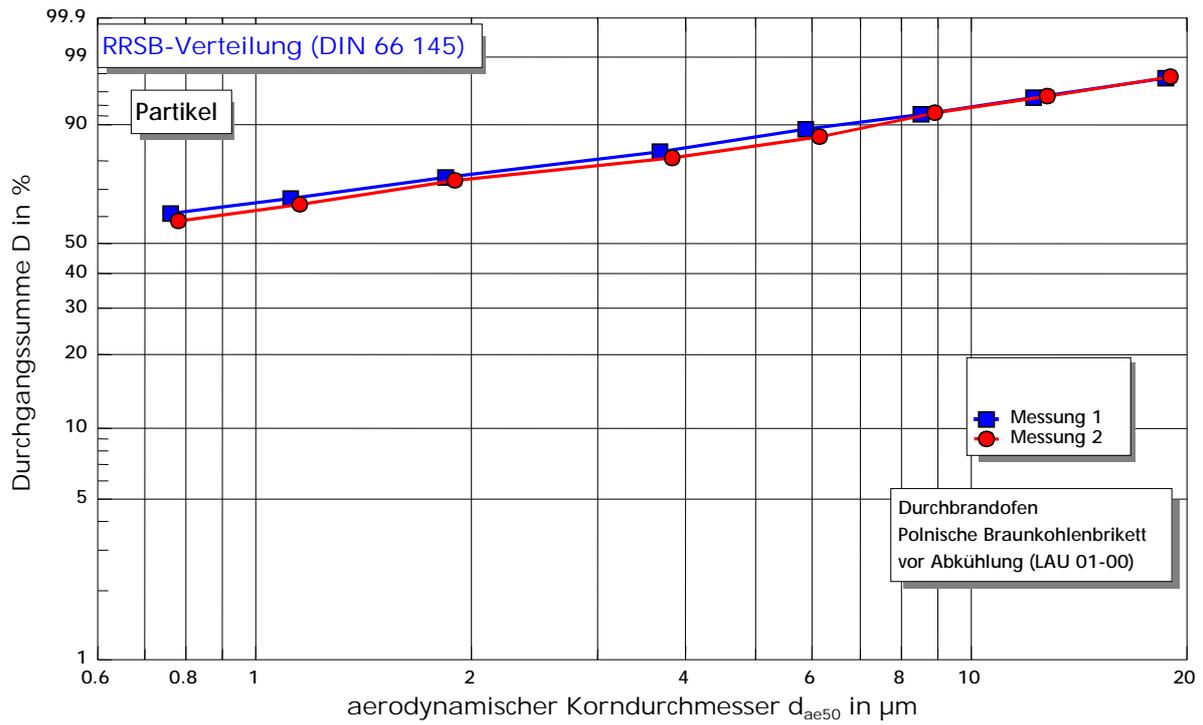


Abbildung 7.3.2: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Kupfer vor Abkühlung der Rauchgase

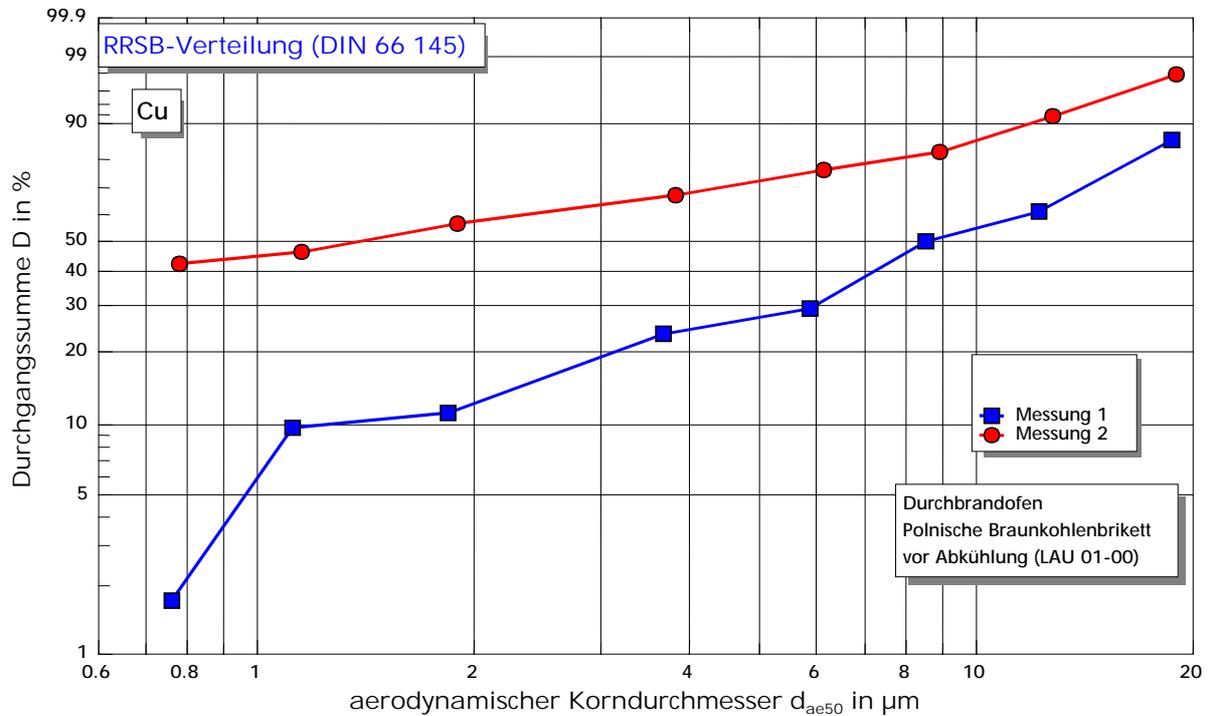


Abbildung 7.3.3: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Nickel vor Abkühlung der Rauchgase

