

Warnecke & Böhm GmbH
Westerbergstraße 12
83727 Schliersee

**Umweltschonendes Verfahren zur Be- und Entlüftung
von Arbeitsplätzen beim Einsatz von stark
emittierenden Schadstoffen während der Herstellung
von lösemittelhaltigen Lacken und Farben**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt
Gefördert unter dem Az: 22651 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Chem. Ing. (grad.) Norbert Wrobel & Dipl.-Ing. Reinhard Schiweck

Schliersee im Januar 2009

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	22651	Referat	21/2	Fördersumme	120.000,00 €
Antragstitel	Umweltschonendes Verfahren zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen beim Einsatz von stark emittierenden Schadstoffen während der Herstellung von lösemittelhaltigen Lacken und Farben				
Stichworte	Verfahren, Emission, Schadstoff				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
36 Monate	15.10.2005	31.10.2008	2		
Zwischenberichte:					
Bewilligungsempfänger	Warnecke & Böhm GmbH Westerbergstr. 12 83727 Schliersee			Tel	08026/94070
				Fax	08026/20067
				Projektleitung	
				Hr. Wrobel	
				Bearbeiter	
Kooperationspartner					
<p>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</p> <p>Am 11. März 1999 wurde in Brüssel die so genannte VOC-Richtlinie (Lösungsmittel-Richtlinie für flüchtige organische Verbindungen) verabschiedet. Anlagen zur Herstellung lösungsmittelhaltiger Lacke sind von den Forderungen der Richtlinie betroffen, die im Jahre 2001 als „Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen“ in bundesdeutsches Recht umgesetzt wurde. Danach müssen auch Altanlagen bis zum 31.10.2007 vorschriftsmäßig umgerüstet werden. Bisher wird bei der Lüftungstechnischen Erfassung von emittierenden Schadstoffen eine raumübergreifende Belüftung verwendet, die eine intensive Verteilung und Vermischung mit emittierenden Schadstoffen verursacht. Das bedeutet für Mensch und Umwelt eine erhebliche schädliche Belastung und erhöht zudem durch das unkontrollierte Entweichen den Verbrauch an Lösungsmitteln. Bei der geplanten Entwicklung entsteht eine gezielte anlagentechnische Be- und Entlüftung der Arbeitszone, die messtechnisch überwacht und nur dann eingeschaltet wird, wenn die freigesetzten Emissionen durch das Lackmischen die vorgegebenen Werte der Arbeitsplatzkonzentration überschreiten.</p> <p>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</p> <p>Das Gesamtvorhaben gliederte sich in zwei Projektphasen. In der ersten Phase ging es um die Errichtung eines Versuchsstandes zur Erprobung verschiedener technischer Konzepte mit den folgenden Schwerpunkten: Mathematische Modellierung der Prozessgrößen und Definition der Messpunkte; Auswahl und Erprobung von Abdichtungs- und Kühlsystemen sowie der dafür erforderlichen Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik; Auswahl und Erprobung der Quellauslässe entsprechend der Lösungsansätze; Beschaffung der erforderlichen Komponenten für den Bau der Versuchsanordnungen; Errichtung und Erprobung einer Versuchsstation mit einer optimalen Belüftungsvariante.</p> <p>Die zweite Phase befasste sich mit der Einrichtung und Anpassung der Pilotanlage für weitere acht Betriebsräume im Rahmen eines Investitionsvorhabens. Im Mittelpunkt stand auch hier die Erarbeitung von technischen Lösungen, womit folgende Zielstellungen wegweisend unterstützt werden sollten: Auswertung der Versuchsergebnisse für die Planung und den Bau der Pilotanlage; Entwicklung und Realisierung der Pilotanlage; Entwicklung und Optimierung der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik sowie der Steuerungssoftware.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt £ An der Bornau 2 £ 49090 Osnabrück £ Tel 0541/9633-0 £ Fax 0541/9633-190					

Ergebnisse und Diskussion

Es wurde eine neue Methode für die Erfassung flüchtiger organischer Lösungsmitteldämpfe entwickelt, die nach der Ausbildung von Luftschleiern mit geringen Volumenströmen funktioniert.

Mit der praktizierten Luftströmung können die produktionsbedingten handwerklichen Tätigkeiten an den Mischgefäßen ungehindert ohne die Benutzung von Verdeckelungen oder Abdichtungen ausgeführt werden.

Die Lüftungsleistungen und ihre Strömungsintensität werden über einen Gasmonitor gesteuert. Damit kann die Lüftungstechnische Anlage in ihrer Intensität dem Bedarf angepasst werden, so dass sie nur bei Vorhandensein von belasteter Umgebungsluft in Betrieb gesetzt wird.

Mit der entwickelten Luftführung beim Umgang mit organischen Lösungsmitteln haben sich die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) soweit verbessert, dass wegen der Geringfügigkeit keine Nachmessungen mehr erforderlich sind.

Es konnte eine Minimierung der abgeleiteten Emissionen auf ein Drittel der Ursprungswerte registriert werden. Die Lüftungstechnische Anlage wurde mit einer Energierückgewinnung ausgestattet, die im Vergleich mit anderen Heizperioden, wie dem Winter 2007/2008, zu einer Reduzierung des Energieverbrauches um etwa 40 Prozent beitragen kann.

Nach Abschluss aller Montagearbeiten lassen sich bezüglich der drei Hauptziele des Vorhabens die folgende Ergebnisse zusammenfassen:

Humanisierung der Arbeitsplätze

Durch arbeitsschutztechnische Messungen konnte eine sehr deutliche Reduzierung der Arbeitsplatzkonzentrationen an luftfremden gasförmigen Schadstoffen nachgewiesen werden. Entsprechend der Technischen Regelwerke (TRGS 402 und TRGS 900) liegen die gemessenen Konzentrationen der luftfremden gasförmigen Schadstoffe unterhalb von 10 Prozent der jeweiligen Grenzwerte. Weitere arbeitsplatzbezogene Messungen können aufgrund dieser geringen Konzentrationen an luftfremden Stoffen entfallen.

Reduzierung der freigesetzten Emissionen

Die Ergebnisse einer ersten Kontrolle der Abgaswerte bei der Freisetzung am Kaminaustrag verweisen auf eine Reduzierung der Emissionsmassenströme von ursprünglich ca. 8 kg C/h auf weniger als 4 kg C/h. Der Emissionsmassenstrom bezieht sich hierbei auf den Kohlenstoffanteil in den verdampfenden Lösungsmitteln. Die Feststellung gilt als gesichert, dass eine Reduzierung der freigesetzten Emissionen auf 50 Prozent der Ausgangswerte erreicht wurde.

