



Eisenbahn-Bundesamt

EBA Forschungsbericht
2019-06

Staubabsaugung - Theorie

Entstaubung einer Bettungsreinigungsmaschine



EBA Forschungsbericht 2019-06
Projektnummer 2017-I-3-1217

Staubabsaugung - Theorie

Entstaubung einer Bettungsreinigungsmaschine

von

Dipl.-Ing. (FH) Mike Brill
CFT GmbH Compact Filter Technic, Gladbeck

Im Auftrag des Eisenbahn-Bundesamtes

Impressum

HERAUSGEBER

Eisenbahn-Bundesamt

Heinemannstraße 6

53175 Bonn

www.eba.bund.de

DURCHFÜHRUNG DER STUDIE

CFT GmbH Compact Filter Technic

Beisenstraße 39-41

45964 Gladbeck

ABSCHLUSS DER STUDIE

Februar 2019

REDAKTION

Ingo Härms, Referat 33, Technischer Arbeitsschutz

Markus Reinhardt, Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung

BILDNACHWEIS

Markus Reinhardt / DZSF / Titelseite

PUBLIKATION ALS PDF

<https://www.dzsf.bund.de/Forschungsergebnisse/Forschungsberichte>

ISSN 2627-9851

[doi: 10.48755/dzsf.210018.01](https://doi.org/10.48755/dzsf.210018.01)

Bonn, Juli 2019



Inhalt

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Symbolverzeichnis	5
1. Problembeschreibung	6
2. Aufgabenstellung und Ziele	7
3. Beschreibung der Bettungsreinigungsmaschine	9
3.1 Bettungsreinigungsmaschinen	9
3.2 Siebanlage	10
3.3 Materiaförder- Silowagen MFS/BSW	11
4. Auswahl der Maschinen	12
5. Bestimmen der potentiellen Staubquellen	13
5.1 Potentielle Staubquellen:	13
5.2 Beschreiben der Staubquellen	13
6. Beschreibung der verschiedenen Präventivmaßnahmen zur Staubbekämpfung	16
6.1 Entstaubungsanlagen für die Bettungsreinigungsmaschine	16
6.2 Reststaubgehalt	19
6.3 Kapselung der Staubquellen	20
6.4 Bewetterung des Tunnels	21
7. Dimensionierung der Absaugstellen	22
7.1 Absaugleistung	22
7.2 Auslegung der Rohrleitungen und Absaughutzen	23
7.3 Differenzdruckberechnung der Rohrleitung	24
7.4 Berechnung der Rohrleitungsdruckverluste:	25
8. Auswahl der Anbauteile	26
8.1 Kompressorstation	26
8.2 Filteranlage	27
8.3 Axialventilator	28
8.4 Frequenzumrichter	30
8.5 Bandanlage	30
8.6 Stromaggregat	32
9. Integration in die bestehende Bettungsreinigungsmaschine	33
9.1 Auswahl des Flachwagen	33



9.2	Maschinenverbund.....	34
9.3	Regellichtraumprofil.....	35
10.	Fazit.....	36
	Anhang	38
	A Übersicht Allgemeiner Fragebogen zum Einsatz von Bettungsreinigungsmaschinen (BRM)	
	38	
	B Druckverlustberechnung.....	39
	C Verwendete Zeta Werte zur Druckverlustberechnung	40
	D Aufbauzeichnung.....	47
	E Druckverlustberechnung	48
	F Regellichtraumprofil G1	55
	Quellenverzeichnis	56



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1: Übersicht Bettungsreinigungsmaschine [SP18].....	10
Abbildung 3.2: Aushubwagen.....	10
Abbildung 3.3: Siebanlage	11
Abbildung 3.4: Darstellung MFS/BSW [SP18]	12
Abbildung 3.5: MFS Wagen	12
Abbildung 5.1: Übersicht Staubentstehungsstellen an der Bettungsreinigungsmaschine RM900.....	13
Abbildung 5.2: Aushubbereich der Räumkette & Übergabe Altschotter.....	14
Abbildung 5.3: Siebanlage mit Abwurftrichter und Schottereinbringung	15
Abbildung 5.4: Abraumband und Übergabe MFS-Wagen.....	15
Abbildung 5.5: Neuschottereinbringung	16
Abbildung 6.1: Abreinigungsprinzip mit Kompaktfilterelementen	18
Abbildung 6.2: Filterprobe und Rasterelektronenmikroskop Aufnahme des Filtermaterials ..	19
Abbildung 6.3: Prozentualer Abscheidegrad bezogen auf die Partikelgrößen.....	20
Abbildung 6.4: Bandbrücke mit Mittenzentrierung	20
Abbildung 7.1: Absaugstellen auf der BRM	23
Abbildung 8.1: Beispiel Containerschnellverschluss.....	28
Abbildung 8.2: Entstaubungsanlage im Containergestell	28
Abbildung 8.3: Lüfterkurve GAL14-1100/1100 + AL14-1100	29
Abbildung 8.4: Isometrische Ansicht der Brückenbänder	31
Abbildung 9.1: Entstaubungssystem auf Flachwagen.....	33
Abbildung 9.2: Abmessungen des Wagens Typ Sggrss 733.....	34
Abbildung 9.3: Einhaltung des Regellichttraumprofils G1	35
Abbildung 9.4: Entstaubungssystem	36
Abbildung C.1 Zeta Wert konischer Rohreintritt [SC18]	40
Abbildung C.2 Zetawert Rohrbogen [SC18].....	41
Abbildung C.3 Zetawert Winkeländerung bei Bögen [SC18]	42
Abbildung C.4 Zetawert Segmentbögen 90° [SC18]	43
Abbildung C.5 Zetawert Drosselklappe [SC18]	44
Abbildung C.6 Zetawert konische Verengung (Konfusor) [SC18].....	45
Abbildung C.7 Zetawert Abzweig 45° gleicher Durchmesser [SC18]	46
Abbildung D.1 Übersichtszeichnung Entstaubungsanlage	47



Abbildung F.1: Regellichtraumprofil G1 [JU92] 55

Tabellenverzeichnis

Tabelle A.1: Übersicht Allgemeiner Fragebogen zum Einsatz von
Bettungsreinigungsmaschinen (BRM) 38

Tabelle B.1 Druckverlust pro Meter Rohr in Pascal (Pa/m) 39

Tabelle E.1: Rohrabschnitt 1.1 48

Tabelle E.2: Rohrabschnitt 1.2 48

Tabelle E.3: Rohrabschnitt 1.3 49

Tabelle E.4: Rohrabschnitt 1.4 49

Tabelle E.5: Rohrabschnitt 1.5 50

Tabelle E.6: Rohrabschnitt 1.6 50

Tabelle E.7: Rohrabschnitt 2.1 51

Tabelle E.8: Rohrabschnitt 2.2 51

Tabelle E.9: Rohrabschnitt 2.3 52

Tabelle E.10: Rohrabschnitt 2.4 52

Tabelle E.11: Rohrabschnitt 2.5 53

Tabelle E.12: Rohrabschnitt 2.6 53

Tabelle E.13: Rohrabschnitt 3.0 54

Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Bedeutung
Δ	-	Differenz
m	[kg]	Masse
ζ		Zeta Beiwert
p	[Pa; bar]	Druck
ρ	[kg/m ³]	Dichte
ω	[m/s]	Luftgeschwindigkeit
R	Pa	Druckverlust pro Meter Rohrleitung
λ	-	Rohrwiderstandszahl
l	[m]	Rohrleitungslänge
d	[m]	Rohrleitungsdurchmesser
V	[m ³ /min]	Volumenstrom
π		Pi
A	[m ²]	Fläche
T	[°C]	Temperatur
t	[s]	Zeit
r	[m]	Radius
Kv-Wert	-	Ventilspezifische Kenngröße
	[kVA]	Scheinleistung
P	[kW]	Leistung



1. Problembeschreibung

Durch den Einsatz von Großmaschinenteknik wie z.B. Bettungsreinigungsmaschinen werden für die Erneuerung des Gleisbetts gegenüber konventioneller Umbaumaßnahmen, die effizientesten Ergebnisse erzielt. Allerdings ist aufgrund des Materialumsatzes und der mechanischen Arbeitsweise von Bettungsreinigungsmaschinen eine erhöhte Staumentwicklung an der Maschine gegeben. In Kombination mit den Arbeitsverhältnissen vor Ort, insbesondere in Tunneln und Unterführungen, können die Staubkonzentrationen die zulässigen Arbeitsplatzgrenzwerte deutlich übersteigen.

Da eine Absaugung in der Regel das effektivste Verfahren zur Minderung des Staubes ist, sollte eine Lösung zur Staubabsaugung gefunden werden, die unter Wahrung aller gesetzlichen und technischen Anforderungen umgesetzt werden kann.

Dieses Forschungsvorhaben hat zum Ziel, eine Absaugung für den Bereich der entstehenden Staubquellen von zwei verschiedenen Bettungsreinigungsmaschinentypen so anzuordnen und zu dimensionieren, dass alle Bauteile einfach und so verbaut werden können, dass die Arbeiten mit der Bettungsreinigungsmaschine nicht eingeschränkt werden.

Zu untersuchen waren dabei der Aufbau von Absaugtrichtern bzw. verschiedener Einhausungen zur Absaugung der entstehenden Stäube, die notwendigen Absauganlagen (Ventilatoren, Kompressoren einschl. Stromversorgung), der Verlauf der Absaugrohre, die Filteranlage, die automatische Reinigung der Filtereinsätze sowie die Aufbewahrung und Entsorgung der Stäube.

Die Konzepterstellung beinhaltet eine Betrachtung potentieller Staubquellen auf der kompletten Bettungsreinigungsmaschine sowie weitere Präventivmaßnahmen zur Staubverminderung.



2. Aufgabenstellung und Ziele

Die Ausarbeitung liefert eine theoretische Machbarkeitsstudie für die Einhausung, dimensioniert die benötigte Absaugleistung, die Rohrdurchmesser und Rohrlängen, konzeptioniert die Energieversorgung, plant die Montage der gesamten Anlage auf den beiden Bettungsreinigungsmaschine und gibt das Volumen für den Staubsammelbehälter an. Eine Abschätzung der Menge des anfallenden Staubes erfolgt anhand von Messungen, die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt werden.

Schnittstelle der Ausarbeitung wird der Anschluss des Absaugtraktes der Entstaubungsanlage an der Staubquelle sein. Des Weiteren werden die Maschinenbetreiber bei einer Ausführung der Absaugstellen und Rohrleitungen unterstützt.

Die mobile Lösung wird als integrierfähige Zwischenbauvariante, zwischen Materialförder-Silowagen und Bettungsreinigungsmaschine positioniert.

Um die erforderliche Absaugluftmenge zu begrenzen, muss das System gegen diffuse Luftströme von außen abgegrenzt werden. Dazu wird eine Konstruktion benötigt, welche im Bereich über den Schienen stabil und unterhalb flexibel ist, um sich den Oberflächen der Bettung anzupassen. Wichtig ist ebenfalls, dass die Sicht des Maschinenführers auf den Bereich der Räumkette nicht eingeschränkt wird.

Die Anlage soll alle Arbeitsschutzkriterien berücksichtigen und Arbeiten mit der Bettungsreinigungsmaschine möglichst wenig beeinträchtigen. Die Einhausung muss permanent in Unterdruck gehalten werden, um die mit Staub belastete Luft nicht austreten zu lassen. Dafür muss die Absaugleistung entsprechend der Einhausung dimensioniert werden. Die Auffangbehälter für den Staub müssen für eine 16h Schicht dimensioniert sein.

Des Weiteren muss bei der Planung der Anlage die Bezugslinie G1 nach EBO (Eisenbahn Bau und Betriebsordnung) Anlage 7 eingehalten werden und darf nicht überschritten werden. Die zu entwickelnde Absauganlage muss so integriert werden, dass keine erneute Abnahme nach EBO § 32 erforderlich ist.



Des Weiteren sind folgende technische Anforderungen bei der Planung der Absauganlage zu berücksichtigen:

Die auf der Bettungsreinigungsmaschine vorhandene maschineneigene Warnanlage für Zugfahrten im Nachbargleis (Hörbarkeit der akustischen Warnsignale, Sichtbarkeit der optischen Erinnerungsanzeigen) sowie die zur Warnung der Beschäftigten vor Wiederanlauf der Bettungsreinigungsmaschine dürfen in ihrer Wirkung (Signal-Erkennbarkeit) nicht beeinträchtigt werden.

Einhausung und Absaugsysteme müssen verbunden sein und auf bzw. in der Bettungsreinigungsmaschine integriert werden. Dieses Arbeitspaket dient der Sicherstellung der Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems. Es muss darauf geachtet werden, dass der Zug mit den für die Absauganlage erforderlichen Umbauten betrieben werden darf (EBO). Der für die Wartung der Absauganlage zu erwartende zusätzliche Aufwand muss begrenzt sein. Arbeitsschutzanforderungen, die sich aus der Ausrüstung der Bettungsreinigungsmaschine mit Absauganlagen ergeben, müssen berücksichtigt werden.

Die Not-Aus-Einrichtungen zum Not-Stopp der Räumkette der Bettungsreinigungsmaschine dürfen in ihrer Funktion und Erreichbarkeit nicht beeinträchtigt werden. Die zum Betrieb der Absauganlage erforderliche Stromversorgung ist Bestandteil der Konzeption, da das Bordnetz der Bettungsreinigungsmaschine dafür nicht herangezogen werden kann. Wenn hierzu ein Dieselaggregat verwendet wird, muss dieses mit einem Rußpartikelfilter gemäß TRGS 554 ausgerüstet sein, da die Bettungsreinigungsmaschine auch im Tunnel eingesetzt werden soll.

Die Konzeption der Absauganlage umfasst auch die erforderlichen Rohrleitungen zwischen Absaugtrichter bzw. Einhausung und Filteranlage, d.h. Rohrlängen, Durchmesser, Wandstärke und Material. Eine Möglichkeit zur Reinigung der Rohrleitungen ist im Konzept ein zu planen.

Die Befestigung der Einhausung und aller weiteren Komponenten muss den im Betrieb der Bettungsreinigungsmaschine zu erwartenden Erschütterungen standhalten.

Die Einhausung und alle weiteren Komponenten der Absauganlage müssen den Druck- und Sogkräften der im Nachbargleis passierenden Zugfahrten widerstehen.

Absaugtrichter bzw. Einhausung sind so an der Bettungsreinigungsmaschine zu adaptieren, dass die Arbeiten zum Ein- und Ausbau der Räumkette, zum Absenken der



Räumkettenführung und für Störungsbeseitigungen ohne wesentliche Erschwernisse und ohne großen Zeitaufwand durchgeführt werden können.

Die Filteranlage muss einen Wirkungsgrad von mind. 99% haben, und der Reststaubgehalt der gefilterten Luft darf max. 0,5mg/m³ betragen. Die Absaugleistung muss regelbar sein. Für die Komponenten der Absauganlage ist eine Bahnerdung über die Bettungsreinigungsmaschine vorzusehen.

Optional: Begleitung der praktischen Umsetzung

Ziel ist es, die Lösung an einer realen Bettungsreinigungsmaschine umzusetzen und zu testen. Der Auftragnehmer soll dabei für Fragen und Hilfestellungen weiter zur Verfügung stehen. Sollte der Auftragnehmer auch die nachfolgende Ausschreibung gewinnen, fällt diese grundsätzliche Option weg. Der Auftraggeber entscheidet über die Nutzung dieser Option frei und ohne Begründung. Geschätzter Aufwand: ca. 100 Arbeitsstunden und drei bundesweite Reisen. Die Kosten für dieses Arbeitspaket müssen getrennt ausgewiesen werden.