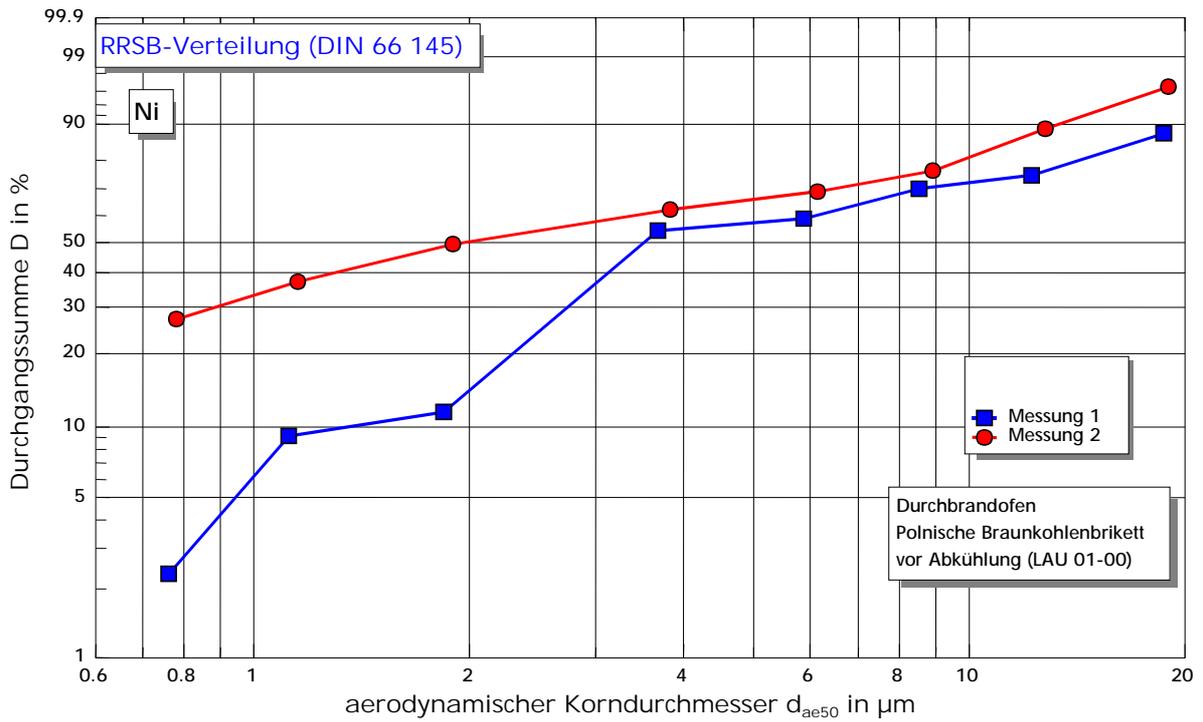


Abbildung 7.3.4: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Blei vor Abkühlung der Rauchgase

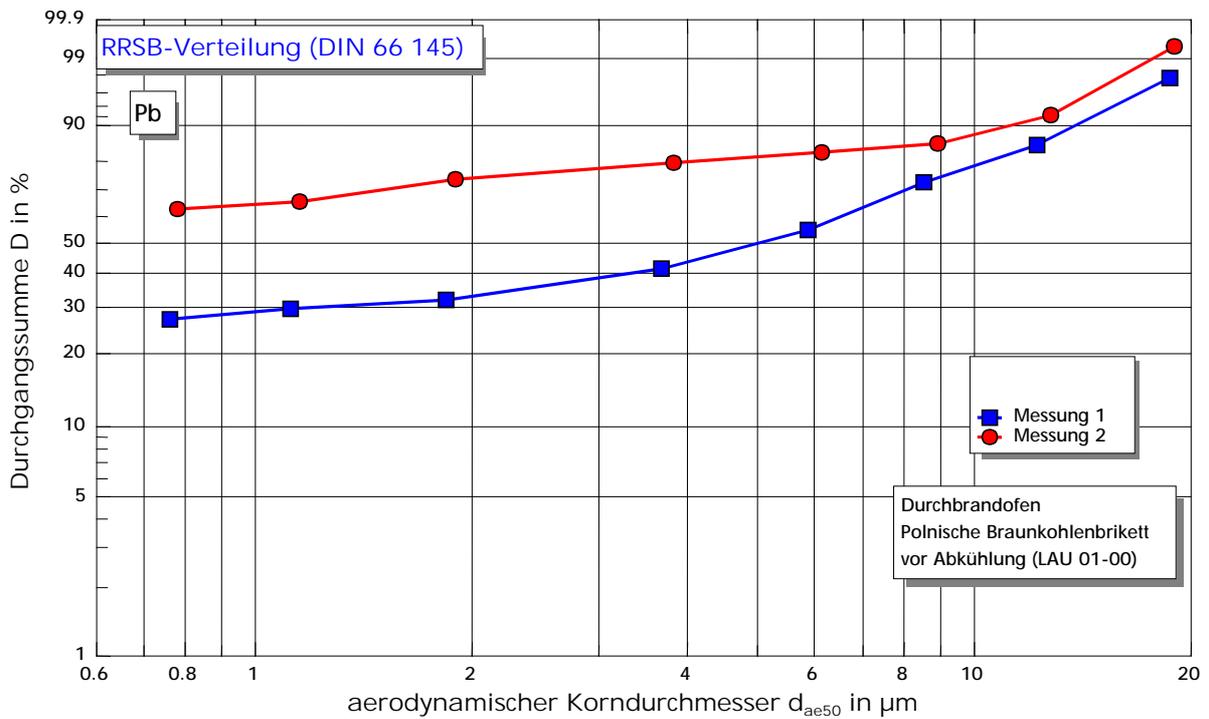


Abbildung 7.3.5: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Zink vor Abkühlung der Rauchgase

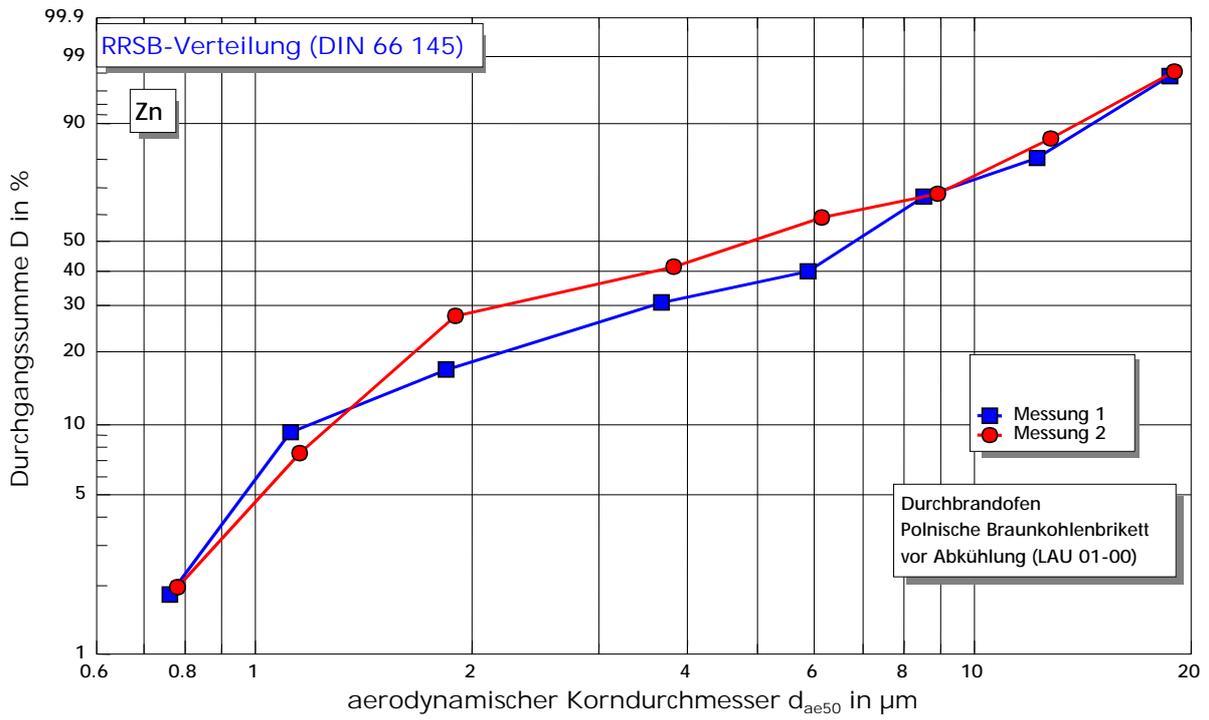


Abbildung 7.3.6: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Cadmium vor Abkühlung der Rauchgase