Wirtschaftlichkeit

Der Energieverbrauch wurde mit Hilfe von eingebauten Wärmemengenzählern registriert. Es ist allerdings nicht möglich, einen Vergleich zu den Ergebnissen der vergangenen Heizperioden aufzustellen, weil die lufttechnische Anlage erst jetzt über die technischen Einrichtungen zur Registrierung der Wärmemengen verfügt. Auf der Basis von Erfahrungen mit den verwendeten Anlagenkomponenten zur Wärmerückgewinnung lässt sich prognostizieren, dass eine Einsparung von 35 Prozent des Einsatzes an Wärmeenergie erreicht werden kann.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Entwicklungsergebnisse werden im Rahmen der Berichterstattung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt veröffentlicht. Weitere Möglichkeiten bestehen durch Präsentationen vor Ort und in Zusammenarbeit mit dem Amt für Technischen Umweltschutz des Landratsamtes in Miesbach.

Fazit

Die neu entwickelte technische Lösung für ein umweltschonendes Verfahren zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen beim Einsatz von stark emittierenden Schadstoffen während der Herstellung von lösungsmittelhaltigen Lacken und Farben sorgt dafür, dass Lösungsmitteldämpfe durch die Ausbildung von Luftschleiern gebündelt werden. Das Verfahren verhindert die Ausbreitung von luftfremden gasförmigen Schadstoffen in den Produktionsräumen und führt zu einer Verminderung der Schadstofffrachten im Abgas und zu einer Verringerung der Schadstoffbelastung der Atemluft an den Arbeitsplätzen.

Inhalt

Verzeichnis der Bildern und Tabellen	1
Zusammenfassung	4
1. Einleitung	5
2. Vorhaben	9
2.1. Arbeitsschritte und Ergebnisse	9
2.1.1. Grundsatzuntersuchungen	9
2.1.2. Versuchsaufbau	11
2.1.3. Versuchsdurchführung	12
2.1.4. Innovation und technische Basis	20
2.1.5. Anlagenkonzepte	21
2.1.6. Stand der Technik	22
2.1.7. Anlagenplanungen zum Projekt	22
2.1.8. Errichtung der Anlage	23
2.1.9. Komplexität des Anlagensystems	23
2.2. Diskussion der Ergebnisse	24
2.2.1. Ergebnisse der Entwicklung	24
2.2.2. Ergebnisse nach Errichtung der Anlage	26
2.3. Bewertung der Ergebnisse	28
2.3.1. Technische Effekte	28
2.3.2. Umweltrelevanz	28
2.3.3. Arbeitsschutztechnische Auswirkungen	29
2.4. Verbreitung der Ergebnisse	29
3. Fazit	30
Anhang	
Anhang 1: Bilder	A1
Anhang 2: Zeichnungen	A16
Anhang 3: Fachbericht ILK-B-31-06-3279	A32

Verzeichnis der Bilder und Tabellen

Bilder

Nummer	Legende	Seite
Bild 1:	Ausgangslage zu Beginn des Vorhabens	A1
Bild 2:	Deckel zur Abdichtung der Behälter mit Bedienöffnungen und pneumatischer Führung	A1
Bild 3:	Deckel mit Bedienöffnung im angehobenen Stand	A2
Bild 4:	Deckel mit pneumatischer Führung und Abdichtung gegen die Welle	A3
Bild 5:	Quellauslass (aus Lochblech gefertigt) zur unterschiedlichen Verwendung und Prüfung der Strömungsversuche	A4
Bild 6:	Fangplatte mit Schlitzdüse für Luftschleier. Der umlaufende Luftschleier kesselt die austretenden Emissionen ein. Die Absaugung erfolgt in der Mitte der Fangplatte.	A5
Bild 7:	Die Schlitzdüse der Fangplatte ist in ihrer Breite variabel einstellbar. Somit wurde es möglich, unterschiedliche Luftvolumen und unterschiedliche Luftgeschwindigkeiten in den Luftschleiern zu erproben.	A6
Bild 8:	Für ein gleichmäßiges Strömungsprofil der Luftschleier wurden individuell einstellbare Zuluftführungen installiert.	A7
Bild 9:	Basisversuch zu Tabelle 1. Die Konzentrationen der verdunstenden Lösungsmittel wurden erfasst und beurteilt.	A8
Bild 10:	Erprobung der Dichtigkeit und des Austritts von Lösungsmitteldämpfen (Tabelle 2)	A9
Bild 11:	Erprobung eines Deckels aus Holz mit Schaumstoffdichtung (Tabelle 3)	A9
Bild 12:	Erprobung eines Deckels aus Holz mit Rückflusskühler (Tabelle 4)	A10
Bild 13:	Erprobung eines Deckels aus Holz mit Schaumstoffdichtung und Rückflusskühler (Tabelle 5)	A11
Bild 14:	Absaugung und diffuse Luftverteilung	A11
Bild 15:	Luftströmung nach oben. Die Luft strömt durch Einwirkung der Thermik und der Turbulenzen der Mischvorgänge vertikal nach oben. (Tabelle 7)	A12
Bild 16:	Anströmung der Zuluft an die Behälterwand; Ausbildung der Absaugung als Senke oberhalb des Emittenten; Quellauslass als ringförmiger Anströmer ausgebildet (Tabelle 8)	A13
Bild 17:	Wirkung des Luftschleiers. Die geringe Luftströmung bildet einen einhüllenden Luftschleier, der in die Senke oberhalb des Rührorgans mündet.	A14
Bild 18:	Fangplatte mit Luftschleierdüse	A14
Bild 19:	Darstellung der Ergebnisse der Auswertungen aus den Tabellen 1 bis 9	A15

Zeichnungen

Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Seite
1	W&B.SZ-01	Erprobung der Schlitzauslässe; Luftführung von oben ohne Rührkesselabdeckung	A17
2	W&B.SZ-02	Erprobung der Schlitzauslässe; Luftführung von unten ohne Rührkesselabdeckung	A18
3	W&B.SZ-03	Erprobung der Drallauslässe; Luftführung von oben ohne Rührkesselabdeckung	A19
4	W&B.SZ-04	Erprobung der Drallauslässe; Luftführung von unten ohne Rührkesselabdeckung	A20
5	W&B.SZ-05	Erprobung textiler Flächenauslässe; Luftführung von oben ohne Rührkesselabdeckung	A21
6	W&B.SZ-06	Erprobung textiler Schlauchauslässe; Luftführung von oben ohne Rührkesselabdeckung	A22
7	W&B.SZ-07	Erprobung der Weitwurfdüsen; Luftführung von oben ohne Rührkesselabdeckung	A23
8	W&B.SZ-08	Erprobung der Weitwurfdüsen; Luftführung von unten ohne Rührkesselabdeckung	A24
9	W&B.SZ-09	Erprobung der Lochblechsauslässe; Luftführung von oben ohne Rührkesselabdeckung	A25
10	W&B.SZ-10	Erprobung des Abdicht- und Kühlsystems mit und ohne Lüftung	A26
11	W&B.SZL-01	Luftströme im Raum ohne Lüftung und ohne Rührkesselabdeckung	A27
12	W&B.EZD-02.2	Absaugung von Schadstoffen im Raum BE 301, Variante 2; Schema der Fangplatten	A28
13	W&B.EZD-03.1	Absaugung von Schadstoffen im Raum BE 301; Fangplatte	A29
14	W&B.EZD-01.1	Absaugung von Schadstoffen im Raum BE 301, Variante 1; Versuchsanlage BE 301	A30
15	W&B.EDG.LTA	Anlagenkonzept	A31

