

RI

**Abschlussbericht im Kooperationsprojekt der
BG Rohstoffe und chemische Industrie,
des Instituts für Gefahrstoff-Forschung
und der BU Wuppertal zur**

Staubentstehung und Staubminderung an mobilen Brecheranlagen



mit Unterstützung durch



27. Januar 2016

Im Rahmen der Kooperationsvereinbarung vom 06. Mai 2014 zwischen der Berufsgenossenschaft für Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) unter Beteiligung des Institutes für Gefahrstoff-Forschung (IGF) und dem Institut für Partikeltechnologie (IPT) an der Bergischen Universität Wuppertal (BUW) wurden die „Staubentstehung und Staubminderung an mobilen Brecheranlagen“ untersucht. Das Forschungsprojekt wurde in zwei Teilprojekte gegliedert:

Teilprojekt A: Anwenderbefragung zur „Staubemissionsminderung an mobilen Brechern zur mechanischen Zerkleinerung“ mit Bericht vom 01. September 2014
Gunnar Dölling, Ulrich Klenk (BUW)

Teilprojekt B: Durchführung von Messreihen im Steinbruch der Firma Schwinger Granit in Nittenau an einem Anlagenzug der Firma Kleemann
Achim Kern, Kai Süsselbeck (IGF)
Matthias Kaul, Ulrich Klenk (BUW)

Projektleitung: Dr.-Ing. Jost-Peter Sonnenberg (BG RCI)

Das Projekt wurde von Herrn Walter Nelles vom Bundesverband Mineralische Rohstoffe e. V. (BV MIRO) unterstützt.

Inhaltsverzeichnis

1	Messort	1
2	Durchführung der Messungen	3
2.1	BU Wuppertal.....	3
2.2	IGF	5
2.2.1	<i>Messdurchführungen und eingesetzte Probenahmesysteme</i>	<i>5</i>
2.2.2	<i>Grundlagen zur Beurteilung der Messergebnisse.....</i>	<i>8</i>
2.3	Quarzgehalte im A-Staub.....	10
2.4	Grenzwerte	10
3	Messergebnisse	11
3.1	Staubkonzentrationen und Wirkung des Niederdrucksprühsystems	11
3.1.1	<i>Versuchsbeschreibung</i>	<i>11</i>
3.1.2	<i>Staubmassenkonzentrationen und deren Reduzierung.....</i>	<i>11</i>
3.1.3	<i>Einfluss der 60 L h⁻¹ Düse am Brechwerk des Primärbrechers auf die Staubmassenkonzentrationen</i>	<i>15</i>
4	Zusammenfassung	17
5	Literaturverzeichnis.....	18
6	Anhang.....	19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamter Anlagenzug der Firma Kleemann	1
Abbildung 2: Betrieb des Anlagenzuges ohne Niederdrucksprühsystem	2
Abbildung 3: Betrieb des Anlagenzuges mit Niederdrucksprühsystem	2
Abbildung 4: Position der Messgeräte	3
Abbildung 5: Messpunkt Brecheraufgabe	5
Abbildung 6: Messpunkt Kegelbrecher	6
Abbildung 7: Messpunkt Siebanlage	6
Abbildung 8: Messpunkt Bagger Fahrerkabine.....	7
Abbildung 9: Messpunkt Hintergrundbelastung Ost unten	7
Abbildung 10: Messpunkt Hintergrundbelastung Süd unten.....	8
Abbildung 11: Übersicht über die Messpunkte an den verschiedenen Stufen der mobilen Aufbereitungsanlage (Abbildung Firma Kleemann).....	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Details zum Anlagenzug	1
Tabelle 2: Messgeräte und -größen an den fünf Messpunkten der BU Wuppertal.....	4
Tabelle 3: Messgeräte- und Messparameter an den sechs Messpunkten des IGF	9
Tabelle 4: Quarzgehalte im A-Staub an den Messpunkten	10
Tabelle 5: Schichtmittelwerte für A-, E-Staub und Quarz im Bereich Brecheraufgabe.....	11
Tabelle 6: Schichtmittelwerte für A-, E- Staub und Quarz im Bereich Kegelbrecher	11
Tabelle 7: Schichtmittelwerte für A-, E- Staub und Quarz im Bereich Siebanlage	12
Tabelle 8: Schichtmittelwerte für A-, E-Staub und Quarz Hintergrundbelastung Ost unten ..	12
Tabelle 9: Schichtmittelwerte für A-, E-Staub und Quarz im Bereich Bagger.....	12
Tabelle 10: Schichtmittelwerte für A-, E- Staub und Quarz Hintergrundbelastung Süd unten	12
Tabelle 11: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung der Staubmassenkonzentrationen während der Betriebszustände „Düsen aus“ und „Düsen an“ am Messpunkt Leiter	13
Tabelle 12: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung der Staubmassenkonzentrationen während der Betriebszustände „Düsen aus“ und „Düsen an“ am Messpunkt Nord	13
Tabelle 13: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung der Staubmassenkonzentrationen während der Betriebszustände „Düsen aus“ und „Düsen an“ am Messpunkt Süd.....	14
Tabelle 14: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung der Staubmassenkonzentrationen während der Betriebszustände „Düsen aus“ und „Düsen an“ am Messpunkt Ost	14
Tabelle 15: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung der Staubmassenkonzentrationen während der Betriebszustände „Düsen aus“ und „Düsen an“ am Messpunkt West.....	14
Tabelle 16: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung Staubmassenkonzentrationen während Betriebszustände „alle Düsen an“ und „obere Düsen aus“ am Messpunkt Leiter	15
Tabelle 17: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung Staubmassenkonzentrationen während Betriebszustände „alle Düsen an“ und „obere Düsen aus“ am Messpunkt Süd	15
Tabelle 18: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung Staubmassenkonzentrationen während Betriebszustände „alle Düsen an“ und „obere Düsen aus“ am Messpunkt Nord	16
Tabelle 19: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung Staubmassenkonzentrationen während Betriebszustände „alle Düsen an“ und „obere Düsen aus“ am Messpunkt Ost.....	16
Tabelle 20: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung Staubmassenkonzentrationen während Betriebszustände „alle Düsen an“ und „obere Düsen aus“ am Messpunkt West	16