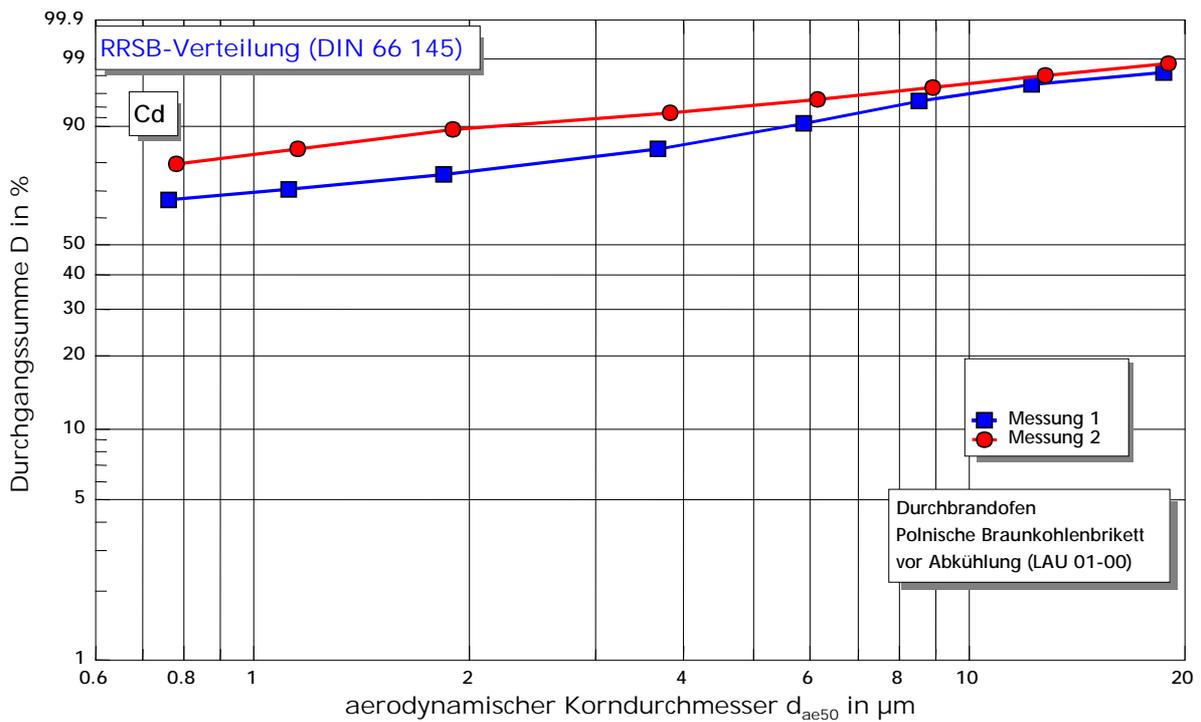


Abbildung 7.3.7: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Thallium vor Abkühlung der Rauchgase

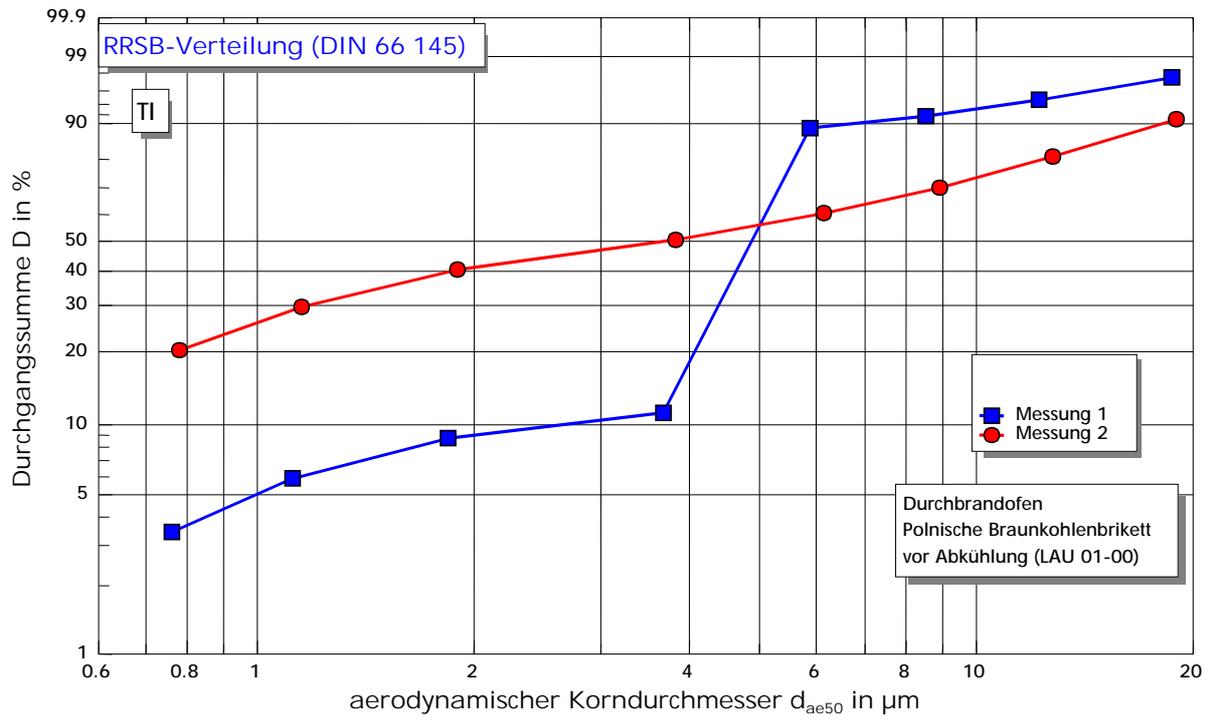


Abbildung 7.3.8: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Chrom vor Abkühlung der Rauchgase