Tabellen

Nr.	Legende	Seite
1	Basisversuch bei offenem Mischgefäß als Ausgangslage für die Bewertungen (Anhang 1, Bild 9)	13
2	Erprobung eines Deckels aus Holz (Anhang 1, Bild 10)	14
3	Erprobung eines Deckels aus Holz mit Schaumstoffdichtung (Anhang 1, Bild 11)	14
4	Erprobung eines Deckels aus Holz mit Rückflusskühler (Anhang 1, Bild 12)	14
5	Erprobung eines Deckels aus Holz mit Schaumstoffdichtung und Rückflusskühler (Anhang 1, Bild 13)	15
6	Ausgangslage der Abströmung von Lösungsmitteldämpfen bei Quellauslass oben und Absaugung unten (Anhang 1, Bild 14)	17
7	Ausgangslage der Abströmung von Lösungsmitteldämpfen bei Quellauslass unten und Absaugung oben (Anhang 2, Bild 15)	17
8	Anströmung der Zuluft an die Behälterwand, Ausbildung Absaugung als Senke oberhalb des Emittenten (Anhang 1, Bild 16 und 17)	18
9	Ausgangslage der Abströmung von Lösungsmitteldämpfen unter Berücksichtigung der Wirkungsweise der Fangplatte mit umlaufender Schlitzdüse zur Bildung eines Luftschleiers (Anhang 1, Bild 18)	19

Zusammenfassung

Die Lackfabrik Warnecke & Böhm GmbH beabsichtigte mit dem Vorhaben, eine umweltschonende und wirtschaftlich arbeitende Lüftungstechnik zu entwickeln. Die Anlage soll die Ausbreitung von flüchtigen bzw. luftfremden gasförmigen Stoffen vermindern und den Anforderungen der gültigen gesetzlichen Normen entsprechen.

Das Entwicklungsziel eines umweltschonenden Verfahrens zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen beim Einsatz von stark emittierenden Schadstoffen während der Herstellung von lösungsmittelhaltigen Lacken und Farben wurde erreicht und kann mit folgenden Aussagen und Ergebnissen zusammengefasst werden:

- Es entstand eine neue Methode für die Erfassung flüchtiger organischer Lösungsmitteldämpfe, die nach der Ausbildung von Luftschleiern mit geringen Volumenströmen funktioniert.
- Mit der praktizierten Luftströmung können die produktionsbedingten handwerklichen Tätigkeiten an den Mischgefäßen ungehindert ohne die Benutzung von Verdeckelungen oder Abdichtungen ausgeführt werden.
- Die Lüftungsleistungen und ihre Strömungsintensität werden über einen Gasmonitor gesteuert. Damit kann die Lüftungstechnische Anlage in ihrer Intensität dem Bedarf in der Weise angepasst werden, dass sie nur bei Vorhandensein von belasteter Umgebungsluft in Betrieb gesetzt wird.
- Mit der entwickelten Luftführung beim Umgang mit organischen Lösungsmitteln haben sich die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) stark verbessert, so dass wegen der Geringfügigkeit keine Nachmessungen mehr erforderlich sind.
- Es konnte eine Minimierung der abgeleiteten Emissionen auf ein Drittel der Ursprungswerte registriert werden.
- Die Lüftungstechnische Anlage wurde mit einer Energierückgewinnung ausgestattet, die vergleichend mit anderen Heizperioden zu einer Reduzierung des Energieverbrauches um ca. 40 Prozent beitragen kann.

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sind besonders drei Effekte hervorzuheben, die mit der neuen Lüftungstechnischen Anlage und dem umweltschonenden Verfahren zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen verbunden sind:

- Die herkömmliche Auslegung nach dem Stand der Technik würde eine Lüftungstechnische Anlage mit einer etwa 4-fachen Luftleistung erfordern, um vergleichbare Effekte hinsichtlich der Reduzierung der luftfremden gasförmigen Schadstoffe zu erzielen.
- Aufgrund der geringeren Luftleistung reduzieren sich die Investitionskosten und die laufenden Betriebskosten für die Lüftungstechnische Anlage zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen.
- Die Reduzierung der Luftleistung und die Verminderung der Lösemittelfrachten in der Abluft vermindern die technischen und wirtschaftlichen Aufwendungen für nachgeschaltete Abluftreinigungssysteme.

Die entstandene innovative technische Lösung für ein umweltschonendes Verfahren zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen beim Umgang mit flüchtigen organischen Lösungsmitteln eröffnet zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten in anderen Bereichen, wie zum Beispiel in der Lackiertechnik.

Das Entwicklungsprojekt wurde unter dem Az.: 22651 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert.

1 Einleitung

Ausgangssituation

Bei der Produktion von lösungsmittelhaltigen Lacken, Farben und Beschichtungsstoffen werden die verschiedensten filmbildenden Bindemittel mit ergänzenden Rohstoffen in organischen Lösungsmitteln gelöst, verdünnt oder mit organischen Lösungsmitteln versetzt. Sehr häufig finden diese Arbeitsvorgänge in offenen Gefäßen statt.

Die Verwendung flüchtiger organischer Verbindungen als Lösungsmittel bei der Herstellung verschiedener Lacke und Farben erweist sich somit als potenzielles Risiko gegenüber den bereits fortgeschrittenen Bemühungen zur Reinhaltung der Luft, wie sie z. B. im Straßenverkehr praktiziert werden.

Für die Vermeidung gesundheitlicher Risiken am Arbeitsplatz existieren die erforderlichen gesetzlichen Grundlagen. Bereits am 11. März 1999 wurde in Brüssel die so genannte VOC-Richtlinie (Lösungsmittel-Richtlinie) verabschiedet. Mit dieser EU-Richtlinie sollen die Lösungsmittlemissionen europaweit spürbar reduziert werden. Dies geschieht sowohl durch Vorgabe von Emissionsgrenzwerten für die Abgase von Anlagen als auch durch eine Begrenzung der flüchtigen Anteile organischer Verbindungen. Nach der VOC-Richtlinie sind VOC's (volatile organic compounds) flüchtige organische Verbindungen, die bei 293,15 K einen Dampfdruck von 0,01 kPa oder mehr besitzen und unter den jeweiligen Verwendungsbedingungen eine entsprechende Flüchtigkeit aufweisen.

VOC's führen aufgrund ihrer Eigenschaften auch bei der Herstellung lösungsmittelhaltiger Lacke zur Freisetzung organischer Verbindungen in die umgebende Luft. Zusätzlich tragen VOC's zur lokalen oder grenzüberschreitenden Bildung fotochemischer Oxide in der Grenzschicht der Troposphäre bei. Dabei bildet sich bodennahes Ozon. Es kommt zu einer Schädigung der natürlichen Ressourcen, die für die Umwelt und die Wirtschaft von größter Bedeutung sind und unter bestimmten Bedingungen zu einer Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit führen.

