

**Gemtec GmbH**

**Entwicklung eines ökologischen Hydropotentialausgleichs für nichtmetallische Reibbeläge als Voraussetzung für die Trägerplatten-Pulverbeschichtung von Bremsbelägen  
HydroPotentialausgleich**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem Az:34596  
von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Jan Burschik

Königs Wusterhausen

Mai 2021

**Gemtec GmbH**

**Entwicklung eines ökologischen Hydropotentialausgleichs für nichtmetallische Reibbeläge als Voraussetzung für die Trägerplatten-Pulverbeschichtung von Bremsbelägen  
HydroPotentialausgleich**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem Az:34596  
von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Jan Burschik

Königs Wusterhausen

Mai 2021

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

Az **34596**Referat **21/2**

Fördersumme 42.995,92 €

**Antragstitel** **Entwicklung eines ökologischen Hydropotentialausgleichs für nichtmetallische Reibbeläge als Voraussetzung für die Trägerplatten-Pulverbeschichtung von Bremsbelägen - HydroPotentialausgleich**

**Stichworte** Wasserverbrauchreduzierung, umweltfreundliche Verfahren

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>18 Monate</b>	<b>01.03.2019</b>	<b>31.08.2020</b>	<b>1</b>

Zwischenberichte	Februar 2020
------------------	--------------

**Bewilligungsempfänger** Gemtec GmbH  
Am Möllenberg 37  
15711 Königs Wusterhausen

Tel 03375 9227 - 150  
Fax

Projektleitung  
Herr Gawalek

Bearbeiter

**Kooperationspartner**

### ***Zielsetzung und Anlass des Vorhabens***

Bremsbeläge, bestehend aus Reibbelag und Trägerplatte, werden in vielen Fällen aus Qualitätsgründen lackiert. Die Funktion des Lackes besteht darin, die Trägerplatte des Bremsbelages bei dem Transport vom Produzenten zum Abnehmer vor Korrosion sowie Oxidationen zu schützen und somit optische Vorteile zu wahren. Die elektrostatische Pulverlackbeschichtung erweist sich bisher als hervorragendes Beschichtungsverfahren, da die Reibbeläge derzeit einen hohen metallischen Anteil und somit eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Dieses Verfahren zeichnet sich durch einen hohen ökonomischen Grad und hohe Wirtschaftlichkeit aus. Die Lackierung der Bremsbeläge ist aufgrund der zunehmend verringerten elektrischen Leitfähigkeit der Reibbeläge nur noch schwer möglich, da die Erdung der Bremsbeläge negativ beeinträchtigt wird. Ziel des Projektes war es, eine neuartige, ökologisch orientierte Applikation zur Vorbehandlung der Bremsbeläge zu entwickeln, um einen zuverlässigen Potentialausgleich (Erdung) für nichtmetallische Reibbeläge als Grundlage für die Pulverbeschichtung gewährleisten zu können.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

Vertiefende Untersetzung der Aufgabenstellung; Entwicklung der Teilfunktionen: Labortechnische Untersuchung und Entwicklung der Teilfunktion – Wasser applizieren, Labortechnische Untersuchung und Entwicklung der Teilfunktion – Bremsbelag transportieren, Labortechnische Untersuchung und Entwicklung der Teilfunktion – Fördersystem entfeuchten; Herstellung und Erprobung von Funktionsmustern – Weiterentwicklung der Applikationsanlage: Herstellung von Funktionsmustern, Versuchsdurchführung und Prozessparameterermittlung mit Applikationsanlage, Entwicklung und Erprobung des sensorgestützten Kontroll- und Rückführungssystems

## ***Ergebnisse und Diskussion***

Ergebnis des Projektes ist eine neuartige Applikation zur Vorbehandlung der Bremsbeläge erforderlich, die wirtschaftlicher und qualitativ höherwertig produzieren kann. Dies wird durch ein kosteneffizientes und zeiteinsparendes Verfahren umgesetzt. Ferner unterscheiden sich bestehende Produktionsanlagen für Bremsbeläge (einschließlich der Pulverlackier-anlagen). Aus diesem Grund wurde neben dem Auftragsverfahren auch der Aufbau der Anlage berücksichtigt. Der Platzbedarf für den Transport der Bremsbeläge wurde ebenso wie die Anschlussmaße der umliegenden Produktionsschritte bei der neu entwickelnden Anlage berücksichtigt. Hieraus folgte ein modular gestalteter Aufbau, sodass ein einfaches Implementieren in die verschiedenen Produktionsprozesse möglich ist.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Mit den Projektergebnissen steht eine ganzheitliche Methodik auch für andere Einsatzbereiche wie z.B. Beschichtung von Oberflächen aus nichtmetallischen Materialien zur Verfügung.

In engem Kontakt zu Anwendern von Beschichtungs- oder Lackieranlagen erwächst daraus ein großes Potenzial, die im angeschlossenen Vorhaben entwickelnden Technologien in der Praxis zeitnah umzusetzen. Eine Patentanmeldung des Antragstellers zur Absicherung des entstehenden Alleinstellungsmerkmals ist bereits erfolgt. Die Nutzung ist überwiegend intern geplant, jedoch ist die Möglichkeit einer Lizenzierung in Vorbereitung.

Um den Bedarf nach einer schnellen Implementierung innovativer Beschichtungssysteme in der Industrie gerecht zu werden, wird nach dem Projekt besonderer Wert darauf gelegt, die erzielten Projektergebnisse der Öffentlichkeit vorzustellen. Hierzu bieten Fachzeitschriften und Messeauftritte des Antragstellers sowie Schulungen von Anwendern ein weiteres Forum zum breiten Transfer der Ergebnisse.

## ***Fazit***

Der Einsatz von Wasser als Leitmedium stellt einen neuen Ansatz für Reibbeläge ohne metallische Anteile dar, erforderte jedoch entwicklungs-technische Lösungen zur Gewährleistung der zuvor geltenden Umgebungsbedingungen und damit zur Einhaltung der Taktzeiten.

Zielgrößen des zu entwickelnden Verfahrens für den Hydropotentialausgleichs ist u.a. die 100%ige Nutzung des Pulverlacks durch Wiedereinbringung der überschüssigen Pulverpartikel vom Band. Insbesondere die geringen Taktzeiten von 4 s im Zusammenhang mit dem kontinuierlichen Beschichtungsprozess in einer Hochleistungs-Pulverbeschichtungsanlage erfordern optimale Umgebungsbedingungen. Diese wurden bisher durch die „trockene“ Erdung mittels hohem metallischen Anteil in den Reibbelägen sichergestellt.

Der Aufbau eines Bremsbelages (Trägerplatte + Reibbelag) und dessen Platzierung mit dem Reibbelag auf dem Förderband und der nach oben ausgerichteten, da zu beschichtenden Trägerplatte erfordert eine **partielle Benetzung der Reibbelag-Seitenfläche**.

Im Ergebnis der Projektdurchführung konnte eine Anlage entwickelt werden, die Wasser auf die Reibbeläge **partiell** appliziert. Die partielle Oberflächenbenetzung konnte erfolgreich und zuverlässig nachgewiesen werden.

## **Inhaltsverzeichnis**

Vorderer Deckel	S. 1
Titelblatt	S. 2
Projektkennblatt	S. 3 - 4
Inhaltsverzeichnis	S. 5
Verzeichnis von Bildern und Tabellen	S. 6
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	S. 6
Zusammenfassung	S. 7
Einleitung	S. 8 - 11
Hauptteil	S. 12 - 40
Fazit	S. 41
Literaturverzeichnis	S. 42
Rückendeckel	S. 43

## Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Tabelle 1:	Übersicht zu vorausgewählten Sprühsystemen .....	13
Tabelle 2:	Unterscheidungsmerkmale der Sprühsysteme mit konkreten Werten .....	13
Tabelle 3:	Flüssigkeitszuführung bei Zweistoffdüsen.....	16
Tabelle 4:	Federeigenschaften Z-066OI [26] .....	21
Tabelle 5:	Machbarkeitsstudie zur Applikation .....	29
Tabelle 6:	Parameter für die Applikation (Zweistoffdüse) .....	33
Tabelle 7:	Gegenüberstellung der Pulverlackierungsergebnisse .....	35
Tabelle 8:	Parameter für die Applikation (Zweistoffdüse) .....	36
Tabelle 9:	Gegenüberstellung der Entfeuchtungsergebnisse Abstreifer .....	38
Tabelle 10:	Parameter für Druckluftdüse.....	39
Tabelle 11:	Gegenüberstellung der Entfeuchtungsergebnisse Druckluftdüse .....	39

Abbildung 1:	Schematische Darstellung eines Bremsbelags.....	8
Abbildung 2:	Darstellung der elektrostatischen Pulverlackbeschichtung (nach [4]) ...	8
Abbildung 3:	Auswahlliste für Befeuchtung .....	15
Abbildung 4:	Sprühverhalten (unten, hinten) .....	17
Abbildung 5:	Sprühverhalten (unten, vorne) .....	17
Abbildung 6:	Sprühverhalten (oben, hinten) .....	18
Abbildung 7:	Sprühverhalten (oben, vorne) .....	18
Abbildung 8:	Prallblech .....	19
Abbildung 10:	Prallblech Vorder- und Seitenansicht .....	20
Abbildung 11:	Abstreifersystem als Unterbau .....	21
Abbildung 12:	Druckluftentfeuchter als Unterbau .....	23
Abbildung 13:	Sprühverhalten der Druckluftdüsen.....	23
Abbildung 14:	Kombination der Entfeuchtungssysteme .....	24
Abbildung 15:	Kombination der Entfeuchtungssysteme mit Sprühcharakter.....	24
Abbildung 16:	Separierband - Seitenansicht .....	25
Abbildung 17:	Separierband - Vogelperspektive .....	25
Abbildung 18:	Schematische Darstellung des angepassten Separierbandes .....	26
Abbildung 19:	Erweiterung zur Automatisierung.....	27
Abbildung 20:	Versuchsaufbau der Machbarkeitsstudie zur Applikation .....	28
Abbildung 21:	Tröpfchengrößenbereich nach Düsentyp [20] .....	29
Abbildung 22:	Pulverkabine .....	30
Abbildung 23:	Zustellung des Abstreifersystems ohne zusätzlichen Abstreifer.....	30
Abbildung 24:	Schaltplan für die Applikation.....	32
Abbildung 25:	Auszug Sprüheigenschaften für Zerstäuberdüse 166.4 [20] .....	32
Abbildung 26:	Tropfenabscheidung bei Wasserapplikation (Versuch 1 -3) .....	33
Abbildung 27:	Normalnennendurchfluss in Abhängigkeit der Spindelumdrehung.....	34
Abbildung 28:	Minimalmenge Wasser auf Bremsbelag und Fördergurt .....	34
Abbildung 29:	Abstreiferübersicht für mechanische Entfeuchtung .....	37
Abbildung 30:	Zusammenbau Entfeuchtungssysteme.....	40

## Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

NAO Non Asbestos Organics

## Zusammenfassung

Die elektrostatische Pulverlackbeschichtung erweist sich bisher als hervorragendes Beschichtungsverfahren, da die Reibbeläge derzeit einen hohen metallischen Anteil und somit eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Dieses Verfahren zeichnet sich durch einen hohen ökonomischen Grad und hohe Wirtschaftlichkeit aus.

Zur Sicherung der Nachhaltigkeit der Umwelt ist allerdings das Bestreben entstanden, die metallischen Anteile im Reibbelag zu minimieren bis hin zur Substitution sämtlicher metallischer Anteile. Diese Veränderungen erschweren die standardisierte elektrostatische Pulverlackbeschichtung. Die Lackierung der Bremsbeläge ist aufgrund der verringerten elektrischen Leitfähigkeit der Reibbeläge nur noch schwer möglich, da die Erdung der Bremsbeläge negativ beeinträchtigt wird. Es kann keine ausreichend hohe elektrische Haftung der Pulverlackpartikel am Bremsbelag gewährleistet werden. Hieraus resultieren schlechte Oberflächengüten. Ferner stellt sich eine unsichere qualitative Reproduzierbarkeit ein. Diese qualitativen Beeinträchtigungen gilt es schnellstmöglich zu beseitigen.

Bisher hat sich kein anderes Verfahren als das elektrostatische Pulverlackierbeschichten für das Beschichten von Bremsbelägen durchsetzen können.

Der Einsatz von Wasser als Leitmedium stellt einen neuen Ansatz für Reibbeläge ohne metallische Anteile dar, erforderte jedoch entwicklungs-technische Lösungen zur Gewährleistung der zuvor geltenden Umgebungsbedingungen und damit zur Einhaltung der Taktzeiten.

Die Zielgrößen des entwickelnden Verfahrens für den Hydropotentialausgleichs ist u.a. die 100%ige Nutzung des Pulverlacks durch Wiedereinbringung der überschüssigen Pulverpartikel vom Band. Insbesondere die geringen Taktzeiten von 4 s im Zusammenhang mit dem kontinuierlichen Beschichtungsprozess in einer Hochleistungs-Pulverbeschichtungsanlage konnten realisiert werden. Diese wurden bisher durch die „trockene“ Erdung mittels hohem metallischen Anteil in den Reibbelägen sichergestellt.

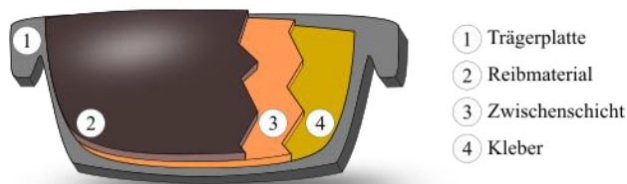
Zur Vermeidung von Schlieren in der Pulverlackbeschichtung ist eine kontaktlose Erdung notwendig. Ferner ist eine variable Schichtdickenbildung möglich. Die Schichtdicke ist vom Pulverlackhersteller vorgegeben oder vom Kunden gefordert. Die herzustellende Schichtdicke steht gewissermaßen in Abhängigkeit zur bestehenden Erdung. Aus diesem Grund kann eine individuell einstellbare Erdung erzielt werden.

Ergebnis des Projektes ist eine neuartige Applikation zur Vorbehandlung der Bremsbeläge erforderlich, die wirtschaftlicher und qualitativ höherwertig produzieren kann. Dies wird durch ein kosteneffizientes und zeiteinsparendes Verfahren umgesetzt. Ferner unterscheiden sich bestehende Produktionsanlagen für Bremsbeläge (einschließlich der Pulverlackieranlagen). Aus diesem Grund wurde neben dem Auftragsverfahren auch der Aufbau der Anlage berücksichtigt. Der Platzbedarf für den Transport der Bremsbeläge wurde ebenso wie die Anschlussmaße der umliegenden Produktionsschritte bei der neu zu entwickelnden Anlage berücksichtigt. Hieraus folgte ein modular gestalteter Aufbau, sodass ein einfaches Implementieren in die verschiedenen Produktionsprozesse möglich ist.

Das Projekt wurde ohne einen Kooperationspartner bearbeitet und erhielt eine DBU-Förderung unter dem Aktenzeichen Az:34596.

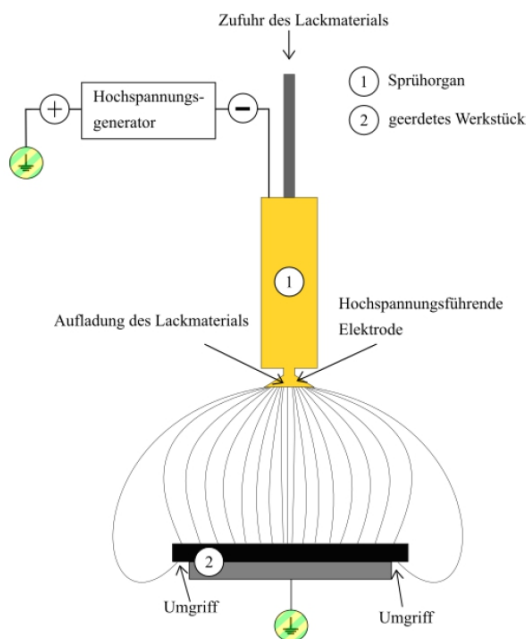
## Einleitung

Bremsbeläge, bestehend aus Reibbelag und Trägerplatte, werden in vielen Fällen aus Qualitätsgründen lackiert. Die Funktion des Lackes besteht darin, die Trägerplatte des Bremsbelages bei dem Transport vom Produzenten zum Abnehmer vor Korrosion sowie Oxidationen zu schützen und somit optische Vorteile zu wahren.



**Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Bremsbelags**

Die elektrostatische Pulverlackbeschichtung erweist sich bisher als hervorragendes Beschichtungsverfahren, da die Reibbeläge derzeit einen hohen metallischen Anteil und somit eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Dieses Verfahren zeichnet sich durch einen hohen ökonomischen Grad und hohe Wirtschaftlichkeit aus.



**Abbildung 2: Darstellung der elektrostatischen Pulverlackbeschichtung (nach [4])**

Zur Sicherung der Nachhaltigkeit der Umwelt ist allerdings das Bestreben entstanden, die metallischen Anteile im Reibbelag zu minimieren. Die Veränderungen der Zusammensetzungen umfassen sogar die Substitution sämtlicher metallischer Anteile. Diese Veränderungen erschweren die standardisierte elektrostatische Pulverlackbeschichtung. Die Lackierung der Bremsbeläge ist aufgrund der verringerten elektrischen Leitfähigkeit der Reibbeläge nur noch schwer möglich, da die Erdung der Bremsbeläge negativ beeinträchtigt wird. Es kann keine ausreichend hohe elektrische Haftung der Pulverlackpartikel am Bremsbelag gewährleistet werden. Hieraus resultieren schlechte Oberflächengüte. Ferner stellt sich eine unsichere qualitative Reproduzierbarkeit ein. Diese qualitativen Beeinträchtigungen gilt es schnellstmöglich zu beseitigen.