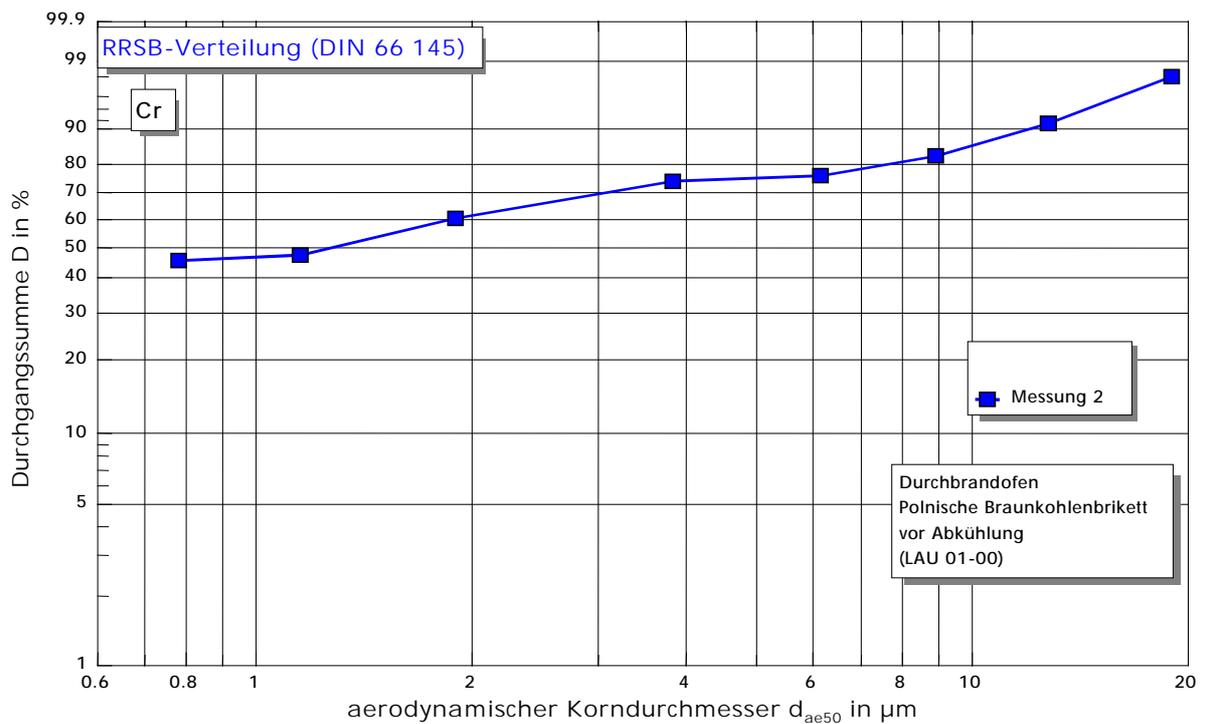


Abbildung 7.3.9: Partikelgrößenverteilung nach Abkühlung der Rauchgase

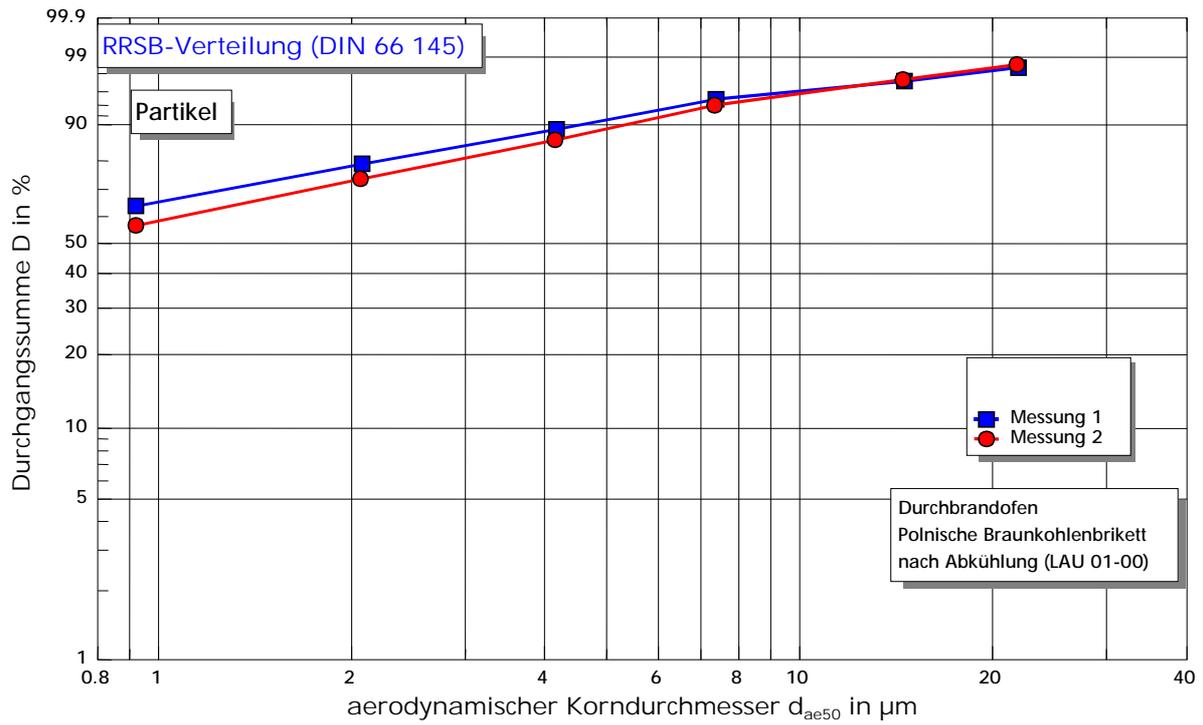


Abbildung 7.3.10: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Chrom nach Abkühlung der Rauchgase

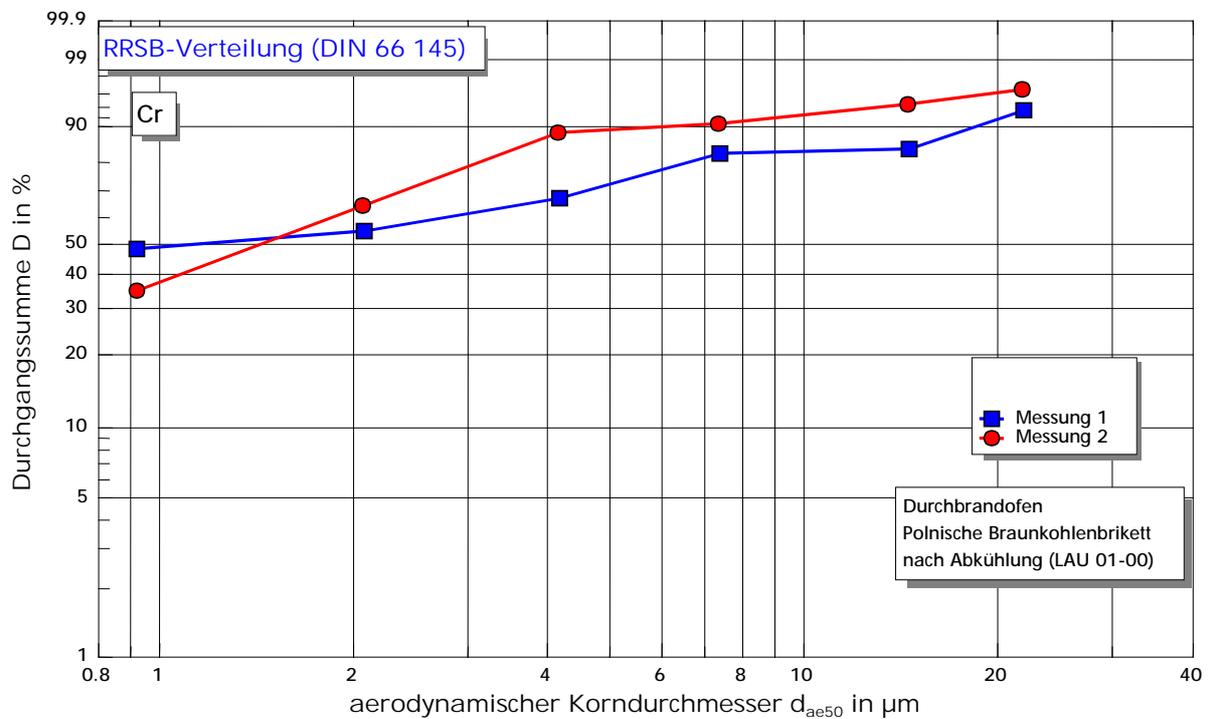


Abbildung 7.3.11: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Kupfer nach Abkühlung der Rauchgase