Auch die Anlagen zur Herstellung lösungsmittelhaltiger Lacke, Farben und Beschichtungsstoffe sind von den Forderungen gemäß Anhang 1, Punkt 16 der 31. BImSchV (auch VOC-Richtlinie) betroffen. Diese VOC-Richtlinie wurde im Jahre 2001 als „Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen“ in bundesdeutsches Recht umgesetzt. Damit stiegen auch die Anforderungen zur Vermeidung von Lösungsmittlemissionen nach dem deutschen Immissionsschutzgesetz. Die in § 13 getroffene Übergangsregelung betraf die Umsetzung der Vorschriften zur Vermeidung von Emissionen für bestehende Altanlagen.

Die Lackfabrik Warnecke & Böhm GmbH aus Schliersee produziert vorrangig Spezialbeschichtungsstoffe, die wegen ihrer rheologischen Produkteigenschaften und einer manuellen Bearbeitungstechnik nur in offenen Mischgefäßen gefertigt werden können, da die Verfahrensschritte visuell kontrolliert werden müssen. Infolge dieser Produktionstechnologie treten Lösungsmitteldämpfe oft unkontrolliert in die Umgebungsluft aus. Gesetzliche Normen der Luftreinhaltung wurden daher nur mit hohem Aufwand und oftmals unbefriedigender Effektivität eingehalten.

Trotz einer Absaugung der Schadstoffe an den Mischgefäßen kam zu einer Raum füllenden Ausbreitung der Lösungsmitteldämpfe. Die folgende Zeichnung verdeutlicht die Ausgangssituation mit den Luftströmungen in den Produktionsräumen.

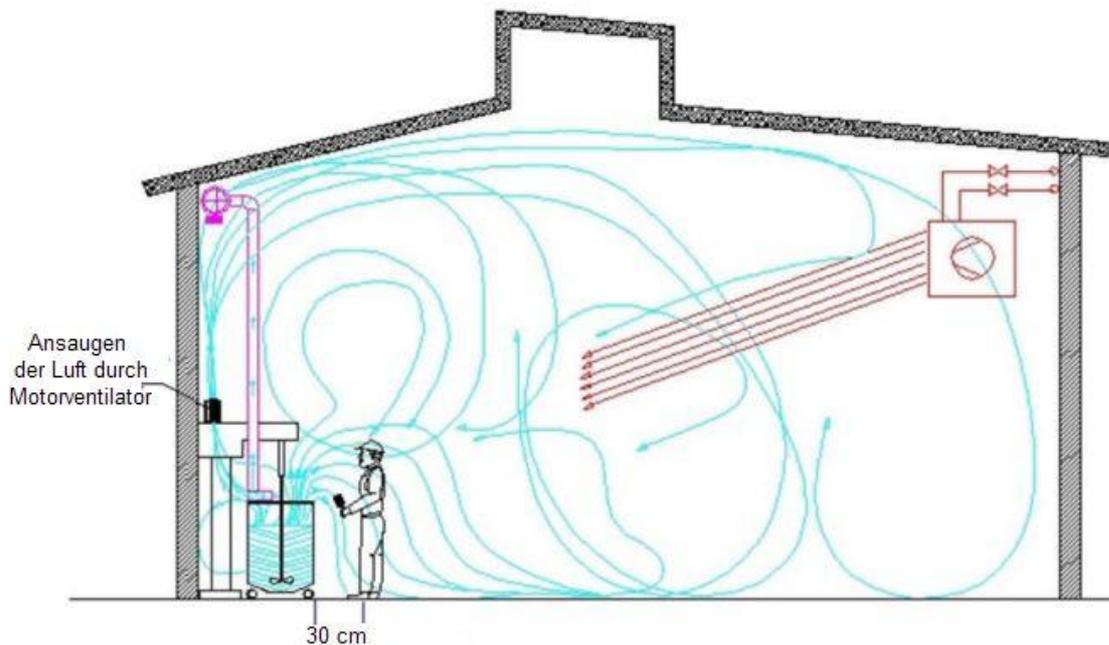


Bild 1: Ausgangslage zu Beginn des Vorhabens

Diese Situation wurde auch in fachlichen Beratungen mit dem Amt für Technischen Umweltschutz des Landratsamtes in Miesbach besprochen, wobei Abweichungen von den Richtlinien zu verzeichnen waren, die sich insbesondere aus den folgenden gesetzlichen Regelungen ergaben:

- Arbeitsschutzgesetz
- Arbeitssicherheitsgesetz
- Lösungsmittel-Verordnung (31.BImSchV)
- Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)

Die Anforderungen für die Errichtung von Lüftungstechnischen Anlagen nach dem Stand der Technik sind in folgenden Regelwerken niedergelegt:

- Landesbauordnungen

- Arbeitsstättenrichtlinien
- VDI 6022.1 (Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte)
- VDI 2262.1 (Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz; Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe, wie Stäube, Dämpfe, Gase, die nicht mit der natürlichen Zusammensetzung der Luft übereinstimmen)
- DIN 1446.1-5 (Lüftungstechnische Anlagen)
- BGR 121 (Arbeitsplatzlüftung - Lufttechnische Maßnahmen (bisher ZH 1/140) vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Fachausschuss „Einwirkungen und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren“ der BGZ, Januar 2004)

Es war klar, dass die Anwendung der Parameter aus den genannten Vorschriften zu einem Zielkonflikt führen würde, bei dem weder eine technisch plausible Lösung machbar ist, noch befriedigende Ergebnisse unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu erwarten sind. Die Arbeitsweise mit den Lüftungstechnischen Anlagen nach dem Stand der Technik erfordert beispielsweise während der kalten Jahreszeit einen sehr hohen Energieeinsatz, um die unbelastete Frischluft ausreichend zu erwärmen.

Zielsetzung

Die Lackfabrik Warnecke & Böhm GmbH beabsichtigte mit dem Vorhaben, unter Berücksichtigung der bestehenden und nicht zu verändernden Verfahrensweise in der Farbenherstellung eine wirtschaftlich arbeitende Lüftungstechnik einzurichten.

Die Anlage soll die Ausbreitung von flüchtigen und gasförmigen luftfremden Stoffen vermindern und den Anforderungen der gültigen gesetzlichen Normen entsprechen.

Aufgabenstellung

Im Zusammenhang mit der Zielsetzung einer wirtschaftlichen und umweltgerechten Lüftungstechnik wurde von der Lackfabrik Warnecke & Böhm GmbH ein Antrag auf Förderung bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gestellt. Der Antrag basierte auf einem Vorhaben mit den folgenden Schwerpunkten bzw. Phasen:

1. Errichtung eines Versuchstandes zur Erprobung verschiedener technischer Konzepte

- Mathematische Modellierung der Prozessgrößen und Definition der Messpunkte
- Auswahl und Erprobung von Abdichtungs- und Kühlsystemen sowie der dafür erforderlichen Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
- Auswahl und Erprobung der Quellauslässe entsprechend der Lösungsansätze
- Beschaffung der erforderlichen Komponenten für den Bau der Versuchsanordnungen

- Errichtung und Erprobung einer Versuchsstation mit einer optimalen Belüftungsvariante
- Projektsteuerung einschließlich Dokumentation der Ergebnisse

2. Einrichtung und Anpassung der Pilotanlage für weitere acht Betriebsräume im Rahmen eines Investitionsvorhabens

Im Mittelpunkt stand auch hier die Erarbeitung von technischen Lösungen, womit folgende Zielstellungen wegweisend unterstützt werden sollten:

- Auswertung der Versuchsergebnisse für die Planung und den Bau der Pilotanlage
- Entwicklung und Realisierung der Pilotanlage
- Entwicklung und Optimierung der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik sowie der Steuerungssoftware
- Projektsteuerung einschließlich Dokumentation der Ergebnisse

Alle durchgeführten Erprobungen sollten den Zweck erfüllen, die Gesetzmäßigkeiten der Thermodynamik auf die praktischen Anwendungen in der vorliegenden Aufgabenstellung zu übertragen.