3. Beschreibung der Bettungsreinigungsmaschine

3.1 Bettungsreinigungsmaschinen

Bettungsreinigungsmaschinen wurden für die Schotterbettreinigung von Gleisen konzipiert. Die Aushub- und Reinigungsleistung übertrifft das Leistungsvermögen konventioneller Methoden um ein Vielfaches.

Die Bettungsreinigungsmaschine arbeitet vollhydraulisch mit einer geführten Aushubkette, die einen exakten und gleichförmigen Planums Schnitt hinterlässt. Der Schotter wird unmittelbar in der dreistufigen Siebanlage gereinigt wobei der wiederverwendbare Schotter direkt wieder eingebaut wird, was Neumaterial, Logistik und Deponiekosten reduziert. Bettungsausbau und -einbau, Verladung von Abraum und bei Bedarf Materialzufuhr erfolgen in Linie des Baugleises.

Die Arbeitsleistung der Maschine beträgt ca. 400m/h je nach Aushubtiefe oder Verschmutzungsgrads des Schotters.

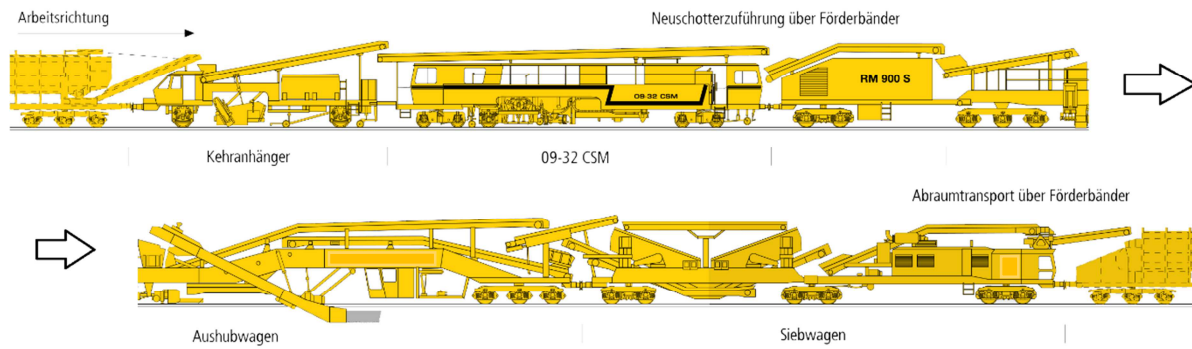


Abbildung 3.1: Übersicht Bettungsreinigungsmaschine [SP18]



Abbildung 3.2: Aushubwagen

3.2 Siebanlage

Zur Reinigung des Schotters werden integrierte Siebanlagen verwendet, welche eine max. Siebleistung von 900 - 1300m³/h in einem Arbeitsgang machen. Die Siebleistung variiert mit dem verwendeten Maschinentypen.



Abbildung 3.3: Siebanlage

3.3 Materialförder- Silowagen MFS/BSW

Der Materialtransport (nicht wieder einbaufähige Siebrückstände, aber auch Ergänzungsschotter möglich) erfolgt in der Regel mit Bandspeichereinheiten (Typ MFS, BSW oder gleichwertig) vor bzw. hinter der BRM. Vereinfacht werden diese nachfolgend als MFS Wagen (Materialförder- und Siloeinheit Wagen) bezeichnet. Hauptmerkmal ist der kontinuierliche Förder-, Speicher- und Entladevorgang. Die Wagen ermöglichen auch eine dosierte Entladung des Baumaterials zum Nachbargleis durch Ihr integriertes Schwenkband, welches man auf der folgenden Abbildungen 3.4 und 3.5 im rechten Bereich sehen kann. Die Besonderheit ist, dass beliebig viele MFS Wagen hintereinandergeschaltet werden können. Die einzige Begrenzung ist die Antriebsleistung der Bettungsreinigungsmaschine, da vollbeladene MFS Wagen ab einer bestimmten Steigung nicht mehr geschoben werden können. Die MFS Wagen werden immer vom ersten Wagen an rückwärts befüllt, können aber gleichzeitig durch das Schwenken des Entladebandes geleert werden. Durch das Anhängen der MFS Wagen an das andere Maschinenende können diese auch zur Neuschotterzuführung verwendet werden.



Abbildung 3.4: Darstellung MFS/BSW [SP18]



Abbildung 3.5: MFS Wagen

4. Auswahl der Maschinen

Mittels eines mit dem Auftraggeber abgestimmten Auswahlverfahrens, wurde sich für die beiden folgenden Bettungsreinigungsmaschinen entschieden:

RM800 Super 3S der Fa. Joseph Hubert GmbH & Co. KG, Nürnberg

RM900 S der Fa. Spitzke SE, Großbeeren

Die komplette Auswahltabelle ist im Anhang (Tabelle A.1 – Übersicht Allgemeiner Fragebogen zum Einsatz von Bettungsreinigungsmaschinen (BRM)) zu finden.

5. Bestimmen der potentiellen Staubquellen

5.1 Potentielle Staubquellen:

Die potentiellen Staubquellen wurden durch Sichtung bei verschiedenen Einsätzen der Bettungsreinigungsmaschine im Feldversuch bestimmt, welche nachstehend aufgeführt sind.

1. Räumkette
2. Schotterabwurf am Turas Getriebe inkl. der Bandübergabe
3. Siebanlage
4. Abwurf nach Sieb
5. Schottereinbringung
6. Abraumband
7. MFS Wagen und Schwenkband der Bettreinigungsmaschine
8. Neuschottereinbringung

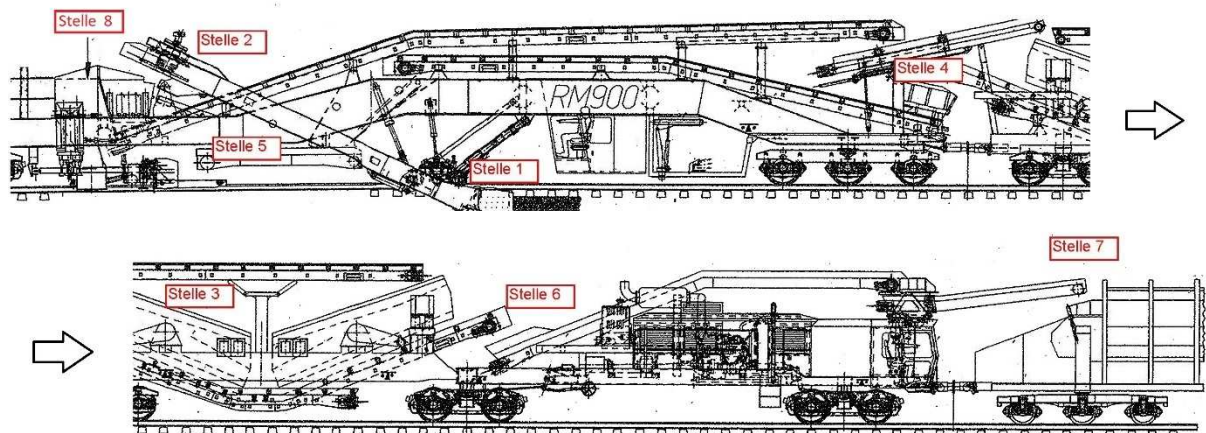


Abbildung 5.1: Übersicht Staubentstehungsstellen an der Bettungsreinigungsmaschine RM900

5.2 Beschreiben der Staubquellen

Sowohl beim Ausbau, Reinigen, Transport und Einbau von gereinigtem Altschotter kommt es zu einer hohen Staubentwicklung bei der Bettungsreinigungsmaschine. Damit das Bedienpersonal davor geschützt wird, ist eine effektive Staubreduzierung notwendig. Das gleiche Problem entsteht bei der Einbringung des Materials aus großen Fallhöhen, wobei sich am Gestein angehaftetes Material löst und Staubwolken bildet. Durch die hohe

Staubbelastung an den Band-Übergabepunkten, der Räumkette, den Abwurftrichtern und der Siebanlagen ist es aufgrund der eingeschränkten Sichtverhältnisse des Bedienpersonal nicht möglich, Ihre Arbeitsplätze ordnungsgemäß zu überwachen. Dies gilt insbesondere für Arbeiten in Tunneln / Einschnitten

Nachfolgend werden die Staubquellen nach den Arbeitsschritten der Bettungsreinigungsmaschine aufgeführt und nummeriert.

Im Bereich der Räumkette (1) wurde eine starke Staubentwicklung beobachtet. Die Intensität des Staubaufkommens ist hierbei vom Verschmutzungsgrad des Schotters abhängig.

Der verunreinigte Schotter wird durch das Auskratzen der Räumkette über die Hohlkästen der Kettenführung (wo es ebenfalls an den Revisionsklappen zur Staubbildung kommt) zum Altschotterabwurf (2) am Turas Getriebe transportiert.



Abbildung 5.2: Aushubbereich der Räumkette & Übergabe Altschotter

Mittels einem Abwurftrichter wird der Altschotter einem weiteren Band-Übergabepunkt zugeführt und über Förderbänder zur Siebmaschine (3) gefördert. An der Siebmaschine ist die größte Staubentwicklung zu erkennen. Hier werden die Verunreinigungen und Unterkorn durch ein Vibrationssieb von dem wiedereinsatzbaren Schotter getrennt.

Über eine weitere Abwurfstelle (4) nach der Siebanlage befindet sich eine weitere Staubquelle, hier entsteht durch die Übergabe in den Abwurftrichter weiterer Staub. Anschließend wird der gereinigte Schotter über ein schwenkbares Verteilband (5) wieder in den Gleisbereich eingebracht.

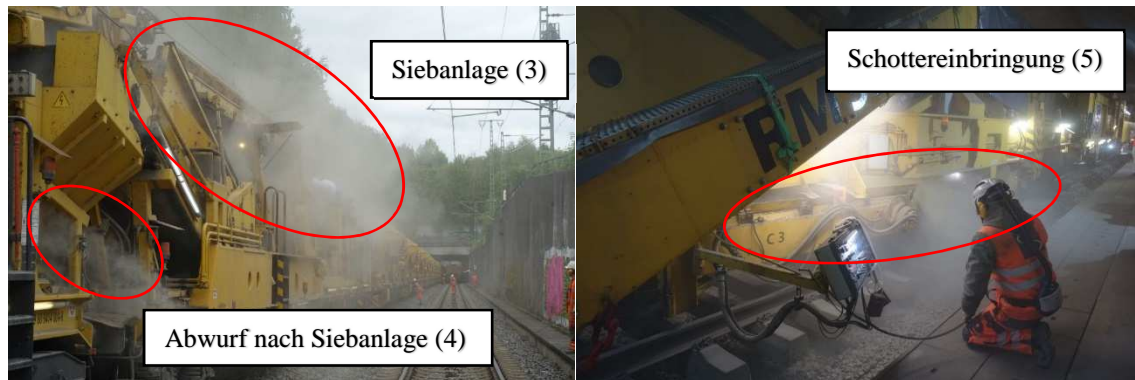


Abbildung 5.3: Siebanlage mit Abwurftrichter und Schottereinbringung

Der nicht mehr einsetzbare Schotteranteil, wird über einen weiteren Band-Übergabepunkt, dem Abraumband (6) in die MFS Wagen (7) transportiert. Durch diesen weiteren Abwurfpunkt des Schotters, wurde eine weitere Staubquelle lokalisiert.



Abbildung 5.4: Abraumband und Übergabe MFS-Wagen

Falls die Einbringung von Neuschotter in einem Arbeitsgang mit der Reinigung notwendig wird, sind zusätzliche Staubquellen die Folge. Am Neuschotterabwurf, hinter dem Turas Getriebe (8) ist durch den frei fallenden Neuschotter über der Bandübergabe ein hohes Staubaufkommen zu beobachten. Obwohl der Neuschotter im Vorfeld gewaschen wurde, entstehen durch den Bandtransport des Schotters, trotz des kurzen Transportweges, durch die mechanische Bewegung erneut Abrieb welche als Staub sichtbar werden.



Abbildung 5.5: Neuschottereinbringung

6. Beschreibung der verschiedenen Präventivmaßnahmen zur Staubbekämpfung

6.1 Entstaubungsanlagen für die Bettungsreinigungsmaschine

Die Trockenentstaubungsanlage dient zur Entstaubung der Bettungsreinigungsmaschine. Sie besteht im Wesentlichen aus folgenden Einzelkomponenten:

Filtergehäuse bestehend aus: Vorabscheider, Luftkanäle, Stahlkonstruktion, Kompaktfilterelemente mit Venturidüsen sowie dem Bunkeraustrag mit Schrägförderschnecke und einem Stützkorb für Staubbeutel. (optional Kettenkratzförderer mit Zellenradschleuse für den Staubaustrag)

Zusätzliche Komponenten sind: Druckluftversorgungsanschluss, pneumatische Abreinigungssteuerung und ein Schaltschrank.

Eines der besonderen Merkmale ist die kompakte Bauweise des Entstaubers. Starrkörperfilterelemente sind das Herz der Filteranlage. Die Filtration erfolgt mittels Starrkörperfilterelementen, die reinluftseitig montiert sind. Die Abreinigung erfolgt durch einen kurzen Druckluftimpuls von 250ms mit ca. 4,5bar Überdruck, der die Starrkörperfilterelemente von innen nach außen durchspült und somit abreinigt.

Das Starrkörperfilterelement besteht aus einer stabilen, selbsttragenden Filterplatte mit einer hochelastischen Abdichtzone. In kompakter Bauweise werden speziell behandelte Filtermedien rautenförmig dauerhaft miteinander verbunden. Das Starrkörperfilterelement bekommt dadurch eine hohe Biegefestigkeit und Stabilität.

Die Wände des Hohlkörpers sind rautenartig ausgebildet. Die Wirkfläche dieser rautenförmigen Filter erhöht sich auf das 2,5-fache gegenüber herkömmlichen Taschenfiltern.

Höchste Reinigungsleistung bei minimalem Raumbedarf und hohe Stabilität sind das Ergebnis dieser Konstruktion.

Die von der Bettungsreinigungsmaschine erzeugte Staubluft (Rohluft) wird über ein Rohrleitungs- bzw. Luttensystem angesaugt und dem Trockenentstauber zugefügt. Die staubhaltige Luft durchströmt zuerst einen Vorabscheider mit vorgeschaltetem Abscheidegitter. Danach wird die gesamte Staubluftmenge gleichmäßig auf die Kompaktelemente verteilt, wobei der Luftstrom von außen nach innen die Filterelemente durchströmt. Der Staub wird an den Außenwandungen der Starrkörperfilter zurückgehalten. Die gereinigte Luft (Reinluft) verlässt den Filter durch den Reinluftstutzen.

Nachfolgend beschreiben wir das Abreinigungsprinzip der Filteranlage. Wie aus Abbildung 6.1 zu entnehmen, strömt die Staubluft (2) durch den Rohluftkanal (1) und wird durch die beiden Außenseiten der Kompaktfilterelemente (3) geblasen. Die Staubpartikel werden durch das Filtermedium zurückgehalten. Die gereinigte Luft (6) strömt durch die Luftaustrittsschlitze (13) in den Reinluftkanal (5).

Bei diesem Vorgang lagert sich der agglomerierte Staub auf dem Filtermedium ab. Der dort entstehende Filterkuchen wird kontinuierlich durch abblasen der Filterelemente abgereinigt. Hierbei bewegt sich der Staub abwärts und wird in einem Bunkeraustrag bzw. Kratzbandaustrag (4) gesammelt und kann somit den gesetzlichen Anforderungen entsprechend fachgerecht entsorgt werden.

