

Nebel statt Absaugung – Entwicklung einer innovativen Technologie zur Staubreduzierung

Das Thema Staub ist im Gleisbau angekommen: Aktionsprogramme, Maßnahmenkonzepte, Gesprächskreise, Regulatorien, Arbeitsplatzgrenzwerte, wissenschaftliche Arbeiten, europäische Netzwerke. Nun tut sich eine Technologie auf, diese Anforderungen in smarter Weise zu erfüllen. Der Staub wird an der Quelle gefasst.



1. Allgemeine Anforderungen zur Staubreduzierung

Nicht verbrennungsbedingte Emissionen

Neben verbrennungsbedingten Emissionen steigt die Bedeutung an nicht verbrennungsbedingten Emissionen im Gleisbau. Diese gliedern sich in abriebbedingte Emissionen aus dem Schienenverkehr und verschleißbedingte Emissionen aus dem Inneren des Schotter-Gleiskörpers. Bei Arbeiten am Schotterbett wird durch die verschiedenen eingesetzten Räumketten, Planierschilde und Förderbänder auch eine entsprechende Menge an Staub freigesetzt.

Einatembarer Staub

In den Technischen Regelwerken für Gefahrstoffe TRGS sind die relevanten Staubarten angeführt. Einatembar ist derjenige Massenanteil von Stäuben im Atembereich, der über die Atemwege aufgenommen werden kann. Die einatembare Staubfraktion wird E-Fraktion genannt (E-Staub, früher: Gesamtstaub). Alveolengängig ist derjenige Massenanteil von einatembaren Stäuben, der die Alveolen und Bronchiolen erreichen kann (A-Fraktion, A-Staub, früher: Feinstaub). Zusätzlich zur E- und A-Fraktion nimmt der Quarzfeinstaub eine wichtige Rolle ein. [1]



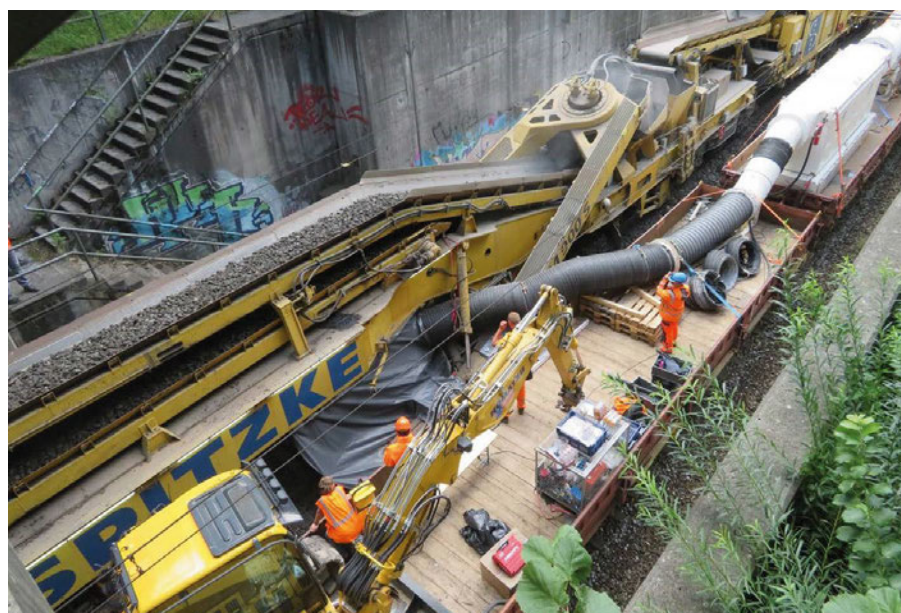
Dr. Florian Auer

Director of Technology and Innovation, Plasser & Theurer, AT-Linz
florian.auer@plassertheurer.com