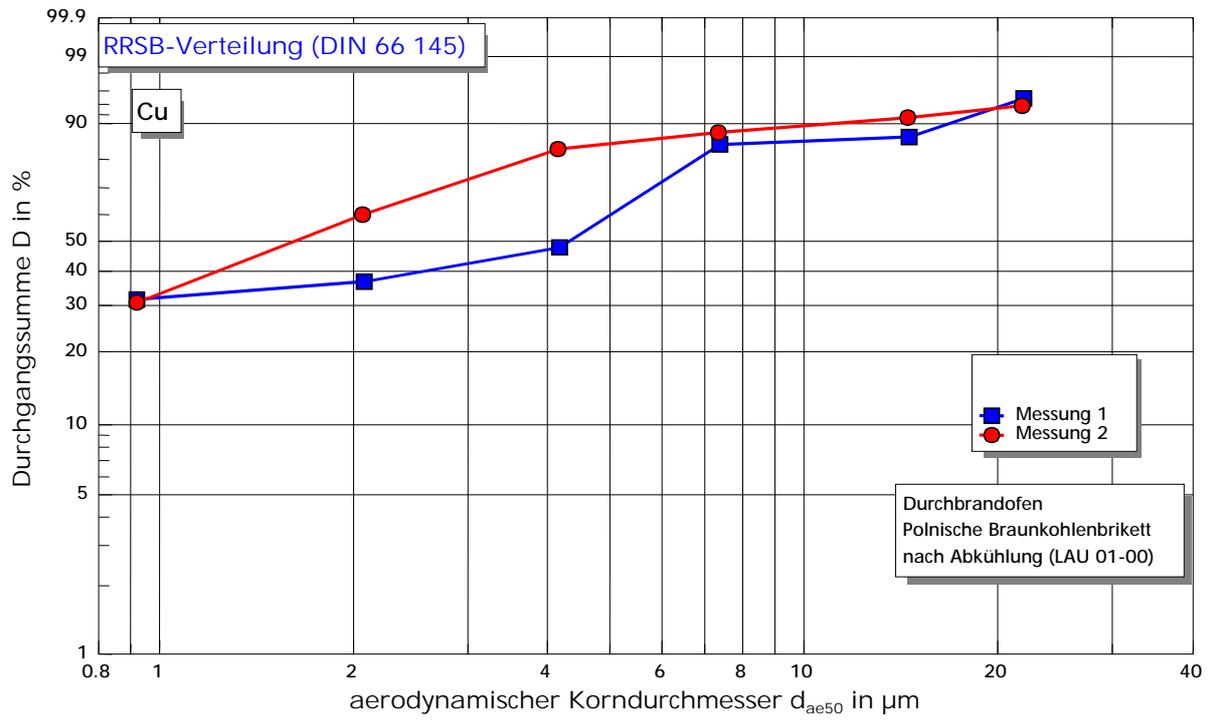


Abbildung 7.3.12: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Nickel nach Abkühlung der Rauchgase

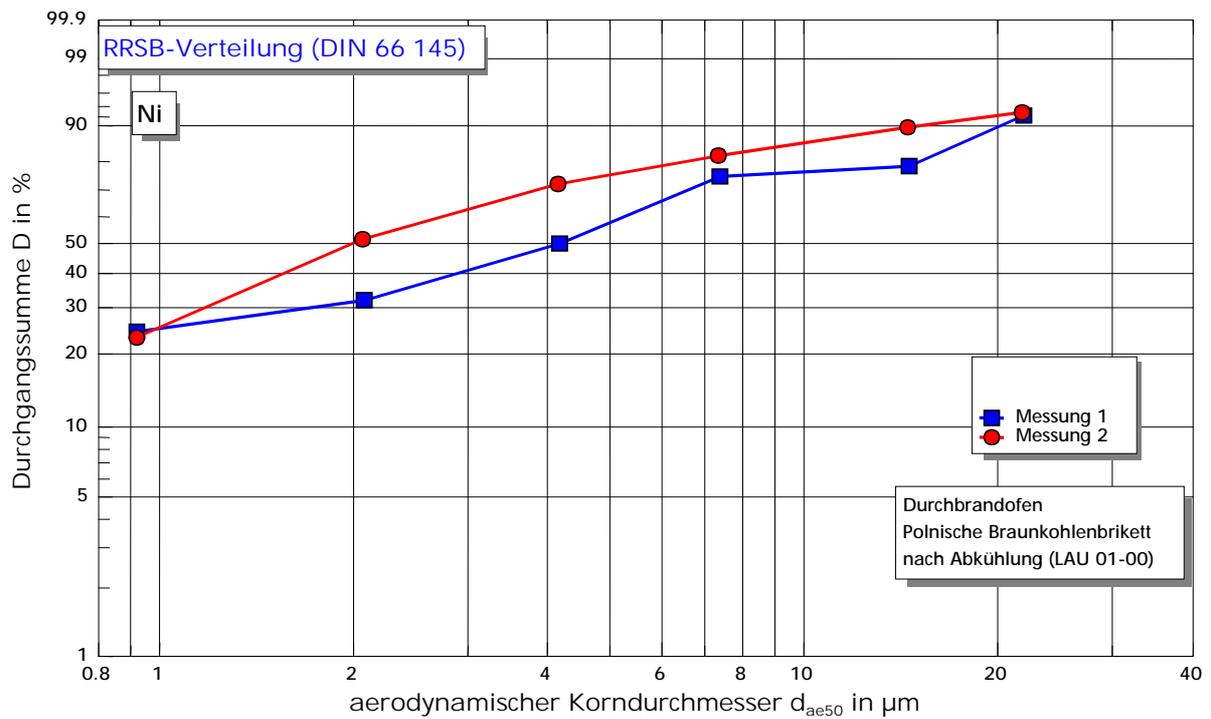


Abbildung 7.3.13: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Blei nach Abkühlung der Rauchgase

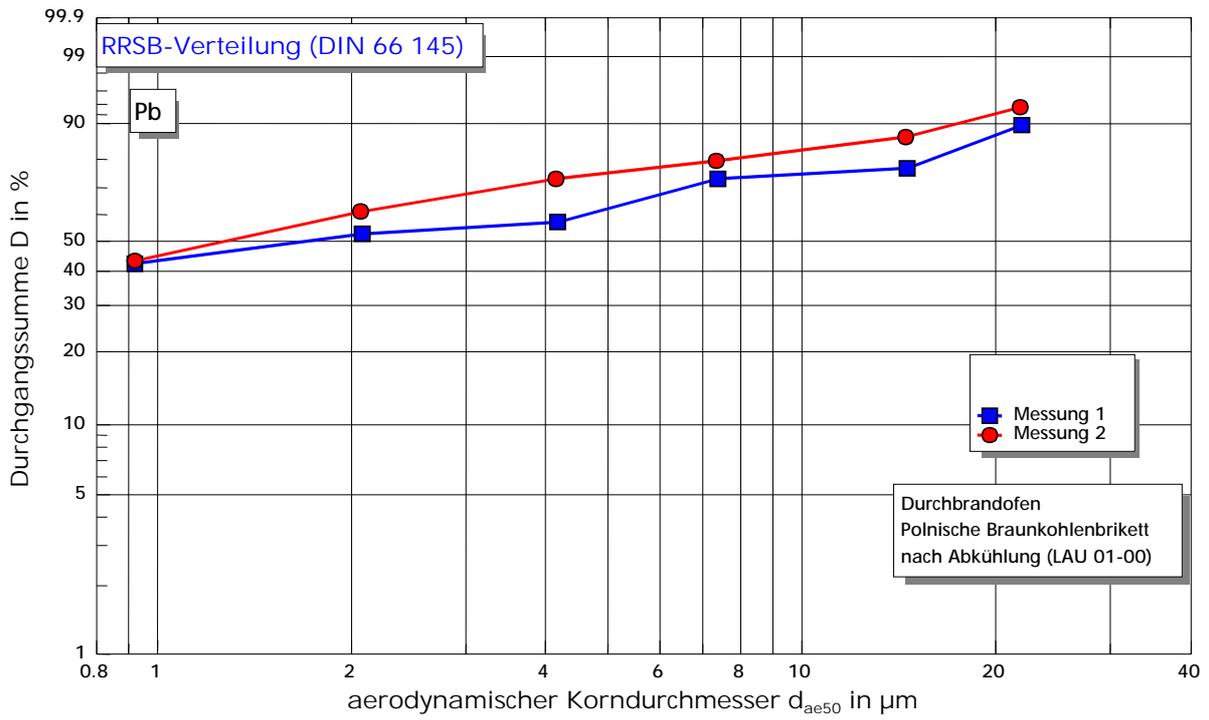


Abbildung 7.3.14: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Zink nach Abkühlung der Rauchgase