Die Abreinigung der Kompaktfilterelemente (3) erfolgt durch kurze Druckluftstöße aus dem Druckluftspeicher (8). Die Druckluftstöße erfolgen in festgelegten Zeitabständen und werden durch das Abreinigungsventil (7) ausgelöst. Die über die Düslanzen (9) bzw. Venturidüsen (10) aufgegebenen Druckluftstöße durchspülen die Kompaktfilterelemente von innen nach außen. Dabei wird über die aufgegebene Spülluft (12) ein Teilstrom ausströmender Reinluft wieder in das Kompaktfilterelement zurückgedrückt. Durch das Abnehmen der unterdruckdichten Inspektionstür (11), die sich auf der Reinluftseite befindet, kann die Abreinigungseinrichtung kontrolliert und im Bedarfsfalle defekte Teile ausgetauscht werden.

Die Abluft der Entstaubungsanlage ist in Bewetterungsrichtung des Tunnels abzugeben, welcher der Arbeitsrichtung der Bettungsreinigungsmaschine entspricht.

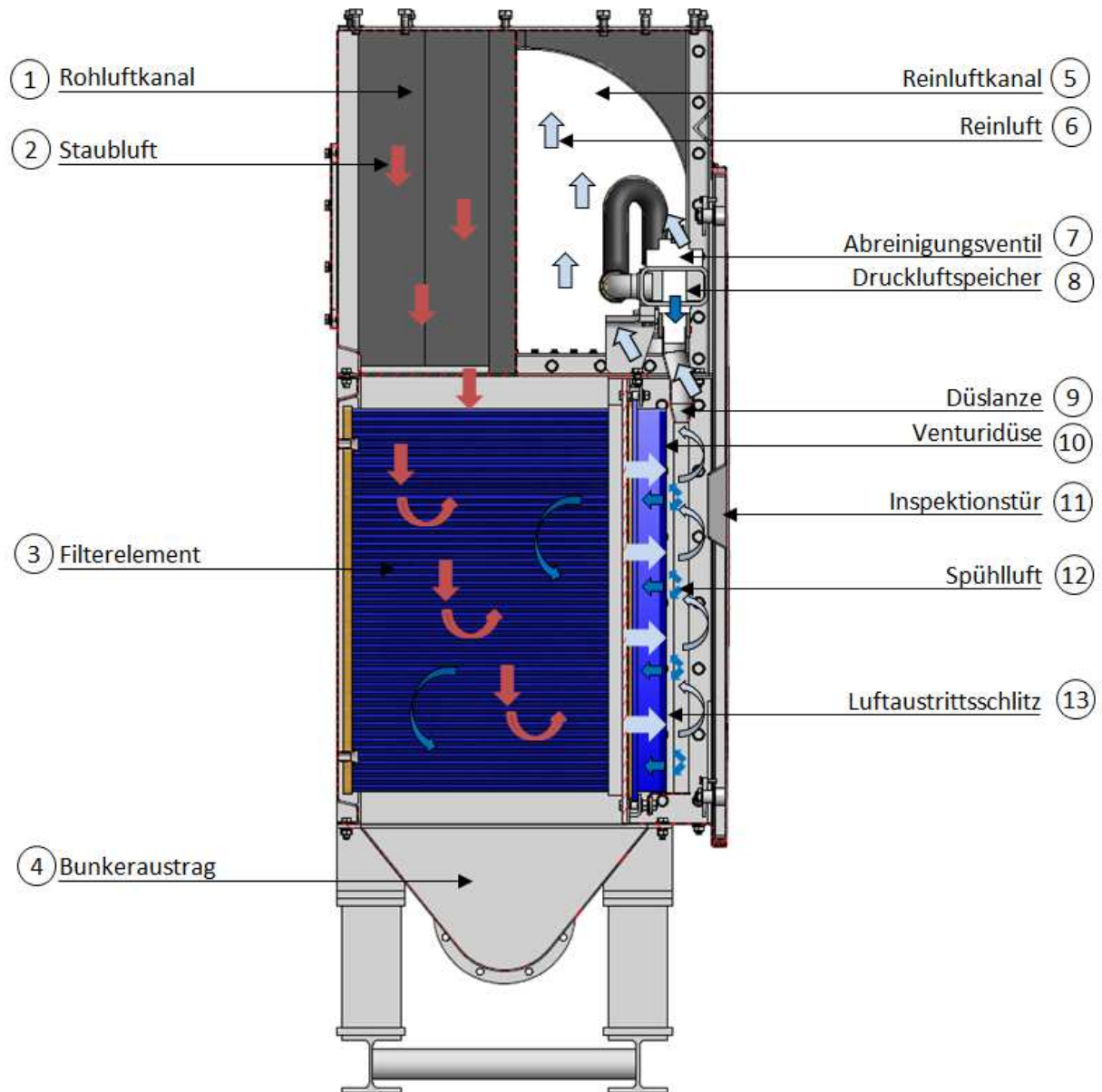


Abbildung 6.1: Abreinigungsprinzip mit Kompaktfilterelementen

6.2 Reststaubgehalt

Um alle nötigen Arbeitsplatzgrenzwerte laut den TRGS zu unterschreiten, haben wir uns für die Verwendung des folgenden Filtermaterialtypen CF entschieden. Es handelt sich hierbei um ein 1,4mm starkes gewebtes Polyester Vlies.

Diese Filter sind für die Filtration aller gängigen mineralischen Stäube geeignet.

Mit einem Flächengewebegewicht von 340g/m^2 und einer Luftdurchlässigkeit von 180l/dm^2 wird der Druckverlust des Filters so gering wie möglich gehalten, um die benötigte Leistungsaufnahme der zur Unterdruck Erzeugung verwendeten Ventilatoren zu minimieren.

Das verwendete Filtermaterial ist bis zu einer Verwendungstemperatur von 110°C zugelassen.

Das verwendete Filtermaterial hat einen garantierten Reinheitsgrad von $0,5\text{mg/m}^3$ Luft bezogen auf eine Dichte von $2,7\text{kg/dm}^3$, daraus resultiert ein Reinheitsgrad von $0,44\text{mg/m}^3$ bei Steinstaub welcher eine spezifische Stoffdichte von $2,5\text{kg/dm}^3$ aufweist.

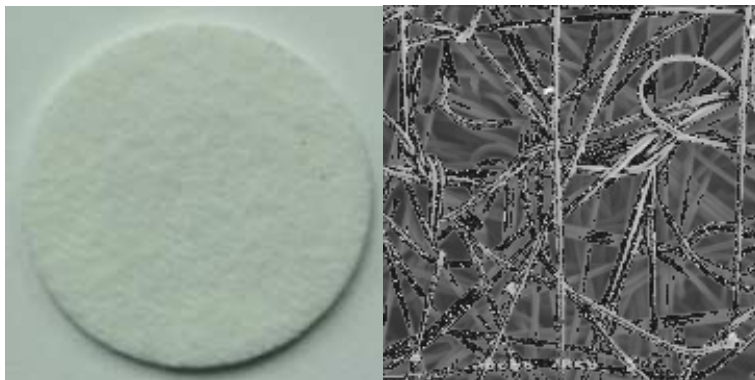


Abbildung 6.2: Filterprobe und Rasterelektronenmikroskop Aufnahme des Filtermaterials

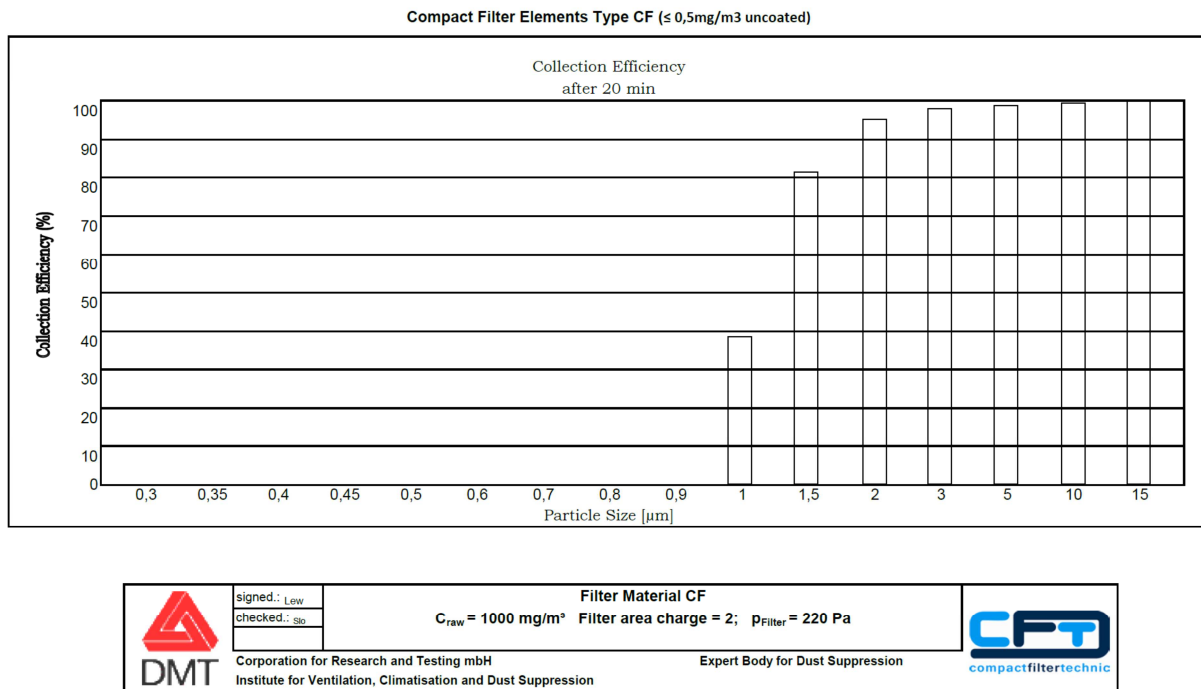


Abbildung 6.3: Prozentualer Abscheidegrad bezogen auf die Partikelgrößen

6.3 Kapselung der Staubquellen

Eine weitere Präventivmaßnahme beim Absaugen an den Entstehungsstellen, wird das Kapseln der Staubquellen sein. Hierbei ist zu beachten, dass die Stellen, welche aus bautechnischen Gründen nicht abgesaugt werden können, im Vorfeld eingehaust werden wodurch ein Staubausbruch an der Maschine vermieden wird. Hierzu zählt ein Großteil der auf der Maschine verbauten Bandanlagen, sowie die vorgeschalteten MFS Wagen der Bettungsreinigungsmaschine.

Des Weiteren werden in definierten Abständen Bandbrücken auf die Bandanlagen installiert, um die Abdeckplane (PVC Plane mit $680\text{g}/\text{m}^2$, analog LKW) an den Bandanlagen gespannt zu halten.

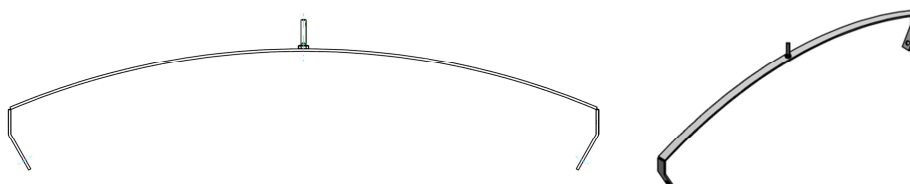


Abbildung 6.4: Bandbrücke mit Mittenzentrierung

Alle weiteren Absaugstellen der Entstaubungsanlage werden zusätzlich zu den Absaughauben mit Planen gekapselt, damit eine optimale Staubabsaugung an diesen Stellen gewährleistet ist und die Staubpartikeln durch die Bewetterung nicht mitgerissen werden. Hierzu müssen Befestigungspunkte an der Bettungsreinigungsmaschine angebracht werden, um die einzelnen Elemente der Plane mit Schnellverschlüssen zu fixieren.



Abbildung 6.5: Einhausung der MFS Wagen

6.4 Bewetterung des Tunnels

Zusätzlich zu jeder Absaugmaßnahme wird eine separate Belüftungsanlage im Tunnel notwendig, um eine Verdünnung der bei Schotterbewegung in Tunneln freigesetzten mineralischen Stäube und der durch den Verbrennungsprozess von Dieselemissionen freigesetzten Schadgasen zu erzielen. Auch ist im Tunnel grundsätzlich der Einsatz von Dieselmotoren mit Dieselpartikelfilter oder bei Zweiwege-Maschinen mit Straßenzulassung von EURO 5 oder 6 vorzusehen.

Hierbei ist zu beachten, dass die Arbeitsrichtung der Bettungsreinigungsmaschine immer mit der Bewetterungsrichtung übereinstimmt, um eine konstante Zufuhr von Frischluft und das daraus resultierende Abführen belasteter Luft zu gewährleisten.

Ist dies nicht einzuhalten und wird während des Bauablaufes die Wetterrichtung gewechselt, dürfen keine Arbeiten in Abluftrichtung der stauberzeugenden Maschine durchgeführt werden.



Während der Umbauarbeiten im Tunnel werden die Ventilatoren jeweils paarweise gegenüber auf die Randwege gestellt, um Toträume auszuschließen. Bei längeren Tunneln sind die Aufstellbereiche vor beiden Tunnelportalen konzentriert, sodass der Volumenstrom und Druck an den Bauablauf angepasst werden kann.

Es ist eine Leistungsreserve von min. 20% auf den Gesamtschub zu rechnen, um auf äußere Einflüsse reagieren zu können.

Die mittlere Luftgeschwindigkeit sollte 1,3m/s (ohne Staub) und 1,8 m/s (mit Staub) nicht unterschreiten. Die Überwachung der mittleren Luftgeschwindigkeit für die Steuerung der Bewetterung sowie eine kontinuierliche Messung von NO, NO₂, CO, CO₂ und O₂ ist hierbei zu gewährleisten. Die Aufstellungsorte können durch ein vorher ausgearbeitetes Messkonzept bestimmt und mit geeigneten Messeinrichtungen bestückt werden.

Durch die Überwachung kann schnellstmöglich auf evtl. Änderungen der Luftgeschwindigkeit durch ein Anpassen der Bewetterung reagiert werden.

Zusätzlich wird durch personenbezogene CO Messgeräte mit Alarmwertausgabe für alle Bediener benzingetriebener Handmaschinen die AGW überwacht.

Für den Bedarfsfall muss immer der erforderliche Atemschutz von dem Bedienpersonal mitgeführt werden.

7. Dimensionierung der Absaugstellen

7.1 Absaugleistung

Das gesamte vorgesehene Entstaubungssystem hat eine Absaugleistung von 2500 m³/min, die sich wie folgt auf die Absaugpunkte aufteilt:

Absaugpunkt 1	500m ³ /min	Räumkette
Absaugpunkt 2	200m ³ /min	Turas
Absaugpunkt 3	600m ³ /min	Siebanlage + 300 m ³ /min für 3. Sieb
Absaugpunkt 4	200m ³ /min	Bandübergabe Schotterrückführung
Absaugpunkt 5	100m ³ /min	Neuschottereinbringung

Absaugpunkt 6	200m ³ /min	Band Altschotter
Absaugpunkt 7	200m ³ /min	Bandabwurf Neuschotter
Reserve	500m ³ /min	für eine weitere Siebanlage oder als Reserve für die vorhandenen Absaugstellen.

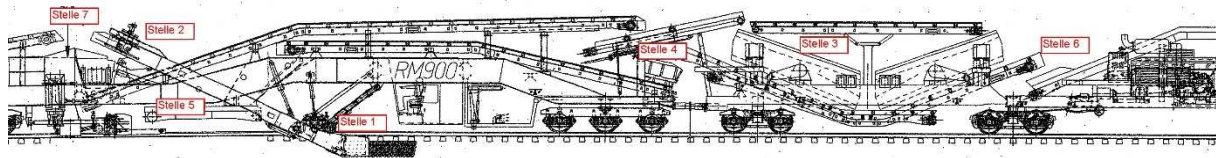


Abbildung 7.1: Absaugstellen auf der BRM

7.2 Auslegung der Rohrleitungen und Absaugutzen

Um einen optimalen Staubtransport innerhalb der Rohrleitungen zu erreichen, wird eine Luftgeschwindigkeit von 17-22m/s innerhalb der Rohrleitung benötigt, um den Staub in Schwebelage zu halten. Wenn diese Luftgeschwindigkeit nicht unterschritten wird, treten nur geringe Ablagerungen in der Rohrleitung auf. Bei der Widerstandsermittlung wurde eine mittlere Geschwindigkeit von 20m/s als Berechnungsgrundlage gewählt. Für die Rohrleitungen werden im Normalfall verzinkte Stahlbleche mit einer Blechstärke von 2-3mm (je nach Geometrie der Rohrleitung) verwendet.