1 Messort

Am 14. und 15. September 2015 wurden an einer mehrstufigen mobilen Aufbereitungsanlage der Firma Kleemann auf dem Betriebsgelände der Firma Schwinger Granit in Nittenau Feinstaubkonzentrationsmessungen durchgeführt. Der gesamte Anlagenzug bestand aus einem Primärbrecher (Backenbrecheranlage) und einem Sekundärbrecher (Kegelbrecheranlage), einem 3-Deck- Klassiersieb sowie zwei mobilen Bandförderanlagen zum Abtransport des gebrochenen Materials bzw. zum Rücktransport eines Materialteilstroms zum Sekundärbrecher. Die Beschickung des Anlagenzuges erfolgte mit einem 48 t Schaufelbagger und das Abräumen der Materialhalden wurde mittels eines Radladers mit einer 5 m³ Schaufel durchgeführt. Die folgende Abbildung zeigt den gesamten Zug von der Beschickung (links) bis zum Materialaustrag (rechts).



Abbildung 1: Gesamter Anlagenzug der Firma Kleemann

An beiden Brechern sind zur Minderung der Staubemissionen unterschiedliche Sprühdüsen eingebaut. Die technischen Details des Anlagenzuges sowie zu den Sprühdüsen können Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Technische Details zum Anlagenzug

	Ausgabegut	Sprühdüsen	Wassereinsatz
Backenbrecher MC120 (Primärbrecher)	0...150 mm	9 mal Lechler 216.364.30 (davon 7 in Betrieb) 1 mal Lechler 606.30.CE	gesamt 1,1 L min ⁻¹ gesamt 1,0 L min ⁻¹
Kegelbrecher MCO11 (Sekundärbrecher)	0...45 mm	2 mal Lechler 216.364.30 2 mal Lechler 302.464.30	gesamt 0,9 L min ⁻¹ gesamt 1,7 L min ⁻¹
Siebanlage	0...32 mm 32...45 mm 45...63 mm	keine	

Der Wassereingangsdruck lag bei 4,5...6,5 bar und der gesamte Wasservolumenstrom bei $4,7 \text{ L min}^{-1}$. Während der Versuche wurden Stundenleistungen von durchschnittlich 240 t h^{-1} der Körnung 0...45 mm produziert.

Der primäre Effekt der Emissionsminderung durch die Sprühdüsen liegt in der Befeuchtung des Aufgabe- und Austragsmaterials an den beiden Brecheranlagen. Diese Materialbefeuchtung wirkt sich auf den gesamten Anlagenzug mit allen Bestandteilen aus und kann optisch deutlich wahrgenommen werden (Abbildungen 2 und 3).



Abbildung 2: Betrieb des Anlagenzuges ohne Niederdrucksprühsystem



Abbildung 3: Betrieb des Anlagenzuges mit Niederdrucksprühsystem

2 Durchführung der Messungen

2.1 BU Wuppertal

Im Nahbereich der mobilen Brecher wurden drei optische Partikelzähler (Grimm 1.108) zur gleichzeitigen Messung der PM10-, PM2.5- und PM1-Konzentrationen sowie der E-, Th- und A-Staub-Konzentrationen eingesetzt [1], [2]. Eine Sohle oberhalb des Anlagenzuges wurden zwei weitere optische Partikelzähler (Grimm 1.107) sowie meteorologische Messgeräte zur Messung der PM10-, PM2.5- und PM1-Konzentrationen sowie der Windrichtung und -geschwindigkeit, Lufttemperatur, -feuchte und -druck installiert. Die Position der Messgeräte kann Abbildung 4 entnommen werden.



Abbildung 4: Position der Messgeräte

In der folgenden Tabelle werden die gemessenen Größen an den einzelnen Messpunkten aufgeführt.