Jörg Frenzel, MBA

Geschäftsführer HYPERION Verwaltung GmbH, D-Rohstorf
j.frenzel@hyperion-ip.eu



1: Absauganlage unter Nutzung des Nachbargleises

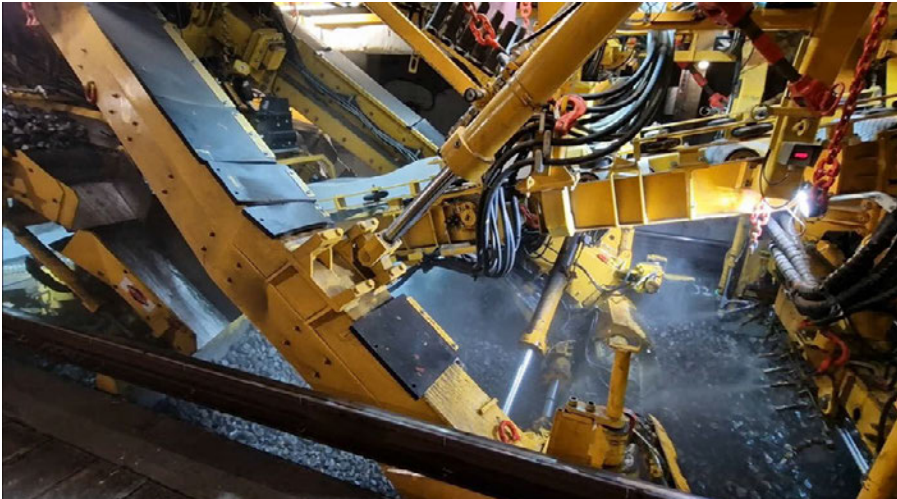
Quelle: Werner Schachner

Gesundheitsauswirkung

Es dringen Staubpartikel abhängig von ihrer Größe unterschiedlich tief in das Atemwegssystem ein, wo sie sich absetzen und verschiedene Arten von Schäden verursachen können. Insbesondere die kleineren Größenfraktionen ($\leq 2,5 \mu\text{m}$) sind in Bezug auf Gesundheitsauswirkungen von Bedeutung. [2]

Probenahmen

Die Probenahmen des Staubs sind gut geregelt. In der Handlungsanleitung zur Gleisbettreinigung ist festgelegt: Die Probenahme erfolgt in der Regel an der Feldseite. Es sind die Sicherheitsvorgaben der Baustelle einzuhalten. Die Messungen erfolgen, wenn möglich, an der Person.



2: Stehender Wassernebel zur effizienten Staubreduzierung

Quelle: Jörg Frenzel

Ergänzende Messungen werden stationär durchgeführt, und zwar grundsätzlich in Atemhöhe der Beschäftigten. [3]

Gefährdungsbeurteilung

Die Technischen Regelwerke für Gefahrstoffe TRGS führen aus, wie die Gefährdungsbeurteilung auf Gleisbaustellen zu erfolgen hat. Der Arbeitgeber hat gemäß §§ 5 und 6 Arbeitsschutzgesetz und nach § 7 Gefahrstoffverordnung eine Gefährdungsbeurteilung bzw. ein gleichbedeutendes Sicherheits- und Gesundheitsschutzdokument zu erstellen. [1]

Schutzmaßnahmen

Die Technischen Regelwerke für Gefahrstoffe TRGS definieren für Maschinen und Geräte: Diese sind so auszuwählen und zu betreiben, dass möglichst wenig Staub freigesetzt wird. Bei der Festlegung der Schutzmaßnahmen ist folgende Rangfolge einzuhalten [1]:

1. Gestaltung des Arbeitsverfahrens und Verwendung geeigneter Arbeitsmittel (technische Maßnahmen).
2. Durchführung kollektiver Schutzmaßnahmen an der Gefahrenquelle, wie z. B. angemessene Be- und Entlüftung.
3. Durchführung geeigneter organisatorischer Maßnahmen, wie zum Beispiel Festlegung von Zutrittsbeschränkungen, Arbeitszeitregelungen sowie Reinigungs- und Hygienemaßnahmen.
4. Durchführung individueller Schutzmaßnahmen einschließlich der Anwendung persönlicher Schutzausrüstung und persönlicher Hygienemaßnahmen, wenn eine Gefährdung durch Maßnahmen nach 1 und 2 nicht verhindert werden kann.

Anforderungen an Tunnelbaustellen bzw. Arbeiten auf freier Strecke

Im Jahr 2025 wurde in Deutschland im Zuge von Bieterfragen zu Oberbauarbeiten festgestellt, dass die Anforderungen zur Staubreduzierung grundsätzlich für alle Maßnahmen gelten. Und damit nicht wie bisher nur in Tunneln. Dies ist ein Meilenstein in der Behandlung der Staubthematik auf Gleisbaustellen: Damit ist der flächendeckende Bedarf nach Staubreduzierung auch auf dem freien Streckengleis erstmals verschriftlicht.

Man könnte den Umstand einfach umschreiben. Die Frage ist damit nicht mehr, ob und wo die Pflicht zur Staubprävention in Zukunft kommt, sondern wie diese heute auf den Baustellen umgesetzt wird. Das Thema Staub ist präsent.