Bezogen auf die jeweiligen oben beschriebenen Absaugleistungen ergeben sich folgende benötigte Rohrleitungsdurchmesser bzw. die daraus resultierenden benötigten Querschnittsflächen an den folgenden Absaugstellen:

Absaugpunkt 1	Ø 720mm	0,41m ² Räumkette
Absaugpunkt 2	Ø 460mm	0,17m ² Turas
Absaugpunkt 3	Ø560mm	0,24m ² je Siebanlage
Absaugpunkt 4	Ø460mm	0,17m ² Bandübergabe Schotterrückführung
Absaugpunkt 5	Ø325mm	0,08m ² Neuschottereinbringung
Absaugpunkt 6	Ø460mm	0,17m ² Band Altschotter
Absaugpunkt 7	Ø460mm	0,17m ² Bandabwurf Neuschotter
Reserve	Ø720mm	0,41m ² für eine weitere Siebanlage oder als Reserve für die Absaugung



7.3 Differenzdruckberechnung der Rohrleitung

Vorgesehen sind drei Rohrleitungen mit einem Durchmesser von zweimal 1000mm und 700mm

Zur Berechnung des Differenzdruckes wurden gerade runde Rohrleitungen angenommen.

Die Abzweigung von der Rohrleitung wurde mit 45° berechnet.

Als Absaugpunkt wurde eine Absaughütze mit 60° Winkel angenommen.

Unter Berücksichtigung der Mindestluftgeschwindigkeiten von 20m/s, können die Einzelwiderstände je laufender Meter für eine gerade Rohrleitung, aus der Tabelle B.1 im Anhang entnommen werden. Diese werden letztendlich mit der Rohrleitungslänge multipliziert um den Gesamtdruckverlust der Rohrleitung zu erhalten.

Zur Rohrleitungsberechnung werden die folgenden Formeln als Berechnungsrundlage vorausgesetzt.

Einzelwiderstände werden mit einem Zeta Wert ergänzt, welche den Tabellen C.1 – C.5 im Anhang entnommen werden können.

Diese werden im Anschluss summiert und zu dem dynamischen Druck und dem Rohrleitungsdruckverlust addiert

Einzelwiderstand:
$$\Delta p = \zeta * p_{dyn}$$

Dynamischer Druck:
$$p_{dyn} = \frac{\rho}{2} * w^2$$

Druckverlust pro Meter Rohr:
$$R = \lambda * \frac{L}{d} * \frac{\rho}{2} * w^2$$

Durchmesser:
$$d = \sqrt{\frac{V}{w * \frac{\pi}{4} * 0,00006}}$$

Volumenstrom:
$$V = d^2 * \frac{\pi}{4} * w * 0,00006$$

Rohrleitungsquerschnitt: $A = \frac{V}{w*60}$

Luftgeschwindigkeit in der Rohrleitung: $w = \frac{V}{d^2 * \frac{\pi}{4} * 0,00006}$

7.4 Berechnung der Rohrleitungsdruckverluste:

Die Rohrleitung wurde aus bautechnischen Gründen in drei Teilleitungen TS1-TS3 eingeteilt, welche sich wie folgt berechnen:

TS1:

Teilstrecke 1.1:	272,6Pa
Teilstrecke 1.2:	258,1Pa
Teilstrecke 1.3:	299,6Pa
Teilstrecke 1.4:	137,1Pa
Teilstrecke 1.5:	314,3Pa
Teilstrecke 1.6:	48,0Pa

ΔP Gesamt für Teilstück 1: 1.329,7Pa

TS2:

Teilstrecke 2.1:	285,7Pa
Teilstrecke 2.2:	271,6Pa
Teilstrecke 2.3:	271,6Pa
Teilstrecke 2.4:	94,3Pa
Teilstrecke 2.5:	265,2Pa
Teilstrecke 2.6:	32,0Pa

ΔP Gesamt für Teilstück 2: 1.220,4Pa

TS3:

Teilstrecke 3.0:	295,5Pa
------------------	---------

ΔP Gesamt für Teilstück 3.0: 295,5Pa



ΔP Filter:	2.200,0Pa
ΔP Gesamt für Teilstück 1-3:	2.845,6Pa
<hr/>	
ΔP Gesamtanlage:	5.045,6Pa

Die ausführliche Berechnungstabellen finden Sie unter Anhang E.

Die hieraus resultierenden Berechnungsergebnisse können auf jegliche Rohrleitungsform umgerechnet werden. Hierfür müssen nach Festlegung der nicht kreisförmige Querschnitte, welche später auf der Maschine verbaut werden, auf einen hydraulischen Durchmesser umgerechnet werden.

Hydraulischer Durchmesser: $d_{hyd} = 4 * A/U$

Bei rechteckigen Querschnitten ergibt sich folgende Formel:

Hydraulischer Durchmesser Rechteck: $d_{hyd} = 2 * b * h / (b + h)$

Bei gleichbleibenden Strömungsgeschwindigkeiten ist dann auch der Druckverlust in den Rohrleitungen identisch, wobei die wirkliche Luftgeschwindigkeit in den nicht kreisförmigen Leitungen verwendet wird und nicht die theoretische, die in den hydraulischen Durchmesser entstehen würde.

8. Auswahl der Anbauteile

8.1 Kompressorstation

Für die Auslegung des Kompressors muss im Vorfeld der benötigte Druckluftverbrauch berechnet werden.

Zur Berechnung des Druckluftverbrauches werden folgende Betriebsparameter als Voraussetzung genommen:



Durchmesser Abreinigungsventil	1 ½“
Durchfluss V bei 4,5 bar	60m ³ /min
Betriebsdruck	4,5bar
Öffnungszeit Ventil t	0,220s
Intervallzeit i	12s
Abreinigungskreisläufe	2

$$\text{Druckluftbedarf} = V * t/i * \text{Anzahl Abreinigungskreislauf}$$

$$60\text{m}^3/\text{min} * 0,22\text{s}/12\text{s} * 2 = 2,2\text{m}^3/\text{min}$$

Der aus der Berechnung resultierende Druckluftbedarf beträgt 1,1 m³/min.

Da die Entstaubungsanlage, aufgrund Ihrer Baugröße, zwei separate Kreisläufe zur Abreinigung hat, wird der doppelte Druckluftbedarf gerechnet.

Somit wird ein Kompressor benötigt, welcher min. 2,2m³/min bei 4,5bar Betriebsdruck zur Verfügung stellt. Damit der Kompressor nicht in Dauerlast läuft und eine Druckluftreserve beim Abreinigen besteht, wird ein 300l Druckluftspeicher zwischen dem Kompressor und der Abreinigung geschaltet.

Ein möglicher Kompressor ist ein Renner Schraubenkompressor des Fabrikats RSK Top 15 mit einer Antriebsleistung von 15kW und einer Liefermenge von 2,6³/min bei 5bar Druck.

Um einen konstanten Abreinigungsdruck von 4,5bar zu gewährleisten wird ein Druckminderer in die Druckluftversorgung integriert.

8.2 Filteranlage

Bei der Filteranlage handelt es sich um eine Starrkörper Trockenfilter des Typs HTKK 1/1250-2 der Firma CFT GmbH. Es ist eine Bauweise, bei der die Filterelemente parallel nebeneinander eingebaut sind. Das Filter wurde in einem Containertragrahmen integriert, um die Anlage als Gesamtsystem transportieren zu können. (siehe Abb. 19)

Die Besonderheit dieser Bauweise ist, dass auf geringem Bauraum eine erhöhte Filterfläche verbaut werden kann.

Der abgereinigte Staub fällt in einen Staubsammelbehälter mit einer Größe von 5m^3 , womit eine Arbeitszeit von min. 16h erreicht werden soll. Das Entleeren der Staubsammelbehälter geschieht über ein klappbares Staubaustragssystem.

Die Entstaubungsanlage wird über im Gestell integrierte Containersicherheitsverschlüsse an den vom Auftraggeber beigestellten Flachwagen befestigt und ist somit für den Transport und während des Betriebens gesichert.



Abbildung 8.1: Beispiel Containerschnellverschluss

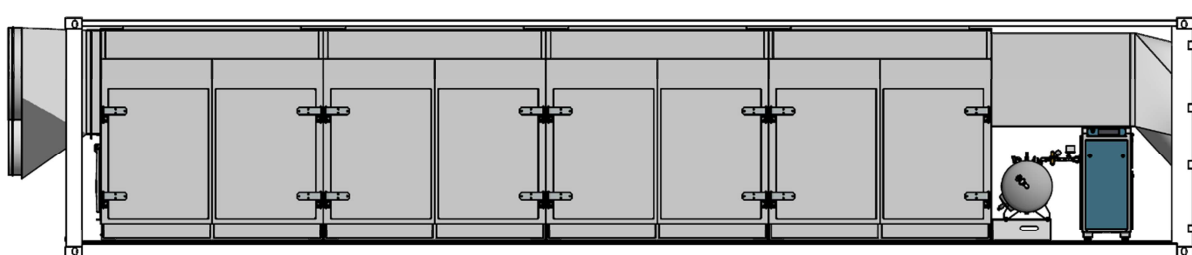


Abbildung 8.2: Entstaubungsanlage im Containergestell

8.3 Axialventilator

Bei der verwendeten Lüfterstation handelt es sich um Axialventilatoren. Bei dieser Bauform wird der geförderte Luftstrom parallel („axial“) zur Drehachse des Flügelrads bewegt. Der Ventilator besteht aus einem Gehäuse, dem Elektromotor und dem Flügelrad mit seinen Flügelradschaufeln. Das Flügelrad sitzt auf der Welle des Elektromotors und wird durch den Elektromotor angetrieben.

Alle Gehäuse sind mit Aufstellpratzen versehen, so dass der Ventilator auf dem Containertragrahmen befestigt werden kann.

Die folgenden Punkte definieren die bestimmungsgemäße Verwendung:

- Der Ventilator ist für die Förderung von gasförmigen und nicht aggressiven Medien konzipiert und gebaut.
- Das Fördermedium muss rein von Festkörpern oder anderen Verunreinigungen sein. Daher wird ein Gewebefilter als Abscheider vorgeschaltet
- Die Außentemperatur am Einsatzort muss zwischen -20°C und $+50^{\circ}\text{C}$ liegen

Typ:	1 x GAL14-1100/1100 + 1 x AL 14-1100
Durchmesser:	1400mm
Leistung:	3 x 110kW
Pressung:	5200Pa
Volumenstrom:	$2500\text{m}^3/\text{min}$
Drehzahl:	1500min^{-1}
Spannung:	400V, 50Hz
Frequenzumrichter:	3 x FU 110kW Typ FDU48-210

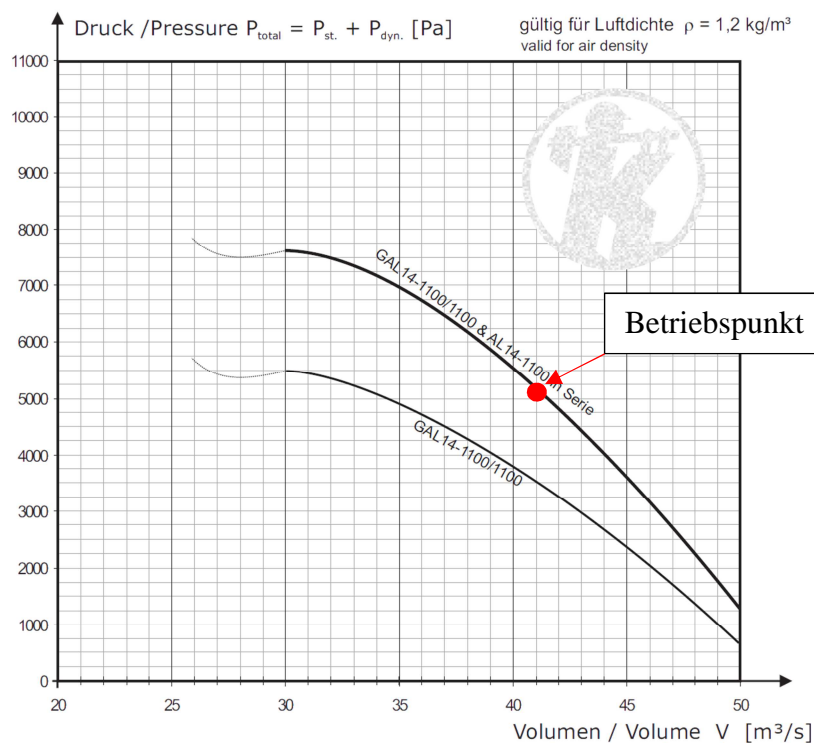


Abbildung 8.3: Lüfterkurve GAL14-1100/1100 + AL14-1100

8.4 Frequenzumrichter

Für das Justieren und Einregeln des Absaugvolumens werden 3 Frequenzumrichter z.B. der Firma Emotron des Typ FDU48-210 benötigt. Diese werden als Schrankanlagen mit einer Schutzklasse von IP 54 ausgeführt. Die Schrankanlagen sind damit für eine Außenaufstellung geeignet.

Die drei Frequenzumrichter werden zusammengeschaltet, wobei 1 Frequenzumrichter als Master und die anderen beiden Frequenzumrichter als Slave Variante ausgeführt werden.

Dabei werden alle drei Lüfter mit einer identischen Frequenz gefahren und können stufenlos auf den benötigten Betriebspunkt geregelt werden.

Der Betriebspunkt eines Lüfters, ergibt sich als Schnittpunkt von Ventilator- und Anlagenkennlinie. Am beschriebenen Betriebspunkt auf Abbildung 8.3 erzeugt der Lüfter eine Druckerhöhung, die den Druckverlust der Gesamtanlage (Filterwiderstand und Rohrleitungsdruckverlust) entspricht.

8.5 Bandanlage

Die Bandanlage ist für die maximale Aushubleistung der Bettungsreinigungsmaschine, die zwischen 900 und 1300m³/h liegt, ausgelegt. Bei einer Schüttdichte von 1,9t/m³ für Gleisbettenschotter und einem Massenstrom von 1300m³/h muss die Förderleistung der Bandanlage im Maximum 2470t/h betragen. Die ca. 30m lange Bandanlage ist wegen der Verwindungsweiche des Flachwagens zweigeteilt ausgeführt. Die erste Bandanlage ist mit einem 1,2m breiten Fördergurt ausgestattet. Die zweite Bandanlage ist mit einem 1,4m breitem Band ausgestattet, um ein Herunterfallen des Fördergutes in Kurvenlage zu vermeiden. Die gesamte Bandanlage läuft mit einer Geschwindigkeit von 2,5m/s. Die Muldung der Bandanlage beträgt null Grad. Um seitliches Herausfallen von Fördergurt zu verhindern sind seitliche Begrenzungsbleche mit Dichtleisten zum Fördergurt hin vorgesehen. Die rechnerische Leistung der Bandanlage beträgt 2x 11kW. Die installierte Leistung der Bandanlage wurde mit 2 x 15kW festgelegt.



Abbildung 8.4: Isometrische Ansicht der Brückenbänder



8.6 Stromaggregat

Zur Stromerzeugung wird ein Stromerzeuger z.B. der Firma Ho-Ma eingesetzt, welcher eine permanente Leistung von 400kW zur Verfügung stellt. Das Aggregat ist elektronisch geregelt und passt den Dieserverbrauch der geforderten elektrischen Leistung an. Das Aggregat steht auf einem maschinell geschweißten Grundrahmen mit schwingungsgedämpfter Aufhängung. Durch die aufgebaute Schallhaube wird eine Schalldämmung von 9dB (A) erreicht.