Tabelle 2: Messgeräte und -größen an den fünf Messpunkten der BU Wuppertal

Messpunkt und -gerät	Staubkonzentrationsmessung	meteorologische Messung
Nord Grimm 1.108 SN 8F050031	E-, Th- und A-Staub PM10, PM2.5 und PM1 Partikelanzahlkonzentration	keine
Leiter Grimm 1.108 SN 8F991201	E-, Th- und A-Staub PM10, PM2.5 und PM1 Partikelanzahlkonzentration	keine
Süd Grimm 1.108 SN 8F090003	E-, Th- und A-Staub PM10, PM2.5 und PM1 Partikelanzahlkonzentration	keine
Ost Grimm 1.107 SN 7G040026	PM10, PM2.5 und PM1	Windrichtung Lufttemperatur Luftfeuchte Luftdruck Regenmenge
West Grimm 1.107 SN 7F010027	PM10, PM2.5 und PM1	Windrichtung Windgeschwindigkeit Lufttemperatur Luftfeuchte

Bei der Auswertung der Messergebnisse optischer Partikelzähler muss beachtet werden, dass die Berechnung der Massenkonzentrationen für die hier verwendeten Messgeräte auf der Materialdichte und den Lichtstreuungseigenschaften von Dolomit basieren. Im Falle von Umweltaerosolen können die so geräteintern berechneten Massenkonzentrationen mit denen des Referenzverfahrens nach DIN EN 12341 direkt verglichen werden [3], [4]. Da während der Messkampagne vor allem Granitstäube erfasst wurden, kann dies zu einem systematischen Fehler bei der Berechnung der Massenkonzentrationen geführt haben. Für die Bewertung der Konzentrationsminderung durch den Einsatz der Sprühdüsen kann dieser Fehler auf Grund der prozentualen Betrachtungsweise vernachlässigt werden. Für die Betrachtung absoluter Konzentrationen gelten die Messergebnisse des IGF.

2.2 IGF

2.2.1 Messdurchführungen und eingesetzte Probenahmesysteme

Die Messungen wurden an den zwei Messtagen über ca. 6 Stunden durchgeführt. Eine Übersicht über alle Messpunkte findet sich im Anhang dieses Berichtes (Abb. 11). An den Messpunkten Brecheraufgabe (Abb.5), Kreiselbereicher (Abb.6), Siebanlage (Abb.7) und in der Fahrerkabine des Baggers (Abb.8) wurden akkubetriebene Messgeräte SG 10 mit Feinstaub- und Gesamtstaubköpfen (FSP und GSP) eingesetzt. Zusätzlich wurden Messpunkte im Bereich Süd unten (Abb.9) und Ost unten (Abb.10) eingerichtet, um die Hintergrundbelastung beurteilen zu können. Gemessen wurde hier mit den Probenahmesystemen PM 4 G (E-Staub) und PM 4 F (A-Staub). Der Probennahmeflussstrom beträgt bei diesen Messgeräten $4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.



Abbildung 5: Messpunkt Brecheraufgabe

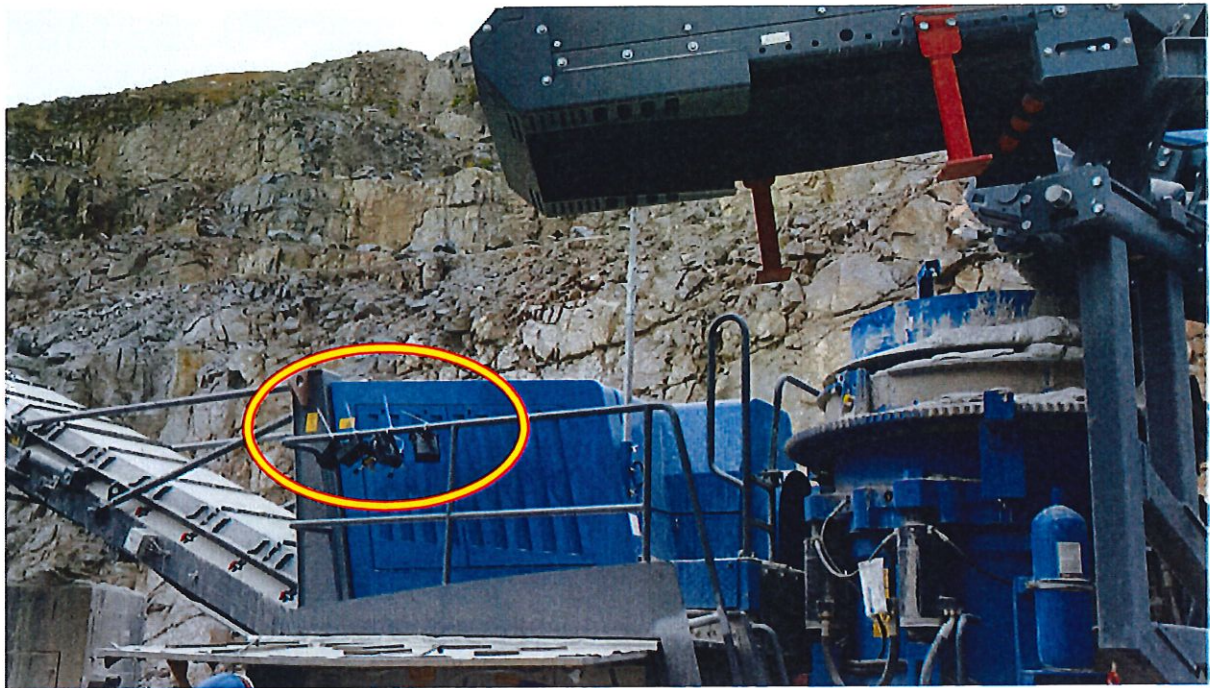


Abbildung 6: Messpunkt Kegelbrecher



Abbildung 7: Messpunkt Siebanlage



Abbildung 8: Messpunkt Bagger Fahrerkabine



Abbildung 9: Messpunkt Hintergrundbelastung Ost unten



Abbildung 10: Messpunkt Hintergrundbelastung Süd unten

An allen Messpunkten wurden die Staubfraktionen A- und E, sowie die Quarzkonzentration im A-Staub gemessen. Als Filter wurden dabei Membranfilter verwendet. Es wurden sechs ortsbezogene Messungen unter betriebsüblichen Bedingungen über eine Messdauer von sechs Stunden durchgeführt.