Die Gemtec GmbH als Hersteller von Anlagen für die elektrostatische Pulverlackbeschichtung von Bremsbelägen steht in diesem Sinne vor dem Problem, dass kundenseitig ein verändertes Anforderungsprofil an die Anlagen entsteht. Die Anpassung der Anlagen gestaltet sich jedoch schwierig. Bisher hat sich kein anderes Verfahren als das elektrostatische Pulverlackierbeschichten für das Beschichten von Bremsbelägen durchsetzen können. Somit steht im weitesten Sinne kein Alternativverfahren zur Verfügung.

Aus dieser kurz dargestellten Problemstellung resultiert die Aufgabenstellung (und ein angemeldetes Patent), die diesem Projektantrag zugrunde liegt. Um als Vorreiter in dem Marktbereich als Hersteller für ökologisch-orientierte elektrostatische Pulverbeschichtungsanlagen im Automotivbereich hervorzugehen und dort bestehen zu können, muss eine flexible Anpassung an die neuen Anforderungen geschehen.

Beim Bremsvorgang werden die Reibbeläge der Bremsbeläge abrasiv verschlissen. Das hat zur Folge, dass bei jedem Bremsvorgang kleinste Partikel der Reibbeläge in die Umwelt gelangen. Einige Inhaltsstoffe der Zusammensetzung, die gute Eigenschaften zum Bremsverhalten beitragen, sind schädlich für die Umwelt und ebenso toxisch für den Menschen. An dieser Stelle sei Asbest erwähnt, der trotz seiner guten Eigenschaften hinsichtlich des Bremsverhaltens aus Umweltgründen als Bestandteil von Reibbelägen komplett entfernt wurde. Ausschlaggebender Aspekt war, dass Asbest nachweislich karzinogen wirkt. [3]

Weiterhin stehen die sogenannten ABC-haltigen Reibbeläge in negativer Diskussion. Diese Elemente bieten auf der einen Seite wie auch Asbest gute Eigenschaften für das Bremsverhalten. Beispielsweise sei die Eignung für die Anwendungen als Hochtemperaturschmierstoff und als Stabilisator der Reibwerte bei hohen Temperaturen erwähnt. Auf der anderen Seite steht die nachgewiesene Toxizität, die von diesen Elementen ausgeht. [1]

Eine weitere Debatte wird über Kupfer und dessen Legierungen, welche als Schmierstoff in Reibbelägen fungieren, gehalten. In den USA, welche einen wichtigen Exportmarkt für europäische Automobilhändler darstellen, ist ein vermehrtes Aufkommen von Kupfer in der Umwelt zu verzeichnen. Kupfer kann in ionisierter Form Mikroorganismen beeinträchtigen und schädigen und somit die Naturkette negativ beeinflussen. Aus diesem Grund besteht ein Bestreben zur Vermeidung von Kupfer in der Zusammensetzung von Reibbelägen.

Die soeben aufgeführten Debatten verdeutlichen die Relevanz und die unabdingbare Notwendigkeit, Veränderungen in der Zusammensetzung der Reibbeläge vorzunehmen. Diese Veränderungen müssen unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Bremse und Bremsverhaltens angegangen werden. Nachfolgend werden die Reibmaterialkonzepte, die sich in Bezug auf die Umweltschonung und Wahrung des Bremskomforts durchgesetzt haben, kurz beschrieben.

### Semimetallische Reibbeläge

Mit der Erkenntnis, dass Asbest schädlich für den Menschen ist, war der erste Schritt die Substitution von Asbest mit Eisenpulver und Stahlwolle. Diese anfangs gefundene Lösung schien zunächst optimal, allerdings erwies sich bei hohen Temperaturen die neue Zusammensetzung der Reibmaterialien als thermisch instabiler. Dieser Umstand führte in Ländern ohne Geschwindigkeitsbegrenzung und bei Fahrzeugen mit hohen Massen zu einem überproportionalen ablativen Verschleiß, was durchaus unattraktiv für den Absatzmarkt ist. Dem gegenüber stehen ein fast unerreichbares Verschleißverhalten und

gute Komfoteigenschaften, wenn eine Anwendung bei geringen Geschwindigkeiten und Fahrzeugmassen stattfindet. [3]

#### Low Steel Reibbeläge

Im Zuge der Substitution von Asbest wurden faserhaltige Reibbeläge entwickelt, deren organische und anorganische Fasern die Eigenschaften von Asbest weitestgehend abbildeten. Jedoch besteht derzeit die Tendenz der Entwicklung in Richtung Anteilsminimierung der Fasern, da die Fasern unter anderem wie auch Asbest karzinogen wirken. [3]

#### NAO-Reibbeläge

NAO ist ein Akronym und steht für „Non Asbestos Organics“. Hierbei handelt es sich um ein organisch gebundenes Material, das keine Stahlwolle oder Eisenpulver enthält. Die Entwicklung dieses Reibmaterialkonzepts erfolgte in Japan zeitgleich zu den europäischen Entwicklungen der semimetallischen Reibbeläge. Diese Reibbelagszusammensetzung zeichnet sich durch ein gutes Komfortverhalten und ebenso durch ein gutes Verhalten beim Verschleiß aus. Nichtsdestotrotz ist dieses Materialkonzept ungeeignet für den europäischen Markt, da es ungünstig für Fahrzeuge mit hohem Gewicht und Länder ohne Geschwindigkeitsbegrenzung ist. [1]

#### Metallfreie Reibbeläge

Metallfreie Reibbeläge ähneln dem soeben beschriebenen Konzept. Ferner werden keine Buntmetalle wie z.B. Kupfer, Bronze oder Messing verwendet. Die fehlenden Metalle wirken sich negativ auf das gesamte Bremssystem aus, da das thermische Verhalten der Reibbeläge stark beeinflusst wird. Es kommt zu einer schlechten Wärmeabfuhr im Bremssystem, was letztendlich zum Versagen der Bremsfunktion führen kann. Grund hierfür liegt in einem Hitze- bzw. Wärmestaus, der nicht über die metallischen Anteile im Reibbelag abgeführt werden kann. Darüber hinaus sind reduzierte mechanische Festigkeiten zu verzeichnen. [3]

#### Hybridbeläge

Mit dem Konzept der Hybridbeläge versucht man die Vorteile der NAO- und der Low Steel-Reibbeläge zu kombinieren. Im Speziellen handelt es sich hierbei um die Komfortvorteile der NAO-Reibbeläge und die reibtechnischen Hochleistungseigenschaften der Low Steel-Reibbeläge. Die Nachteile der Konzepte sollen in dieser Vereinigung minimiert bzw. bestenfalls komplett umgangen werden. [3]

Die dargestellten Ausführungen zeigen den starken Wandel der Zusammensetzung der Reibbeläge. In allen Fällen ist ein reduzierter Anteil an leitfähigen Materialien vorzufinden, womit dementsprechend eine Senkung der elektrischen Leitfähigkeit der Reibbeläge einhergeht.

Die elektrostatische Pulverlackbeschichtung erweist sich bisher als hervorragendes Beschichtungsverfahren, da die Reibbeläge derzeit einen hohen metallischen Anteil und somit eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Dieses Verfahren zeichnet sich durch einen hohen ökonomischen Grad und hohe Wirtschaftlichkeit aus.

Zur Sicherung der Nachhaltigkeit der Umwelt ist allerdings das Bestreben entstanden, die metallischen Anteile im Reibbelag zu minimieren bis hin zur Substitution sämtlicher metallischer Anteile. Diese Veränderungen erschweren die standardisierte elektrostatische Pulverlackbeschichtung. Die Lackierung der Bremsbeläge ist aufgrund der verringerten elektrischen Leitfähigkeit der Reibbeläge nur noch schwer möglich, da die Erdung der Bremsbeläge negativ beeinträchtigt wird.

Es kann keine ausreichend hohe elektrische Haftung der Pulverlackpartikel am Bremsbelag gewährleistet werden. Hieraus resultieren schlechte Oberflächengüten. Ferner stellt sich eine unsichere qualitative Reproduzierbarkeit ein. Diese qualitativen Beeinträchtigungen gilt es schnellstmöglich zu beseitigen.

Bisher hat sich kein anderes Verfahren als das elektrostatische Pulverlackierbeschichten für das Beschichten von Bremsbelägen durchsetzen können

## Hauptteil

### 1. Bremsbeläge befeuchten

Es existiert eine umfassende Bandbreite an verschiedenen Düsen, die zur Befeuchtung von Werkstücken eingesetzt werden können. Das Düsenortiment des Unternehmens „Lechler GmbH“ liegt wie auch bei den Druckluftdüsen den nachfolgenden Betrachtungen zugrunde. [21],[22],[23]





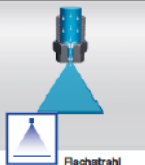
Eine mögliche Eingrenzung bei den zu betrachtenden Düsen konnte dahingehend vorgenommen werden, dass unter Berücksichtigung der Anforderungsliste aus wirtschaftlichen und technischen Gründen eine Minimalmenge Wasser auf die Bremsbeläge appliziert werden soll. Hierbei kommt es auf eine gute Regulierbarkeit und Steuerung bei der Zufuhr des zu applizierenden Mediums an. Ferner weisen die verschiedenen Sprühsysteme unterschiedliche Sprühcharaktere auf anhand deren eine Eingrenzung vorgenommen werden kann. Die Unterscheidungsmerkmale der Sprühcharaktere sind nachstehend aufgelistet und stellen ebenfalls eine Möglichkeit dar, eine sinnvolle Eingrenzung vorzunehmen: [21]

- Volumenstrom
- Strahlwinkel
- Flüssigkeitsverteilung
- Tropfengröße und Tropfenspektrum

In Tabelle 1 sind fünf vorausgewählte Sprühsysteme aufgelistet und mit ausschlaggebenden Charakteristika beschrieben. Diese Tabelle half bei der ersten Eingrenzung der Sprühdüsenysteme.

Das konventionelle Applizieren des Wassers mithilfe von Düsen hat zwangsläufig zur Folge, dass Wasser als Overspray verloren geht, sofern keine Rückgewinnung vorgesehen ist. Es ist aus technischen Gründen nicht möglich, ein dermaßen gezieltes Auftragen zu ermöglichen, sodass kein Overspray entsteht. Aus diesem Grund bestand das dringende Bestreben, den Overspray zu minimieren. Dieses Bestreben konnte mithilfe einer geeigneten Strahlenform umgesetzt werden. Bei der ersten Eingrenzung wurde aus diesem Grund die Strahlenform genauer analysiert. Es war auf Anhieb erkennbar, dass Flachstrahldüsen den Düsen mit einem Hohlkegel- oder Vollkegelstrahl vorzuziehen sind. Bei den zuletzt genannten Düsen wird aufgrund der Strahlenform viel mehr Wasser benötigt und zudem weitaus mehr als Oversprayverluste unbrauchbar. Das Sprühsystem Vario-Spray II weist ebenfalls einen Hohlkegelstrahl auf und müsste aus den zu betrachtenden Varianten entfallen. Dieses System wurde allerdings eigens für Anwendungen mit Minimalmengeneinsatz entwickelt und verwendet demnach niedrigste Flüssigkeitsmengen, sodass der Overspray im Vergleich zu den Flachstrahldüsen nur geringe Unterschiede aufweist. Die Pneumatik-Zerstäuberdüsen besitzen den entscheidenden Vorteil, Düsen variabel anzubringen, sodass verschiedene Strahlenformen in Abhängigkeit der gewünschten Anwendung realisiert werden können. Es stellt demnach kein Problem dar, eine Flachstrahldüse für diese Anwendung einzusetzen.

**Tabelle 1: Übersicht zu vorausgewählten Sprühsystemen**

Sprühsystem	Schematische Darstellung*	Bemerkung
VarioSpray II		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Minimale Volumenströme</li> <li>– Keine zusätzliche Zerstäubungsluft</li> <li>– Konstante Prozessparameter</li> <li>– Hohe Produktivität (Taktung bis zu 100 Hz)</li> </ul>
Pneumatik-Zerstäuberdüse (Zweistoffdüse)		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Anwendung: Bandbefeuchtung</li> <li>– Verschiedene Wirkprinzipien</li> <li>– Einsatz diverser Düsen ermöglicht verschiedene Strahlenform</li> </ul>
Hohlkegelstrahl A) Axial ~ B) Exzenter ~		<ul style="list-style-type: none"> <li>A) Erzeugung feinstmöglicher Tropfen</li> <li>B) größere Tröpfchen</li> <li>Selbstreinigend, verstopfungsunanfällig</li> </ul>
Vollkegelstrahl A) Axial ~ B) Tangential ~ C) Bündeldüse		<ul style="list-style-type: none"> <li>A) gleichmäßige Flüssigkeitsverteilung großer Volumenstrombereich</li> <li>B) Betriebssicher, verstopfungsunanfällig Druckstabiler Strahlenwinkel</li> <li>C) Vergrößerte Tropfenoberfläche Feine, nebelartige Zerstäubung</li> </ul>
Flachstrahl		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Anwendung: Beschichtung</li> <li>– Gleichmäßige Flüssigkeits- und Druckverteilung</li> <li>– Kleine Leistungsgrößen für Befeuchtungsvorgänge</li> </ul>
* Die schematischen Darstellungen sind dem Produktkatalog entnommen. [20]		

Im Zuge der weiteren Betrachtungen wurden die drei verbliebenen Sprühsysteme (VarioSpray II, Zerstäuberdüse und Flachstrahldüse) gegenübergestellt und anhand der zuvor aufgelisteten Unterscheidungsmerkmale der Sprühcharaktere verglichen und bewertet (siehe Abbildung 3). Zudem fließen die Kosten in die endgültige Entscheidung ein, da der wirtschaftliche Aspekt unter keinen Umständen vernachlässigt werden sollte. Zur Nachvollziehbarkeit der Entscheidungsfindung befindet sich in der Tabelle 2 eine Auflistung der Unterscheidungsmerkmale mit konkreten Werten.

**Tabelle 2: Unterscheidungsmerkmale der Sprühsysteme mit konkreten Werten**

Unterscheidungsmerkmal	Einheit	VarioSpray II	Pneumatik-Zerstäuberdüse	Flachstrahldüse
Volumenstrom	[ml/min]	11-239	18-373	160-633 *
Strahlwinkel	[ ° ]	75-120	45-80	20-120
Flüssigkeitsverteilung		(?)	parabelförmig	parabelförmig
Tropfengröße	[µm]	**	40-90	300-1200
* Die Werte sind repräsentativ und wurden anhand ähnlicher Prozessparameter ermittelt. ** Keine genaue Angaben - in etwa wie Tropfengröße der Pneumatik-Zerstäuberdüse				

Für die Ermittlung des **Volumenstromes** wurde ein Bremsbelag zur Hilfe genommen, der als Ausgangspunkt für die Berechnung der zu applizierenden Wassermenge dient. Hierzu wird angenommen, dass die beiden kurzen Seiten sowie eine der beiden langen Seiten des Bremsbelages befeuchtet werden. Aufgrund der fehlenden Erfahrung und Forschung in diesem speziellen Anwendungsbereich konnten keine expliziten Vorgaben getätigt werden. Die Berechnungen beruhen zwangsweise auf Vermutungen und Annahmen. Mit einer angenommenen Wasserschichtdicke  $s_{\text{Wasser}} = 0,5\text{mm}$  ergibt sich bei den Abmessungen des Bremsbelages  $12 \times 5 \times 3\text{ cm}$  und einer Taktung bei der Pulverlackierung  $t = 20$  Bremsbeläge/min ein Volumenstrom  $V = 66\text{ ml/min}$ . Aufgrund des unvermeidbaren Oversprays musste dieser Wert angepasst werden. Da keine konkreten Werte für einen Overspray vorliegen, wurde eine annäherungsweise Verdopplung des Wertes durchgeführt. Aufgrund dessen diente der theoretisch ermittelte Volumenstrom  $V \sim 110\text{ ml/min}$  als Zielkriterium. Als Vergleichswert und Zielkriterium genügt dieser Wert in erster Instanz, da die Ausgangslage für die Düsen gleich ist.

Der **Strahlwinkel** steht in Abhängigkeit zur jeweiligen Düse und kann nicht individuell eingestellt werden. Für die praktische Anwendung war ein möglichst geringer Strahlwinkel vorzuziehen, sodass der Overspray möglichst gering ausfällt. Aus diesem Grund sind auch lediglich die Spannen und nicht jede Zwischenstufe in der zuvor stehenden Tabelle dargestellt. Die Eignung einer Düse bezüglich des Strahlwinkels kann am kleinsten Strahlwinkel erkannt werden.

Die **Flüssigkeitsverteilung** spielt dahingehend eine Rolle, dass die Anordnung des Sprühsystems zum Bremsbelag davon abhängt. Bei dem Sprühsystem VarioSpray II kann keine Verteilung benannt werden. Da es sich bei diesem System allerdings um eine Hohlkegeldüse handelt, musste davon ausgegangen werden, dass ein vermehrtes Auftreten der Flüssigkeit im Außenbereich vorzufinden ist. Bei den anderen beiden zur Auswahl stehenden Sprühsystemen findet sich eine parabelförmige Verteilung des Sprühcharakters an. Ein möglicher Vorteil liegt darin, dass automatisch ein geringerer Overspray bei zentrierter Bestrahlung entsteht, da im Randbereich weniger Flüssigkeit versprüht wird.