2 Vorhaben

Mit der Umsetzung der Zielsetzungen des Vorhabens wurden die festgelegten Schwerpunkte systematisch bearbeitet. Dabei war es für die Vorgehensweise wichtig, die notwendigen Arbeitsgrundlagen zu erarbeiten und anschließend konsequent umzusetzen.

Zunächst erfolgte in einer Bestandsaufnahme die Erfassung der Emittenten unter den Produktionsmaschinen und deren Einteilung entsprechend einer vorherigen Typisierung nach Kategorien.

Die Anlagenkomponenten, wozu im Wesentlichen Rührwerke, Dissolver, Perlmühlen und Abfüllmaschinen gehören, wurden hinsichtlich ihrer Quellterme (Emissionen verursachende Betriebsvorgänge gem. der 11. BImSchV, Abk. EVB) in der Weise messtechnisch erfasst, dass ihre Ausbreitungen nach Konzentrationsverläufen in jeweiligen Profilen zusammengefasst und dem Kataster zugeordnet wurden. So ließen sich die Daten luftfremder Stoffe, also von Lösungsmitteldämpfen in ihrer gasförmigen Zusammensetzung, entsprechend ihren Belastungen nach den Emittenten zuordnen. Ihre messtechnischen Erfassungen erfolgten jeweils über die Adsorption auf Aktivkohle und die anschließenden gaschromatographischen Auswertungen. Dies geschah ebenfalls auch für mögliche Luftströmungen, die über Flächenanemometer erfasst wurden.

Die Ergebnisse zu den Ausgangslagen wurden mit fachlicher Unterstützung des Amtes für technischen Umweltschutz des Landkreises Miesbach, vertreten durch Herrn Florian Brand, und des Institutes für Lüftungs- und Klimatechnik Dresden, vertreten durch Herrn Prof. Dr. Franzke, diskutiert und bewertet.

Das Institut für Lüftungs- und Klimatechnik in Dresden (ILK) hat auf der Basis der gewonnenen Messwerte thermodynamische Berechnungen durchgeführt, wovon mögliche Realisierungsvorschläge abgeleitet wurden. Der zusammenfassende Fachbericht des ILK Dresden zum Thema „Strömungssimulationen zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen im Bereich der Herstellung von Lacken und Farben“ ist dem Bericht im Anhang 3 beigelegt.

2.1 Arbeitsschritte und Ergebnisse

2.1.1 Grundsatzuntersuchungen

Die praxisnahe Ermittlung des Regelverhaltens von Einflussgrößen sollte sich an den folgenden Abhängigkeiten orientieren:

- Abhängigkeit 1, die physikalische Eigenschaften der Ausbreitung flüchtiger organischer Lösungsmittel von strömungstechnischen Raumzuständen beschreibt
- Abhängigkeit 2, die physikalische Eigenschaften der Ausbreitung flüchtiger organischer Lösungsmittel von thermisch instabilen Lagen beschreibt

- Abhängigkeit 3, die physikalische Eigenschaften der Ausbreitung flüchtiger organischer Lösungsmittel von flüchtigen Vielstoffgemischen beschreibt
- Abhängigkeit 4, die physikalische Eigenschaften der Ausbreitung flüchtiger organischer Lösungsmittel als Vielstoffgemisch von Mischprozessen in offenen Behältern beschreibt

Die im Bericht des Institutes für Lüftungs- und Klimatechnik (Anhang 3, Kurvenscharen zur grafischen Ermittlung der Molmassenverteilungen) erarbeiteten Strömungsmodelle wurden anschließend verifiziert, weil durch die Kenntnisse über die Luftzirkulation unter dynamischen Betriebsbedingungen die Möglichkeit einer deutlichen Minimierung der Anlagentechnik zu berücksichtigen war.

Auf der Basis der mathematischen Modelle des Instituts für Lüftungs- und Klimatechnik erfolgte die Auswahl und Erprobung von

- Abdichtungssystemen,
- Kühleinrichtungen,
- Quellauslässen

sowie der Aufbau der Versuchsanlage nach dem vorgeschlagenen Prinzip des Institutes für Lüftungs- und Klimatechnik (ILK).

Die vom ILK durchgeführten Modellrechnungen basieren auf den ermittelten Bestandsdaten und dem Einrichtungsplan der Versuchsanlage. Die grafisch dargestellten Zielgrößen sind die in Stromlinien dargestellten Konzentrationen luftfremder gasförmiger Stoffe (in kmol/m³). Die Verläufe wurden in verschiedenen Schnittebenen aufgezeigt und veranschaulichen sehr gut die Ausbreitungen der luftfremden Stoffe im Produktionsraum (Anhang 3, Kurvenscharen zur grafischen Ermittlung der Molmassenverteilungen).

Unter dem Gesichtspunkt der besten Ergebniserwartung diente für die Untersuchungen ein Modell, worin die folgenden Annahmen getroffen wurden:

- Die betreffenden Emittenten der Maschinen oder Apparate sind mit einem Luftschleier zu versehen.
- Die Schadstoffe im Zentrum eines räumlich über der Maschine angeordneten Deckels sind abzusaugen.
- Eine umlaufende Schlitzdüse soll die freigesetzten Lösungsmitteldämpfe bündeln, die im Zentrum der Fangplatte abgesaugt werden.

Diese Gesichtspunkte des Verfahrens wurden für die nachfolgenden Grundsatzversuche herangezogen und für weitere mathematische Modellierungen der Prozessgrößen zu Vergleichszwecken

verwendet (Anhang 3, Berechnung der Verteilung der Moleküle in der Raumluft einschließlich grafischer Darstellungen).

Die Betrachtungen und Zielformulierungen hinsichtlich eines dynamischen Ausbreitungsverhaltens luftfremder gasförmiger Stoffe in den Arbeitsräumen mussten dabei auch auf andere Typen von Emittenten in der Lackproduktion ausgedehnt werden, z. B. auf Dissolver, Rührwerke, Perlmühlen, Befüllstellen zur Bestückung der Anlagen mit Rohstoffen und Abfüllstellen zum Abfüllen der Produkte in Gefäße.

2.1.2 Versuchsaufbau

Die weitere Vorgehensweise zum Aufbau der Versuche entsprach den in den Grundsatzuntersuchungen getroffenen Festlegungen.