2. Stand der Technik der Staubreduzierung

Arbeitskabinen

Um die Staubbelastung im Kabineninneren von Gleisbaumaschinen zu minimieren, wird mittels eines Gebläses ein Überdruck hergestellt. Die zugeführte Luft wird über einen Filter gemäß ISO 16890 gereinigt. Diese Kabinen kommen bei neuen Messfahrzeugen sowie neuen Stopf- und Planiermaschinen zum Einsatz. Moderne Bettungsreinigungsmaschinen werden größtenteils von isolierten, klimatisierten und staubgeschützten Arbeitskabinen aus bedient, von deren Position auch entfernte Aggregate und Anlagen, wie z. B. Siebe und die Einschotterungsanlage, durch Kameras überwacht und gesteuert werden können. [4]

Bewässerung und Absaugung

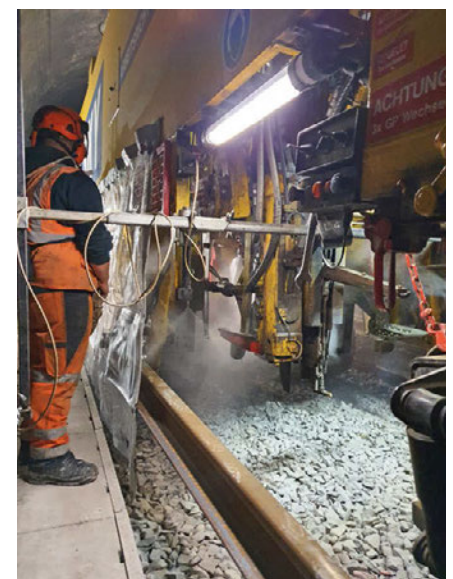
Erfahrungen aus einem Pilotprojekt in Deutschland, an dem eine entsprechend adaptierte Hochleistungsreinigungsmaschine der Type RM-900 beteiligt war, haben gezeigt, dass durch Bewässerung im Vorfeld und durch Absaugung an neuralgischen Punkten eine weitere erhebliche Reduzierung der Staubbelastung möglich ist. Dies erfolgt entweder im Nebengleis durch entsprechend notwendige Aggregate zur Absaugung, hat aber entsprechende Gleisbelegungen zur Folge. [4]

Alternativ wurden die Absauganlagen in die Umbau- und Bettungsreinigungsmaschinen integriert. Die notwendigen Verrohrungen nehmen jedoch ebenfalls Platz in Anspruch. Generell ist das Absaugen komplex. Die bisher verwendeten Anlagen dürfen bei Überstellfahrt nicht aufgebaut sein, sie müssen daher vor Ort auf- und abgebaut werden. Absaugungen haben auch großen Einfluss auf das Gewicht der Maschinen sowie deren Umgrenzungsprofil und das Entstehen zusätzlicher DME (Diesel-Motor-Emissionen) und Wärme.

3. Alternative Technologie: Stehender Wassernebel

Staub mit Wasser niederschlagen

In der Broschüre der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin „Baustelleneinrichtung: Staubarmes Arbeit“



3: Besonders beengte Verhältnisse im Tunnelabschnitt Schacherbauertunnel, ÖBB

Quelle: Jörg Frenzel



4: Staubreduziertes Arbeiten bei Kassel–Fulda mit der RUS 1000 S

Quelle: Jörg Frenzel

ten“ sind verschiedene Maßnahmen zur Staubreduktion angeführt; die Niederschlagung des Staubs durch Wasser findet sich hier ebenfalls wieder: „Bei Außen- und Abbrucharbeiten ist das Material und die Luft mit Wasser zu befeuchten. Damit wird der Staub gebunden und fällt schneller zu Boden.“ [5]

Das Prinzip der Niederschlagung des Staubs durch Wasser besteht darin, dass die sich in der Luft befindlichen Staubpartikel und Schwebstoffe die Feuchtigkeit des Wassernebels aufnehmen, sich binden und in weiterer Folge zu Boden sinken.

Stehender Wassernebel

An der Arbeitsmaschine sind in der Nähe des Arbeitsbereichs, in dem Schotterbewegung stattfindet, mit Hochdruck betriebene Wasserdüsen angeordnet. Diese verhindern durch Niedernebelung mittels stehenden Nebels Stäube bereits am Entstehungsort. Durch die spezielle Ausbildung der Düsen lässt sich ein permanenter Wassernebel definierter Breite und Länge erzeugen – je nach Art der zuvor definierten Arbeitsmaschine bzw. des Arbeitsbereichs, um im Schotter vorhandene A- und E-Stäube zu binden und Mitarbeitende, Anwohnende und Reisende zu schützen.

Auf Basis des zuvor Beschriebenen setzt die Technologie DURFOG an.