Für den Betrieb der Diesellaggregate ist pauschal zu sagen, dass man 0,25l/kW/h für den Betrieb benötigt.

Die Laufzeit des Aggregates beträgt mehr als 16 Stunden mit einer Tankfüllung bauseits und einem zusätzlichen 1000l Dieseltank.

Für den Betrieb über einen längeren Zeitraum ist ein größerer Vorrat vorzuhalten.

Das Aggregat kann ohne Baugrößenveränderung mit einem Dieselrußpartikelfilter ausgestattet werden und ist somit für einen Einsatz im Tunnel geeignet.

Abmessungen und Gewicht der schallisolierten Version:

Länge 5.031mm

Breite 1.560mm

Höhe 2.435mm

Nettogewicht 4.870kg

9. Integration in die bestehende Bettungsreinigungsmaschine

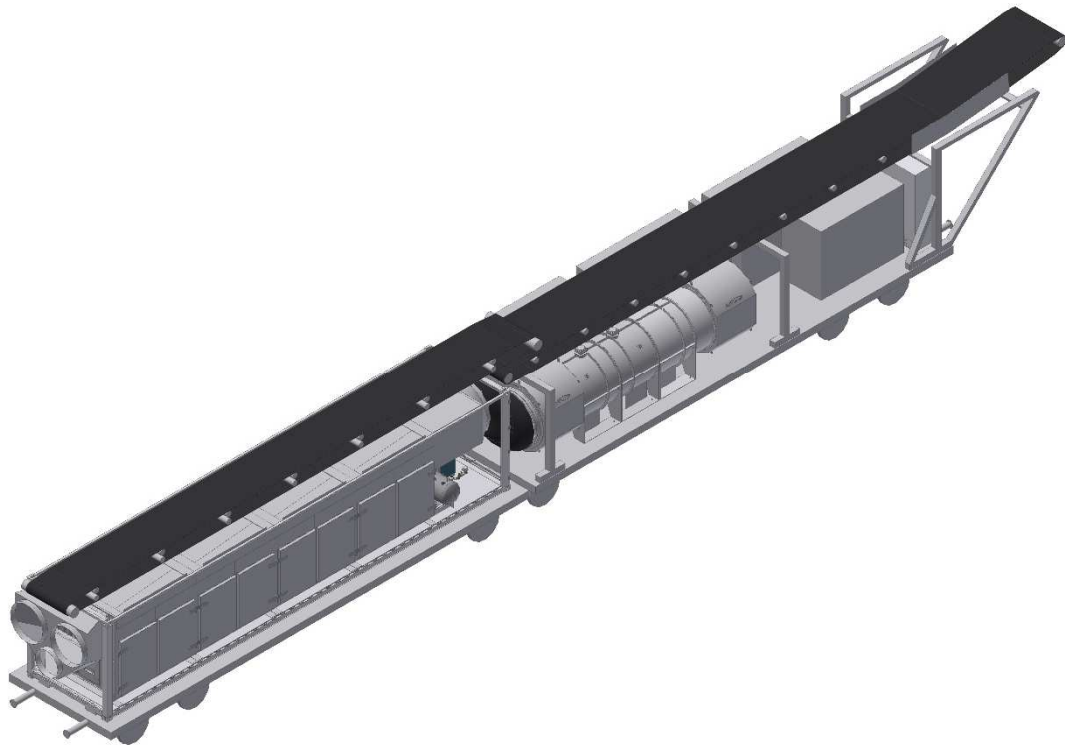


Abbildung 9.1: Entstaubungssystem auf Flachwagen

9.1 Auswahl des Flachwagen

Für den Aufbau der Konstruktion wurde der folgende Flachwagen mit der Bezeichnung Sggrss 733 ausgewählt.

Hierbei handelt es sich um einen Gelenkwagen mit sechs Radsätzen, der für den Transport von Großcontainern und Wechselbehältern vorgesehen wird. Der Wagen ist im Rahmen der neuen Tragwagenkonzeption für den Transport von Containern in den Zügen des kombinierten Ladungsverkehrs vorgesehen.

Auf den Außenlangträgern des Wagens befinden sich für jede vorgesehene Ladeposition feste und klappbare Aufsetzapfen zum Festlegen der Ladungseinheiten (gemäß UIC-Merkblatt 592-1 und 2) in verschiedenen Kombinationen, welche ein Verrutschen der Anlage auf dem Wagen verhindern. Eine zusätzliche Sicherung der Anlage ist somit nicht notwendig.

Mit einer Ladelänge von 2 x 12.250mm kann man den Flachwagen wahlweise mit 2 x 20', 1 x 30' oder 1 x 40' Container je Wagenhälfte beladen. Die Höhe der Ladefläche beträgt 1.005mm von der Schienenoberkante.

Das Eigengewicht des Flachwagens beträgt ca. 28.000kg und inkl. der Entstaubungsanlage ca. 42.000kg.

Die max. Höchstgeschwindigkeit des Flachwagens beträgt 120km/h.

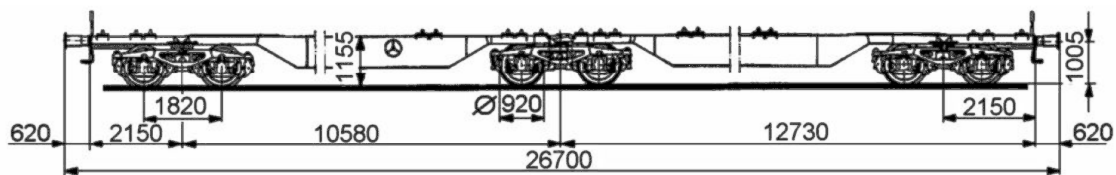


Abbildung 9.2: Abmessungen des Wagens Typ Sggrss 733

9.2 Maschinenverbund

Die Entstaubungsanlage ist völlig autark und wird zwischen der Bettungsreinigungsmaschine und dem MFS Wagen positioniert, sie ist damit vollständig in den Maschinenverbund integrierbar. Da die Entstaubungsanlage über eine separate Stromversorgung verfügt, ist sie auch unabhängig vom Maschinenverbund zu betreiben.

Auf Wunsch können Start- und Stopp- Signale von der Bettungsreinigungsmaschine gesendet werden, um die Anlage aus der Ferne zu steuern. Die Einheit kann aber auch von der integrierten Schaltanlage gesteuert werden.

Das über die Entstaubungsanlage geführte Förderband dient als Verlängerungsband zwischen dem Schwenkband der BRM und dem Einfülltrichter der MFS Wagen. Es ragt ca. 3,5m über den Flachwagen hinaus, um eine sichere Übergabe in den MFS Wagen zu gewährleisten. Eine Überfahrt des gesamten Maschineverbandes ist nur mit einem Schutzwagen erlaubt.

Im Ansaugbereich der Entstaubungsanlage befinden sich 3 Absaugöffnungen mit einem Durchmesser von 2 x 1000mm und 1 x 700mm, an welchen die Absaugleitungen als flexible Spirallutten angeschlossen werden.

9.3 Regellichtraumprofil

Für die Abmessungen der Fahrzeuge, die im grenzüberschreitenden Verkehr eingesetzt werden sollen, gilt die Bezugslinie G1 (Anlage 7 der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO)). Für die Berechnung der Fahrzeugabmessungen sind die Maße der Bezugslinie einzuhalten. Die Bezugslinie G1 kann dem Anhang E entnommen werden.

Die errechnete Fahrzeugbegrenzungslinie darf vom unbeladenen und im geraden Gleis stehenden Fahrzeug nicht überschritten werden.

Im nachfolgenden Bild wird die Einhaltung des Regellichtraumprofils geprüft. Hierzu wird das Lademaß siehe Abbildung 9.3 über die Seitenansicht der Konstruktion gelegt und auf evtl. Kollisionen geprüft.

Wie in der folgenden Abbildung ersichtlich wird, ist eine Einhaltung des Regellichtraumprofils gegeben.

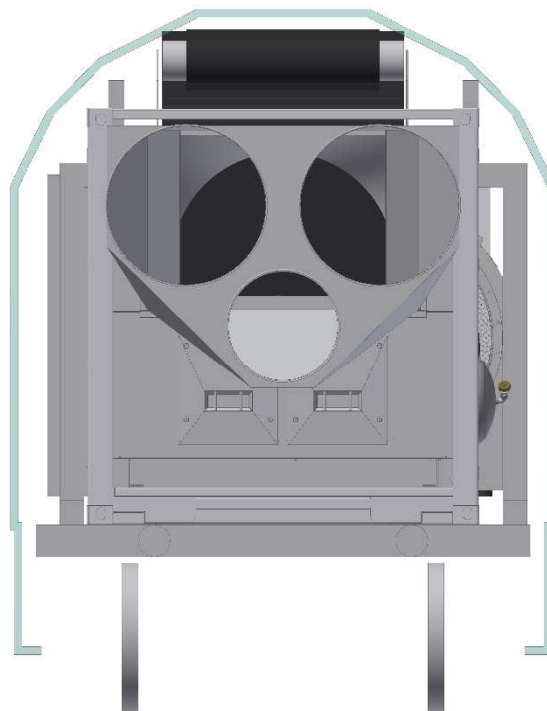


Abbildung 9.3: Einhaltung des Regellichtraumprofils G1

Die vorgefertigten Containerbauweisen werden komplett vorkonfektioniert und dann im Ganzen auf den Containerflachwagen montiert. Dies ermöglicht eine schnelle Montage am Aufstellungsort. Durch die hohen Eigengewichte der Anlagenkomponenten ist ein Autokran

am Verladeort notwendig. Das Vorhandensein einer Oberleitungsanlage und der entsprechende Umgang damit ist demzufolge zu prüfen. Die Bandanlage wird als vorgefertigtes Bauteil auf die Baustelle geliefert und dann als ganze Einheit auf der Oberseite der Containergestelle geschraubt. Nach der Montage der Bandanlage muss diese evtl. über eine integrierte Spannvorrichtung nachgespannt werden. Dies ist aber bei jedem Einsatzfall zu prüfen.

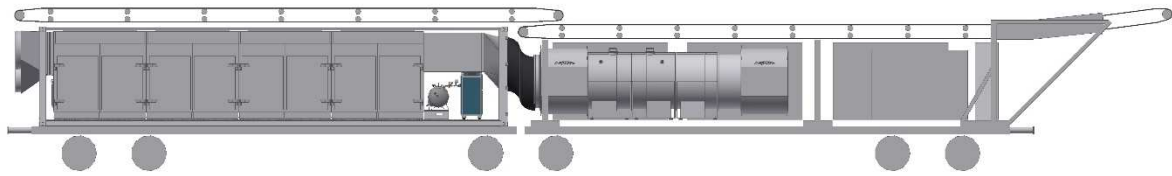


Abbildung 9.4: Entstaubungssystem

Eine komplette Aufbauzeichnung inkl. der Abmessungen finden Sie im Anhang D angefügt.

10.Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Konzept eines neuen Entstaubungssystems entwickelt und die benötigten Komponenten bestimmt und ausgelegt, um ein vollständig in den Maschinenverbund integrierbares System zu erhalten. Dabei standen sich gegenseitig ausschließende Anforderungen gegenüber. Auf der einen Seite sollte ein Entstaubungssystem entwickelt werden, die alle vom Kunden gewünschten Funktionen beinhaltet, auf der anderen Seite musste ein einfach und schnell zu installierendes Konzept entstehen.

Die Annäherung an die gewünschten Anforderungen wurde unter Verwendung von Erkenntnissen vorausgehender Pilotversuche erreicht.

Bezogen auf die Dimensionierung des Volumenstromes, hat die Umsetzung dieser Einstellbereiche Auswirkungen auf die Dimensionierung aller Komponenten.

Nach der Entwicklung einer Grundvariante erfolgte die Auslegung der benötigten Komponenten, die zur Konstruktion und zum späteren Bau eines Prototyps benötigt werden. Erkenntnis aus der Untersuchung ist, dass eine Entstaubungsanlage zwischen Bettungsreinigungsmaschine und MFS Wagen in den Maschinenverband integriert werden kann.



Die Integration der Absaugkanäle auf der Bettungsreinigungsmaschine ist komplex, da das Regellichtraumprofil G1 schwierig eingehalten werden kann. Die Maschinengeometrie ist von der Firma Plasser & Theurer soweit ausgereizt, dass nur eine abnehmbare Rohrleitungskonstruktion möglich ist.

Diese muss am Einsatzort bestückt und für den Transport der Bettungsreinigungsmaschine demontiert werden.

Anhang

A Übersicht Allgemeiner Fragebogen zum Einsatz von Bettungsreinigungsmaschinen (BRM)

Tabelle A.1: Übersicht Allgemeiner Fragebogen zum Einsatz von Bettungsreinigungsmaschinen (BRM)

Baufirma	Spitzke	Spitzke	Schweerbau	Schweerbau	Joseph Hubert	Swietelsky	Swietelsky	Strabag
BRM Typ	RM900S	RPM RS 900	RM900S	RPM RS 900	RM800 Super 3S	RM 85-750	RUS 1000S	RM 900 VB
Hersteller	Plasser & Theurer	Plasser & Theurer	Plasser & Theurer	Plasser & Theurer	Plasser & Theurer	Plasser & Theurer	Plasser & Theurer	Plasser & Theurer
Anzahl	1	1	1	1	1	1	1	1
Anzahl der Räumketten	1	2	1	2	1	1	2	1
Anzahl der Siebmaschinen	2	3	1	2	3	1	2	
Bandübergaben auf der Maschine (Anzahl)	14 Gesamt	24 Gesamt	10 Gesamt	36 Gesamt	12 Gesamt	2 Gesamt	27 Gesamt	25 Gesamt
Ist ein Brecher integriert	nein	ja	nein	ja	nein	nein	nein	ja mit Einhausung
Stopfmaschine vorhanden	ja	ja	nein	ja	nein	nein	ja	nein
Schotterpflug integriert	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Kehranlage	ja	ja				ja	ja	nein
Bereitstellung der BRM	ja	ja	ja	ja	Ja	ja	ja	ja
Verwendete Präventivmaßnahmen	Staubmaske, Ventilation im Tunnel	Staubmaske, Bedüsung, Tank 2.500l, Ventilation im Tunnel	Staubmaske, Ventilation im Tunnel, Kabinenbelüftung mit Filter	Staubmaske, Ventilation im Tunnel, Kabinenbelüftung mit Filter	Nein	Wasser- Luft-Benebelungsanlage	Wasser- Luft-Benebelungsanlage	Sprühanlage im Bereich der Räumkette
Hydraulikreserven	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt	nein	ja aber unbekannt	ja aber unbekannt	unbekannt
Druckluftreserven	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt	ja	ja aber unbekannt	ja aber unbekannt	unbekannt
mögliche Zuladung	< 2000kg	< 2000kg	unbekannt	unbekannt	unbekannt	2.500 kg	2.500 kg	ja
Konstruktionszeichnung vorhanden	beim Hersteller	beim Hersteller	beim Hersteller	beim Hersteller	ja	ja	ja	ja aber nicht umfangreich
Konstruktive Änderungen	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Platz innerhalb Regellichtprofil	ja	ja	unbekannt	unbekannt	unbekannt	Erweiterung auf G2	Erweiterung auf G2	unbekannt
Maschinenbedüsung	nein	2500l Tank mit Bedüsungsleistungen	nein	nein	Siebbedüsung + 1000l Tank	Räumkette 2000l Tank, erweiterbar auf 70.000l	Räumkette 2000l Tank, erweiterbar auf 70.000l	2 x 1500l Tank
Abförderprinzip Altschotter	MFS Wagen	MFS Wagen	MFS Wagen	MFS Wagen	MFS Wagen, Schwenkband	MFS Wagen, Schwenkband	MFS Wagen, Schwenkband	MFS Wagen, Schwenkband
Altschotterförderrichtung	in Arbeitsrichtung	in Arbeitsrichtung	in Arbeitsrichtung	in Arbeitsrichtung	in Arbeitsrichtung	in Arbeitsrichtung	gegen Arbeitsrichtung	in Arbeitsrichtung
Dieselleistung	1500 kW	1500 kW	1000 kW	4000 kW	3 x 740 kW	800 kW	3200 kW	2 x 783 kW, 2 x 263 kW
Dieselleistung MFS	160 kW je Wagen	160 kW je Wagen	160 kW je Wagen	160 kW je Wagen	160 kW je Wagen	660 kW	660 kW	160 kW je Wagen