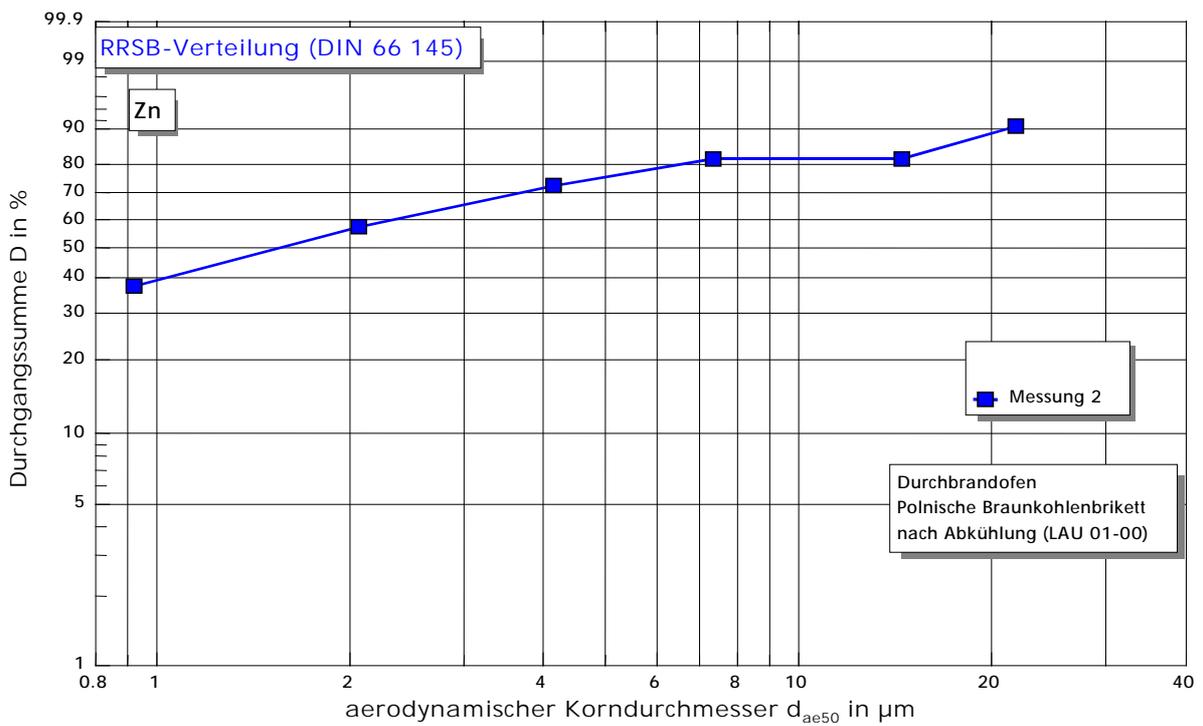


Abbildung 7.3.15: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Cadmium nach Abkühlung der Rauchgase

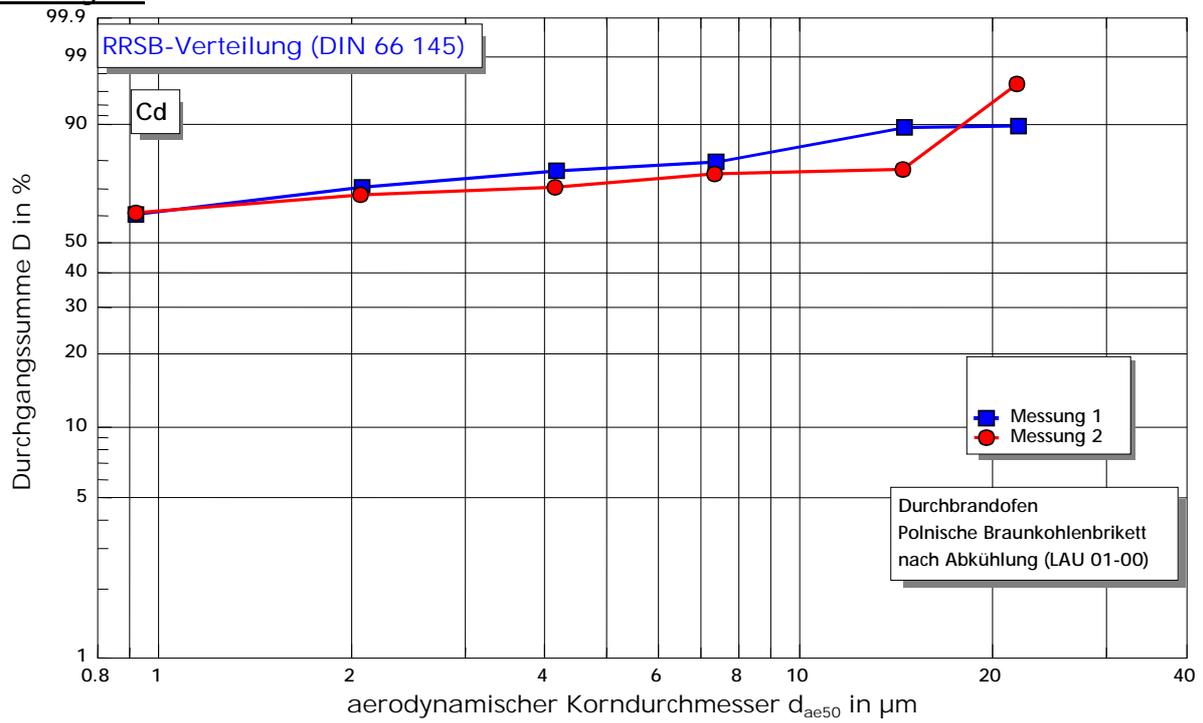
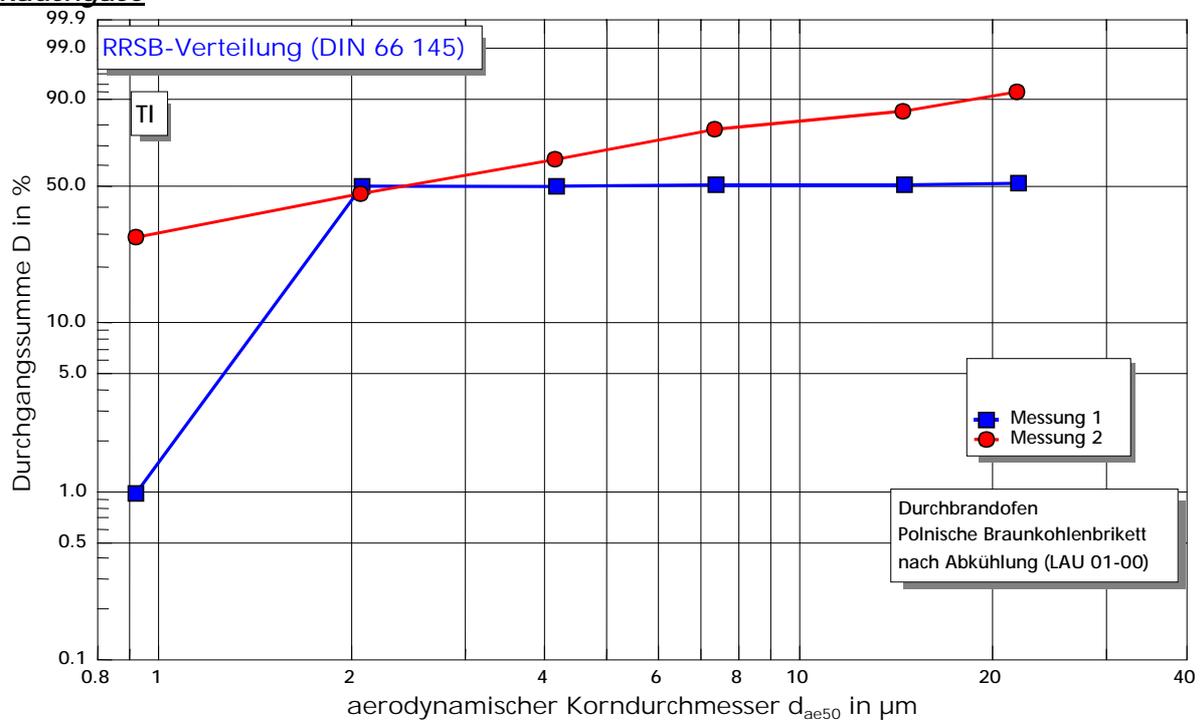