Es handelt sich um nicht ständig, aber immer wieder im Rahmen von Kontroll- und Reinigungsarbeiten, besetzte Arbeitsplätze mit gleich bleibenden Bedingungen, bei denen die inhalative Exposition der Mitarbeiter gegenüber A- und E-Staub sowie Quarz durch die Schichtmittelwerte typisch erfasst wird. Die Betriebszustände wiederholen sich regelmäßig und die Expositionsbedingungen ändern sich langfristig wenig, sind aber von den Wettereinflüssen wesentlich beeinflusst. Während der Messungen herrschten durchweg stabile Wetterverhältnisse.

2.2.2 Grundlagen zur Beurteilung der Messergebnisse

Entsprechend TRGS 402 wurden die ermittelten *Messwerte (MW)* unter Berücksichtigung der verfahrensbedingten Expositionsdauer auf die Schichtlänge bezogen und als *Messergebnis (ME)* ausgewiesen. Der zu verwendende Faktor (F) ist der Quotient aus Expositionsdauer und Schichtlänge. Im vorliegenden Fall kann unterstellt werden, dass die Expositionsdauer der Schichtdauer entspricht, so dass der Faktor $F = 1$ beträgt und der Messwert dem Messergebnis entspricht. Mit dem Messergebnis kann der sogenannte *Stoffindex (I)*, das ist der Quotient aus Messergebnis und Grenzwert ($I = ME/GW$), ermittelt werden.

Tabelle 3: Messgeräte- und Messparameter an den sechs Messpunkten des IGF

Messpunkt und -gerät	Staubkonzentrationsmessungen
Süd unten PM 4 G und PM 4 F	A-Staub E-Staub Quarz im A-Staub
Ost unten PM 4 G und PM 4 F	A-Staub E-Staub Quarz im A-Staub
Brecheraufgabe SG10 FSP und GSP	A-Staub E-Staub Quarz im A-Staub
Kegelbrecher SG10 FSP und GSP	A-Staub E-Staub Quarz im A-Staub
Siebanlage SG10 FSP und GSP	A-Staub E-Staub Quarz im A-Staub
Bagger Fahrerkabine SG10 FSP und GSP	A-Staub E-Staub Quarz im A-Staub

2.3 Quarzgehalte im A-Staub

Zur Bestimmung der Quarzgehalte erfolgte eine Probenahme der alveolengängigen Staubfraktion (A-Staub) mittels Probenahmesystem PM 4 F mit einem Volumenstrom von $4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ und akkubetriebenen Pumpen SG 10 mit Feinstaubsammelkopf FSP und einem Volumenstrom von 10 L min^{-1} durchgeführt.

Als Filter wurden Membranfilter eingesetzt. Die Analysen der Quarzgehalte auf den Membranfiltern wurden im Labor des Institut für Gefahrstoff-Forschung (IGF) mittels XRD (Röntgenbeugung) nach IFA Methode 8522 durchgeführt.

Tabelle 4: Quarzgehalte im A-Staub an den Messpunkten

Arbeitsbereich	Quarzgehalt
Süd unten	17,9 %
Ost unten	14,7 %
Brecheraufgabe	36,9 %
Kegelbrecher	21,4 %
Siebanlage	28,3 %
Bagger Fahrerkabine	41,0 %

2.4 Grenzwerte

Für A-Staub und E-Staub gelten Allgemeine Staubgrenzwerte, die die Beeinträchtigung der Funktion der Atmungsorgane in Folge einer allgemeinen Staubwirkung verhindern sollen und in jedem Fall in Ergänzung spezifischer Luftgrenzwerte einzuhalten sind. Mit Ausgabe Januar 2014 der TRGS 900 wurde der Allgemeine Staubgrenzwert für die alveolengängige Fraktion auf $1,25 \text{ mg m}^{-3}$ (A-Staub) herabgesetzt. Der Allgemeine Staubgrenzwert für die einatembare Fraktion beträgt 10 mg m^{-3} (E-Staub).

Gemäß TRGS 559 gilt mineralischer Staub dann als quarzhaltig, wenn im Rahmen der Expositionsmessung in der Luft am Arbeitsplatz ein Quarzfeinstaubanteil nachgewiesen wird. Bei den beschriebenen Messungen lag der Anteil an Quarz bei bis zu 41 %. Es handelt sich demnach um Tätigkeiten mit quarzhaltigem mineralischem Staub. Der ehemalige Grenzwert von $0,15 \text{ mg m}^{-3}$ wird zur Beurteilung der Exposition herangezogen.

Während des Verlaufes dieses Projektes und der Untersuchungen hat der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) im August 2015 einen AGW analogen Beurteilungsmaßstab für Quarz im A-Staub von $0,05 \text{ mg m}^{-3}$ beschlossen. Dieser Wert ist jedoch noch nicht veröffentlicht und es ist derzeit unbekannt, welche Konsequenzen sich mit der Überschreitung dieses „Beurteilungsmaßstabes“ für die Unternehmen ergeben. Daher wird zunächst auf eine konkrete Diskussion und Beurteilung dahingehend verzichtet.