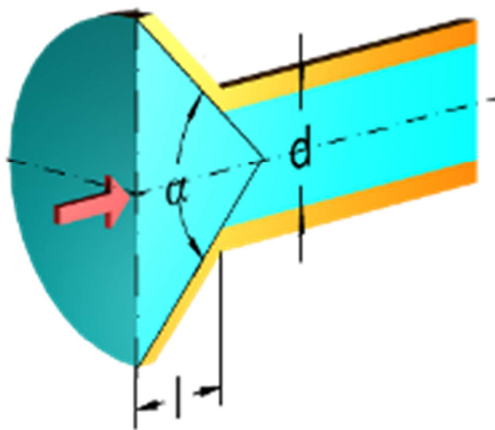
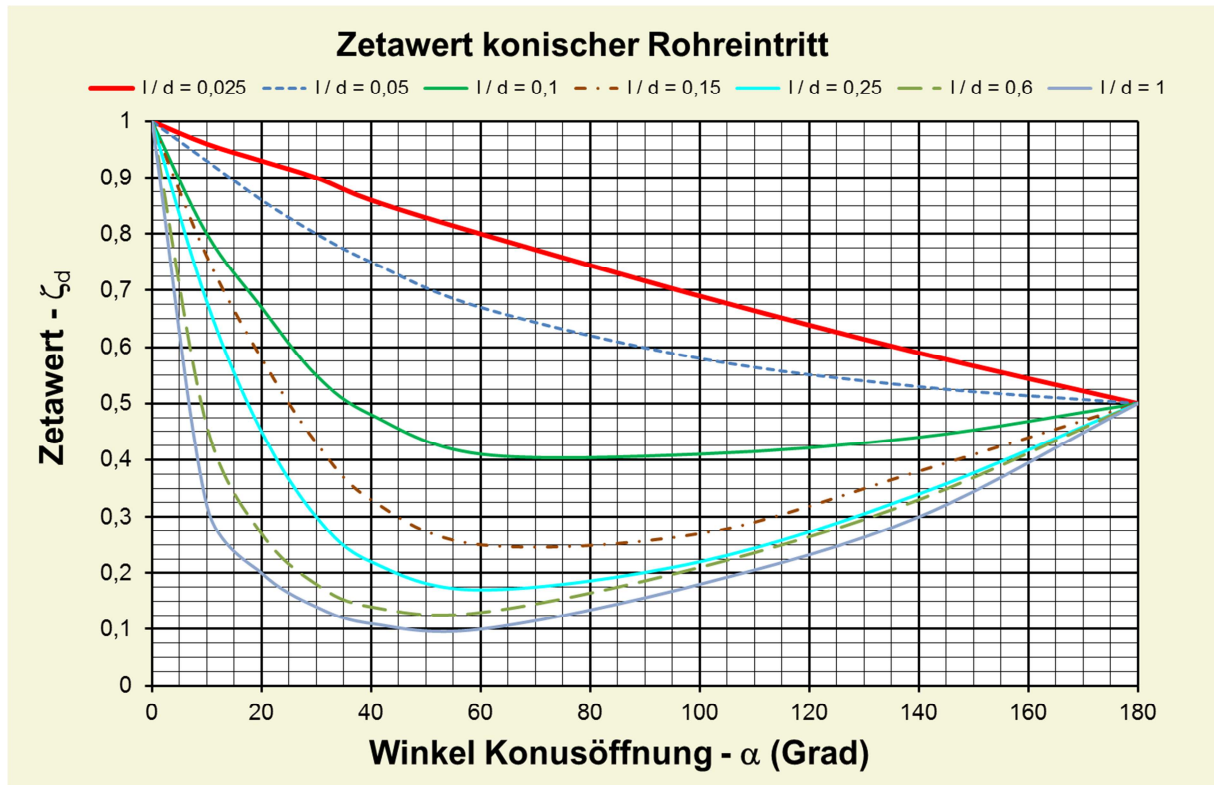
B Druckverlustberechnung

Tabelle B.1 Druckverlust pro Meter Rohr in Pascal (Pa/m)

Ø mm	17 m/s	18 m/s	19 m/s	20 m/s	21 m/s	22 m/s
100	26,0	29,2	36,0	32,5	39,7	43,6
125	20,8	23,3	26,0	26,0	31,8	34,8
150	17,3	19,4	21,7	21,7	26,5	29,0
200	13,0	14,6	16,2	16,2	19,8	21,8
225	11,6	13,0	14,4	14,4	17,6	19,4
200	13,0	14,6	16,2	16,2	19,8	21,8
225	11,6	13,0	14,4	14,4	17,6	19,4
300	8,7	9,7	10,8	10,8	13,2	14,5
325	8,0	9,0	10,0	10,0	12,2	13,4
400	6,5	7,3	8,1	8,1	9,9	10,9
460	5,7	6,3	7,1	7,1	8,6	9,5
500	5,2	5,8	6,5	6,5	7,9	8,7
560	4,6	5,2	5,8	5,8	7,1	7,8
600	4,3	4,9	5,4	5,4	6,6	7,3
700	3,7	4,2	4,6	4,6	5,7	6,2
720	3,6	4,1	4,5	4,5	5,5	6,1
800	3,3	3,6	4,1	4,1	5,0	5,4
900	2,9	3,2	3,6	3,6	4,4	4,8
1000	2,6	2,9	3,2	3,2	4,0	4,4
Druckverlust in Pascal pro Meter Rohr (Pa/m) Bei 20°C; 1013 mbar; Lambda 0,015						

C Verwendete Zeta Werte zur Druckverlustberechnung

Abbildung C.1 Zeta Wert konischer Rohreintritt [SC18]

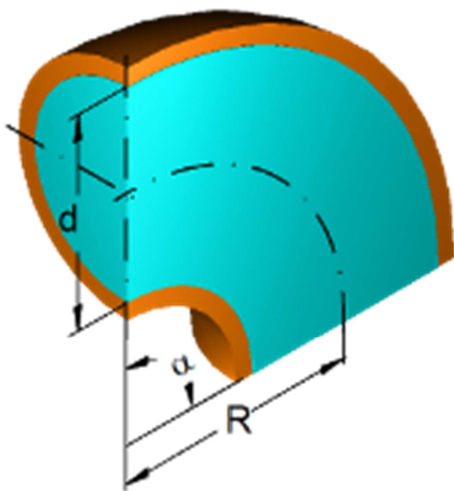
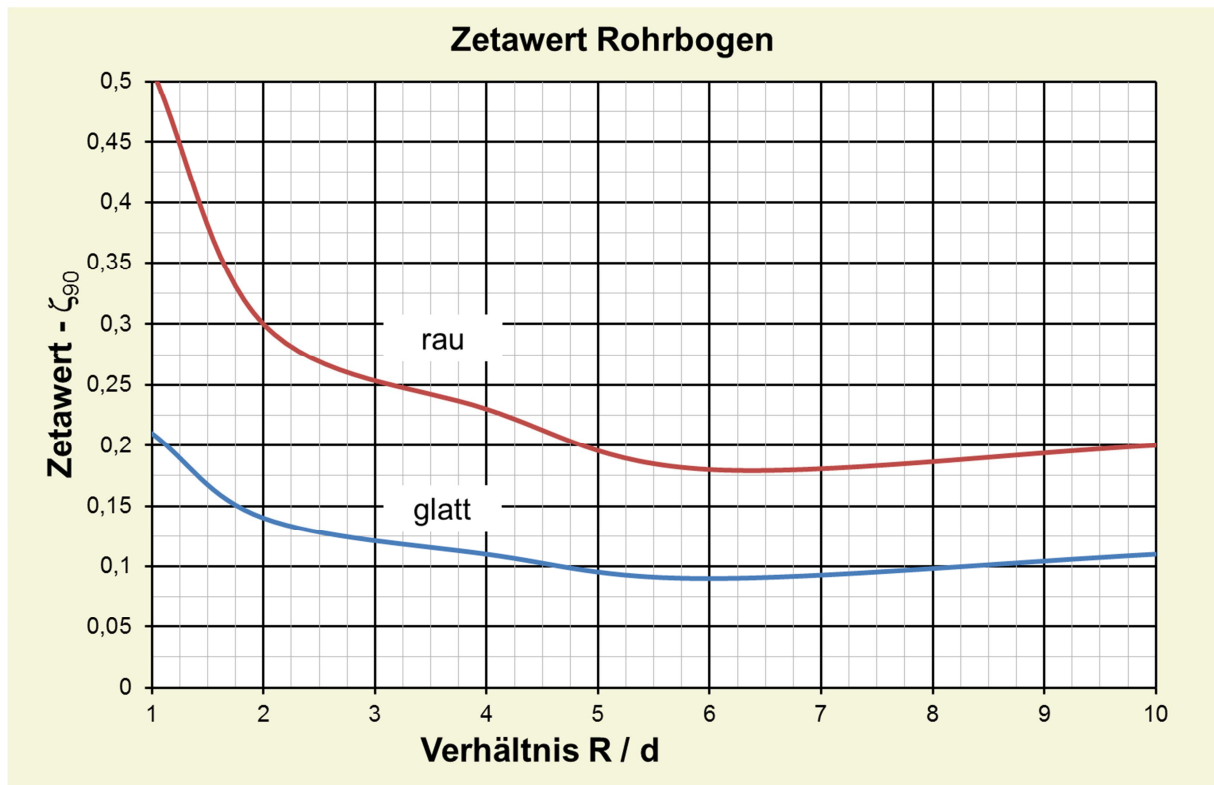


α = Winkel der Rohröffnung (Grad)

d = Innendurchmesser (mm)

l = Länge des Konus (mm)

Abbildung C.2 Zetawert Rohrbogen [SC18]

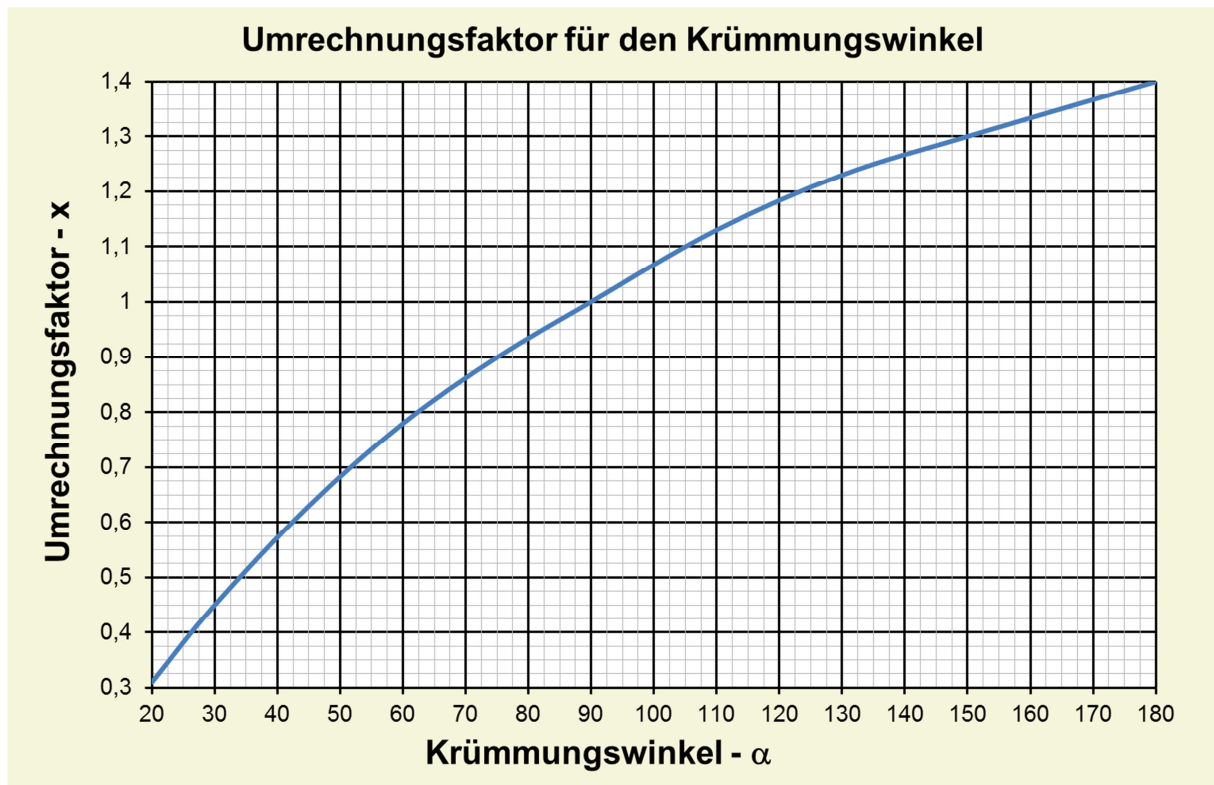


d = Innendurchmesser (mm)

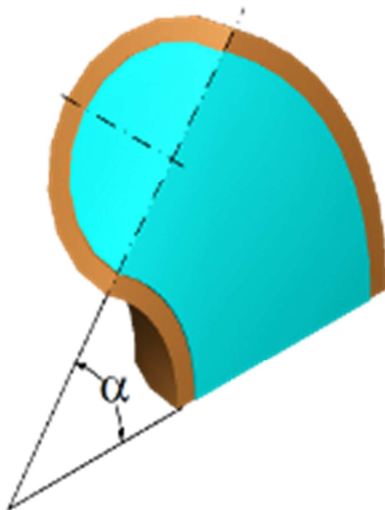
R = Mittlerer Krümmungsradius des Rohrbogens (mm)

α = Krümmungswinkel des Rohrbogens (Grad)

Abbildung C.3 Zetawert Winkeländerung bei Bögen [SC18]



$$\zeta_{\alpha} = \zeta_{90^{\circ}} * X$$



ζ_{α} = Zetawert bei Winkel α (-)

$\zeta_{90^{\circ}}$ = Zetawert bei Winkel 90° (-)

x = Umrechnungsfaktor für Winkel α (-)

Abbildung C.4 Zetawert Segmentbögen 90° [SC18]

Segmentbogenausführungen: 2 x 45° Segmente - 3 x 30° Segmente - 4 x 22,5° Segmente