Abbildung 7.3.16: Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff Thallium nach Abkühlung der Rauchgase



Abbildungen 7.4: Korngrößenverteilungen; Durchbrandofen; Baschkirische Brikett

Abbildung 7.4.1: Partikelgrößenverteilung

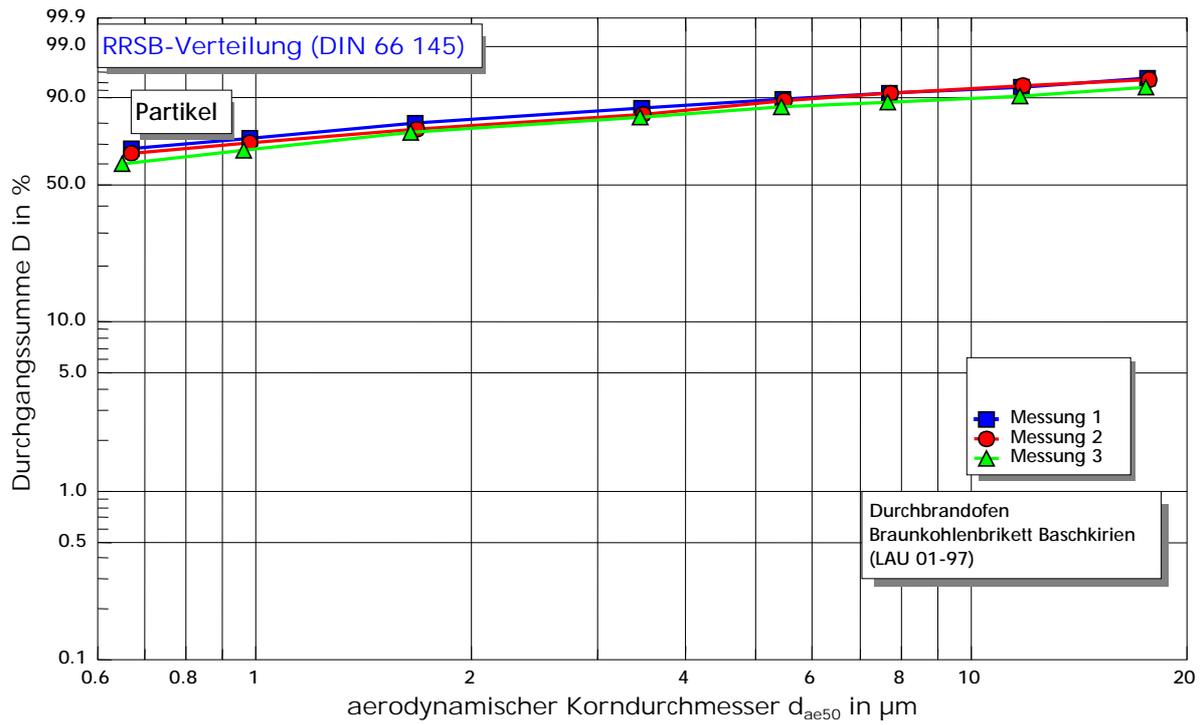


Abbildung 7.4.2: Partikelgrößenverteilung, Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoffe Mangan, und Cobalt

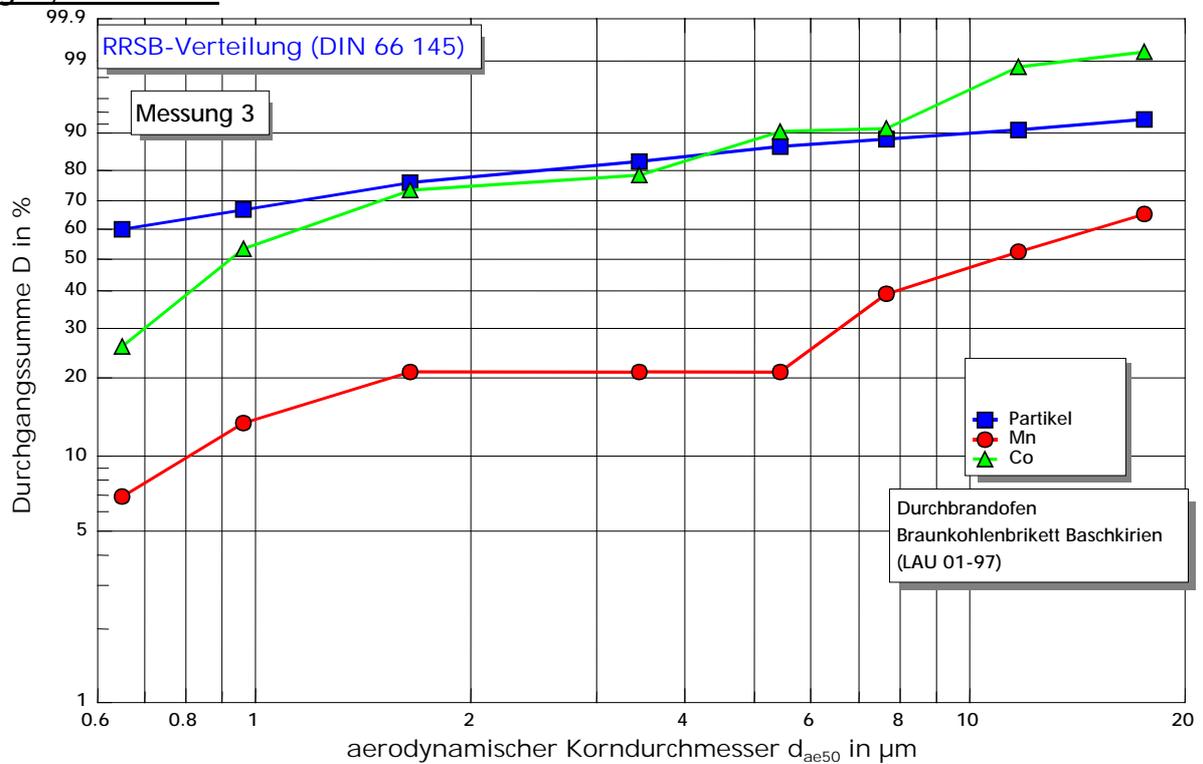


Abbildung 7.4.3: Partikelgrößenverteilung, Korngrößenverteilung Staubinhaltsstoff EC