3 Messergebnisse

3.1 Staubkonzentrationen und Wirkung des Niederdrucksprühsystems

3.1.1 Versuchsbeschreibung

Zur Bewertung der Staubkonzentrationsänderung für E-, Th- und A-Stäube sowie PM10, PM2.5 und PM1 durch die Verwendung von Sprühdüsen wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt:

14.09.2015: alle Sprühdüsen wurden in einem Wechselintervall von 30 Minuten ein- bzw. ausgeschaltet und

15.09.2015: die Sprühdüse oberhalb des Brechwerkes des Primärbrechers wurde in unterschiedlichen Intervallen ein- bzw. ausgeschaltet, während die restlichen Düsen durchgehend eingeschaltet waren.

Da es während beider Messtage annähernd windstill mit Wind aus umlaufenden Richtungen war, wurde auf eine getrennte Auswertung der Messwerte hinsichtlich meteorologischer Einflüsse verzichtet.

3.1.2 Staubmassenkonzentrationen und deren Reduzierung

3.1.2.1 Ergebnisse des IGF: Gravimetrisches Verfahren

In den folgenden Tabellen werden die Messergebnisse für die Betriebszustände Niederdrucksprühsystem „aus“ und „ein“ sowie die prozentuale Reduzierung dargestellt.

Tabelle 5: Schichtmittelwerte für A-, E-Staub und Quarz im Bereich Brecheraufgabe

Brecheraufgabe	Düsen aus / mg m^{-3}	Düsen ein / mg m^{-3}	Reduzierung
A-Staub	2,266	0,799	65 %
E-Staub	23,449	1,757	92 %
Quarz	0,412	0,294*	72 %

*berechneter Wert

Tabelle 6: Schichtmittelwerte für A-, E- Staub und Quarz im Bereich Kegelbrecher

Kreiselbrecher	Düsen aus / mg m^{-3}	Düsen ein / mg m^{-3}	Reduzierung
A-Staub	7,720	0,766	90 %
E-Staub	52,041	6,524	87 %
Quarz	1,621	0,148	95 %

Tabelle 7: Schichtmittelwerte für A-, E- Staub und Quarz im Bereich Siebanlage

Siebanlage	Düsen aus / mg m^{-3}	Düsen ein / mg m^{-3}	Reduzierung
A-Staub	15,207	0,524	96 %
E-Staub	15,399	0,780	95 %
Quarz	3,114	0,079	97 %

Tabelle 8: Schichtmittelwerte für A-, E-Staub und Quarz Hintergrundbelastung Ost unten

Hintergrundbelastung Ost unten	Düsen aus / mg m^{-3}	Düsen ein / mg m^{-3}	Reduzierung
A-Staub	0,323	0,132	59 %
E-Staub	4,604	1,345	71 %
Quarz	0,047	0,019	60 %

Tabelle 9: Schichtmittelwerte für A-, E-Staub und Quarz im Bereich Bagger

Bagger Fahrkabine	Düsen aus / mg m^{-3}	Düsen ein / mg m^{-3}	Reduzierung
A-Staub	0,179	0,160	89 %
E-Staub	0,592	0,469	79 %
Quarz	0,065	0,024	63 %

Tabelle 10: Schichtmittelwerte für A-, E- Staub und Quarz Hintergrundbelastung Süd unten

Hintergrundbelastung Süd unten	Düsen aus / mg m^{-3}	Düsen ein / mg m^{-3}	Reduzierung
A-Staub	1,495	0,238	84 %
E-Staub	46,989	2,129	95 %
Quarz	0,267*	0,042	84 %

*berechneter Wert

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass durch den Einsatz des Niederdrucksprühsystems die Grenzwerte für A- und E-Staub sicher eingehalten werden können, selbst wenn sich Mitarbeiter kontinuierlich in diesen Bereichen aufhalten würden. Auch der Grenzwert für Quarzfeinstaub von $0,15 \text{ mg m}^{-3}$ wird, bis auf den Bereich Kegelbrecher, eingehalten. Wird der neue Grenzwert von $0,05 \text{ mg m}^{-3}$ zu Grunde gelegt, so wird dieser durch den Einsatz der Düsen im Umfeld der Anlage und am Arbeitsplatz des Baggerfahrers ebenfalls sicher eingehalten. Im Nahbereich der Anlage (keine Arbeitsplätze) würde dieser Wert jedoch überschritten werden. Ohne den Einsatz der Düsen könnten alle drei Grenzwerte regelmäßig nicht eingehalten werden.

3.1.2.2 Ergebnisse der BU Wuppertal: optisches Verfahren

Durch den Vergleich der arithmetischen Mittelwerte der Staubmassenkonzentrationen während der Betriebszustände „Düsen aus“ und „Düsen an“ wurde die prozentuale Änderung (Reduzierung) der Staubkonzentrationen sowohl aus Sicht des Arbeitsschutzes (E-, Th- und A-Staub) wie auch des Umweltschutzes (PM10, PM2.5 und PM1) bestimmt. Die Ergebnisse können den folgenden Tabellen für die drei Messpunkte im Nahbereich des Anlagenzuges (Leiter, Süd und Nord) sowie die Umgebung (Ost und West) entnommen werden. Alle Staubmassenkonzentrationen werden in Milligramm pro Kubikmeter angegeben. Die Daten wurden um längere Betriebspausen bereinigt. Zusätzliche Staubquellen aus dem LKW-Verkehr [5], die vor allem den Messpunkt West beeinflussten, wurden nicht separat erfasst und herausgerechnet. Entscheidend für das Ergebnis der Messkampagne ist hier die prozentuale Reduzierung der mittleren Staubmassenkonzentrationen.