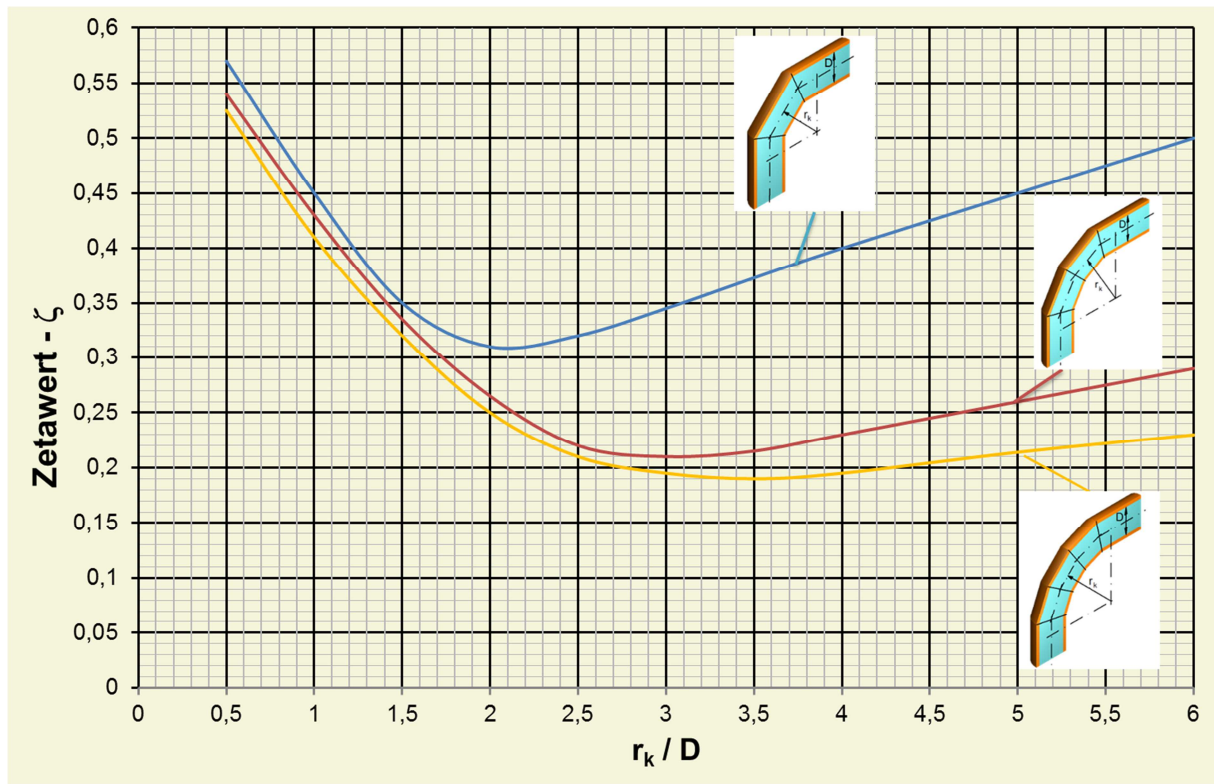
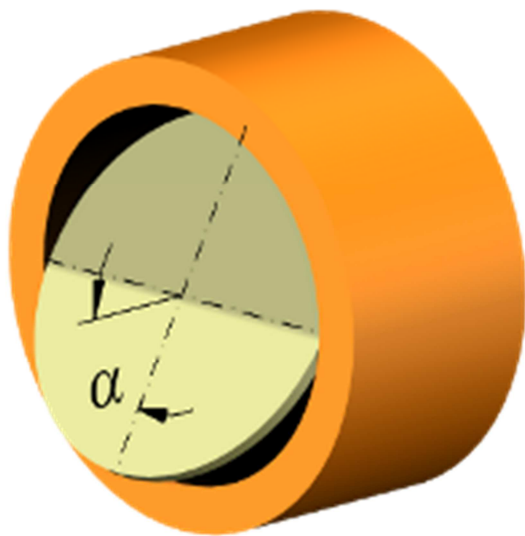
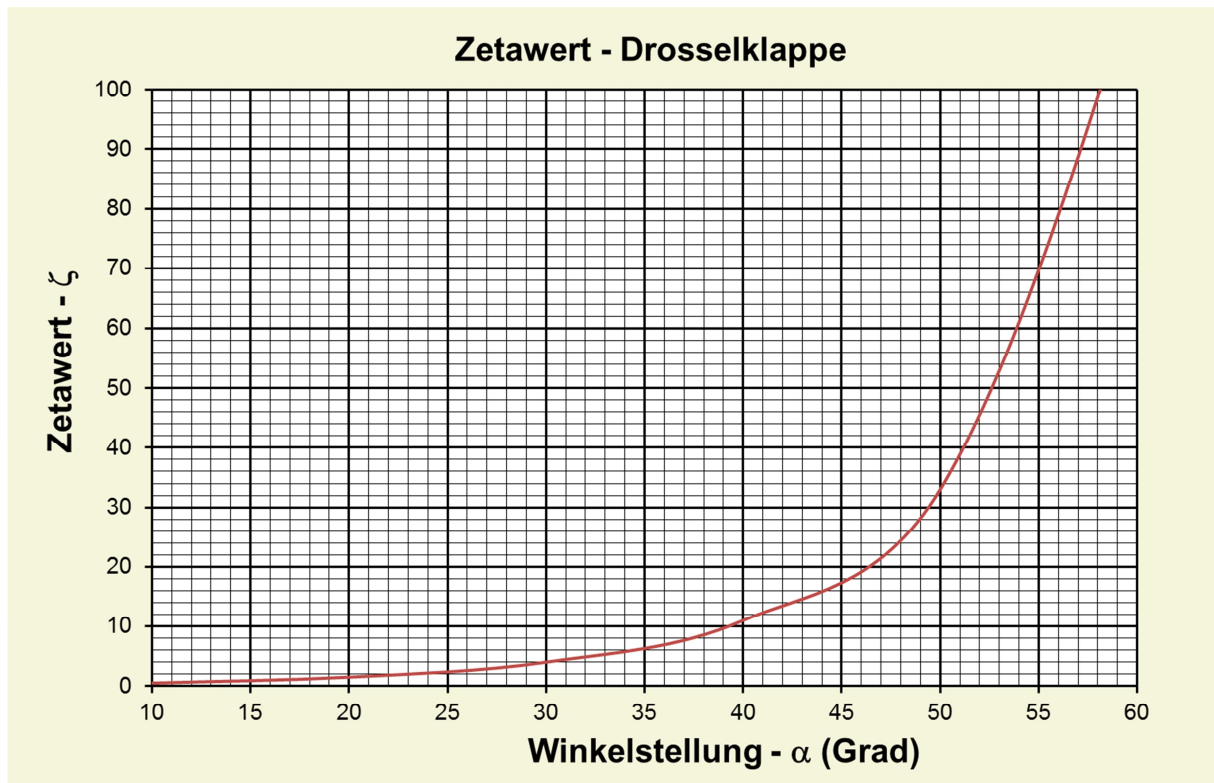
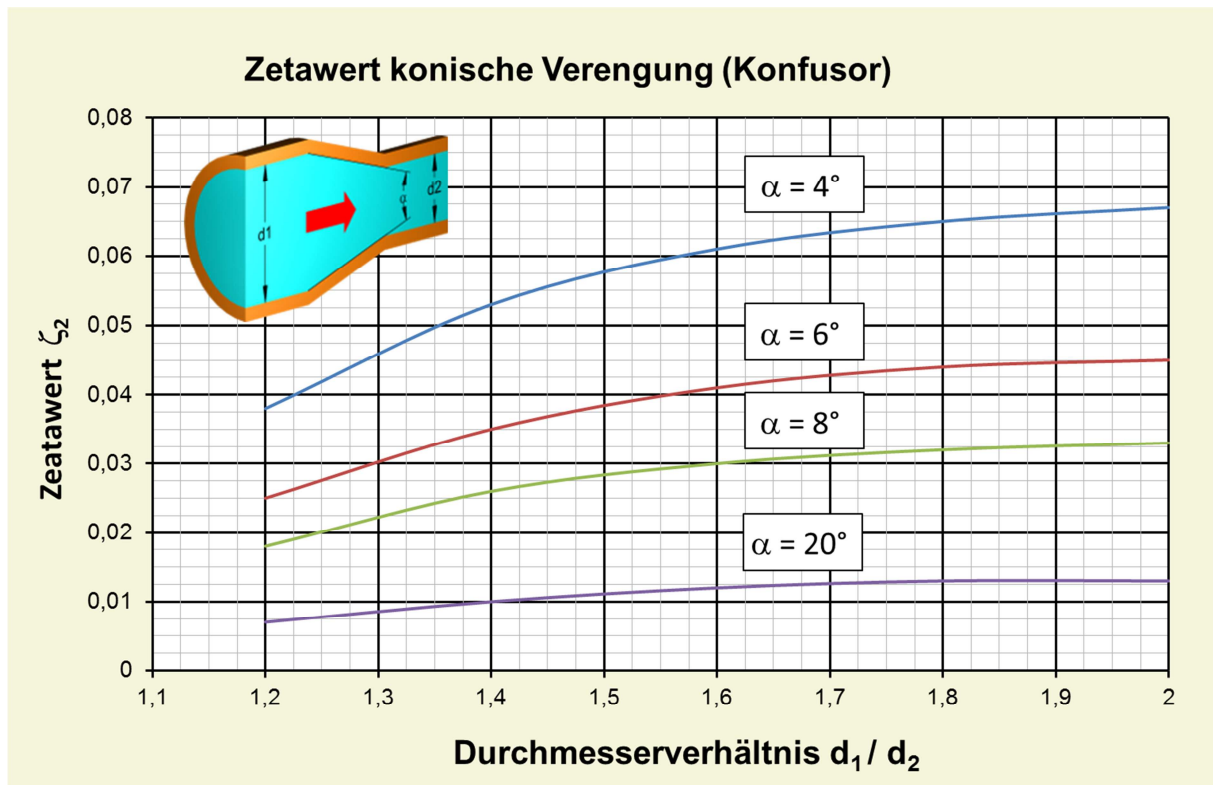


Abbildung C.5 Zetawert Drosselklappe [SC18]



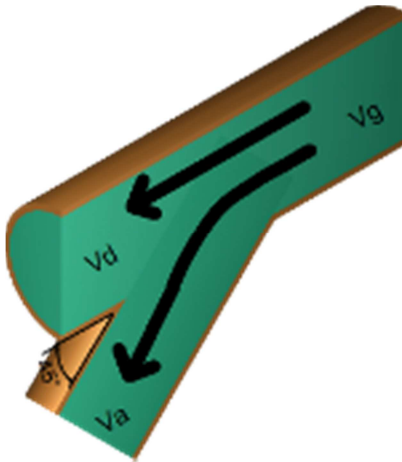
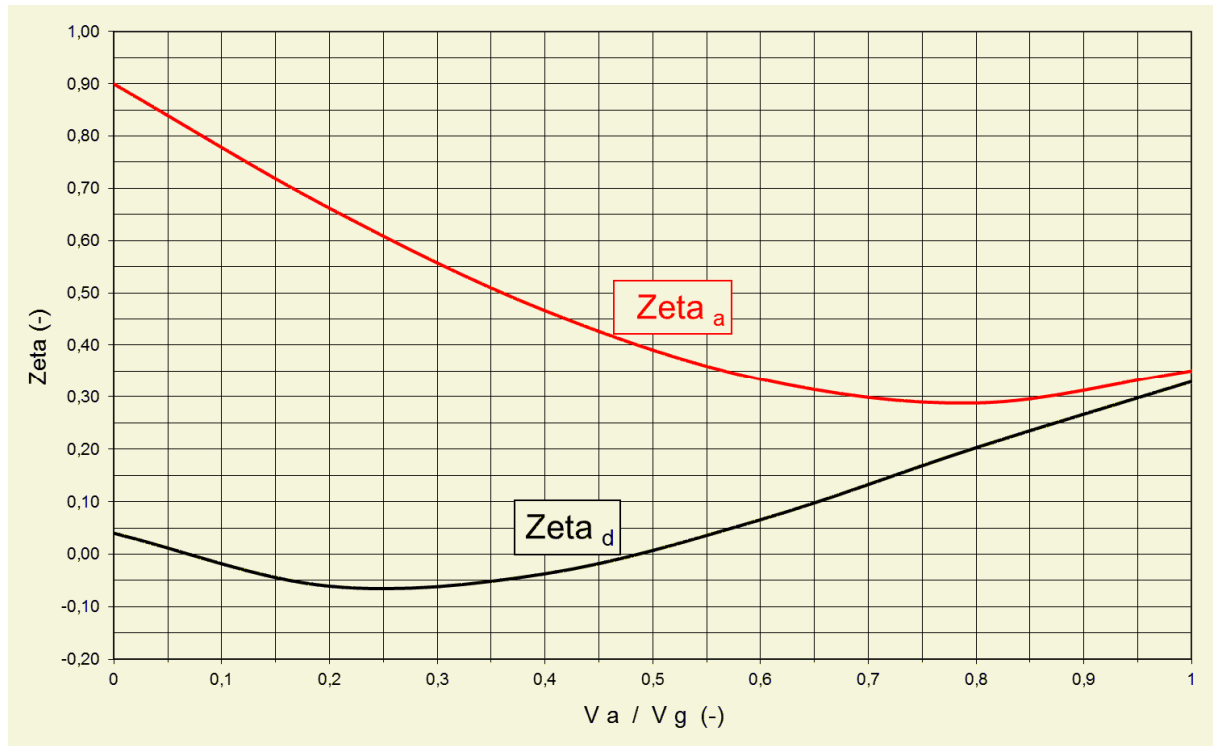
α = Winkel der Drosselklappe zur waagrechten (Grad)

Abbildung C.6 Zetawert konische Verengung (Konfusor) [SC18]



Zetawert auf Durchmesser d2 bezogen.

Abbildung C.7 Zetawert Abzweig 45° gleicher Durchmesser [SC18]



V_g = Gesamtvolumenstrom

$$V_g = V_a + V_d$$

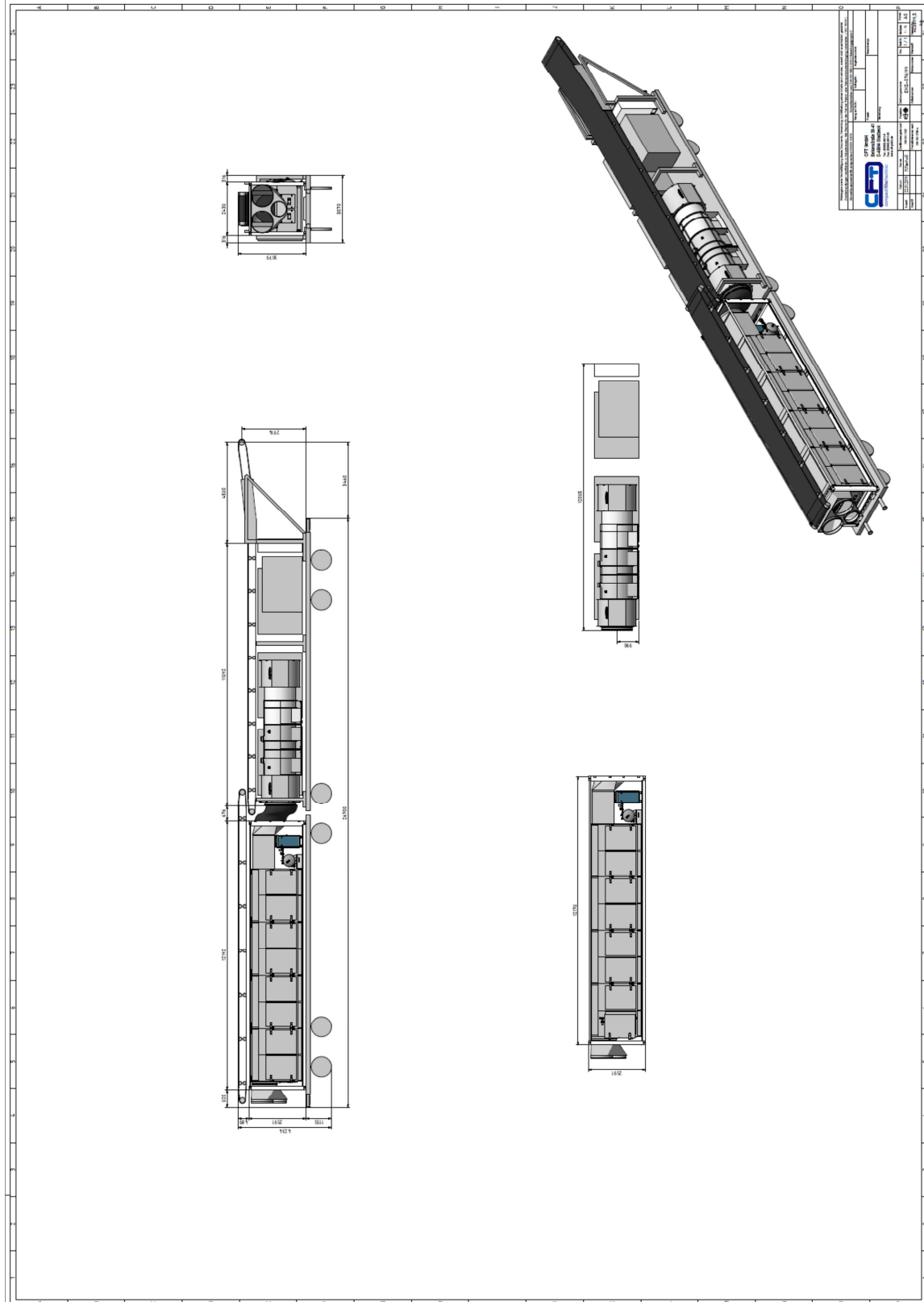
V_a = Volumenstrom aus Abzweigrohr

V_d = Volumenstrom aus Durchgangrohr

Durchmesser $d_g = d_a = d_d$

D Aufbauzeichnung

Abbildung D.1 Übersichtszeichnung Entstaubungsanlage





E Druckverlustberechnung

Tabelle E.1: Rohrabschnitt 1.1

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ		
Absaugstutzen L = 0,6 *d; 60°	1	0,12	0,12	Teilstrecke	1.1
Drosselklappe 15°	1	0,4	0,4		
Bogen90° r = 1d	1	0,2	0,2	V in m ³ /min	200
Gabelstück	1	0,3	0,3		
konische Verengung	1	0,02	0,02	Durchmesser in mm	460
	0		0		
	0		0	w in m/s	20,1
	0		0	P _{dy} in Pa	
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²	241,6
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			1,04	* P _{dy} =	251,3
					ΔP Einzelw.
Rohr (3m lang)	l = 3 m		R = 7,1 Pa/m	I * R =	21,3
					ΔP Rohr
					ΔP Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 1.1 =					272,6
					ΔP Summe