Die **Strahlkraft** und der **Strahldruck** spielen in der Anwendung der Beschichtung eine geringe Rolle. Diese Kriterien kommen bei Anwendungen wie zum Beispiel Reinigung oder Abtragungen zum Tragen. Die betrachteten Sprühsysteme sind nicht für diese Anwendungen konzipiert und weisen demnach keine signifikant hohen Kräfte bzw. Drücke auf. Bei dem Auftragen geringster Flüssigkeitsmengen könnte dies auch zu negativen Nebeneffekten führen, wenn die Wasserpartikel mit einer zu hohen Kraft auf den Bremsbelag treffen, dort reflektiert werden und ankommende Partikel behindern.

Die **Tropfengröße** hängt bei den Sprühsystemen von verschiedenen Einflussfaktoren ab. Bei den Einstoffdüsen sind der Wasserdruck und die Düsenart ausschlaggebend. Für die Zweistoffdüse ist lediglich das Verhältnis des Luft- und Wasserdruckes entscheidend. In beiden Systemen ist eine Einstellbarkeit gewährleistet. In Hinblick auf eine Kleinstmengende Wasser als Beschichtung scheinen kleinere Tropfen von Vorteil zu sein. Diese lassen eine feinere Vernetzung der Oberfläche vermuten. Bei größeren Tropfen schlägt sich schneller Flüssigkeit auf dem Transportband nieder. Unter Berücksichtigung der anderen Teilfunktionen (Fördersystem entfeuchten) wird eine minimale Bandbefeuchtung angestrebt. Daraus ergibt sich eine kleinstmögliche Tropfengröße.

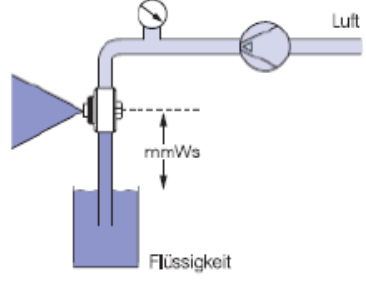
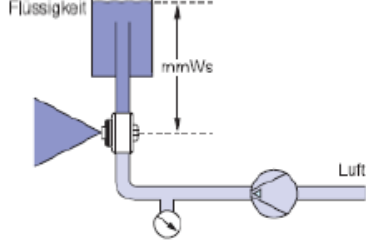
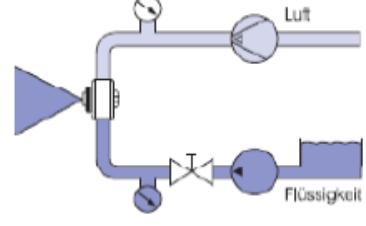
Gemtec GmbH		Auswahlliste für "Bremsbeläge befeuchten"						
Lösungsvariante (Lv) eintragen	Lösungsvariante (Lv) nach Auswahlkriterien beurteilen:					Entscheiden		
	(+) ja (-) nein (o) befriedigend (?) Informationsmangel (!) Anforderungsliste überprüfen					Lösungsvariante (Lv) kennzeichnen		
						(+) Lösung anwenden (-) Lösung scheidet aus (?) Information beschaffen (!) Anforderungsliste auf Änderung prüfen		
	Volumenstrom Strahlwinkel Flüssigkeitsverteilung Strahl Druck Tropfengröße Kosten im Vergleich zueinander					Entscheidung		
Lv	A	B	C	D	E	F	Bemerkungen (Hinweise, Begründungen)	
VarioSpray II	o	-	-	+	?	+	eine Ausführung, begrenzter Anwendungsbereich	-
Zweistoffdüse	+	+	o	+	+	+	benötigt Druckluft, flexibler Einsatz	+
Flachstrahldüse	+	+	o	+	o	+	viele Ausführungen, aufwendige Regulierung	-

**Abbildung 3: Auswahlliste für Befeuchtung**

Der getätigten Entscheidung zur Auswahl und Weiterverfolgung der Zweistoffdüse ging ein ausführliches Gespräch mit einem Mitarbeiter der Lechler GmbH voraus. Der persönlichen Einschätzung zufolge, eigne sich die Zweistoffdüse maßgeblich und sei neben den aufgezeigten Vorteilen aufgrund des Sprühverhaltens den anderen Düsen vorzuziehen. Hierbei wurden sämtliche Anforderungen berücksichtigt.

Mit der Festlegung auf eine Zweistoffdüse galt es diese nun vertieft zu betrachten. Hinsichtlich der Strahlenform und des Strahlenwinkels wurden die Anforderungen bereits aufgezeigt und werden in der Auswahl berücksichtigt. Zweistoffdüsen können anhand der Art der Flüssigkeitszufuhr unterschieden werden. Die Flüssigkeitszufuhr kann in drei Prinzipien untergliedert werden.

**Tabelle 3: Flüssigkeitszuführung bei Zweistoffdüsen**

Prinzip	Schematische Darstellung	Bemerkung
<b>Ansaugprinzip</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zuführung von Druckluft</li> <li>- Wasserzufuhr durch Ansaugen in der Düse</li> <li>- Wasservorkommen muss unterhalb der Düse liegen (Einschränkung)</li> <li>- Begrenztes Sortiment</li> </ul>
<b>Zulaufprinzip</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zuführung von Druckluft</li> <li>- Wasserzufuhr durch Zulauf in die Düse</li> <li>- Wasservorkommen muss oberhalb der Düse liegen (Einschränkung)</li> <li>- Begrenztes Sortiment</li> </ul>
<b>Druckprinzip</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zuführung von Druckluft</li> <li>- Zuführung von Wasser mithilfe von Druck</li> <li>- Variable Gestaltungsmöglichkeiten (keine Einschränkung)</li> <li>- Hohe Variantenvielfalt</li> </ul>
* Die schematischen Darstellungen sind dem Produktkatalog entnommen. [20]		

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal besteht in der Mischung der Medien. [24] Man kann zwischen der inneren und äußeren Mischung entscheiden. Eine innere Mischung ist bei niedrigviskosen Medien oder speziell Wasser vorzuziehen, wohingegen eine äußere Mischung bei höherviskosen oder zur Verschmutzung neigenden Medien zum Einsatz kommen sollte. [21] Die Entscheidung trifft eindeutig auf eine Düse mit innerer Mischung aufgrund des eben genannten Einsatzgebietes, da Wasser als Medium in der Applikationsanlage Verwendung findet.

Als abschließendes Kriterium bei der Zweistoffdüse wurde die Taktung näher beleuchtet. Unter Berücksichtigung des automatisierten Befeuchtungsablaufs muss eine gesteuerte Taktung stattfinden, sodass manuell betätigte Ventile zur Taktung entfallen. Aus diesem Grund stehen zwei verbleibende Systeme zur Verfügung. Entweder wird eine Zweistoffdüse mit einem Flachstrahl (Baureihe 136.4) in Kombination mit einem pneumatisch gesteuerten Ventil verwendet oder es kann eine Zweistoffdüse mit integriertem Magnetventil (Baureihe 166.4) verwendet werden. Bei der Wahl der Zweistoffdüse mit integriertem Magnetventil ergeben sich diverse Vorteile, die nachstehend knapp aufgelistet werden:

- Ein Bauteil (keine zusätzliche Montage nötig, geringeres Fehlerpotenzial)
- Ansteuerung des Ventils mithilfe elektrischer Signale
- Keine zusätzliche Steuerluft zur Taktung nötig
- Höhere Schaltspielanzahl pro Minute möglich
- Kostengünstiger als Zweistoffdüse mit pneumatisch gesteuertem Ventil (Kostenvergleich gilt für Edelstahldüsen)

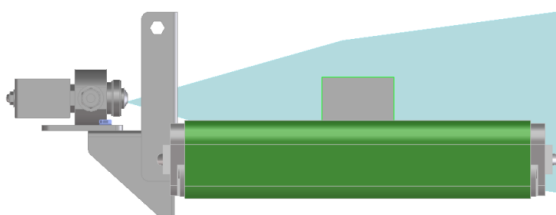


Aufgrund dieser Vorteile trifft die Auswahl auf eine Zweistoffdüse mit integriertem Magnetventil. Ferner funktioniert die Flüssigkeitszufuhr bei diesem Sprühsystem mithilfe des Druckprinzips. Damit gehen die Vorteile, die aus

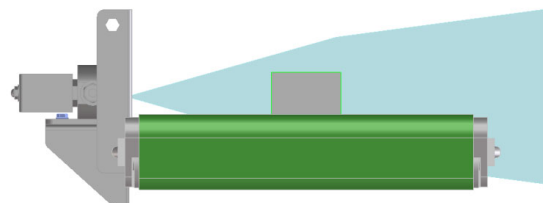
Tabelle 3 hervorgehen, einher. Das Ansaug- und Zulaufprinzip stünde nur den Zweistoffdüsen mit einem pneumatisch gesteuerten Ventil zur Verfügung, wobei mit diesen Zufuhrprinzipien weitere Einschränkungen verbunden sind und sich zudem negativ auf diese Variante auswirken.

Mit der getroffenen Auswahl auf die pneumatische Zerstäuberdüse mit elektromagnetischem Verschlussventil ist ein wirtschaftliches Applizieren sichergestellt. Bei veränderlichen Produkten muss allerdings eine einstellbare Applikation erfolgen. Diese Einstellbarkeit beinhaltet nicht nur die parametrisierte Einstellung der Eigenschaften der Zerstäuberdüse (Druckluft und Wasserdruck) sondern auch die konstruktive Zustellung. Die Bremsbeläge laufen bedingt durch die Separiereinheit prinzipiell immer gleich auf dem Fördergurt, weswegen eine einfache Zustellung der Zerstäuberdüse zu den Bremsbelägen realisiert werden muss und nicht umgekehrt.

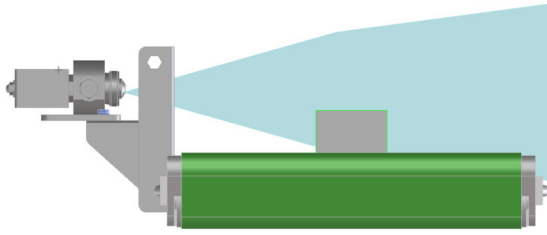
Die einfach gehaltene Konstruktion ermöglicht die Verstellung sowohl in der Höhe um einen Wert  $\Delta H = 30$  mm als auch in der Tiefe  $\Delta T = 32$  mm. Für die Endstellungen sind in den nächsten Abbildungen der theoretische Sprühcharakter und die Einflussnahme auf die Befeuchtung der Bremsbeläge dargestellt. Als Referenzbremsbelag werden handelsübliche Maße, welche auch zur Bestimmung der benötigten Flüssigkeitsmenge verwendet wurden, eingesetzt (12x5x3 cm (LxBxH)).



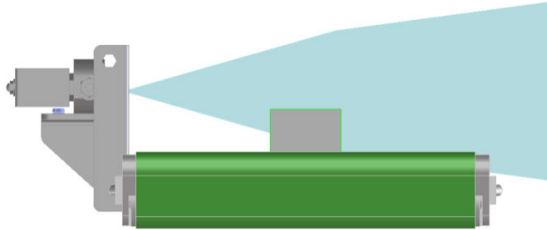
**Abbildung 4: Sprühverhalten (unten, hinten)**



**Abbildung 5: Sprühverhalten (unten, vorne)**



**Abbildung 6: Sprühverhalten (oben, hinten)**

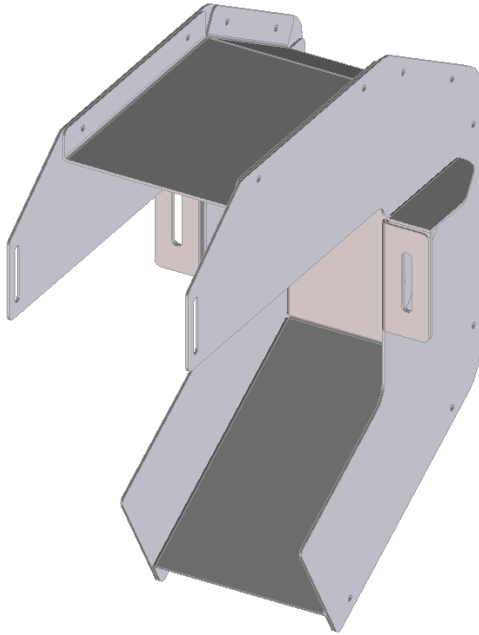


**Abbildung 7: Sprühverhalten (oben, vorne)**

Bei diesen Darstellungen ist die Abdeckung der linken Seite des Bremsbelages mit dem Sprühcharakter von Interesse. Auf der rechten Seite müsste ein Feuchtigkeitsabritt zu verzeichnen sein, der in diesen Abbildungen allerdings nicht dargestellt ist. Die von der Zerstäuberdüse abgewandte Seite ist demnach von der Befeuchtung ausgeschlossen.

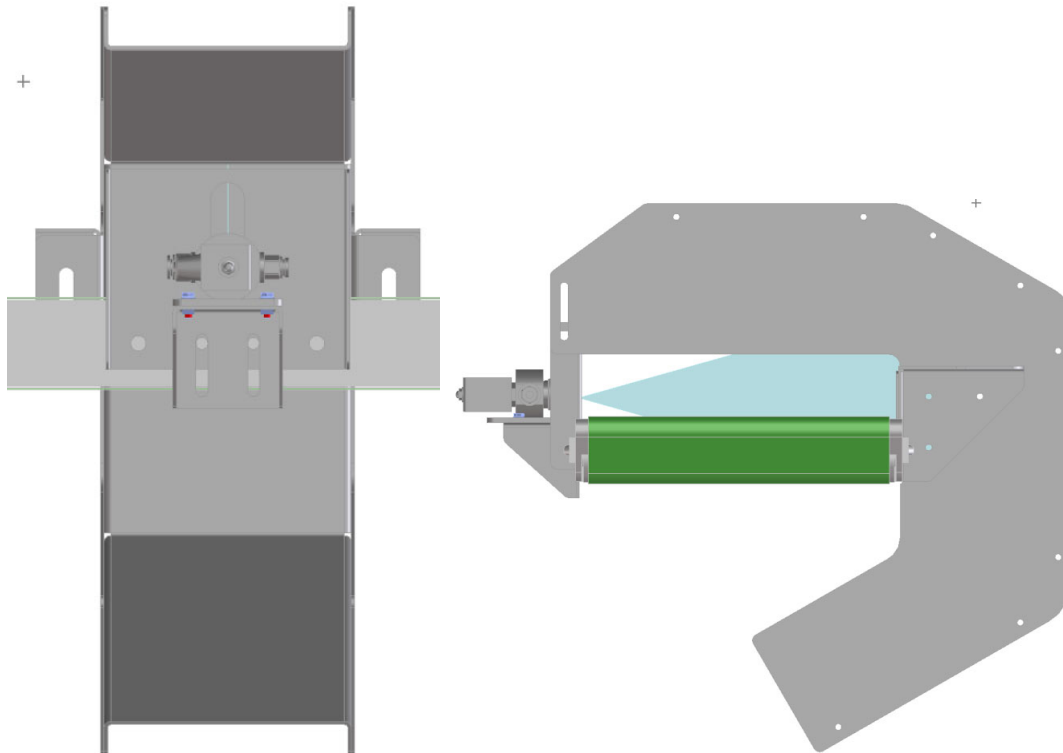
Die Zerstäuberdüse kann mithilfe der einfach gestalteten Zustellung einen großen Befeuchtungsbereich abdecken. Es ist möglich, bereits nahe an der Düse einen breiten Feuchtigkeitsstrahl zu erzeugen, falls Bremsbeläge links auf dem Förderband laufen (vgl. Sprühcharakter in Abbildung 4). Ebenso ist eine optimierte Befeuchtung möglich, wenn die Bremsbeläge weiter rechts laufen (vgl. Sprühcharakter). Zwischenstellungen sind zudem stufenlos einstellbar, sodass eine angepasste Befeuchtung auch bei zentriert laufenden Bremsbelägen möglich ist, wie es zum Beispiel bei den Anlagen der Gemtec GmbH der Fall ist.

Aus diesen vier Abbildungen geht allerdings hervor, dass eine Begrenzung an der gegenüberliegenden Seite der Düse zwingend notwendig ist, sodass die Feuchtigkeit nicht ziellos in die Umgebung gesprüht wird. Bei der dargelegten Offenlegungsschrift „Powder coating (electrostatic painting) method and plant for non electrically conductive elements, and in particular break pads“ wurde die Flüssigkeit in einem abgeschirmten Anlagenteil vollzogen. Hierbei kam das beschriebene, aufwendige Abzugssystem zum Einsatz. Anstelle dieses Abzugssystems soll eine einfache Blechkonstruktion aus Edelstahl Anwendung finden, die die Sprühweite begrenzt. Weiter ist in der nachstehenden Abbildung 8 das Prallblech dargestellt.