Tabelle 11: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung der Staubmassenkonzentrationen während der Betriebszustände „Düsen aus“ und „Düsen an“ am Messpunkt Leiter

Leiter	Düsen aus / mg m ⁻³			Düsen an / mg m ⁻³			Reduzierung
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert
PM10	86,11	436,37	2,24	31,44	160,71	0,70	63 %
PM2.5	5,42	20,36	0,10	2,59	11,62	0,07	52 %
PM1	1,12	4,89	0,03	0,55	2,36	0,02	51 %
E-Staub	196,43	923,06	6,26	71,95	430,26	1,73	63 %
Th-Staub	99,60	502,19	2,66	36,33	189,14	0,82	64 %
A-Staub	22,58	106,17	0,45	9,15	43,26	0,22	59 %

Tabelle 12: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung der Staubmassenkonzentrationen während der Betriebszustände „Düsen aus“ und „Düsen an“ am Messpunkt Nord

Nord	Düsen aus / mg m ⁻³			Düsen an / mg m ⁻³			Reduzierung
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert
PM10	2,87	82,06	0,09	1,03	6,46	0,13	64 %
PM2.5	0,21	6,17	0,01	0,07	0,56	0,01	67 %
PM1	0,04	0,91	0,00	0,02	0,12	0,00	62 %
E-Staub	8,03	191,08	0,24	3,23	17,59	0,30	60 %
Th-Staub	3,38	95,18	0,10	1,23	7,60	0,15	64 %
A-Staub	0,82	25,53	0,02	0,27	2,18	0,04	67 %

Tabelle 13: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung der Staubmassenkonzentrationen während der Betriebszustände „Düsen aus“ und „Düsen an“ am Messpunkt Süd

Süd	Düsen aus / mg m ⁻³			Düsen an / mg m ⁻³			Reduzierung
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert
PM10	14,23	85,40	0,18	2,11	13,36	0,24	85 %
PM2.5	0,75	5,90	0,01	0,15	0,68	0,01	79 %
PM1	0,12	0,82	0,00	0,04	0,16	0,00	70 %
E-Staub	43,47	233,64	0,51	7,35	75,64	0,79	83 %
Th-Staub	16,93	98,97	0,22	2,54	17,64	0,29	85 %
A-Staub	3,69	27,00	0,04	0,58	2,80	0,06	84 %

Tabelle 14: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung der Staubmassenkonzentrationen während der Betriebszustände „Düsen aus“ und „Düsen an“ am Messpunkt Ost

Ost	Düsen aus / mg m ⁻³			Düsen an / mg m ⁻³			Reduzierung
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert
PM10	1,44	Messgrenze	0,01	0,44	Messgrenze	0,01	69 %
PM2.5	0,29	3,24	0,01	0,07	1,15	0,00	75 %
PM1	0,04	0,36	0,00	0,01	0,12	0,00	70 %

Tabelle 15: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung der Staubmassenkonzentrationen während der Betriebszustände „Düsen aus“ und „Düsen an“ am Messpunkt West

West	Düsen aus / mg m ⁻³			Düsen an / mg m ⁻³			Reduzierung
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert
PM10	2,13	Messgrenze	0,04	1,38	Messgrenze	0,04	35 %
PM2.5	0,11	1,01	0,01	0,08	1,93	0,01	32 %
PM1	0,04	0,38	0,00	0,03	0,78	0,00	27 %

Aus allen Tabellen wird deutlich, dass die Verwendung der Sprühdüsen zu einer signifikanten Minderung der Staubmassenkonzentrationen in direkter Nähe zum Anlagenzug und auch im Umfeld führten. Dies deckt sich auch mit der deutlich sichtbaren Minderung der Stäube beim Betrieb der Niederdrucksprühsysteme. Da der Messpunkt West durch zusätzliche Quellen (LKW-Verkehr) beeinflusst wurde, fällt hier das Ergebnis schlechter aus. Die nachgewiesene Minderung der Konzentrationen von PM1 und A-Staub, die als luftgetragene Stäube von Wassertropfen auf Grund ihrer geringen Größe für gewöhnlich nicht erfasst werden, bestätigt die Aussage, dass der primäre Staubbminderungseffekt aus der Befeuchtung des Materials resultiert [6–9].

3.1.3 Einfluss der 60 L h⁻¹ Düse am Brechwerk des Primärbrechers auf die Staubmassenkonzentrationen

Um den Einfluss der Wassermenge auf die Staubentstehung zu untersuchen, wurden am zweiten Messtag die Betriebszustände „alle Düsen an“ und „obere Düse aus“ – während die restlichen Düsen an waren – mit einander verglichen. Die Ergebnisse der arithmetisch gemittelten Staubmassenkonzentrationen sowie der prozentualen Reduzierung durch das Ein- und Ausschalten der oberen Düse (60 L h⁻¹) können den folgenden Tabellen entnommen werden.