Technologie DURFOG®

DURFOG-Technologie: Gleisbaumaschine, Materialförderwagen, Silowagen oder Anbaustopfgerät erhalten spezielle Injektoren, die einen permanenten stehenden Feinstwassernebel definierter Breite und Länge erzeugen.

Unter Begleitung der Berufsgenossenschaft Bau, des Eisenbahn-Bundesamtes und der Unfallversicherung Bund und Bahn wurde ein nicht staubabsaugendes Verfahren zur Staubreduzierung entwickelt und erprobt. Im Netz der ÖBB (Österreich), ProRail (Niederlande) und der DB AG (Deutschland) wurden auf gutachterlich begleiteten Test- und Pilotbaustellen Funktionalität und Wirksamkeit auf Umbauzügen und Bettungsreinigungsmaschinen untersucht.

Die DURFOG-Düsen sind an relevanten Stellen vorgesehen. Die Tröpfchen des Wassernebels sind kleiner als 1 mm, in ihrer Größe spezifisch an die Größe der Staubpartikel angepasst. Der entstehende Wassernebel wird während des Arbeitseinsatzes der Maschine permanent erzeugt. Neben den Düsen können zusätzlich die Arbeitsbereiche und auch sämtliche Übergabepunkte von Förderbändern mit eigens angefertigten PVC-Planen eingehaust werden, damit der Wassernebel in den Bereichen der Staubquellen bleibt.

Das benötigte Wasser wird in UV-geschützten Containern direkt oder auf einem separaten Tankwagen nach, vor oder auch auf beiden Seiten der Maschine mitgeführt. Dies ermöglicht eine problemlose Integration in die Baustellenlogistik.

4. Ergebnisse aus Feldmessungen

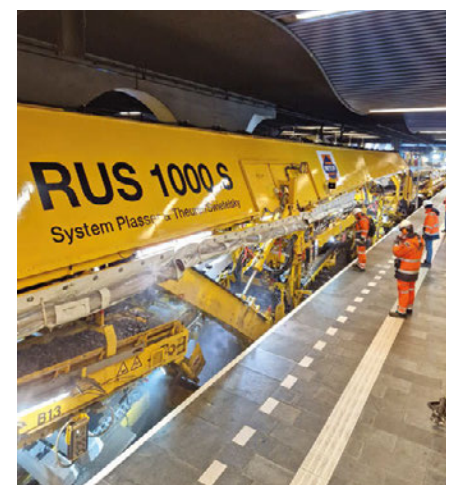
Versuch-Tunnelbaustelle Schacherbauertunnel, Österreich

Die ersten Tests mit der DURFOG-Technologie wurden auf Maschinen einer international tätigen österreichischen Baufirma durchgeführt. Beispielsweise wurde der Umbauzug SUZ500 temporär upgegradet und am 1.11.2021 im Schacherbauertunnel bei besonders beengten Verhältnissen (eingleisiger Tunnel, Querschnittsfläche ca. 27 m²) erfolgreich eingesetzt. Gegenüber der konventionellen Absaug-Technologie war eine Vereinfachung des Bahnablaufs mit sehr geringem Wasserbedarf festzustellen.

Es konnte gutachterlich durch die Österreichische Staub-(Silikose-)Bekämpfungsstelle ÖSBS nachgewiesen werden, dass die bei den Gleisbauarbeiten gemessenen Konzentrationen für E- und A-Staub sowie für Quarz unter den zulässigen Grenzwerten der österreichischen Grenzwertverordnung (GKV 2021) liegen.

Gleiserneuerungsarbeiten Kassel–Fulda, Deutschland

Bei Gleiserneuerungsarbeiten (Schienen- und Schwellenwechsel, Bettungsreinigung) in drei Tunneln der Schnellfahrstrecke Kassel–Fulda 1733 (Warteküppel-Tunnel



5: Staubreduzierte Gleisbauarbeiten im U-Bahnhof Blaak in Rotterdam
Quelle: Jörg Frenzel

835 m, Dörnhagen-Tunnel 739 m, Rengerhäuser-Tunnel 1592 m) wurde im Jahr 2023 die kombinierte Gleisumbau- und Schotterbettreinigungsmaschine RUS 1000 S ebenfalls mittels DURFOG-Technologie „staub-fit“ gemacht. Die Ergebnisse sind ebenso eindeutig wie jene auf der Teststrecke in Österreich.

Die TÜV NORD Umweltschutz GmbH & Co. KG führte Arbeitsplatzmessungen zur Überprüfung der Exposition an Staub (alveolengängig und einatembar) und Quarz durch. Die Grenzwerte für den alveolengängigen und einatembaren Staub wurden an allen Messpunkten eingehalten und zum Teil deutlich unterschritten. Der Beurteilungsmaßstab für Quarz und Asbest wurde an allen Messpunkten eingehalten.