Auswahl und Erprobung von Abdichtungssystemen

Für die in der Lackindustrie üblicherweise verwendeten mobilen Mischbehälter musste zunächst ein robustes Verdeckelungssystem entwickelt werden, das folgende Anforderungen erfüllt:

- Hoher Bedienungskomfort
- Gute Abdichtung
- Berücksichtigung der Anforderungen des Arbeitsschutzgesetzes
- Berücksichtigung der Anforderungen der EG- Maschinenrichtlinie
- Berücksichtigung der Anforderungen der Betriebssicherheits-VO

Die Erprobung des Abdichtungssystems und die Auswahl eines geeigneten Rückflusskühlers wurden berücksichtigt.

Als Abdichtungssystem diente bei der Durchführung von Versuchen ein speziell angefertigter Deckel aus Holz (Tischlerplatten). Die Abdichtung erhielt zusätzlich ein Segment zur Bedienung. Die Halterungen und die Führungen der Holzplatte wurden mit Standard-Pneumatikelementen ausgestattet.

Die Vorrichtungen (Holzplatte, Verdeckelung) wurden für die Durchführung diverser Versuche wahlweise mit Rückflusskühler und einer lösungsmittelfesten Dichtplatte ergänzt (Anhang 1, Bild 2 bis 4).

Auswahl und Erprobung von Kühleinrichtungen

Apparativ wurden zwei unterschiedliche Methoden zur Kühlung eingerichtet, die durch folgende Merkmale gekennzeichnet waren:

- Die Verwendung von **Trockeneis** diente zur gastechnischen Überdeckung der Lackschichten am offenen Rührwerk.
- Auf dem durch den Deckel abgedichteten Mischgefäß erfolgten die Montage und der Einsatz von **Rückflusskühlern**.

Auswahl und Erprobung von Quellauslässen

Zur Klärung der Frage, wie die Optimierungen einer Luftführung an den Maschinen und den Mischplätzen effektiv zu gestalten sind, wurden die strömungstechnischen Verläufe der Emissionsausbreitungen am Versuchstand mit wechselseitig zu betreibenden Rohrinstitutionen ausgestattet. Auf diese Weise konnte ein Bezug zwischen den Profilen der Konzentrationen luftfremder Stoffe und der Systematik der Anlagentechnik hergestellt werden.

Die Quellauslässe wurden unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten und den notwendigen Strömungsgeschwindigkeiten aus Lochblechkästen angefertigt. (Anhang 2, Zeichnung 1 bis 11, und Anhang 1, Bild 5)

Aufbau der Versuchsanlage nach dem vorgeschlagenem Prinzip des Institutes für Lüftungs- und Klimatechnik

Nach den Vorgaben, abgeleitet aus den Berechnungen des ILK Dresden (Anhang 3, Grafische Darstellungen) wurden separat zwei Produktionsanlagen mit den vorgesehenen Einrichtungen ausgestattet. Zum Betrieb erhielten diese Versuchsanlagen lüftungstechnische Zuluft- und Abluftgeräte für die Erzeugung der Zu- und Abluft, um die praxisnahen Betriebszustände simulieren zu können. Diese zentralen Lüftungsgeräte wurden später in der Pilotanlage wieder eingebaut und genutzt. Nachfolgende Zeichnungen und Bilder erläutern die Versuchsanordnungen (Anhang 1, Bild 6 bis 8, Anhang 2, Zeichnung 12 und 13).

2.1.3 Versuchsdurchführung

Alle vergleichenden Untersuchungen und Prüfungen erfolgten nach einheitlichen Maßstäben, sofern es sich bei den Prüfungen um Dispergier-, Rühr- oder Mischvorgänge handelte. Prüfungen anderer Verfahrensschritte wurden aus den gewonnenen Erkenntnissen abgeleitet. Die jeweiligen Prüfungen basierten auf den folgenden Voraussetzungen bzw. beschäftigten sich mit folgenden Schwerpunkten:

- Rührvorgänge eines Lösungsmittelgemisches aus 85 Gewichtsteilen n-Butylacetat und 15 Gewichtsteilen Xylol
- Dispergiervorgänge einer festgelegten Paste aus hohen Anteilen an Füllstoff, Bindemitteln und organischen Lösungsmitteln

- Messung der Konzentrationsschichtungen von verdampften organischen Lösungsmitteln als Ausbreitungsprofil in Produktionsräumen, ausgedrückt als relativer Summenindex in der Höhe des Atembereiches von Personen bei 1,70 m
- Visualisierung der Strömungsverläufe zwischen Quelltermen und Emittenten und den ansaugenden Elementen der Lüftungstechnik mittels Rauchröhrchen
- Messung der erzeugten Luftströmungen mit einem Flächenanemometer

Auswahl und Erprobung von Abdichtungssystemen

Die Emissionsströme wurden mit den folgenden Abdichtsystemen untersucht:

- a) Basisversuch bei offenem Mischgefäß
- b) Deckel aus Holz
- c) Deckel aus Holz mit Schaumstoffdichtung
- d) Deckel aus Holz mit Rückflusskühler
- e) Deckel aus Holz mit Schaumstoffdichtung und Rückflusskühler

In den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen sind die in den Versuchen ermittelten Ergebnisse zusammengefasst. Der Emissionsindex ist eine relative Maßzahl zur Bewertung von Emissionen an den Arbeitsplätzen.

Tabelle 1: Basisversuch bei offenem Mischgefäß als Ausgangslage für die Bewertungen (Anhang 1, Bild 9)

Nr.	Emission verursachende Faktoren	Bewertungen
1	turbulente Rührvorgänge mit Lösungsmittelgemisch	Emissionsindex: 1900
2	<ul style="list-style-type: none"> • turbulente Rührvorgänge mit hochviskoser Farbpaste • Temperatur: 60 °C 	Emissionsindex: 1800
3	visualisierte Luftströmungen	diffus
4	sonstige Erkenntnisse	Die Lösungsmitteldämpfe verteilen sich im gesamten Arbeitsraum.

Tabelle 2: Erprobung eines Deckels aus Holz (Anhang 1, Bild 10)

Nr.	Emission verursachende Faktoren	Bewertungen
1	turbulente Rührvorgänge mit Lösungsmittelgemisch	Emissionsindex: 580
2	<ul style="list-style-type: none"> • turbulente Rührvorgänge mit hochviskoser Farbpaste • Temperatur: 60 °C 	Emissionsindex: 530
3	visualisierte Luftströmungen	diffus
4	sonstige Erkenntnisse	Die Lösungsmitteldämpfe verteilen sich in Richtung zum Hallenboden.

Tabelle 3: Erprobung eines Deckels aus Holz mit Schaumstoffdichtung (Anhang 1, Bild 11)

Nr.	Emission verursachende Faktoren	Bewertungen
1	turbulente Rührvorgänge mit Lösungsmittelgemisch	Emissionsindex: 530
2	<ul style="list-style-type: none"> • turbulente Rührvorgänge mit hochviskoser Farbpaste • Temperatur: 60 °C 	Emissionsindex: 500
3	visualisierte Luftströmungen	diffus
4	sonstige Erkenntnisse	Die Lösungsmitteldämpfe verteilen sich in Richtung zum Hallenboden.