Tabelle 16: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung Staubmassenkonzentrationen während Betriebszustände „alle Düsen an“ und „obere Düsen aus“ am Messpunkt Leiter

Leiter	obere Düse aus / mg m ⁻³			alle Düse an / mg m ⁻³			Reduzierung
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert
PM10	57,02	371,86	1,72	17,09	70,80	0,70	70 %
PM2.5	3,70	14,64	0,18	1,61	5,99	0,11	56 %
PM1	0,74	3,03	0,05	0,38	1,29	0,03	49 %
E-Staub	126,59	853,43	4,46	34,22	143,60	1,29	73 %
Th-Staub	65,83	431,77	2,39	19,52	81,18	0,80	70 %
A-Staub	15,12	78,67	0,48	5,48	21,95	0,29	64 %

Tabelle 17: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung Staubmassenkonzentrationen während Betriebszustände „alle Düsen an“ und „obere Düsen aus“ am Messpunkt Süd

Süd	obere Düse aus / mg m ⁻³			alle Düse an / mg m ⁻³			Reduzierung
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert
PM10	0,98	7,01	0,02	0,50	4,79	0,00	49 %
PM2.5	0,09	0,47	0,00	0,06	0,31	0,00	33 %
PM1	0,02	0,11	0,00	0,02	0,09	0,00	27 %
E-Staub	3,31	29,68	0,06	1,42	10,64	0,01	57 %
Th-Staub	1,18	8,70	0,03	0,59	5,55	0,01	50 %
A-Staub	0,28	1,51	0,01	0,17	1,04	0,00	40 %

Tabelle 18: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung Staubmassenkonzentrationen während Betriebszustände „alle Düsen an“ und „obere Düsen aus“ am Messpunkt Nord

Nord	obere Düse aus / mg m^{-3}			alle Düse an / mg m^{-3}			Reduzierung
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert
PM10	0,92	6,82	0,00	0,45	7,25	0,00	51 %
PM2.5	0,07	0,69	0,00	0,03	0,49	0,00	55 %
PM1	0,02	0,14	0,00	0,01	0,12	0,00	52 %
E-Staub	2,59	22,25	0,00	1,23	24,92	0,00	52 %
Th-Staub	1,09	8,14	0,00	0,53	8,79	0,00	51 %
A-Staub	0,27	2,19	0,00	0,13	1,77	0,00	54 %

Tabelle 19: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung Staubmassenkonzentrationen während Betriebszustände „alle Düsen an“ und „obere Düsen aus“ am Messpunkt Ost

Ost	obere Düse aus / mg m^{-3}			alle Düse an / mg m^{-3}			Reduzierung
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert
PM10	0,17	Messgrenze	0,00	0,10	Messgrenze	0,00	42 %
PM2.5	0,02	0,09	0,00	0,01	0,10	0,00	45 %
PM1	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	34 %

Tabelle 20: Mittelwerte und prozentuale Reduzierung Staubmassenkonzentrationen während Betriebszustände „alle Düsen an“ und „obere Düsen aus“ am Messpunkt West

West	obere Düse aus / mg m^{-3}			alle Düse an / mg m^{-3}			Reduzierung
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert
PM10	0,57	Messgrenze	0,01	0,51	Messgrenze	0,01	10 %
PM2.5	0,03	0,31	0,01	0,03	0,25	0,01	10 %
PM1	0,01	0,13	0,00	0,01	0,11	0,00	7 %

Aus allen Tabellen wird deutlich, dass die Verwendung der Sprühdüse am Brechwerk des Primärbrechers mit einem Wasservolumenstrom von 60 L h^{-1} einen maßgeblichen Effekt auf die Materialfeuchte und somit Staubminderung aufweist. Dies zeigt sich vor allem in direkter Nähe zum Brechwerk am Messpunkt „Leiter“, aber auch im Nahbereich und Umfeld. Da beide Umfeld-Messgeräte ihre Messgrenzen erreichten und somit im arithmetischen Mittel zu geringe Staubmassenkonzentrationen zeigten, fallen hier die Ergebnisse schlechter aus. Zudem wurde der Messpunkt West am zweiten Messtag durch zusätzliche Quellen (LKW-Verkehr) beeinflusst, was ebenfalls zu einer Verschlechterung der Ergebnisse hinsichtlich der Staubminderung führt.

4 Zusammenfassung

Anhand der Messreihen konnte gezeigt werden, dass der Einsatz eines Niederdrucksprühsystems zur Materialbefeuchtung bei der Aufbereitung von Granit ein sehr gut geeignetes Mittel darstellt um die Staubkonzentrationen sicher unterhalb der aktuell geltenden Grenzwerte sowohl für den Arbeitsschutz hinsichtlich der inhalativen Belastung, wie auch im Immissionsschutz zu halten. Weiterhin konnte der Einfluss der Wassermengen auf die Staubreduzierung verdeutlicht werden.

Als Handlungsempfehlung für Betreiber und Hersteller solcher und ähnlicher Anlagen werden folgende Schritte empfohlen:

1. Feststellung des Quarzgehaltes im Rohmaterial;
2. Festlegung akzeptabler Staubkonzentrationswerte unter Berücksichtigung der geltenden gesetzlichen Grenzwerte (inkl. Quarzfeinstaub) und der betriebsüblichen Aufenthaltsdauern von Personen in von höheren Konzentrationen betroffenen Bereichen;
3. Festlegung der zur Materialbefeuchtung notwendigen Wassermengen, um die festgelegten Staubkonzentrationen sicher einhalten zu können (spezifische Größen für Material und Materialfluss);
4. Einbau der Bedüsungssysteme und Auslegung der Wasserversorgung für einen sicheren Dauerbetrieb auch beim Einsatz von Bedüsungswasser mit hohem Schwebstoff- und Salzanteil sowie anderen den Betrieb störenden löslichen und unlöslichen Frachten;
5. Intelligente Steuerung der Bedüsungseinrichtungen für möglichst automatisierten Betrieb;
6. Sensibilisierung der Mitarbeiter hinsichtlich staubarmen Arbeitens und Einsatz vorhandener staubunterdrückender Einrichtungen.
7. Bereitstellung von partikelfiltrierenden Halbmasken (FFP2)