Tabelle E.2: Rohrabschnitt 1.2

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ		
Absaugstutzen L = 0,6 *d; 60°	1	0,12	0,12	Teilstrecke	1.2
Drosselklappe 15°	1	0,4	0,4		
Bogen45° r = 1d	1	0,14	0,14	V in m ³ /min	200
Gabelstück	1	0,3	0,3		
konische Verengung	1	0,02	0,02	Durchmesser in mm	460
	0		0		
	0		0	w in m/s	20,1
	0		0	P _{dy} in Pa	
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²	241,6
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			0,98	* P _{dy} =	236,8
					ΔP Einzelw.
Rohr (3m lang)	l = 3 m		R = 7,1 Pa/m	I * R =	21,3
					ΔP Rohr
					ΔP Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 1.2 =					258,1
					ΔP Summe



Tabelle E.3: Rohrabschnitt 1.3

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ		
Absaugstutzen L = 0,6 *d; 60°	1	0,12	0,12	Teilstrecke	1.3
Drosselklappe 15°	1	0,4	0,4		
Bogen45° r = 1d	1	0,14	0,14	V in m ³ /min	100
Gabelstück	1	0,3	0,3		
konische Verengung	1	0,02	0,02	Durchmesser in mm	325
	0		0		
	0		0	w in m/s	20,1
	0		0	P _{dy} in Pa	
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²	242,4
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			0,98	* P _{dy} =	237,6
Rohr (4m lang)	l = 4 m	R = 10,0 Pa/m	I * R =	40	Δ P Rohr
					Δ P Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 1.3 =				277,6	Δ P Summe

Tabelle E.4: Rohrabschnitt 1.4

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ		
Gabelstück	1	0,3	0,3	Teilstrecke	1.4
Bogen 45° r = 1d	1	0,14	0,14		
konische Verengung	1	0,02	0,02	V in m ³ /min	300
	0		0		
	0		0	Durchmesser in mm	560
	0		0		
	0		0	w in m/s	20,3
	0		0	P _{dy} in Pa	
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²	247,5
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			0,46	* P _{dy} =	113,9
Rohr (4m lang)	l = 4 m	R = 5,8 Pa/m	I * R =	23,2	Δ P Rohr
					Δ P Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 1.4 =				137,1	Δ P Summe



Tabelle E.5: Rohrabschnitt 1.5

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ			
Absaugstutzen L = 0,6 *d; 60°	1	0,12	0,12	Teilstrecke		1.5
Drosselklappe 15°	1	0,4	0,4			
Bogen45° r = 1d	2	0,14	0,28	V in m ³ /min		500
Gabelstück	1	0,3	0,3			
konische Verengung	1	0,02	0,02	Durchmesser in mm		720
	0		0			
	0		0	w in m/s		20,5
	0		0	P _{dy} in Pa		
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²		251,6
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			1,12	* P _{dy} =	281,8	ΔP Einzelw.
Rohr (5m lang)	l = 5 m	R = 6,5 Pa/m	I * R =	32,5	ΔP Rohr	
						ΔP Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 1.5 =					314,3	ΔP Summe

Tabelle E.6: Rohrabschnitt 1.6

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ			
	0		0	Teilstrecke		1.6
	0		0			
	0		0	V in m ³ /min		1000
	0		0			
	0		0	Durchmesser in mm		1000
	0		0			
	0		0	w in m/s		21,2
	0		0	P _{dy} in Pa		
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²		270,5
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			0	* P _{dy} =	0,0	ΔP Einzelw.
Rohr (15m lang)	l = 15m	R = 3,2Pa/m	I * R =	48	ΔP Rohr	
						ΔP Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 1.6=					48,0	ΔP Summe



Tabelle E.7: Rohrabschnitt 2.1

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ			
Absaugstutzen L = 0,6 *d; 60°	1	0,12	0,12	Teilstrecke	2.1	
Drosselklappe	1	0,4	0,4			
Bogen 90° r = 1d	1	0,2	0,2	V in m ³ /min	200	
Gabelstück	1	0,3	0,3			
konische Verengung	1	0,02	0,02	Durchmesser in mm	460	
	0		0			
	0		0	w in m/s	20,1	
	0		0	P _{dy} in Pa		
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²	241,6	
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			1,04	* P _{dy} =	251,3	ΔP Einzelw.
Rohr (4m lang)	l = 4 m	R = 8,6 Pa/m		I * R =	34,4	ΔP Rohr
						ΔP Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 2.1 =					285,7	ΔP Summe

Tabelle E.8: Rohrabschnitt 2.2

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ			
Absaugstutzen L = 0,6 *d; 60°	1	0,12	0,12	Teilstrecke	2.2	
Drosselklappe 15°	1	0,4	0,4			
Bogen 45° r = 1d	1	0,14	0,14	V in m ³ /min	300	
Gabelstück	1	0,3	0,3			
konische Verengung	1	0,02	0,02	Durchmesser in mm	560	
	0		0			
	0		0	w in m/s	20,3	
	0		0	P _{dy} in Pa		
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²	247,5	
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			0,98	* P _{dy} =	242,6	ΔP Einzelw.
Rohr (5m lang)	l = 5 m	R = 5,8 Pa/m		I * R =	29	ΔP Rohr
						ΔP Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 2.2 =					271,6	ΔP Summe



Tabelle E.9: Rohrabschnitt 2.3

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ		
Absaugstutzen L = 0,6 *d; 60°	1	0,12	0,12	Teilstrecke	2.3
Drosselklappe 15°	1	0,4	0,4		
Bogen45° r = 1d	1	0,14	0,14	V in m ³ /min	300
Gabelstück	1	0,3	0,3		
konische Verengung	1	0,02	0,02	Durchmesser in mm	560
	0		0		
	0		0	w in m/s	20,3
	0		0		
	0		0	P _{dy} in Pa	
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²	247,5
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			0,98	* P _{dy} =	242,6
					ΔP Einzelw.
Rohr (5m lang)	l = 5 m	R = 5,8 Pa/m	I * R =	29	ΔP Rohr
					ΔP Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 2.3 =				271,6	ΔP Summe

Tabelle E.10: Rohrabschnitt 2.4

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ		
Gabelstück 30°	1	0,3	0,3	Teilstrecke	2.4
konische Verengung	1	0,02	0,02		
	0		0	V in m ³ /min	800
	0		0		
	0		0	Durchmesser in mm	920
	0		0		
	0		0	w in m/s	20,1
	0		0		
	0		0	P _{dy} in Pa	
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²	241,6
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			0,32	* P _{dy} =	77,3
					ΔP Einzelw.
Rohr (5m lang)	l = 5 m	R = 3,4 Pa/m	I * R =	17	ΔP Rohr
					ΔP Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 2.4 =				94,3	ΔP Summe



Tabelle E.11: Rohrabschnitt 2.5

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ		
Absaugstutzen L = 0,6 *d; 60°	1	0,12	0,12	Teilstrecke	2.5
Drosselklappe 15°	1	0,4	0,4		
Bogen45° r = 1d	1	0,14	0,14	V in m ³ /min	200
Gabelstück 30°	1	0,3	0,3		
konische Verengung	1	0,02	0,02	Durchmesser in mm	460
	0		0		
	0		0	w in m/s	20,1
	0		0	P _{dy} in Pa	
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²	241,6
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			0,98	* P _{dy} =	236,8
Rohr (4m lang)	l = 4 m	R = 7,1 Pa/m		I * R =	28,4
					ΔP Rohr
					ΔP Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 2.5 =					265,2
					ΔP Summe

Tabelle E.12: Rohrabschnitt 2.6

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ		
	0		0	Teilstrecke	2.6
	0		0		
	0		0	V in m ³ /min	1000
	0		0		
	0		0	Durchmesser in mm	1000
	0		0		
	0		0	w in m/s	21,2
	0		0	P _{dy} in Pa	
	0		0	Normalfall 0,6 *w ²	270,5
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			0	* P _{dy} =	0,0
Rohr (10m lang)	l = 10 m	R = 3,2 Pa/m		I * R =	32
					ΔP Rohr
					ΔP Geräte
Differenzdruck der Teilstrecke 2.6 =					32,0
					ΔP Summe



Tabelle E.13: Rohrabschnitt 3.0

Bezeichnung	Stück	ζ	Stck * ζ			
Absaugstutzen L = 0,6 *d	1	0,12	0,12	Teilstrecke	3	
Drosselklappe 15°	1	0,7	0,7			
Bogen45° r = 1d	1	0,13	0,13	V in m ³ /min	500	
	1		0			
	1		0	Durchmesser in mm	720	
	1		0			
	1		0	w in m/s	20	
	1		0			
	1		0	P _{dy} in Pa		
	1		0	Normalfall 0,6 *w ²	240	
Einzelwiderstände: Summe Stck * ζ =			0,95	* P _{dy} =	228	
Rohr (15m lang)	l = 15 m	R = 4,5 Pa/m		l * R =	67,5	ΔP Einzelw.
						ΔP Rohr
					ΔP Geräte	
Differenzdruck der Teilstrecke 3.0 =					295,5	ΔP Summe

F Regellichtraumprofil G1

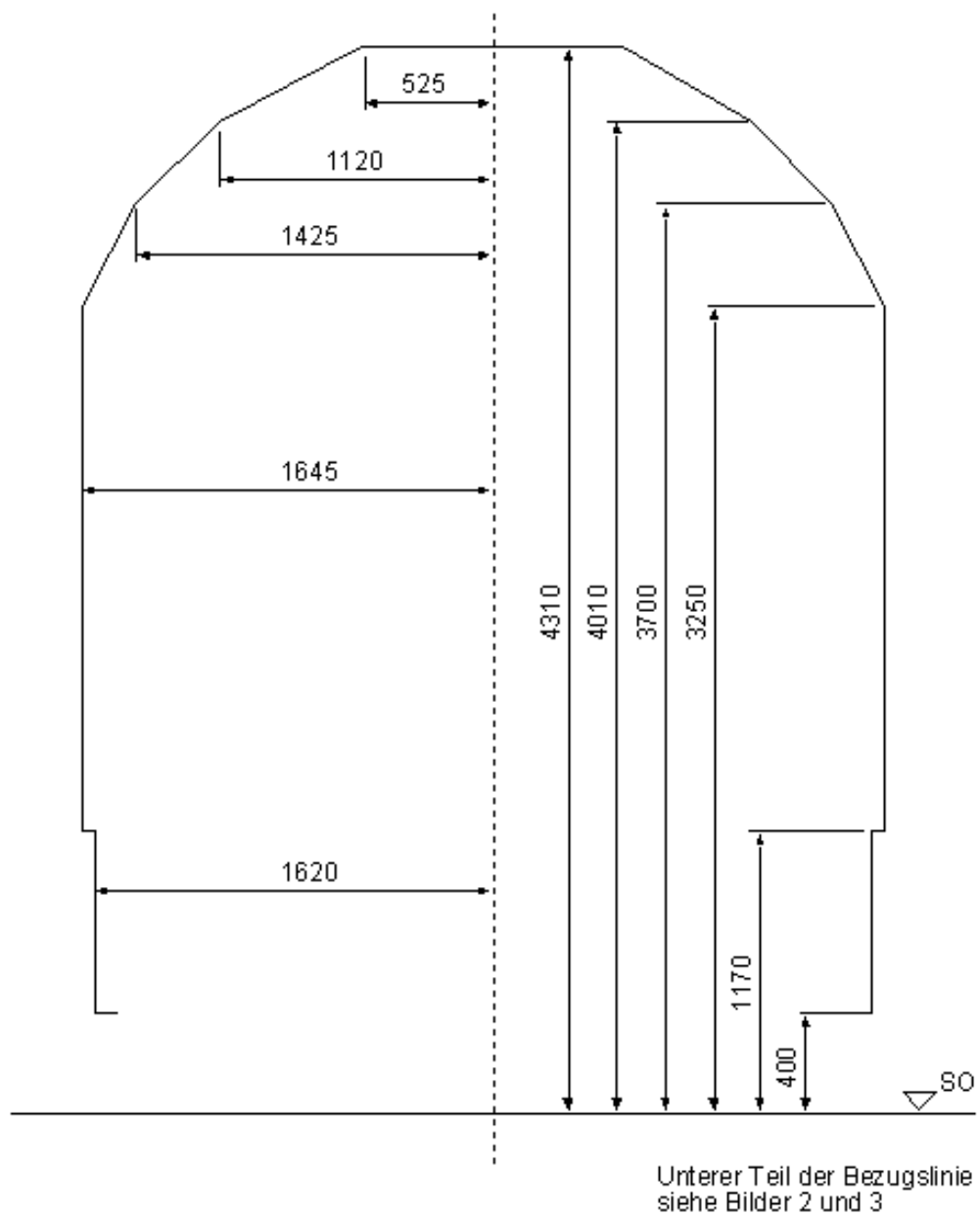
Abbildung F.1: Regellichtraumprofil G1 [JU92]

Maße in Millimetern

Bezugslinie G 1

für Fahrzeuge, die auch im grenzüberschreitenden Verkehr eingesetzt werden

Bild 1





Quellenverzeichnis

[SP18]	Spitzke SE; http://www.technikpark.com/maschinen/gleisbau/bettungsreinigung/rm-900-s/ ; 2018; abgerufen am 05.10.2018
[SC18]	Schweizer Fn; https://www.schweizer-fn.de/zeta/start_zeta.php ; 2018; abgerufen am 19.10.2018
[JU92]	Jurion; https://www.jurion.de/gesetze/ebo/anlage_7/ ; 1992; abgerufen am 19.10.2018