Tabelle 4: Erprobung eines Deckels aus Holz mit Rückflusskühler (Anhang 1, Bild 12)

Nr.	Emission verursachende Faktoren	Bewertungen
1	turbulente Rührvorgänge mit Lösungsmittelgemisch	Emissionsindex: 550
2	<ul style="list-style-type: none"> • turbulente Rührvorgänge mit hochviskoser Farbpaste • Temperatur: 60 °C 	Emissionsindex: 510
3	visualisierte Luftströmungen	diffus
4	sonstige Erkenntnisse	Die Lösungsmitteldämpfe verteilen sich in Richtung zum Hallenboden. Dämpfe treten zwischen Deckel und Gefäß aus. Die Temperatur des Kühlwassers betrug 11 °C.

Tabelle 5: Erprobung eines Deckels aus Holz mit Schaumstoffdichtung und Rückfluskkühler
(Anhang 1, Bild 13)

Nr.	Emission verursachende Faktoren	Bewertungen
1	turbulente Rührvorgänge mit Lösungsmittelgemisch	Emissionsindex: 230
2	<ul style="list-style-type: none"> • turbulente Rührvorgänge mit hochviskoser Farbpaste • Temperatur: 60 °C 	Emissionsindex: 210
3	visualisierte Luftströmungen	Nicht erkennbar!
4	sonstige Erkenntnisse	Nach dem Öffnen des Deckels wurden kurzzeitig erhebliche Emissionen in Form von Lösungsmitteldämpfen freigesetzt. Die Temperatur des Kühlwassers betrug 11 °C.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Unter dem Gesichtspunkt, wonach mobil zu handhabende Mischbehälter nur schwer abzudichten sind, wenn gleichzeitig an den offenen Gefäßen gearbeitet werden muss, ist eine apparatetechnische Abdichtung kaum lösbar.

Misch- und Homogenisierungsvorgänge verursachen erhebliche Emissionen, die durch Absauganlagen weitgehend erfasst werden. Durch diese Art von Absaugungen werden an den Grenzschichten zwischen flüssigen und gasförmigen Phasen Unterdrücke erzeugt, die die Lösungsmittelfrachten in der abzuleitenden Abluft erheblich vermehren.

Mit der Installation einer einfachen Verdeckelung nach Tabelle 2 kann sehr allgemeingültig das Prinzip mit den folgenden Merkmalen aufgezeigt werden:

- An offenen Mischgefäßen ist bei den beschriebenen Verfahren eine intensive Raumlufbelastung zu erwarten, die auf einen 7- bis 10-fachen Wert der Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) ansteigen kann.
- Allein mit Verdeckelungen lassen sich diese Raumlufbelastungen nur unwesentlich reduzieren. Lösungsmitteldämpfe werden durch turbulente Strömungen besonders stark hervorgerufen und bewirken sehr starke Ausdampfungen.
- Mit Kunststoffdichtungen können keine deutlichen Verminderungen der Raumlufbelastung festgestellt werden.
- Durch den Einsatz von Rückfluskkühlern wird der Effekt einer Ausdunstung von Lösungsmitteldämpfen zwischen Dichtung und Behältern sehr stark vermindert.

Die Verdeckelung führt jedoch bei den Produktionsarbeiten der Lackherstellung auch zu zwei erheblichen Nachteilen:

- Die Durchführung der handwerklichen Arbeiten zur Einstellung der spezifischen Anforderungen an die Beschichtungsstoffe gestaltet sich äußerst aufwendig.
- Mit dem Öffnen des Deckels entstehen durch entspanntes Freisetzen der Lösungsmitteldämpfe sehr starke Emissionen. Dies gilt besonders in der Variante e) „Deckel aus Holz mit Schaumstoffdichtung und mit Rückflusskühler“.

Auswahl und Erprobung von Kühleinrichtungen

Es wurden zwei Methoden zur Eindämmung der Freisetzung von Emissionen bei den Mischvorgängen erprobt:

- Die erste Methode betrifft die Verdeckelung mit aufgesetzten Rückflusskühlern und wurde bereits bei der Auswahl und Erprobung von Abdichtungssystemen beschrieben.
- Bei der zweiten Methode wurde die Oberfläche des Lösungsmittels mit Trockeneis überschichtet. Die Grenzschicht zwischen der flüssigen und der gasförmigen Phase wies eine Temperatur von -78 °C auf. Eine zuvor aufgestellte Arbeitshypothese ging davon aus, dass eine Absenkung des Dampfdruckes des verwendeten Lösungsmittels auch zu einer Reduzierung der Verdunstungsrate führen würde.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse entsprachen den schlechten Werten aus dem Basisversuch ohne Verdeckelung (Tabelle 1) und können mit folgenden Merkmalen charakterisiert werden:

- Durch die turbulenten Strömungen werden die Kühleffekte unwirksam. (Laminare Strömungen treten in der Verfahrenstechnik des Rührens und Homogenisierens fast nie auf!)
- In den Turbulenzschichten können keine Temperaturübergänge und somit auch kein Phasenaustausch stattfinden.

Auswahl und Erprobung von Quellauslässen

An den Versuchsständen wurden die Lüftungskanäle für die Zu- und Abluftelemente so angeschlossen, dass die für die Durchführung der Versuche notwendigen Einstellungen leicht vorgenommen werden konnten. Mit diesen Einrichtungen fanden in wechselnden Anordnungen die Untersuchungen zur Zweckmäßigkeit der Luftführung statt. Damit wurde auch die erklärte Absicht des Unternehmens Warnecke & Böhm GmbH berücksichtigt, die Arbeitsweise an den offenen Ansatzgefäßen beizubehalten.

Die speziell angefertigten Lüftungselemente wurden über manuell zu betätigende Regelklappen auf die notwendigen Volumenströme eingestellt. Folgende Anordnungen zwischen Quellauslass und Absaugung wurden untersucht:

- **Quellauslass oben und Absaugung unten**
- **Quellauslass unten und Absaugung oben**
- Anströmung der **Zuluft an die Behälterwand**, Ausbildung der **Absaugung als Senke oberhalb des Emittenten**

Tabelle 6: Ausgangslage der Abströmung von Lösungsmitteldämpfen bei Quellauslass oben und Absaugung unten (Anhang 1, Bild 14). Diese Methode wird nach dem Stand der Technik beim Umgang mit flüchtigen organischen Lösungsmitteln immer angewendet.

Nr.	Emission verursachende Faktoren	Bewertungen
1	turbulente Rührvorgänge mit Lösungsmittelgemisch	Emissionsindex: 1850
2	<ul style="list-style-type: none"> • turbulente Rührvorgänge mit hochviskoser Farbpaste • Temperatur: 60 °C 	Emissionsindex: 1600
3	visualisierte Luftströmungen	diffuse Verteilung durch Einwirkungen des Motorlüfters
4	sonstige Erkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Eine gerichtete laminare Luftströmung ließ sich nicht einrichten. • Die hohen Emissionsströme verteilten sich raumgreifend.