**Abbildung 8: Prallblech**

Das Prallblech schließt einen kleinen Bereich ein, sodass der flache Strahl der Düse der Breite nach abgefangen wird (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Es weist weiterhin Abschrägungen auf, sodass die Wasserpartikel gezielt abgelenkt werden und es zu keinen Ansammlungen von Wasser kommt (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Ein weiterer funktioneller Vorteil besteht darin, dass diese Ansammlungen nicht als Tropfen auf den Bremsbelag oder Fördergurt fallen. Das Prallblech ist weiter so konstruiert, dass es höhenverstellbar ist. Grund dafür sind unterschiedliche Produktionsreihen; genauer gesagt unterschiedliche Bremsbeläge mit anderen Abmessungen. Kundenseitig herrscht die Anforderung, Bremsbeläge in einem Höhenbereich  $h_{\text{Bremsbelag}} = 18 - 38 \text{ mm}$  zu beschichten. Dahingehend muss die Applikation an diese Vorgabe angepasst werden. Als Mindestöffnung ergibt sich eine Höhe  $h_{\text{Öffnung\_min}} = 10 \text{ mm}$ . Aus der Praxis abgeleitet ergibt sich eine nötige Verstellbarkeit von ca. 40 mm, sodass das maximale Höhenmaß  $h_{\text{Öffnung\_max}} = 50 \text{ mm}$  beträgt. Die Befestigungen befinden sich auf beiden Seiten des Fördersystems, um eine bessere Stabilität und Genauigkeit bei der Einstellung zu gewährleisten. Zur Verbesserung der Handhabung ist die Einstellbarkeit auf der Seite des Prallbleches mit kleinen Griffen möglich. Die Anbringung an der Düsenhalterung fungiert als zusätzliche Führung, um eine genaue, horizontale Ausrichtung sicherzustellen. Ferner wird bei dem Griff darauf geachtet, dass die Oberseite bei minimaler Höhe bündig mit dem Profil des Gurtförderers ist. Somit bietet dieses Maß eine exakte Referenz zur Einstellung der Höhe.

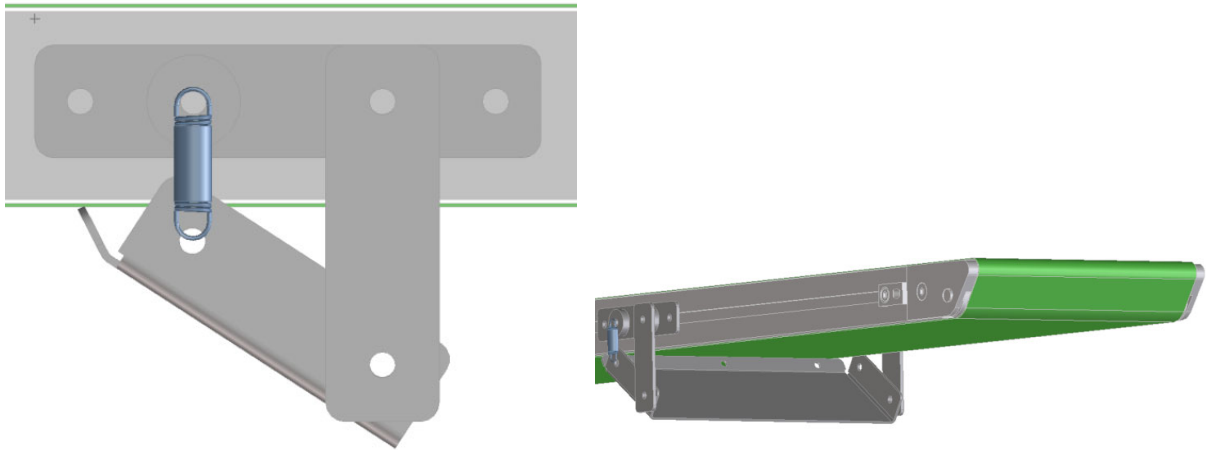


**Abbildung 9: Prallblech Vorder- und Seitenansicht**

## **2. Fördersystem entfeuchten**

### ***Abstreifer***

Für den Abstreifer galt in erster Instanz zu überlegen, an welcher Stelle dieser angebracht wird, um eine optimale Funktionsweise der übrigen Prozesse auf dem Separierband zu gewährleisten. Es wurde auf den ersten Blick deutlich, dass ein Anbringen oberhalb des Fördersystems nicht möglich ist, da zum einen die Mimik der Separiereinheit zu viel Platz benötigt und zum anderen die Bremsbeläge dort entlanglaufen. Der mechanische Kontakt zwischen Abstreifer und Fördergurt ist aus diesen Gründen nicht möglich. Folgerichtig besteht nur die Anbringung unterhalb des Fördersystems. Praktischerweise kann der Abstreifer mithilfe einer Zugfeder flexibel zum Fördergurt zugestellt werden, sodass eine einmalige Installation ausreichend ist. Unter diesen Umständen muss das Abstreifersystem an den Gurtförderer direkt angebracht werden. Da die Funktionsweise der Erdungsrolle adaptiert wird, werden die Halterungen übernommen. Hierbei handelt es sich lediglich um Bleche, die als Unterbau an das ITEM-Profil des Fördersystems angeschraubt werden. Das Blech, an dem der Abstreifer angebracht werden kann, besteht aus einem Edelstahl, da dieses Blech in Kontakt mit Wasser bei der Entfeuchtung steht. Vorzugsweise wird dieses Blech zeitgleich für eine gezielte Vorgabe zur Abflussrichtung verwendet. Das bedeutet, dass die Wasserpartikel nicht nur vom Fördergurt entfernt, sondern darüber hinaus gezielt weggefördert werden. Bei den anderen Blechen genügt einfacher Stahl als Werkstoff. In Abbildung 10 ist das Abstreifersystem ohne zusätzlichen Abstreifer dargestellt. Ein zusätzlicher Abstreifer beschreibt die Möglichkeit, ggfs. auf die Entfeuchtung Einfluss zu nehmen, wenn eine Entfeuchtung nur mittels Edelstahlblech nicht ausreichend ist.



**Abbildung 10: Abstreifersystem als Unterbau**

Für die Bestimmung der Feder wird die hergeleitete Formel 3 verwendet. Die Feder steht wie bereits aufgezeigt in Abhängigkeit der geometrischen Abmessungen. Als unbekannte Größe ergibt sich bei den nunmehr gegebenen Abmessungen eine Gewichtskraft  $F_G = 5,2 \text{ N}$ . Weiter können der Abstand der Lager  $a = 50,3 \text{ mm}$  und der Abstand der wirkenden Gewichtskraft zum Lager B  $b = 38 \text{ mm}$  festgehalten werden. Demnach ergibt sich die nachstehende Gleichung:

$$F'_F = F_G \cdot \frac{b}{a} = 5,2 \text{ N} \cdot \frac{38 \text{ mm}}{50,3 \text{ mm}} \approx 4 \text{ N}$$

Die Federkraft beträgt aufgerundet  $F_F = 4 \text{ N}$ . Da die Anbringung auf beiden Seiten gleichermaßen erfolgen muss, kommen zwei Federn zum Einsatz. Demnach muss eine Feder mindestens eine Federkraft  $F'_F = 2 \text{ N}$  aufweisen. Hierbei ist noch kein Sicherheitsfaktor  $SF$  berücksichtigt. Als weiteres Kriterium ist die Länge bzw. der Abstand der Anbringungspunkte der Federn zu erwähnen. Hierbei handelt es sich um einen Abstand  $L_0 = 44 \text{ mm}$ , wenn kein zusätzlicher Abstreifer Verwendung findet.

Der Zulieferer von Federn für die Gemtec GmbH ist die Gutekunst + CO. KG. Aus diesem Grund wurde der Produktkatalog dieses Unternehmens zur Hilfe gezogen, eine geeignete Feder zu finden. [26] Mit den Ausgangskriterien konnte die Zugfeder Z-066OI ausgesucht werden. Die wichtigen Kennwerte der Feder sind in der nachstehenden Tabelle 4 aufgelistet.

**Tabelle 4: Federeigenschaften Z-066OI [26]**

Feder	Drahtstärke $d$	Durchmesser $D_e$	Ösenstellung	Unge-spannte Länge $L_0$	Vor-spannung $F_0$	Feder-rate $R$
Z-066OI	0,7 mm	7,5 mm	180°	38,5 mm	1,441 N	0,197 N/mm

Es wird auf Anhieb deutlich, dass die Vorspannkraft unterhalb der ermittelten Federkraft liegt. Allerdings ist die Feder kürzer ausgewählt, sodass eine Auslenkung unter allen Umständen erfolgen muss, um den Wirkmechanismus zu verursachen. In Abbildung 10 ist in der linken Abbildung die Feder ungespannt dargestellt. Es ist ein deutlicher Federweg zu

erkennen, wenn die Feder an die vorgesehene Befestigungsmöglichkeit angebracht wird. Für die Verifizierung der Feder wird der nötige Federweg  $x = 6 \text{ mm}$  zur Bestimmung der tatsächlich auftretenden Federkraft eingesetzt.

$$F_F = F_0 + R * x = 1,441 \text{ N} + 0,197 \frac{\text{N}}{\text{mm}} * 6 \text{ mm} = 2,6 \text{ N}$$

Folglich ergibt sich eine auftretende Federkraft  $F_F = 5,2 \text{ N}$  bei zwei Federn. Der Sicherheitsfaktor beträgt demnach:

$$S_F = \frac{F_F}{F'_F} = \frac{5,2}{4} = 1,3$$

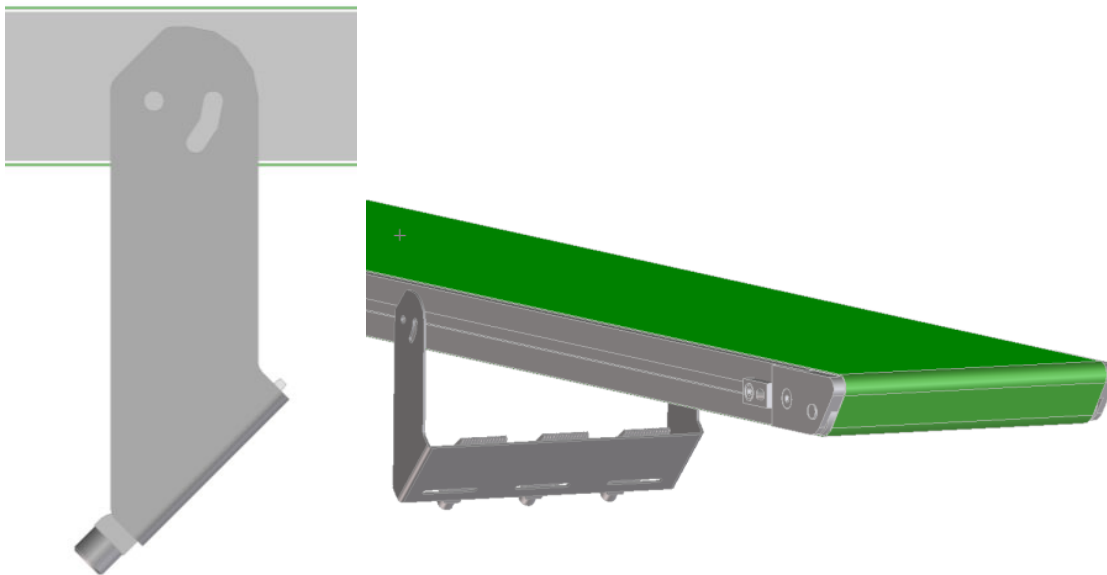
Dieser Sicherheitsfaktor genügt den Anforderungen, zumal durch einfach konstruktive Anpassungen der Federweg und somit die resultierende Federkraft beeinflusst werden kann. Ferner beschreibt diese Rechnung den Minimalabstand, also die geringste auftretende Federkraft. Bei Verwendung eines zusätzlichen Abstreifers wird automatisch ein erhöhter Federweg generiert und somit eine erhöhte Federkraft.

Für die Belastung des Bandes bedeutet dies in dieser Variante, dass in etwa 120 g immer am Fördergurt anliegen. Dieses Gewicht entspricht einem Viertel eines Bremsbelages. Da sich bei der Separierung eine Vielzahl von Bremsbelägen stauen, ist diese federerzeugte Belastung minimal und definitiv akzeptabel.

### **Druckluftdüse**

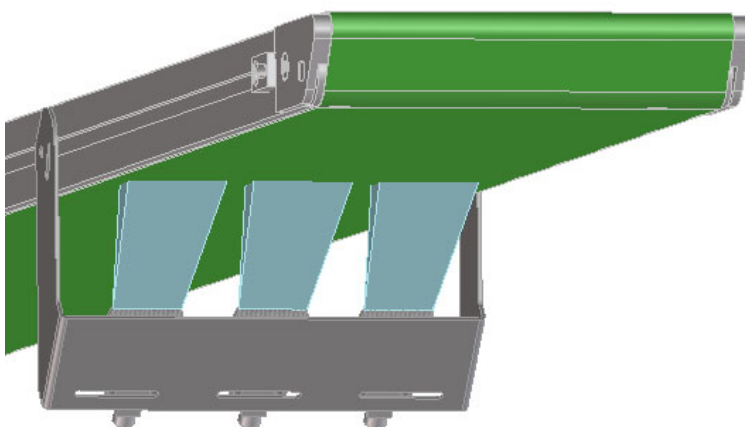
Die Betrachtung der Anbringung der Druckluftdüsen war nicht so eindeutig wie die des Abstreifers. Bei den Düsen ist eine Oberbauweise durchaus möglich, da die Düsen trotz der Separiermimik und Bremsbeläge funktionieren können. Fraglich ist hierbei allerdings die Kompatibilität zur Applikation des Wassers auf die Bremsbeläge. Bei Betrachtung der Oberbauweise stehen die Möglichkeiten der Anbringung vor und nach der Befeuchtung zur Auswahl. Für den Einsatz nach dem Applizieren besteht die Gefahr, dass die Feuchtigkeit von den Bremsbelägen entfernt wird und somit die eigentlich erwünschte Funktion negiert wird. Bei Anbringung der Düsen vor der Applikation kann es dazu kommen, dass aufgrund der Separierung und Taktung der Bremsbeläge nicht die vollständige Bandbreite entfeuchtet werden kann. Die Eignung ist demnach auch in diesem Falle beeinträchtigt. Naheliegend ist aus diesen Gründen wie auch zuvor eine Unterbauweise. Ferner sollen die Entfeuchtungssysteme ergänzend wirken, weswegen eine direkte, lokale Abhängigkeit vorteilig erscheint. Bei dieser Umsetzung können die Systeme optimaler aufeinander abgestimmt werden und erzielen möglicherweise bessere Entfeuchtungsergebnisse.

Für die vorangehende Betrachtung der Düsenhalterung fiel die Wahl auf ein einfaches Stahlblech, das winklig am Fördersystem einstellbar ist, sodass ein größerer Sprühbereich abgedeckt werden kann. Ferner wird die beschriebene Zustellung mithilfe dieser einfachen Lösung abgedeckt. In Abbildung 11 ist eine schematische Anbringung der Druckluftdüsen mithilfe des Bleches dargestellt.



**Abbildung 11: Druckluftentfeuchter als Unterbau**

Aus dem rechten Teil der Abbildung geht hervor, dass bei der ersten Gestaltung drei Düsen verwendet werden. Diese können aufgrund vorgesehener Langlöcher im Blech zueinander verschoben werden, um weiterhin Einfluss auf die Zustellung und damit verbunden auf das Entfeuchtungsergebnis zu nehmen. Die Anzahl ergibt sich aus dem relativ geringen Abstand  $A = 101 \text{ mm}$  der Druckluftaustrittsöffnung zum Fördergurt (siehe Abbildung 14). Der beschränkte Platz unterhalb des Fördersystems und die Zustellung von Druckluftdüsen zum Abstreifer bedingen diesen geringen Abstand. Mit dem besagten Abstand  $A$  sind zwangsweise drei Druckluftdüsen erforderlich, um die Bandbreite  $b_{\text{Band}} = 240 \text{ mm}$  abzudecken. In diesem Fall wird allerdings trotz der drei Düsen nicht das gesamte Band abgedeckt (siehe Abbildung 12). Aufgrund der auftretenden Verwirbelungen am Fördergurt wurden bei der ersten Gestaltung keine weiteren Maßnahmen vorgesehen, sodass der gesamte Gurt mit Druckluft beaufschlagt wird.