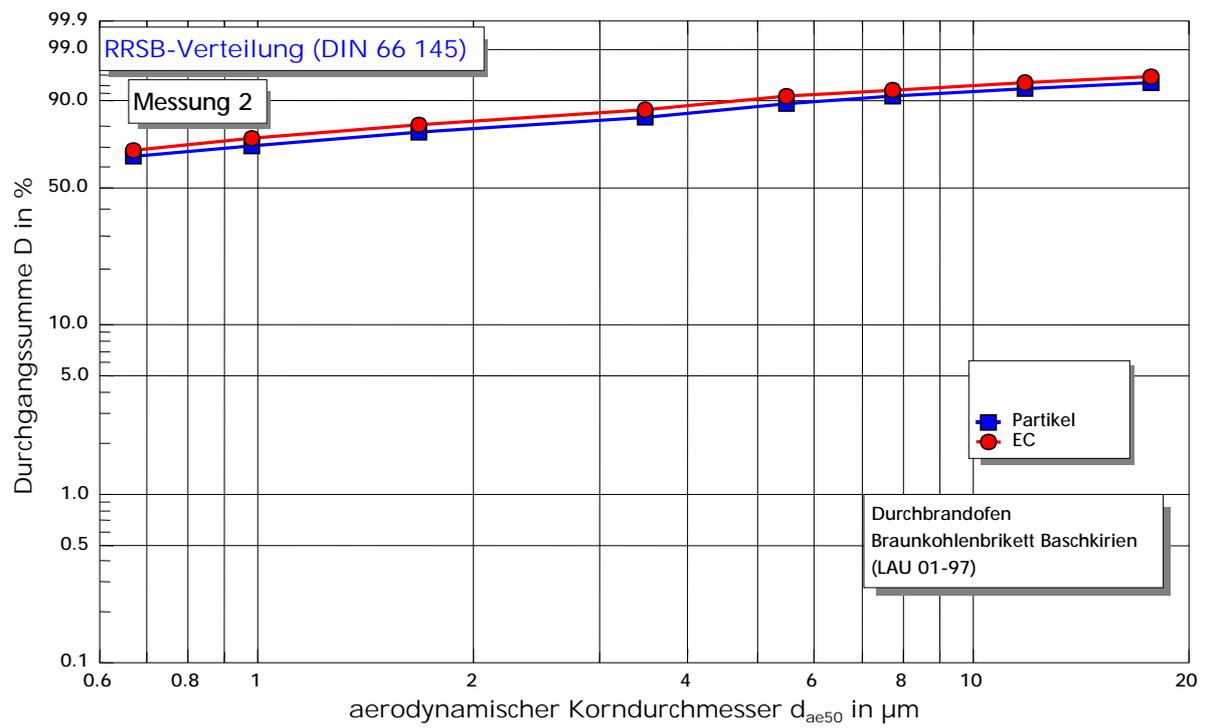
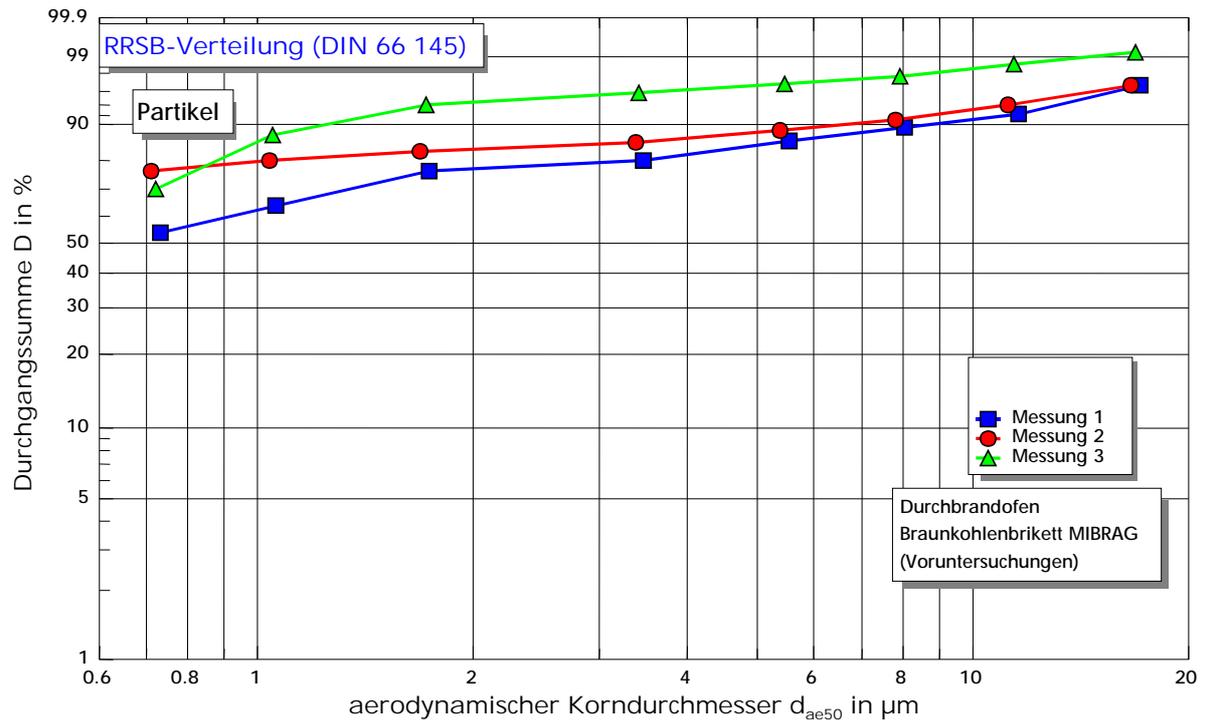


Abbildung 7.5.1: Partikelgrößenverteilung



Impressum

ISSN 0941-7281

Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. - Halle (2001)
Sonderheft 1: Feinstaubemissionsuntersuchungen in Sachsen-Anhalt:
PM₁₀-, PM₂₀- und PM_{1,0} - Emissionen aus Industrie und Hausbrand

Herausgeber und Bezug: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, PSF 200 841,
06009 Halle, Sitz: Reideburger Str. 47, 06116 Halle, Telefon (0345) 5704 0

Redaktion: Wolf-Dieter Kalkoff, Dr. Günther Noll, Dr. Christian Ehrlich
Abteilung Immissionsschutz/Chemikalensicherheit

Diese Schriftenreihe wird kostenlos abgegeben und darf nicht verkauft werden. Der Nachdruck bedarf der Genehmigung.
Die Autoren sind für den fachlichen Inhalt ihrer Beiträge selbst verantwortlich. Die von ihnen vertretenen Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen

Januar 2001

Diese Schrift darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben politischer Informationen oder Werbemittel.
Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Schrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.