5 Literaturverzeichnis

- [1] VDI 3867 Blatt 4 - Messen von Partikeln in der Außenluft: Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration und Anzahlgrößenverteilung von Aerosolen; Optisches Aerosolspektrometer, Beuth Verlag GmbH Berlin (2011)
- [2] MATTENKLOTT, M. ; HÖFERT, N.: Stäube an Arbeitsplätzen und in der Umwelt – Vergleich der Begriffsbestimmungen. In: *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* (2009), Nr. 4
- [3] KLENK, ULRICH: *Entwicklung eines Verfahrens zur Lokalisierung von Feinstaubquellen am Beispiel eines Braunkohlentagebaus*. 1. Auflage, Shaker Verlag Aachen, 2009
- [4] DIN EN 12341: Außenluft – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM10 oder PM2,5 -Massenkonzentration des Schwebstaubes, Beuth Verlag GmbH Berlin (2014)
- [5] KLENK, ULRICH: *Staubemissionen durch LKW-Verkehr auf befestigten Betriebsstraßen, LANUV-Fachberichte*. Bd. 45. Recklinghausen, 2013
- [6] KLENK, ULRICH: *Minderung von Feinstaubkonzentrationen mit Sprühdüsen*. 1. Auflage, Shaker Verlag Aachen, 2015
- [7] KLENK, ULRICH: Sprühdüsen zur Reduzierung diffuser Staubemissionen beim Schüttgutumschlag. In: *World of Mining* Bd. 66 (2014), Nr. 3
- [8] KLENK, ULRICH ; PAREY, MATTHIAS: Der Einsatz von Sprühdüsen zur Reduzierung diffuser Staubemissionen. In: *Chemie Ingenieur Technik* Bd. 85 (2013), Nr. 3
- [9] KLENK, ULRICH: Verwendung von Sprühdüsen mit Wasser und Additiven zur Reduzierung diffuser Staubemissionen. In: *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* (2012), Nr. 11/12

6 Anhang

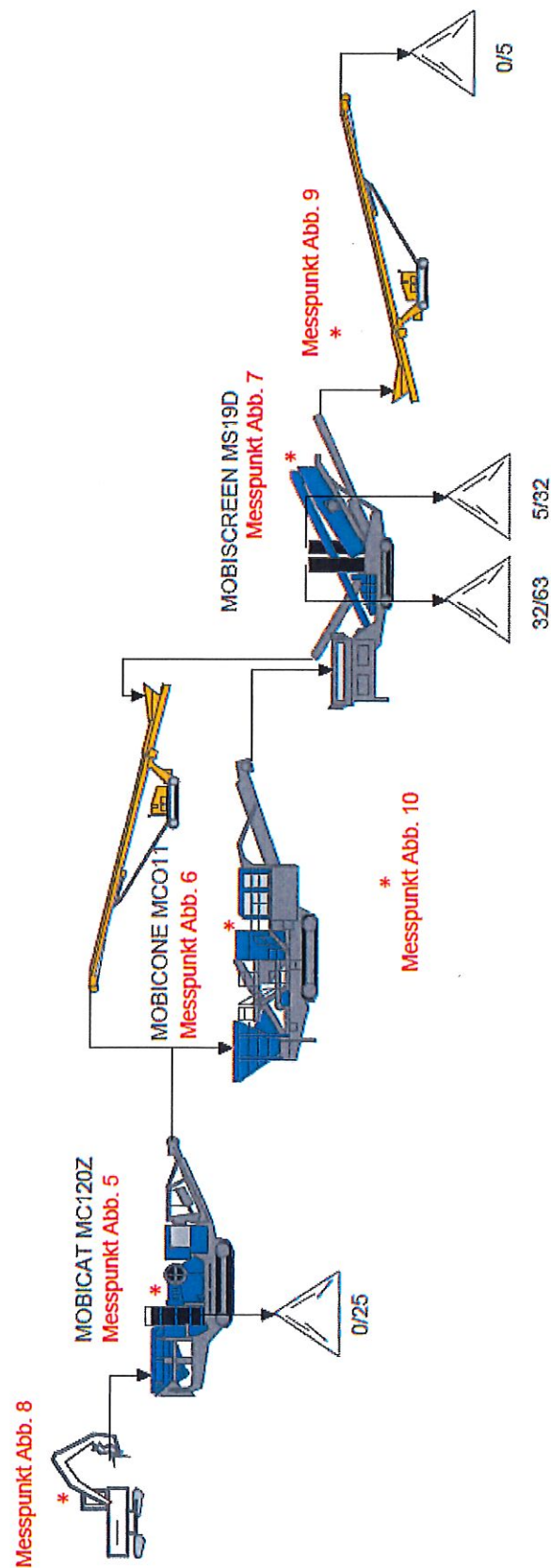


Abbildung 11: Übersicht über die Messpunkte an den verschiedenen Stufen der mobilen Aufbereitungsanlage (Abbildung Firma Kleemann)