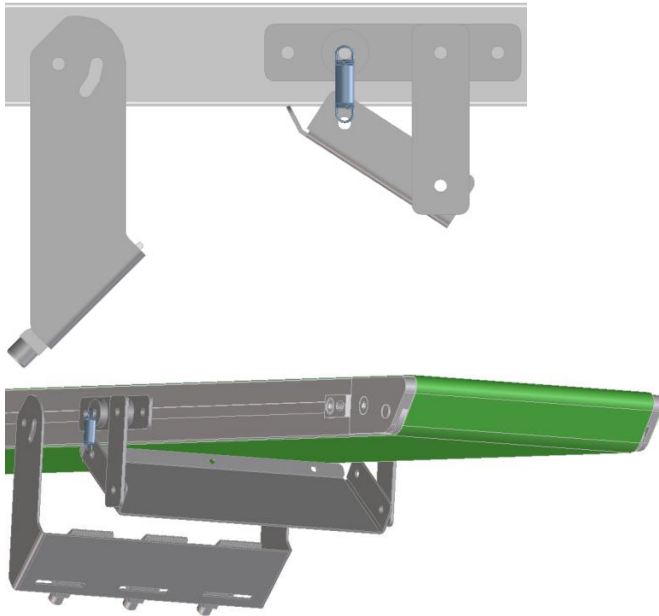


**Abbildung 12: Sprühverhalten der Druckluftdüsen**

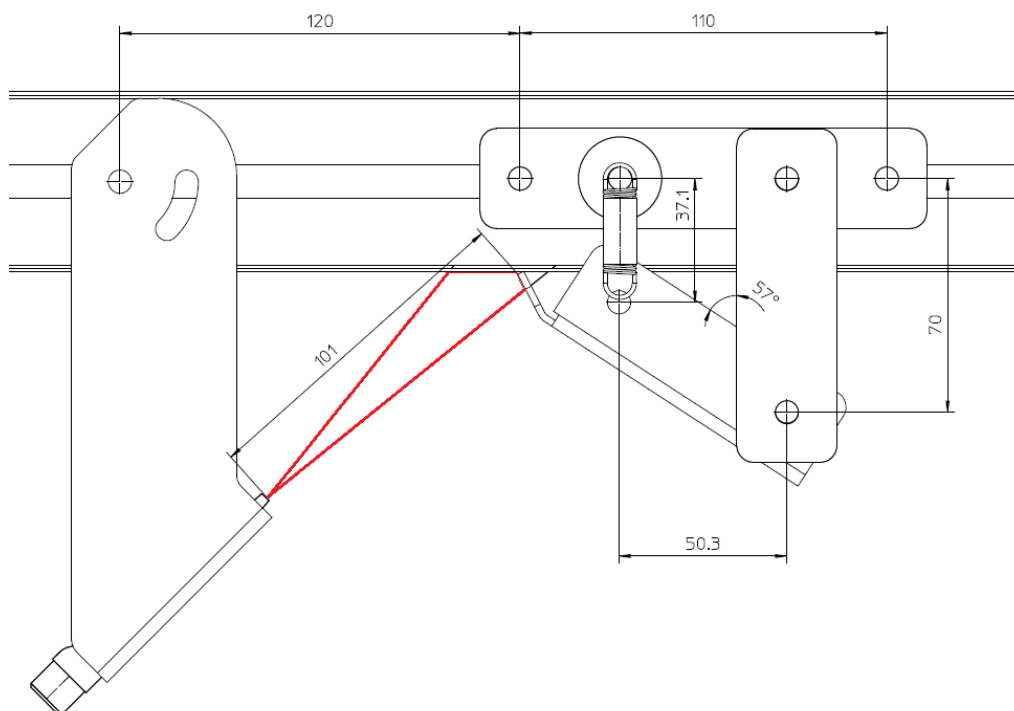
#### ***Kombination Abstreifer und Druckluftdüse***

Wie eingangs beschrieben, sollen die beiden Entfeuchtungssysteme einander ergänzend wirken und somit zu einem verbesserten Entfeuchtungsergebnis beitragen. Diese Kombination legt eine Anordnung in Reihe nahe, sodass die Systeme aufeinander einwirken. Es erscheint zweckdienlich, zuerst die mechanische Entfeuchtung durchzuführen, sodass die pneumatische Entfeuchtung darauf ausgerichtet wird (siehe Abbildung 13 und Abbildung

14). Bei dieser Anordnung kann die Energie der Druckluft genutzt werden, um eine verbesserte Zustellung des Abstreifers zum Gurt zu erzielen. Ferner kann die Feuchtigkeit in Richtung Abstreifer gedrückt werden. Die Wasserpartikel haben somit eine gegebene Begrenzung, sodass diese nicht weiträumig in die Umgebung geblasen werden.



**Abbildung 13: Kombination der Entfeuchtungssysteme**

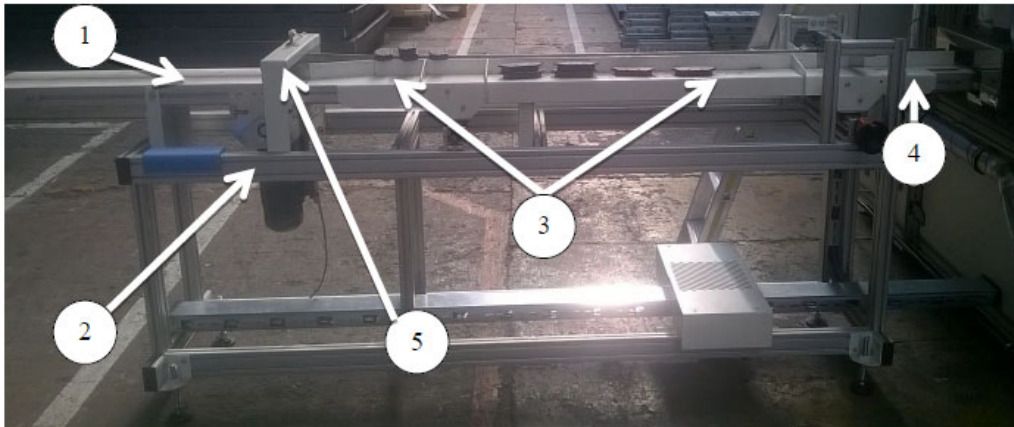


**Abbildung 14: Kombination der Entfeuchtungssysteme mit Sprühcharakter (rot dargestellt)**

Überlegungen wurden angestellt, dass eine einzige, zentrisch angebrachte Druckluftdüse in Kombination mit dem Abstreifer genügt. Grund für diese Annahme liegt in der bestehenden Separiereinheit (siehe Abbildung 15 und Abbildung 16). Es ist deutlich erkennbar, dass die Bremsbeläge mittig auf dem Fördergurt laufen und sich somit Feuchtigkeit bei

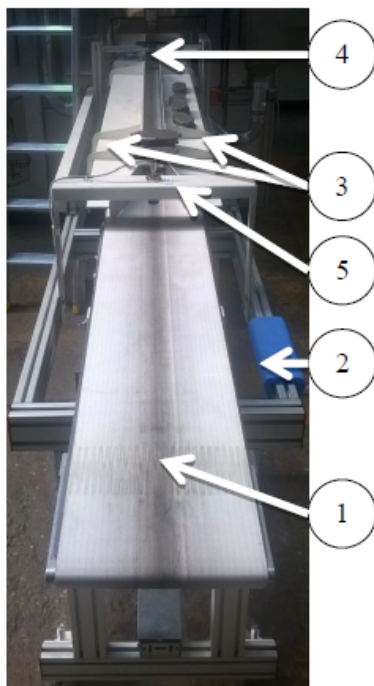


Applikation des Wassers hauptsächlich in der Mitte ansammelt. Mit vorangehender mechanischer Entfeuchtung kann die verbleibende Feuchtigkeit so minimiert oder verteilt werden, dass die Entfeuchtungsanforderung mit einer Druckluftdüse genügend erfüllt ist.



- (1) Fördergurt
- (2) ITEM-Rahmen
- (3) Separiereinheit
- (4) Übergabebereich zur Pulverkabine
- (5) Sensorhalterungsblech

**Abbildung 15: Separierband - Seitenansicht**



- (1) Fördergurt
- (2) ITEM-Rahmen
- (3) Separiereinheit
- (4) Übergabebereich zur Pulverkabine
- (5) Sensorhalteblech

**Abbildung 16: Separierband - Vogelperspektive**

### 3. Transportband

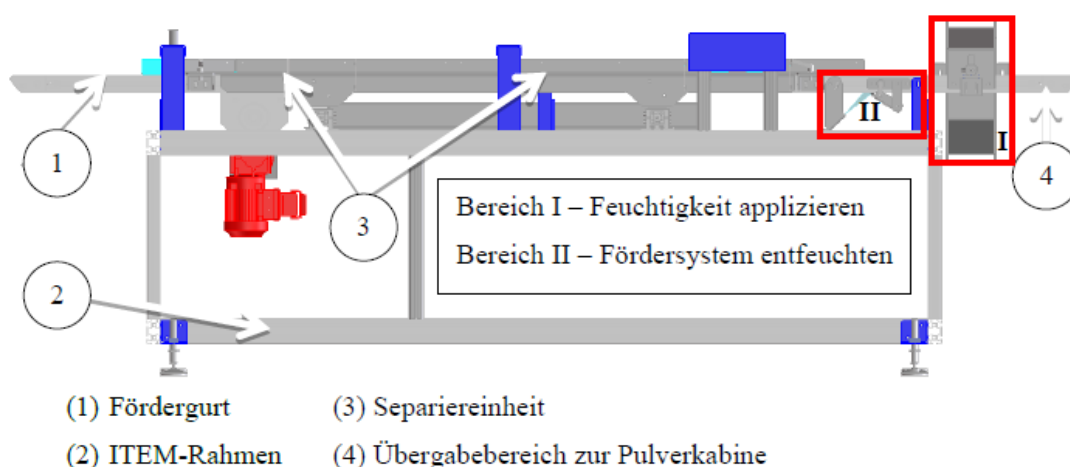
Bei dem Transportband handelt es sich um eine Teillösung, die grundlegend keine Anpassung benötigt. Für die Anordnung der Prozessschritte auf dem Förderband (Separieren, Wasser applizieren, Fördersystem entfeuchten) wird bei Betrachtung der Abbildung 12 und Abbildung 13 deutlich, dass sich bei bestehendem Aufbau genügend Platz beim Eingang des Separierbandes befindet. Aufgrund logischer Überlegungen ist das Applizieren des Wassers auf die Bremsbeläge vor der Separierung allerdings suboptimal, da die Takung über einen mechanischen Kontakt zum Bremsbelag erfolgt. Bei diesem Kontakt ist

es durchaus möglich, dass die applizierte Wasserschicht weitestgehend zerstört und die gewünschte Funktionalität negativ beeinträchtigt wird. Ferner stauen sich die befeuchteten Bremsbeläge bei Taktung an und können bei schlechten Umgebungsbedingungen wieder trocknen. Zur Umgehung dieser potenziellen, negativen Einflüsse wurde eine Verschiebung der Separiereinheit auf dem Band zum Eingang vorgesehen, sodass genügend Platz bei der Übergabe zur Pulverkabine entsteht. Die unmittelbare Befeuchtung vor der elektrostatischen Pulverlackbeschichtung ohne weitere Zwischenschritte ermöglicht beste Eigenschaften hinsichtlich der Befeuchtungsqualität.

Für den Unterbau der Entfeuchtungssysteme kann förmlich die gesamte Unterseite des Fördersystems verwendet werden. Lediglich die Antriebseinheit des Fördersystems grenzt das Anbringen der Entfeuchtungssysteme ein. Hinsichtlich einer optimalen Positionierung erscheint die Entfeuchtung direkt nach der Befeuchtung der Bremsbeläge. Da das Prallblech konstruktiv so vorgesehen ist, dass das Wasser gezielt unter das Förderband abgeleitet wird, muss das Entfeuchtungssystem versetzt an das Fördersystem angebracht werden. Aus dieser Versetzung wird die zuvor festgelegte Reihenfolge der Entfeuchtungssysteme bestärkt. Wasserpartikel, die mit Hilfe des Abstreifers vom Gurt entfernt werden, können in Richtung des Prallbleches abgelenkt werden. Etwaige Verwirbelungen durch die Druckluftdüse werden demzufolge vermieden.

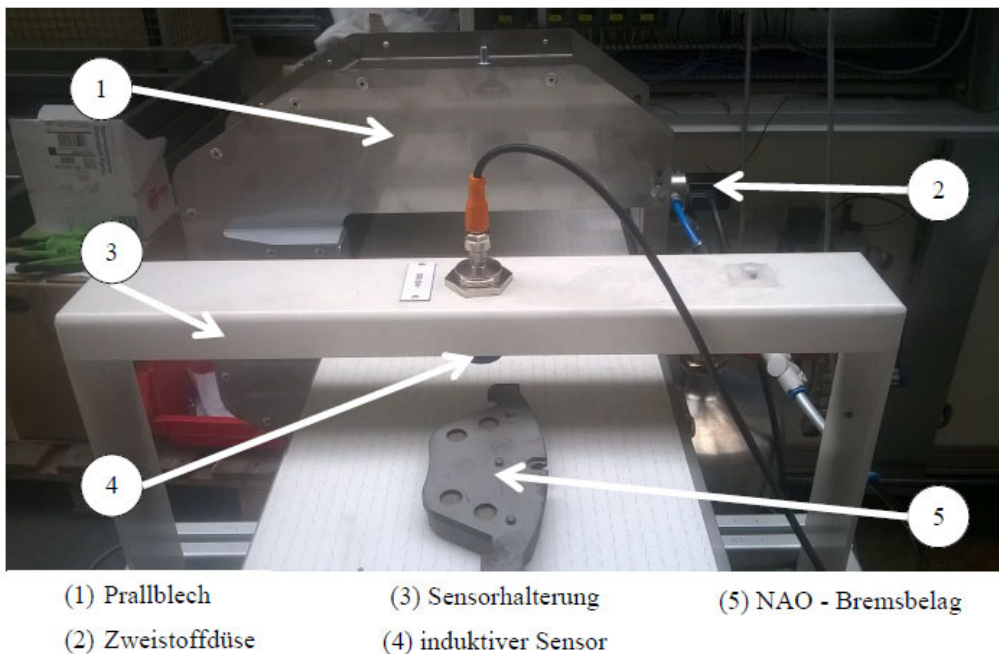
Andersherum/Weiter erschien es unratsam hinter der Antriebseinheit zu entfeuchten, da ansonsten mit einem feuchten Gurt in die Antriebseinheit gefahren wird. Es bestehe möglicherweise die Gefahr, dass die Antriebswalze nicht genügend Haftung erzeuge und es zu unvorhergesehenen rutschartigen Bewegungen des Gurtes käme. Allerdings befindet sich die Antriebswalze auf der Gurtinnenseite, sodass dieser Effekt, wenn überhaupt, unter sehr geringen Bedingungen eintreten sollte. Ferner wurde mit dem Fördersystemhersteller diese Problematik besprochen. Dieser geht von keiner negativen Beeinträchtigung bei Minimalmengen Wasser aus. Als weitere Gefahrenstelle wirkt die Linearverstellung der Separiermimik. Diese ist allerdings in geschlossener Ausführung, sodass ggfs. abfallende Wassertropfen keine negativen Effekte nach sich ziehen. Das Abfallen der Wasserpartikel ist ohne äußere Einflüsse fragwürdig, weswegen eine Entfeuchtungseinheit notwendig ist. Die Zweckdienlichkeit der sofortigen Entfeuchtung nach dem Applizieren besteht demnach auch in der Minimierung der soeben beschriebenen Risiken, wenngleich keine immense negative Einflussnahme zu erwarten ist.

Analog zu der Abbildung, die den Aufbau des derzeitigen Separierbandes zeigt, ist die schematische Darstellung des angepassten Separierbandes in der nachstehenden Abbildung aufgeführt.



**Abbildung 17: Schematische Darstellung des angepassten Separierbandes**

Es ist die besagte Verschiebung der Separiereinheit zum Eingang des Fördersystems erkennbar. Somit ist der gewünschte Platzbedarf am Übergabepunkt zur Pulverkabine realisiert, sodass dort die Applikation des Wassers als auch die Entfeuchtung des Gurtes vorgesehen werden kann (Bereich I und Bereich II nach Abbildung 17). Im Zuge der Automatisierung wurde die Applikation um einen induktiven Sensor (4) erweitert, der mit Hilfe einer Steuerung ein zeitversetztes Sprühen der Zweistoffdüse (2) auslöst (siehe Abbildung 18). Daraus resultiert, dass eine Sensorhalterung (3) an den ITEM-Rahmen angebracht werden muss. Hierbei handelt es sich um ein Blech, das bereits baugleich bei der Separierung Anwendung findet (siehe Abbildung 28 und Abbildung 29). Das bestehende Halterungsblech bzw. der dortige Sensor wird für eine Staumeldung bei der Taktung und Separierung verwendet. Da das Blech am Rahmen und nicht am Fördersystem angebracht wird, kommt es zu keiner Beeinträchtigung der Entfeuchtungssysteme.



**Abbildung 18: Erweiterung zur Automatisierung**

#### **4. Vorversuche zur Applikationsanlage**

Für die anstehenden Vorversuche zur Applikation und Entfeuchtung wurden die entworfenen Systeme gefertigt und entsprechend der Vorgaben an das bestehende Fördersystem montiert. Ferner stand für die Lackierversuche eine funktionsfähige Lackieranlage (Pulverkabine, Ofenzone, Kühlzone) zur Verfügung. Aus dem ermittelten und dargestellten Aufbau der Applikationsanlage ergab sich zwangsweise der Versuchsaufbau für sämtliche Versuche.

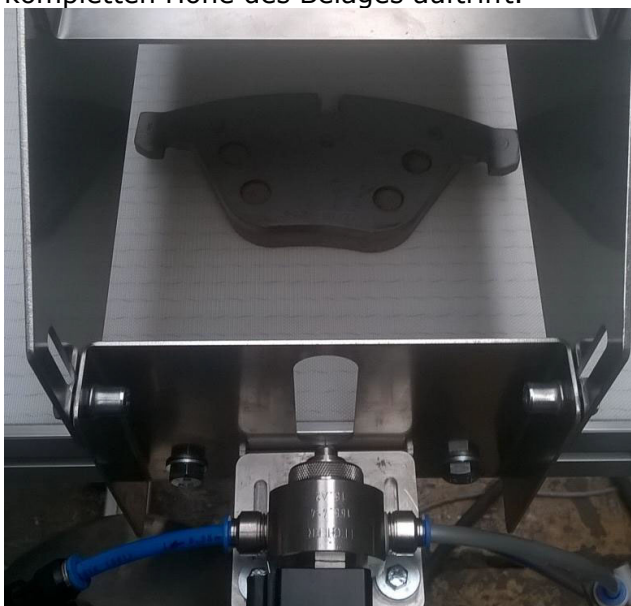
#### **Versuchsreihen zur Wasserapplikation**

Hauptaugenmerk bei der neuentwickelnden Anlage ist die Applikation von Wasser auf die Bremsbeläge, die die elektrostatische Pulverlackbeschichtung von Bremsbelägen mit nichtleitenden Reibbelägen ermöglicht. In der ersten Versuchsreihe wurde demnach ermittelt, ob die getätigten Ausarbeitungen zur Applikation zu dem gewünschten Ergebnis führen.