U-Bahnhof Blaak in Rotterdam, Holland

Die kombinierte Gleisumbau- und Schotterbettreinigungsmaschine RUS 1000 S wurde im Jahr 2023 auch bei beengten Verhältnissen in dem 2796 m langen Willemspoortunnel in Rotterdam eingesetzt. DURFOG stellte hierbei die einzige technische Möglichkeit zur Staubreduzierung dar, da eine Verrohrung zum Absaugen aufgrund der Tunnelgeometrie nicht gepasst hätte.

Die Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung TNO führte die gutachterlichen Messungen zur Schotterstaub-Exposition der Arbeitnehmer durch. Die Grenzwerte in ähnlicher Größenordnung wie für Deutschland wurden auch hier eingehalten.

Allgemeine Erkenntnisse

Die DURFOG-Technologie verhindert durch Niedernebelung bzw. stehenden Nebel Staub bereits am Entstehungsort und sorgt für Arbeitssicherheit. Die DURFOG-Staubniedernebelung ist gemäß Berufsgenossenschaft BG BAU eine nachgewiesene

Alternative zum Absaugen. Das System DURFOG muss – typenbezogen – lediglich mindestens den Gleichwertigkeitsnachweis gegenüber der Staubabsaugung in den Testeinsätzen erbringen.

Die vorzusehende Bewetterung im Tunnel muss den in Deutschland geltenden Vorgaben entsprechen. Hier ist im Zuge der weiteren Anwendung und genaueren Kenntnis des Einflusses der vorrangig durchgeführten Bewetterung zukünftig mit einer weiteren Optimierung zu rechnen.

Weder Staub noch der erzeugte Wasserdampf gelangt in den Bereich, in dem sich die Mitarbeiter zur Überwachung der Arbeitsabläufe bzw. Bedienung der Maschine aufhalten. Die Durchsichtigkeit der Plane erlaubt auch Einsicht in den Arbeitsbereich. Die systemische Integration der Steuerung der DURFOG-Staubunterdrückungsanlage in die Maschinensteuerung ermöglicht es, die Erzeugung des Wasserdampfes automatisch mit dem Vortrieb der Maschine ein- bzw. auszuschalten.

5. Vorteile der DURFOG-Technologie

Die Vorteile der neuen DURFOG-Technologie zur hocheffizienten Reduktion von Staub lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die DURFOG-Staubniedernebelung kann gemäß Berufsgenossenschaft BG BAU eine nachgewiesene Alternative zum Absaugen darstellen.
- Sie ermöglicht einen reduzierten Wassereinsatz und verkürzt Baustellenauf- und -abrüstzeiten.
- Das System bietet schnelle Einsatzbereitschaft. Es wird an den Staubentstehungsstellen permanent mitgeführt und kann vor Ort um Planen erweitert werden.
- Logistikketten werden verschlankt und eine effizientere Gleisbefahrbarkeit wird erreicht.
- Die Arbeitssicherheit wird durch entfallende Begleitarbeiten erhöht.

- Die Technologie ist an verschiedene Maschinentypen adaptierbar und nachrüstbar.

Das System DURFOG erfüllt alle Anforderungen an ein modernes, ressourcenschonendes und hocheffizientes System zur Staubreduktion im Bereich des spurgeführten Verkehrs und seiner benötigten Gleisbaumaschinen. ●

Literatur

- [1] Technische Regeln für Gefahrenstoffe, TRGS 559, Ausgabe: Februar 2010.
- [2] Bode, G., Michael, S., Frühwirt, D.: Abriebedingte Emissionen aus dem Schienenverkehr. EI - Der Eisenbahningenieur, 8/2024. S. 16-20.
- [3] Arbeitsanweisung Gleisbettreinigung. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft. Version 1.1, 11.03.2022.
- [4] Schachner, W., Wörgötter, H.: Maschinelle Instandhaltung von Schottergleisen in Tunneln: Erfahrungen und aktuelle Methoden. ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, 2/2019. SS. 54-58.
- [5] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Baustelleneinrichtung: Staubarmes Arbeiten. März 2021. <https://www.baua.de>

Summary

Fog instead of extraction - development of an innovative technology to reduce dust

The topic of dust has arrived in track construction: Action programmes, concepts for measures, discussion groups, regulations, workplace limit values, scientific work, European networks. Now a technology is emerging to fulfil these requirements in a smart way. Dust is captured at source. The DURFOG system fulfils all the requirements of a modern, resource-saving and highly efficient system for dust reduction in the area of track-laying machines.