Für die erste Versuchsreihe standen sowohl semimetallische Bremsbeläge als auch NAO-Bremsbeläge zur Verfügung. Semimetallische Bremsbeläge weisen wie aufgezeigt einen geringen Anteil Metalle auf und sind demnach elektrisch leitfähig. Eine Vorbehandlung ist demnach nicht zwangsweise notwendig. Die Beschichtungsergebnisse sind bei diesen Bremsbelägen allerdings ohne weitere Vorbehandlung nicht zufriedenstellend. Zur Ver-

besserung der Beschichtungsqualität ist eine Vorbehandlung mit der entwickelten Anlage vorgesehen. Bei den NAO-Belägen ist eine Beschichtung ohne Vorbehandlung keinesfalls möglich. Hierbei besteht die zwingende Notwendigkeit, dass mit Hilfe der Befeuchtung des Bremsbelages die isolierende Reibbelagsmasse überbrückt wird und die Trägerplatte über den Erdungsstreifen im Förderband in der Pulverkabine geerdet werden kann. Im Zuge der Machbarkeitsstudie zur Applikation des Wassers und der anschließenden elektrostatischen Pulverlackbeschichtung wurde lediglich der NAO-Bremsbelag verwendet. Grund für dieses Vorgehen ist, dass bei erfolgreicher Applikation und Beschichtung dieses Bremsbelages definitiv auch der semimetallische Bremsbelag beschichtet werden kann. Somit wurden die nötigen Versuche zur Machbarkeitsstudie minimiert.

In Abbildung 19 ist der Versuchsaufbau der Versuchsreihen dargestellt. Die pneumatische Zweistoffdüse befeuchtet ca. drei Zentimeter der Unterseite des NAO-Bremsbelages gemäß der Abbildung. Es wird demnach von der vollständigen Benetzung abgesehen. Die Düse ist wie nach Abbildung 4 ausgerichtet, sodass der Sprühstrahl garantiert auf der kompletten Höhe des Belages auftrifft.



**Abbildung 19: Versuchsaufbau der Machbarkeitsstudie zur Applikation**

Für die Versuchsreihen sind die Benetzungsparameter in erster Linie nicht ausschlaggebend. In Anbetracht der Ausarbeitungen wird eine Einstellung gewählt, die einen theoretischen Volumenstrom vom Wasser  $V \sim 110 \text{ ml/min}$  aufweist und darüber hinaus eine geringe Tröpfchengröße laut Hersteller der Zweistoffdüse gewährleistet. Im Speziellen handelt es sich bei den vorgenommenen Druckeinstellungen um die nachstehenden:

$$\text{Luftdruck } p_{\text{Luft}} = 1,2 \text{ bar}$$

$$\text{Wasserdruck } p_{\text{Wasser}} = 0,7 \text{ bar}$$

Mit diesen Einstellungen ergibt sich ein Luft-/Wasserverhältnis

$$= \frac{1,5 \text{ m}^3/\text{h}}{0,1 \text{ l/min}} = 15 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{l/min}}$$

Mit dieser Angabe stellt sich nach Abbildung 20 eine theoretische Tröpfchengröße Tropfen  $48 \mu\text{m}$  ein.

Pneumatik-Zerstäuberdüsen	Luft-/Wasserverhältnis [m³/h : l/min]					
	5		10		20	
	Volumenstrom V̇ [l/min]	Tropfengröße [µm]	Volumenstrom V̇ [l/min]	Tropfengröße [µm]	Volumenstrom V̇ [l/min]	Tropfengröße [µm]
diverse	div.	90	div.	55	div.	40

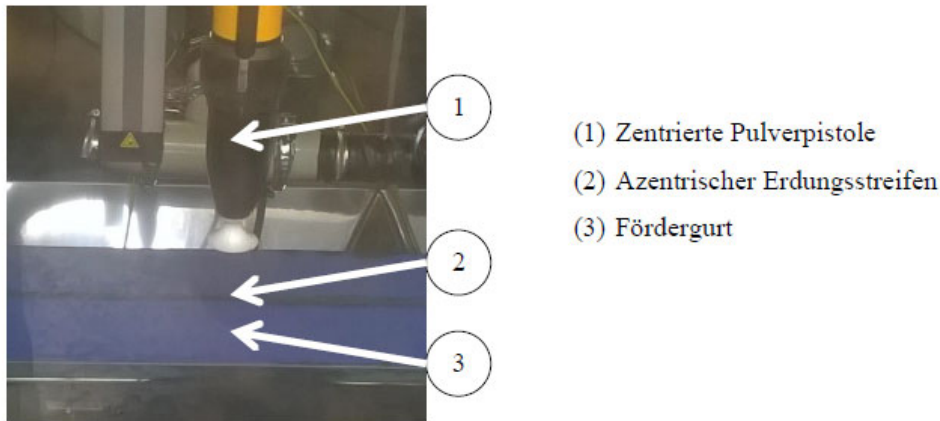
**Abbildung 20: Tröpfchengrößenbereich nach Düsentyp [20]**

Die ermittelten Ergebnisse des Pulverlackauftrags mit den soeben aufgezeigten Benetzungsparametern wurden dokumentiert. Die nachstehende Tabelle 5 zeigt Abbildungen eben dieser Ergebnisse. Die linken Darstellungen zeigen die elektrostatische Pulverlackierung eines NAO-Belages ohne Vorbehandlung. Dem gegenüber stehen die NAO-Bremsbeläge, die einer Vorbehandlung unterzogen wurden.

**Tabelle 5: Machbarkeitsstudie zur Applikation**



Es wird bei der Betrachtung der Gegenüberstellung auf Anhieb deutlich, dass das Beschichten der NAO-Beläge ohne Vorbehandlung wie vorhergesagt nicht funktioniert. Es bildet sich kein gleichmäßiger Pulverlack aus, den es im Anschluss aufzuschmelzen gelte. In Hinblick auf das allgemeine Ergebnis der Versuchsreihen kann in Anbetracht der rechten Abbildungen das Fazit gezogen werden, dass eine zielführende und funktionsfähige Applikation geschaffen ist. Es bildet sich bei den vorbehandelten NAO-Belägen eine Schicht Pulverlack aus, die zwar nicht konstant über den Bremsbelag verteilt ist, aber dafür das Haften des Pulvers an der Trägerplatte des Bremsbelages gewährleistet. Grund für diese ungleiche Verteilung liegt unter anderem in der falsch ausgerichteten Pulverpistole. Der Erdungstreifen befindet sich nicht genau mittig auf dem Fördergurt in der Pulverkabine, weswegen die vorbehandelten NAO-Bremsbeläge leicht versetzt zur Mitte angeordnet werden müssen, sodass die befeuchtete Seite auf dem Erdungstreifen verläuft (siehe Abbildung 21).



**Abbildung 21: Pulverkabine**

Die Anpassung an diesen Umstand und Ausrichtung der Pulverpistole erfolgte für die nachfolgenden Versuche. Als weiterer Aspekt für die unzureichende Pulverlackabscheidung auf der von der Düse abgewandten Seite ist die ausgewählte Wasserschicht. Die Leitfähigkeit der applizierten Wasserschicht genügt offensichtlich nicht, eine ausreichende Erdung zu realisieren. Es bestehen die Möglichkeiten entweder die Wasserschicht länger zu gestalten oder die Düsenparameter (Luft- und Wasserdruck) anzupassen, sodass sich eine besser leitfähigere Schicht ausbildet, die eine funktionsfähigere Erdung bedingt.

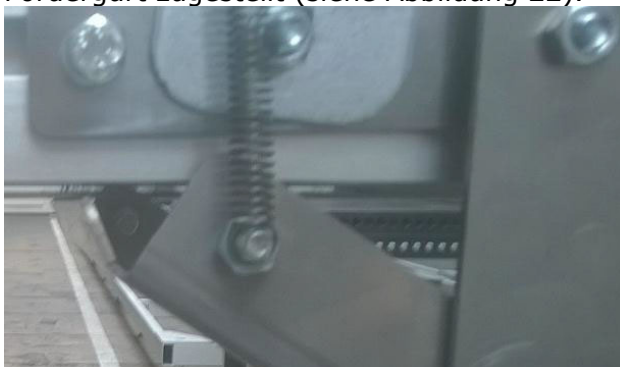
Bei der Abbildung Nr. 3 nach Tabelle 5 ist deutlich erkennbar, dass der vorbehandelte Bremsbelag eine Pulverlackschicht auch auf der nichtleitenden Reibmasse auf der befeuchteten Seite ausbildet. Auf der abgewandten Seite kann sich diese Pulverschicht nicht am Reibbelag abscheiden (siehe Nr. 2 NAO-Belag mit Vorbehandlung), da dort keine Wasserschicht zur Abscheidung der Pulverlackpartikel vorhanden ist. Auf dem Reibbelag kann sich folgerichtig nur eine Pulverlackschicht ausbilden, wenn diese Fläche vorbehandelt ist. Diese Pulverlackschicht scheidet sich korrekterweise nicht auf dem Reibbelag direkt, sondern auf der sowohl leitenden als auch erdenden Wasserschicht ab.

### **Versuchsreihen zur Entfeuchtung des Transportgurtes**

Zunächst wurden die Entfeuchtungssysteme einzeln auf die Eignung zur Entfeuchtung getestet.

#### **Abstreifer**

Die Versuchsreihen zur Entfeuchtung mittels Abstreifersystem erfolgten simultan zu den Versuchsreihen der Applikation. Hierbei wurde das überschüssige Wasser bei laufendem Fördergurt auf der Unterseite entfernt. Der erste Versuch berücksichtigt keinen extra Abstreifer. Das bedeutet, dass der Gurt mithilfe des Abstreiferbleches direkt in Kontakt steht. Wie aus den Ausarbeitungen vorgeht, wird der Abstreifer auf einen Millimeter zum Fördergurt zugestellt (siehe Abbildung 22).



**Abbildung 22: Zustellung des Abstreifersystems ohne zusätzlichen Abstreifer**

Bei diesem Fördergurt handelt es sich zudem noch um den Standardgurt der Separierreinheit. Diese beiden Bedingungen lassen ein schlechtes Entfeuchtungsergebnis erwarten. Das Ergebnis der Versuchsreihen zeigte allerdings hinsichtlich der Entfeuchtung zufriedenstellende Ergebnisse auf. Der Großteil des überschüssigen Wassers vom Gurt kann mithilfe des Abstreifers entfernt werden. Bei Anpassung der Parameter „Abstreifer“ sowie „Gurt“ ist ein wesentlich verbesserter Entfeuchtungsgrad zu erwarten.

### **Druckluft**

Für die Druckluftdüse gelten die gleichen Bedingungen wie für das Abstreifersystem zuvor. Für die Versuchsreihen wurden die vermeintlich schlechten Bedingungen beibehalten, um anhand dieser eine Aussage zu treffen. In diesem Zuge wurde lediglich eine Druckluftdüse zur Entfeuchtung verwendet.

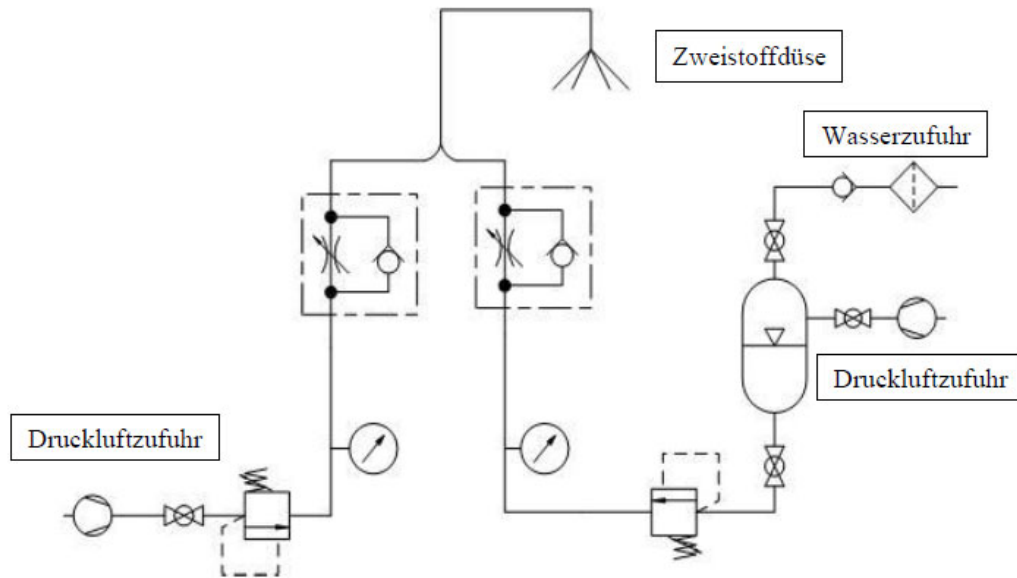
Es zeigte sich, dass bei einem eingestellten Entfeuchtungsdruck  $p_{\text{Entfeuchtung}} = 1 \text{ bar}$  bei einer einzelnen Druckluftdüse die Energie nicht ausreicht, die Wassertropfen vom Gurt zu lösen.

Vielmehr wurden die Tröpfchen beiseitegeschoben. Diesem Umstand kann mit der Verwendung mehrerer oder mit einem höheren Entfeuchtungsdruck Abhilfe geschaffen werden. Als Fazit für die Machbarkeit ist die Eignung einer einzelnen Druckluftdüse bedingt zutreffend. Es bedarf einiger Anpassungen, sodass zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden können. Nichtsdestotrotz stellt sich der gewünschte Zustand ein, dass dort, wo der Luftstrahl auf den Gurt trifft, nur sehr geringe Mengen an Feuchtigkeit zurückbleiben.

### **Ermittlung geeigneter Prozessparameter bei der Wasserapplikation**

Mithilfe der vorangegangenen Versuchsreihen konnte die Funktionsfähigkeit der Applikation dargelegt werden. Wie aufgezeigt bestehen allerdings auch Schwächen, die es durch Anpassung der Prozessparameter zu beseitigen gilt. In diesem Zuge ist die bereits beschriebene Zustellung der Pulverpistole an die Laufbahn der NAO-Bremsbeläge durchgeführt. Durch diese Anpassung ist ein zentriert auftreffendes Pulver auf den Bremsbelag sichergestellt. Zur Optimierung der Erdung mithilfe der applizierten Wasserschicht werden die bereits angedeuteten Möglichkeiten in Betracht gezogen. Hierbei fällt der Fokus auf die Anpassung der Düsenparameter. Die Abmessungen der Wasserschicht sollen möglichst geringgehalten werden, weswegen bei den kommenden Versuchen keine Veränderung dieser angestrebt wird.

Zur leichten Verständlichkeit der Funktionsweise für die Einstellung der Düsenparameter ist ein Hydraulik-/Pneumatikschaltplan in Abbildung 23 für die Vorversuche dargestellt. Der Wasserdruck wird mithilfe eines Druckbehälters erzeugt. Es wird Wasser über einen Filter in einen drucklosen Tank gefüllt. Bei ausreichender Füllung wird der Tank mit Druckluft beaufschlagt, sodass sich ein maximaler Wasserdruck im Tank einstellt. Der Wassertank dient als Speicher und stellt sicher, dass keine Druckschwankungen auftreten. Mithilfe des Druckbegrenzungsventils im Wasserzulauf kann im Folgesystem der Druck für die Beaufschlagung der Zweistoffdüse eingestellt werden. Der eingestellte Druck kann am Druckmessgerät abgelesen werden. Zur eventuellen Durchflussänderung des Wassers befindet sich ein Drosselrückschlagventil vor der Zweistoffdüse. Für die Druckluftzuleitung der Zweistoffdüse befindet sich ebenfalls ein Druckbegrenzungsventil zur Einstellung des Druckes. Zur Dokumentation ist ebenfalls ein Druckmessgerät angeschlossen, um die Parameter zu bestimmen. Wie auch im Wasserzulauf befindet sich ein Drosselrückschlagventil in der Druckluftzufuhr.



**Abbildung 23: Schaltplan für die Applikation**

Die Lechler GmbH erforschte die Zusammenhänge der beiden Veränderlichen bei pneumatischen Zerstäuberdüsen tiefgründig. Der Katalog bietet aussagekräftige Werte, die für diese Versuchsreihe von großem Nutzen sind. [20] So ist zum Beispiel der eintretende Volumenstrom von Wasser in Abhängigkeit der Drücke aufgeführt. Hierzu ist in Abbildung 24 ein Auszug für die ausgewählte Pneumatik-Zerstäuberdüse dargestellt.

Strahlwinkel	Bestell-Nr.		E Ø [mm]	Flüssigkeitsdruck p [bar]												Strahlabmessungen				
	Type	Mat.-Nr.		0,7			1,5			3,0			4,0			p Luft [bar]	p Wasser [bar]	B <sub>1</sub> [mm]	B <sub>2</sub> [mm]	
				p Luft [bar]	Ṡ Wasser [l/h]	Ṡ <sub>n</sub> Luft [m³/h]	p Luft [bar]	Ṡ Wasser [l/h]	Ṡ <sub>n</sub> Luft [m³/h]	p Luft [bar]	Ṡ Wasser [l/h]	Ṡ <sub>n</sub> Luft [m³/h]	p Luft [bar]	Ṡ Wasser [l/h]	Ṡ <sub>n</sub> Luft [m³/h]					
45°	166.414.xx.A2	Edelstahl 1.4305 16	0,7	1,00	7,70	1,30	1,40	14,30	1,50	2,20	22,40	2,00	3,00	25,10	2,50	1,40	0,70	85	125	
				1,20	6,00	1,50	1,60	13,00	1,60	2,60	20,00	2,30	3,40	23,00	2,80	2,40	1,50	100	145	
				1,40	4,20	1,70	1,80	11,60	1,80	3,00	17,70	2,60	3,80	20,90	3,10	3,20	2,00	105	155	
				1,60	2,70	1,90	2,00	10,20	2,00	3,40	15,50	3,00	4,20	18,90	3,50	3,80	3,00	120	170	
				1,80	1,30	2,10	2,20	8,90	2,20	3,80	13,30	3,40	4,60	16,90	3,80	4,60	4,00	130	210	
				-	-	-	2,40	7,40	2,40	4,20	11,00	3,70	5,00	14,90	4,20	-	-	-	-	-
				-	-	-	2,60	5,90	2,60	4,60	8,50	4,10	5,40	12,80	4,60	-	-	-	-	-
				-	-	-	2,80	4,60	2,80	5,00	6,60	4,50	5,80	10,80	5,00	-	-	-	-	-
				-	-	-	3,00	3,20	3,00	5,40	4,30	4,90	6,00	9,80	5,20	-	-	-	-	-
				-	-	-	3,20	2,10	3,20	5,80	2,50	5,30	-	-	-	-	-	-	-	-
				-	-	-	3,40	1,10	3,40	6,00	1,60	5,50	-	-	-	-	-	-	-	-



Parameter für die Machbarkeitsstudie



Mögliche Parameter für weitere Versuche

**Abbildung 24: Auszug Sprüheigenschaften für Zerstäuberdüse 166.4 [20]**

Die eingestellten Parameter der Versuchsreihen führten zur Funktionalität der Wasserschicht, ermöglichten dahingegen kein optimales Lackierergebnis. Bei besagten Parametern stellt sich ein theoretischer Volumenstrom vom Wasser

$$\dot{V} \approx 110 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$$

ein. Dieser Wert ist allerdings für die Benetzung der beiden kurzen und einer langen Seite berechnet worden. Ferner besteht bei dieser Annahme keine Sprühpause zwischen den Bremsbelägen. Eine Anpassung an die neue leitfähige Wasserschicht muss vollzogen und mit den erreichbaren Werten der Zweistoffdüse verglichen werden. Für die neue Wassermenge wird die Sprühzeit für einen Bremsbelag unter Beachtung der Fördergeschwindigkeit auf zwei Sekunden festgelegt, sodass die angestrebte Wasserschicht erzielt wird. Für das benötigte Wasservolumen stellt sich demnach ein Wert ein. Damit ergibt sich ein Volumenstrom



$$\dot{V} = \frac{0,45 \text{ ml}}{2 \text{ s}} = 0,225 \frac{\text{ml}}{\text{s}} = 13,5 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$$

. Unter Beachtung des Oversprays ist ein Wasservolumenstrom  $\dot{V} \approx 25 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$  angestrebt. Im Vergleich zu den erreichbaren Volumenströmen der Pneumatik-Zerstäuberdüse kommen vorzugsweise die blau umrandeten Parameter zum Einsatz (siehe Abbildung 24). Für diese Parameter ergeben sich die Volumenströme und Luft-/Wasserverhältnisse, die in der nachstehenden Tabelle 6 aufgelistet sind. Diese Parameter scheinen sich maßgeblich für die angestrebte Wasserschicht zu eignen. Aus diesem Grund werden sie für die weiteren Versuche verwendet.

**Tabelle 6: Parameter für die Applikation (Zweistoffdüse)**

Versuch	Wasserdruck	Luftdruck	Volumenstrom	Luft-/Wasserverhältnis
1	0,7 bar	1,8 bar	22,67 ml/min	$97 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{l}/\text{min}}$
2	1,5 bar	3,4 bar	18,3 ml/min	$185 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{l}/\text{min}}$
3	3 bar	6 bar	26,67 ml/min	$206 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{l}/\text{min}}$
4*	0,7 bar	2,5 bar	Keine Angabe	Keine Angabe
5**	2	3	62,5 ml/min	$102,4 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{l}/\text{min}}$

\*Die Parameter wurden versuchsweise eingestellt, da sie vielversprechende Ergebnisse vermuten ließen.  
 \*\*Die Parameter wurden versuchsweise eingestellt, um den Einfluss der Drossel zu erproben. Die Werte für Volumenstrom und Luft-/Wasserverhältnis sind abgeschätzt.

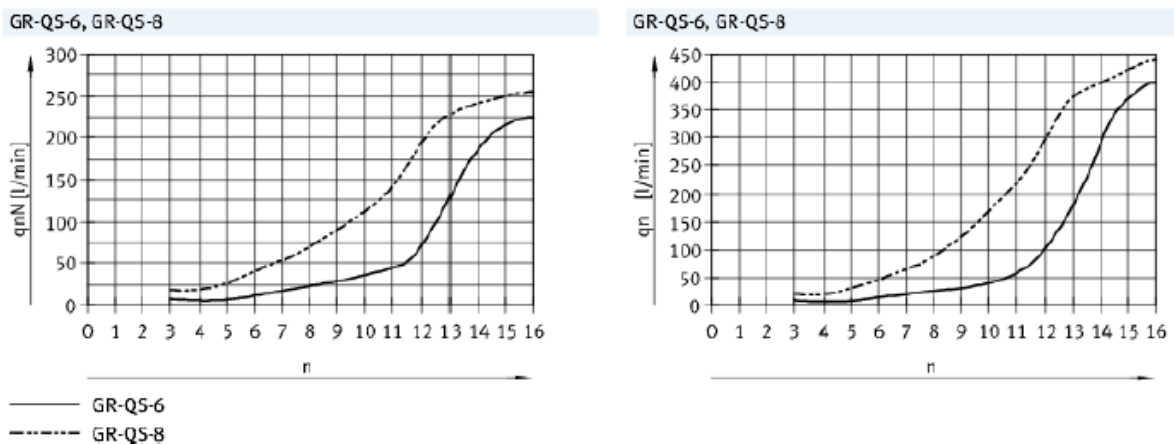
Es sind keine Werte für die Tröpfchengröße bei den Luft-/Wasserverhältnissen im Katalog aufgeführt (siehe Abbildung 20). Es muss davon ausgegangen werden, dass es sich um eine extrem kleine Tröpfchenausbildung handelt.

Für die Auswertung bei den ersten drei Versuchen nach Tabelle 6 ist festzuhalten, dass die applizierte Wasserschicht trotz des großen Luft-/Wasserverhältnisses zu große Tröpfchen ausbildet (siehe Abbildung 25), die anschließend zu Verklumpungen bei der Pulverlackierungen führen können.



**Abbildung 25: Tropfenabscheidung bei Wasserapplikation (Versuch 1 -3)**

Zur Vermeidung der großen Tröpfchenbildung werden die Druckparameter angepasst, sodass sich ggfs. eine bessere Wasseroberflächenbeschaffenheit ausbildet. Hierbei werden Abweichungen zum Datenblatt vorgenommen (vergleiche Werte von Versuch 4 nach Tabelle 6 mit Angaben nach Abbildung 24). Da zwar ein besseres Befeuchtungsergebnis als bei den vorherigen Versuchen, aber dennoch eine unzufriedenstellende Befeuchtung erzielt wurde, mussten weitere Anpassungen durchgeführt werden. Diese Anpassungen konnten durch die Verwendung einer Drossel in der Wasserzufuhrleitung zur Einstellbarkeit des Volumenstromes umgesetzt werden. Die Drosselung wird mithilfe eines Drosselrückschlagventils (GR QS-6) realisiert. Für die Drossel ist in Abbildung 26 der Durchfluss in Abhängigkeit zur Spindeldrehzahl dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass der Durchfluss bei vollständiger Öffnung der Drossel den nötigen Volumenstrom weit übersteigt. Der Versuch 5 wird aus diesem Grund bei fast geschlossener Drossel durchgeführt. Bei der Spindeldrehzahl handelt es sich lediglich um 3,25 Umdrehungen. Der vorgegebene Graf ist zu ungenau, als dass ein konkreter Wert für die Durchflussmenge bestimmt werden kann.



**Abbildung 26: Normalnennendurchfluss in Abhängigkeit der Spindelumdrehung**

Es sei aber festgehalten, dass bei Verwendung der Drossel vielversprechende Befeuchtungsergebnisse erzielt werden konnten. Es bildet sich eine förmlich tröpfchenfreie Wasserschicht aus. Darüber hinaus ist die Wassermenge dermaßen begrenzt, dass der Transportgurt nach einem Sprühvorgang nur minimal befeuchtet ist (siehe Abbildung 27).








**Abbildung 27: Minimalmenge Wasser auf Bremsbelag (links) und Fördergurt (rechts)**

Von der Wasserschichtqualität sind diese Einstellungen optimal. Es ist allerdings von viel höherer Wichtigkeit, dass die Funktionsfähigkeit gewährleistet ist. Daher gilt es zu überprüfen, ob bei diesen Einstellungen bzw. bei dieser Wasserschicht eine Pulverlackierung möglich ist und ob diese Pulverlackschicht ausreichend haftet.

Zum Vergleich wird in diesem Versuch ein Vergleichsbremsbelag pulverlackiert, der mit den Parametern nach Versuch 4 befeuchtet ist. Die Tabelle 7 beinhaltet Abbildungen zu den Lackiererergebnissen.

**Tabelle 7: Gegenüberstellung der Pulverlackierungsergebnisse**

Nr.	Versuch 4	Versuch 5
1		
2		
3		

Die Pulverlackierungsergebnisse sind in beiden Fällen zufriedenstellend. Die anfänglich gedachten negativen Auswirkungen auf die Pulverlackierung aufgrund der kleinen Wassertröpfchen bei Versuch 4 haben sich nicht bewahrheitet. Die Nummer 1 zeigt die jeweiligen Bremsbeläge, die kurzzeitig mit Druckluft beaufschlagt wurden. Wie zu sehen ist, haftet das Pulver an den Trägerplatten. Lediglich bei dem Versuch 4 ist bei den elektrostatisch ungünstigen Positionen ein wenig Pulver entfernt worden. Dieser Umstand ist allerdings nicht zu negativ zu bewerten, da dies auch bei gewöhnlichen Bremsbelägen, die keine Vorbehandlung benötigen, eintritt. Eine funktionelle Einschränkung der Erdung ist demnach nicht zu verzeichnen.

Die Abbildungen Nummer 2 fokussiert die Einkerbung der Trägerplatte. Diese Einkerbung stellt wie die Erhebungen einen kritischen Bereich dar, da auch hier ungünstige Überlagerungen eintreten und nur eine bedingte Haftung gewähren. Nichtsdestominder kann mithilfe des applizierten Wassers eine derartige Erdung realisiert werden, dass ein ausreichender Elektronenfluss vorliegt und eben dieser Bereich problemlos pulverlackiert werden kann.

Für die Wasserschicht mit gedrosseltem Wasservolumenstrom ist der Umgriff an der Trägerplatte aufgezeigt (Nummer 3). Es ist deutlich erkennbar, dass sich eine geschlossene Pulverlackenschicht auch auf der Unterseite der Trägerplatte befindet.

Bei einer Gegenüberstellung der beiden Versuche sind die Parameter nach Versuch 5 vorzuziehen. Die aufgezeigten Ergebnisse liefern keinerlei qualitativer Unterschiede. Allerdings konnte bei Versuch 5 die applizierte Wassermenge drastisch minimiert werden. Es ist demnach eine Pulverlackierung mit einer weitaus geringeren Wasserschicht möglich. Die Annahme der Wasserschicht mit einer Dicke  $d_{\text{Wasser}} = 0,5 \text{ mm}$  muss unter Berücksichtigung der erzielten Ergebnisse korrigiert werden.

In einer abschließenden Versuchsreihe wird anhand der ermittelten Ergebnisse aus Versuch 5 nach Tabelle 6 eine weitere Optimierung der Düsenparameter angestrebt. Diese Optimierung bezieht sich auf die Annahme, dass eine geringe Tröpfchengröße auch bei kleineren Drücken erzielt und folglich eine ähnliche Wasserschicht erzeugt werden kann. Die Durchflussmenge wird dabei auch mithilfe der Drossel reduziert.

Die Annahme bestätigt sich, da mit wesentlich geringeren Drücken identische Befeuchtungsergebnisse erzielt werden können. Die Parameter für eine funktionsfähige Wasserapplikation mit reduzierten Drücken sind nachstehend in der Tabelle 8 aufgeführt.

**Tabelle 8: Parameter für die Applikation (Zweistoffdüse)**

Versuch	Wasserdruck	Luftdruck	Volumenstrom	Luft- /Wasserverhältnis	Drosselum- drehungen
6	0,7 bar	1,6 bar	45 ml/min	$42,22 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{l}/\text{min}}$	$4 \frac{1}{4}$

Die Vorteile, die sich aus diesen Parametern ergeben, liegen eindeutig in den Kostensparnissen. Die minimale Wasserschicht kann bei kleinstmöglichen Drücken erreicht werden.

### **Ermittlung geeigneter Prozessparameter bei der Entfeuchtung**

Zur Ermittlung der Prozessparameter bei der Entfeuchtung wurden die erarbeiteten Systeme wie bei der Ausarbeitung gesondert und in Kombination betrachtet.

#### **Abstreifer**

Bei dem Abstreifersystem stand eine Vielzahl Probeexemplare von Abstreifern der EITEC Führungsbahnschutz - Systeme GmbH zur Verfügung. [27] In Absprache mit einem technischen Berater konnte eine Eingrenzung auf vier verbleibende Abstreifer stattfinden. Die vorausgewählten Abstreifer sind in der nachstehenden Abbildung 28 dargestellt.



**Abbildung 28: Abstreiferübersicht für mechanische Entfeuchtung**



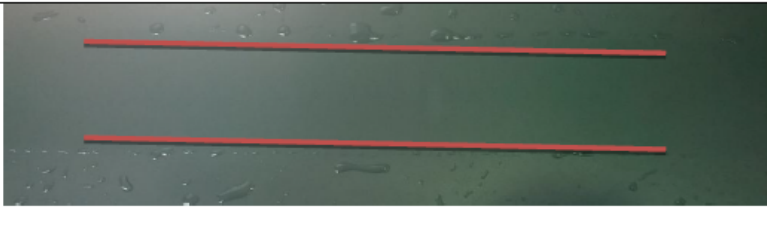
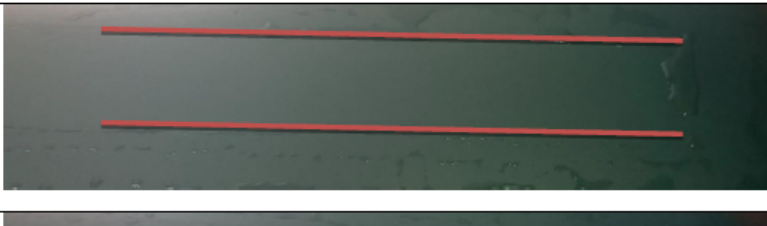

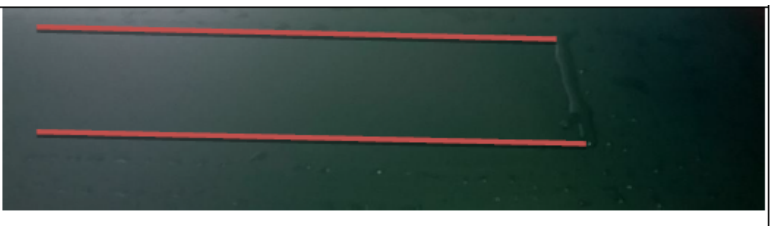
Die Abstreifer unterscheiden sich zum einen hinsichtlich der Kosten. Zum anderen sind die geometrischen Unterschiede deutlich erkennbar. Diese Unterschiede haben einen größeren Einfluss auf die Auswahl, da diese direkten Einfluss auf die Entfeuchtung nehmen. Die Geometrie der Abstreifer bedingt zum funktionsfähigen Einsatz auch die Vorspannung der jeweiligen Abstreifer. Der erstgenannte Abstreifer (FBA Vflex) benötigt eine Vorspannung  $f = 0,5 - 4$  mm. Die anderen Abstreifer weisen lediglich eine nötige Zustellung bzw. Vorspannung der Abstreiferlippe von  $f = 0,5 - 1$  mm auf. Der Beratung zufolge könne die Vorspannung einen großen Einfluss auf das Entfeuchtungsergebnis nehmen, weswegen diese Abstreifer mit unterschiedlichen Zustellungen betrachtet wurden.

Zur Funktionalität der Abstreifer sei an dieser Stelle bereits erwähnt, dass sie zum Abstreifen von bspw. Spänen auf Führungsbahnen bei Werkzeugmaschinen konzipiert sind. Eine genaue Aussage auf die Kompatibilität und Eignung in der vorgesehenen Anwendung (Entfeuchtung des Transportgurtes) kann selbst vom technischen Berater nicht gemacht werden. Aus diesem Grund werden die ausgewählten Abstreifer getestet. Die Probeexemplare sind allerdings auf eine Breite  $b_{\text{Abstreifer}} = 40$  mm beschränkt, sodass nur eine partielle Entfeuchtung stattfinden kann. Für die Versuche wird der Transportgurt stark befeuchtet. Hierbei kommt die pneumatische Zweistoffdüse nicht zum Einsatz, da aufgezeigt werden konnte, dass diese nur zu einer minimalen Befeuchtung des Gurtes führt. Der Grund für die starke Befeuchtung liegt darin, dass ein funktionsfähiges Abstreifersystem bei einer hohen Wassermenge auch kleinere Mengen problemlos abführen kann. Für den Versuchsaufbau sei erwähnt, dass der Gurt nicht mit der Unterbauweise des Abstreifersystems entfeuchtet wird. Die Be- und Entfeuchtung erfolgt auf der Oberseite des Fördersystems und wird manuell durchgeführt. Hierbei wird zudem auf eine gleichmäßige Ausführung geachtet. Die Abstreifer werden senkrecht auf den Gurt aufgesetzt, entsprechend der jeweiligen Vorspannung zum Gurt zugestellt und über den Gurt bewegt, sodass ein laufender Fördergurt simuliert wird. Grund für dieses Vorgehen liegt in der besseren Veranschaulichung der Ergebnisse.

In Tabelle 9 sind die Entfeuchtungsergebnisse der Abstreifer mit Abbildungen festgehalten. Die Nummer 1 zeigt den stark befeuchteten Gurt. Dieses Befeuchtungsergebnis wird wie zuvor beschrieben nicht erreicht werden können, soll der anschaulichkeitshalber aber Anwendung finden. Für jeden nachfolgenden Versuch wird der Transportgurt in etwa so präpariert, dass eine gleichmäßige Grundfeuchte für jeden Versuch vorliegt. Die roten Markierungen heben die Entfeuchtungsbahn hervor.

Wie bei den Abbildungen zu erkennen ist, unterscheiden sich die Ergebnisse kaum hinsichtlich der Entfeuchtung. Lediglich bei dem Versuche mit dem FBA Vflex Abstreifer gegen die Lippenrichtung ist ein schlechtes Ergebnis erzielt worden. Hierbei kommt es zu unvorhergesehenen Aussetzern der Funktionalität. Bei der Abbildung Nummer 2 sind kleine Tröpfchen auf der Entfeuchtungsbahn erkennbar. Diese sind nicht zwangsweise negativ zu beurteilen, sind im Vergleich zu den anderen Versuchen allerdings schlechter. Bei Umkehren des selbigen Abstreifers sind allerdings ähnliche Ergebnisse wie bei den anderen Versuchen erzielbar (vergleiche Nummer 3 bis 6 nach Tabelle 9). Der Versuchsaufbau hat zur Folge, dass die Ergebnisse visuell bessere vergleichbar sind, bringt aber den Nachteil mit, dass das Abfließen über den Abstreifer nicht aufgezeigt werden kann.

**Tabelle 9: Gegenüberstellung der Entfeuchtungsergebnisse Abstreifer**

Nr.	Benennung	Entfeuchtungsergebnis
1	Befeuchteter Referenzgurt	
2	FBA Vflex Abstreifrichtung gegen Lippe	
3	FBA Vflex Abstreifrichtung mit Lippe	
4	FBA E25	
5	FBA 25	
6	FBA V18	

Die getätigten Versuche sind vom Versuchsaufbau abweichend von der erarbeiteten Zustellung des Abstreifers. Aus diesem Grund wurde zu den Versuchen noch jeweils ein Versuch mit einem montierten Abstreifer am Abstreiferblech durchgeführt. Der entscheidende Unterschied zu den anderen Vorversuchen ergibt sich durch das Auftreffen des Abstreifers auf den Gurt. Bei den vorherigen Versuchen ist ein senkrecht Aufsetzen gemäß der eigentlichen Funktionsweise der Abstreifer realisiert. Die erarbeitete Zustellung sieht allerdings eine winklige Zustellung vor, die ein gezieltes Abfließen der gebildeten Tröpfchen bedingt. Demnach ist ein anderes Entfeuchtungsergebnis zu erwarten.

Entgegen den vorherigen Entfeuchtungsversuchen unterscheiden sich die erzielten Ergebnisse bei den neuen Versuchen mehr. Die kleinen Abstreiferlippen der Varianten FBA 25 sowie FBA V18 können die winklige Zustellung nicht ausgleichen und können kein gutes Entfeuchtungsergebnis erzielen. Der Abstreifer FBA Vflex scheint mit seiner hohen nötigen Vorspannung eine gute Zustellung zu gewähren, liefert allerdings auch keine optimalen Ergebnisse. Lediglich der Abstreifer FBA 25 kann aufgrund der großen und steifen Lippe optimal zugestellt werden, sodass das beste Entfeuchtungsergebnis erzielt werden kann. Es ist festzuhalten, dass die Annahme, die bei der Machbarkeitsstudie zum Abstreifer getroffen wurde, verifiziert werden konnte. Mithilfe des Abstreifers ist eine weitaus bessere Entfeuchtung des Transportgurtes erzielt worden.

Für die Parameter der Zustellung des Abstreifers, im Speziellen für die Auswahl der Feder, war eine Korrektur vorzunehmen. Die ermittelte Zustellung von 1 mm genügte bei den Versuchsreihen, um eine Aussage zur Eignung zu tätigen. Hierbei fand wie aufgezeigt kein Abstreifer Anwendung. Die letzten Versuche mit einem Abstreifer mussten dahingehend eine Anpassung erfahren, dass die Zustellung vergrößert werden musste. Mit der besagten Zustellung von 1 mm konnte die Vorspannung des Abstreifers nicht gewährleistet werden. Die Zustellung wurde durch Erhöhung des Federwegs soweit vergrößert, dass der Fördergurt an der Unterseite des Fördersystems anliegt und weiterhin die nötige Vorspannung des Abstreifers realisiert werden konnte.

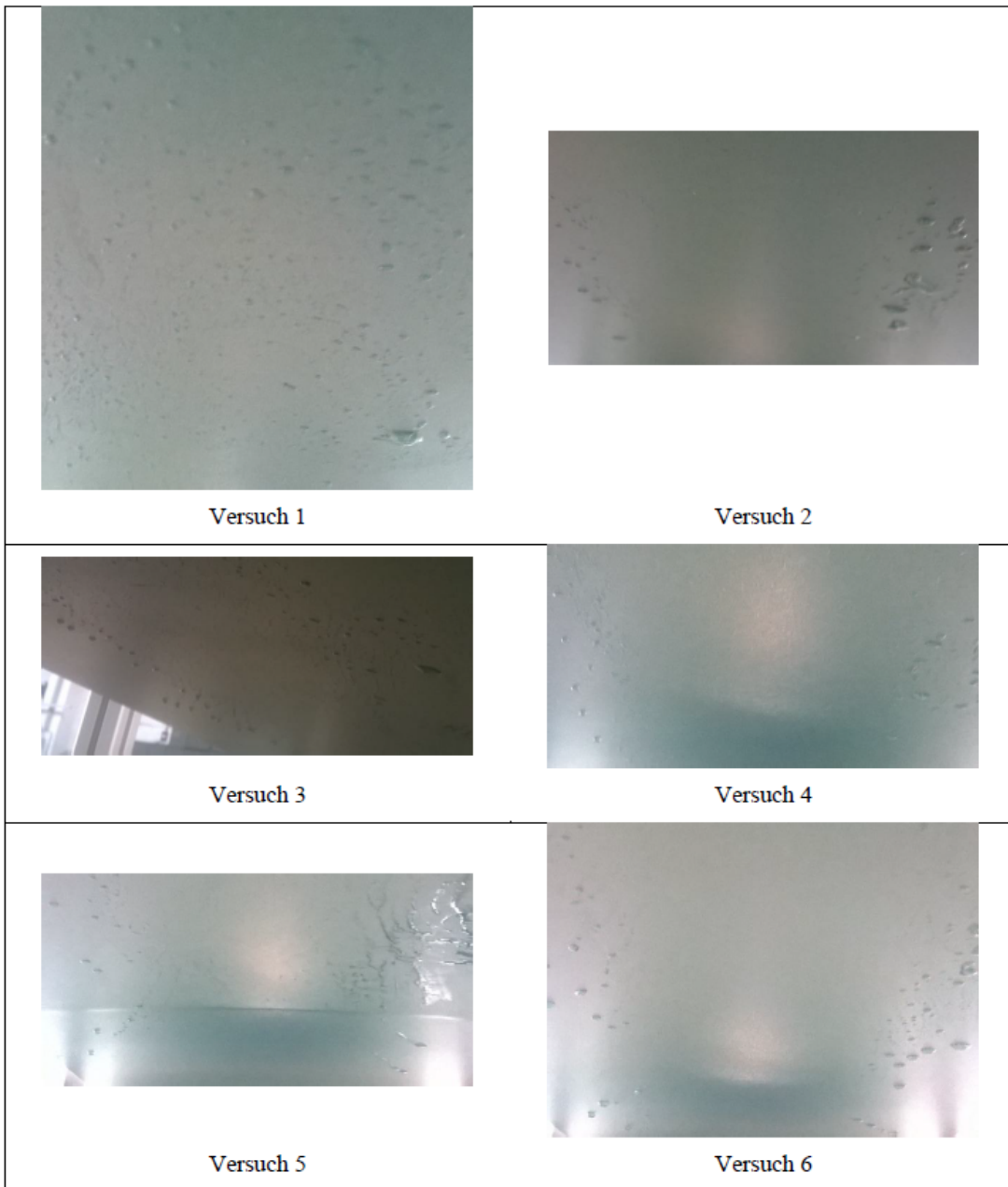
### Druckluft

Bei der Ermittlung geeigneter Prozessparameter für die Druckluftdüse zur Entfeuchtung des Transportgurtes wurde wie zuvor bei dem Abstreifersystem eine partielle Entfeuchtung vorgesehen, um eine Vergleichbarkeit der beiden Systeme zu gewährleisten. Dieses Vorgehen bringt den Vorteil mit sich, dass nur eine Druckluftdüse Anwendung findet. In diesem Zuge konnte zeitlich ermittelt werden, ob die Annahme einer einzigen Druckluftdüse zur Entfeuchtung bestätigt oder negiert werden kann.

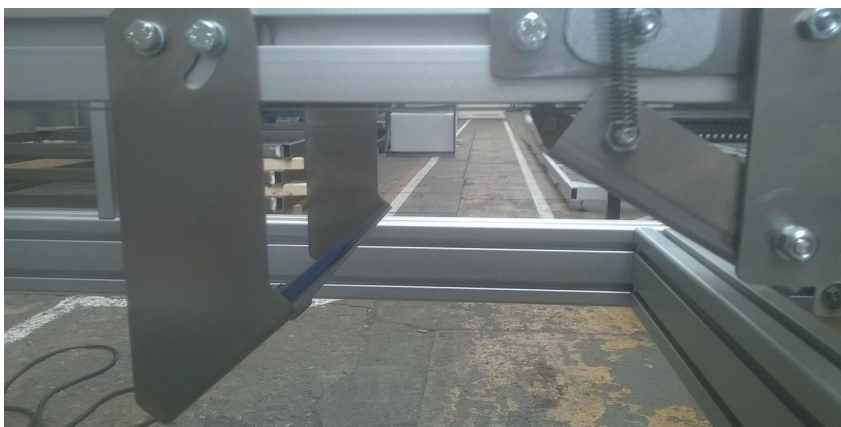
**Tabelle 10: Parameter für Druckluftdüse**

Versuch	Luftdruck [bar]	Zustellung [°]	Bemerkung
1	1	0	- Keine guten Ergebnisse
2	1	30	- Leichte Beeinflussung der Tröpfchen
3	1,5	0	- Vorherschoben der Tröpfchen am Luftstrahl - Drift der Tröpfchen nach außen
4	1,5	30	- Erste Tröpfchen lösen sich ab - Minimierter Drift
5	2	0	- Starker Drift der Tröpfchen - Gute Entfeuchtung bei bestrahltem Gurtbereich
6	2	30	- Besten Entfeuchtungsergebnisse - Minimaler Drift

**Tabelle 11: Gegenüberstellung der Entfeuchtungsergebnisse Druckluftdüse**



**Abbildung 27 Kombination der Entfeuchtungssysteme**



**Abbildung 29:Zusammenbau Entfeuchtungssysteme**



## Fazit

Der Einsatz von Wasser als Leitmedium stellt einen neuen Ansatz für Reibbeläge ohne metallische Anteile dar, erforderte jedoch entwicklungs-technische Lösungen zur Gewährleistung der zuvor geltenden Umgebungsbedingungen und damit zur Einhaltung der Taktzeiten.

Zielgrößen des zu entwickelnden Verfahrens für den Hydropotentialausgleichs ist u.a. die 100%ige Nutzung des Pulverlacks durch Wiedereinbringung der überschüssigen Pulverpartikel vom Band. Insbesondere die geringen Taktzeiten von 4 s im Zusammenhang mit dem kontinuierlichen Beschichtungsprozess in einer Hochleistungs-Pulverbeschichtungsanlage erfordern optimale Umgebungsbedingungen. Diese wurden bisher durch die „trockene“ Erdung mittels hohem metallischen Anteil in den Reibbelägen sichergestellt

Der Aufbau eines Bremsbelages (Trägerplatte + Reibbelag) und dessen Platzierung mit dem Reibbelag auf dem Förderband und der nach oben ausgerichteten, da zu beschichtenden Trägerplatte erfordert eine **partielle Benetzung der Reibbelag-Seitenfläche**.

Im Ergebnis der Projektdurchführung konnte eine Anlage entwickelt werden, die Wasser auf die Reibbeläge **partiell** appliziert. Die partielle Oberflächenbenetzung konnte erfolgreich und zuverlässig nachgewiesen werden.

## Literaturverzeichnis

- [1] RIEF, KONRAD (Hrsg.) (2010). Bremsen und Bremsregelsysteme. 1. Aufl., Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag
- [2] TMD FRICTION SERVICE GMBH (2007). Textar® - Technische Informationen : Technische Informationen. Leverkusen
- [3] BREUER, B. & BILL, K. H. (Hrsg.) (2012). Bremsenhandbuch : Grundlagen, Komponenten, Systeme, Fahrdynamik. 4., überarbeitete und erweiterte Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg-Verlag
- [4] ONDRATSCHEK, D. & TIEDJE, O. (2014). BESSER LACKIEREN. JAHRBUCH 2014. HANNOVER: VINCENTZ NETWORK
- [5] BERUFGESAMENSCHAFT HOLZ UND METALL (Oktober 2009). BG-Information : Elektrostatisches Beschichten. Redaktioneller Stand Februar 2014. Mainz
- [6] PIETSCHMANN, J. (2013). Industrielle Pulverbeschichtung : Grundlagen, Verfahren, Praxiseinsatz. 4., überarbeitete und erweiterte Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg-Verlag
- [7] GIESSMANN, A. (2010). Substrat- und Textilbeschichtung : Praxiswissen für Beschichtungs- und Kaschierertechnologien. 2., überarbeitete und erweiterte Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- [8] SCHEUNIG, C., KARL WÖRWAG LACK- UND FARBENFABRIK GMBH & CO. KG, Verfahren zur elektrostatischen Pulverbeschichtung nichtleitender Gegenstände, Offenlegungsschrift DE 4417172A1, 23.11.1995
- [9] GOLDSCHMIDT, A. & STREITBERGER, H.-J. (2002). BASF-Handbuch : Lackiertechnik. Hannover: Vincentz Verlag  
([https://books.google.ch/books?id=BXttRlw2wpIC&printsec=frontcover&hl=de&source=gbs\\_atb#v=onepage&q=primer&f=false](https://books.google.ch/books?id=BXttRlw2wpIC&printsec=frontcover&hl=de&source=gbs_atb#v=onepage&q=primer&f=false))
- [10] BROCK, THOMAS (November 2005), Leitprimer. Zugegriffen am 01.06.2017 über <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-12-02016>
- [11] JONAS, F., GUNTERMANN, U., LERCH, K. U.A., Bayer AG, Verfahren zur elektrostatischen Lackierung von nicht leitfähigen Oberflächen, Offenlegungsschrift DE 19536844C1, 10.04.1997
- [12] CARSWELL, R., CORNELL, M. C., GROSETH, C. K. U.A., The Dow Chemical Co., Elektrostatische Beschichtung von Polymergegenständen und Verfahren zur Herstellung, Offenlegungsschrift DE 69320644T2, 14.01.9999
- [13] TARASCO, P. L., ITT ITALIA S.R.L., Powder coating (electrostatic painting) method and plant for non electrically conductive elements, and in particular break pads, United States patent US20160038967A1, 11.02.2016
- [14] NAEFE, P. (2013). Einführung in das Methodische Konstruieren : Für Studium und Praxis. 2., überarbeitete und erweiterte Aufl. Wiesbaden: Springer-Vieweg-Verlag
- [15] ROLOFF
- [16] FELDHUSEN, J. & GROTE, K.-H. (Hrsg.) (2013). Pahl/Beitz Konstruktionslehre : Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8., vollständig überarbeitete Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- [17] LECHLER GMBH (2016). Präzisionsdüsen und Zubehör – Edition 112.
- [18] Koller, R. & Kastrup, N. (1998). Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte. 2., neubearbeitete Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag [19] Roth, K (1994). Konstruieren mit Konstruktionskatalogen : Band II Konstruktionskataloge. 2., Aufl. wesentlich erweitert und neu gestaltet. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag
- [20] Lechler GmbH (2016). Druckluftdüsen und Zubehör.
- [21] Lechler GmbH (2016). Präzisionsdüsen und Zubehör – Edition 112.
- [22] Lechler GmbH (2016). Präzisionsdüsen für die Oberflächentechnik.
- [23] Lechler GmbH (2016). VarioSpray – Düsenventilsysteme zur variablen Zerstäubung kleinster Flüssigkeitsmengen.
- [24] Wozniak, G. (2003). Zerstäubungstechnik : Prinzipien, Verfahren, Geräte. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag
- [25] Maschinenbau Kitz GmbH. mk Fördertechnik
- [26] Gutekunst + CO. KG. Federnkatalog
- [27] EITEC Führungsbahnschutz - Systeme GmbH. Abstreifer Führungsbahnabstreifer (Prospekt). 15., Aufl.