Tabelle 7: Ausgangslage der Abströmung von Lösungsmitteldämpfen bei Quellauslass unten und Absaugung oben (Anhang 1, Bild 15)

Nr.	Emission verursachende Faktoren	Bewertungen
1	turbulente Rührvorgänge mit Lösungsmittelgemisch	Emissionsindex: 320
2	<ul style="list-style-type: none"> • turbulente Rührvorgänge mit hochviskoser Farbpaste • Temperatur.: 60 °C 	Emissionsindex: 290
3	visualisierte Luftströmungen	nach oben gerichtete und nahezu laminare Strömung
4	sonstige Erkenntnisse	Die hohen Emissionsströme verteilten sich nach oben gerichtet.

Tabelle 8: Anströmung der Zuluft an die Behälterwand, Ausbildung Absaugung als Senke oberhalb des Emittenten (Anhang 1, Bild 16 und 17)

Nr.	Emission verursachende Faktoren	Bewertungen
1	turbulente Rührvorgänge mit Lösungsmittelgemisch	Emissionsindex: 160
2	<ul style="list-style-type: none"> • turbulente Rührvorgänge mit hochviskoser Farbpaste • Temperatur: 60 °C 	Emissionsindex: 110
3	visualisierte Luftströmungen	ideale, nach oben gerichtete laminare Strömung
4	sonstige Erkenntnisse	geringes Luftvolumen von ca. 250 m ³ /h je Behälter realisierbar

Zusammenfassung der Ergebnisse

- Die Versuchsdurchführung ließ erkennen, dass die sich Zuluft laminar an die Behälterwänden anlegt.
- Es entstand ein Luftschleier, der sich durch Wärmeflussvektoren, Turbulenzvektoren und die Einwirkung des Motorlüfters zylindrisch bis in die über dem Motor angeordnete Senke ausbildete.
- Das Zuluft- und Abluftvolumen konnte bis auf jeweils 250 m³/h herabgesenkt werden, ohne dass das System instabil wurde.

Aufbau der Versuchsanlage

Der Aufbau der Versuchsanlage nach dem vorgeschlagenen Prinzip des Institutes für Lüftungs- und Klimatechnik wurde entsprechend den Angaben laut Anhang 3 durchgeführt. Das Ziel dieses Versuches bestand einerseits darin, die konzeptionelle Umsetzung des Institutes für Lüftungs- und Klimatechnik zu konkretisieren und andererseits deren technische Machbarkeit festzustellen.

Der Aufbau dieser Versuchsanlage wurde bereits beschrieben. Erforderlich und zugleich problematisch erwies sich die Anbringung einer Fangplatte in einer Höhe von vier Metern, weil die Ausleger und der Maschinenständer des Dissolvers diesen Bewegungsspielraum benötigten.

Tabelle 9: Ausgangslage der Abströmung von Lösungsmitteldämpfen unter Berücksichtigung der Wirkungsweise der Fangplatte mit umlaufender Schlitzdüse zur Bildung eines Luftschleiers (Anhang 1, Bild 18)

Nr.	Emission verursachende Faktoren	Bewertungen
1	turbulente Rührvorgänge mit Lösungsmittelgemisch	Emissionsindex: 1550
2	<ul style="list-style-type: none"> • turbulente Rührvorgänge mit hochviskoser Farbpaste • Temperatur: 60 °C 	Emissionsindex: 1400
3	visualisierte Luftströmungen	Die nach unten gerichtete laminare Luftströmung konnte nicht erreicht werden.
4	sonstige Erkenntnisse	Es wäre ein Luftvolumen von mehr als 3200 m ³ /h erforderlich, um einen Luftschleier mit 3 m/s Strömungsprofil stabil einzustellen.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Versuchsdurchführung ließ erkennen, dass sich die Zuluft als laminare Strömung aus der umlaufenden Schlitzdüse nur dann nach unten führen lässt, wenn die Leistung des Luftvolumens deutlich erhöht würde.

Die technisch notwendige Luftschleiergeschwindigkeit wurde durch das ILK Dresden im Rahmen der mathematischen Modellierung ermittelt und betrug im Minimum 3 m/s. (Anhang 3, Grafische Darstellungen). Diese Annahme konnte experimentell bestätigt werden. Daraus resultiert für eine Anlage entsprechend der Größe der Fangplatte ein Luftvolumen von 3.200 m³/h.

Als Störfaktor erweist sich bei der Konzeption des ILK Dresden allerdings der Einfluss des Motorlüfters, der die erzeugten Luftschleier verwirbelte.

Nach einer Hochrechnung, basierend auf der Modellrechnung des ILK und bezogen auf die betriebliche Situation wäre die Installation einer Lüftungsanlage von mehr als 150.000 m³/h Leistungsvolumen erforderlich gewesen.

Schließlich ist auch eine Luftschleiergeschwindigkeit von 3 m/s an Arbeitsplätzen nicht erlaubt, weil dies zu einer 10-fachen Überschreitung des Grenzwertes der Zugerscheinungen (lt. Arbeitsstättenverordnung 0,3 m/s) führt.

2.1.4 Innovation und technische Basis

Die Kernaussagen zu den durchgeführten Versuche können wie folgt zusammengefasst werden:

- Der Verteilung der Lösungsmitteldämpfe in den Produktionsräumen wird durch eine gezielte Luftschleierbildung deutlich reduziert.
- Für die Entstehung der nach oben hin wirkenden Luftschleier sind die folgenden Antriebsmechanismen verantwortlich:
 - a) geringe Zuluftanströmung tangential am Behältermantel
 - b) geringe adäquate Absaugung (strömungstechnische Senke) lotrecht über dem Elektroantrieb
 - c) Saugwirkung des Elektromotorlüfters
 - d) nach oben gerichtete Wärmeflussvektoren infolge der Produkterwärmung und Erwärmung des Elektromotors
 - e) nach oben gerichtete Turbulenzvektoren infolge von Phasenmischungen im turbulenten Bereich

Unter Ausnutzung der verfahrenstechnischen Voraussetzungen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten gelang es, die Mischkessel während des Betriebsprozesses durch Luftschleier einzuhüllen.

Damit konnten die folgenden Effekte erzielt werden:

- Die im Prozess freigesetzten Lösungsmitteldämpfe verbreiten sich nicht im Betriebsraum.
- Es entfällt eine Absaugung und somit reduziert sich die abzuleitende Lösungsmittelfracht erheblich.
- Das entwickelte System lässt sich raumweise und im Abgaskamin überwachen. Erst mit dem Erreichen bestimmter vorab eingestellter Schwellenwerte der Lösungsmittelkonzentrationen schaltet sich das System automatisch ab.
- Die Erfassung der Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) und der Emissionswerte geschieht laufend und automatisiert. Die Werte dienen zur Steuerung der Anlage und werden gespeichert.

2.1.5 Anlagenkonzepte

Aus den Ergebnissen der beschriebenen Grundsatzversuche resultieren drei technische Anlagenkonzepte:

Das **erste Konzept** mit dem Einsatz von Deckeln in Verbindung mit Rückflusskühlern und einer Schaumstoffdichtung scheidet im Prinzip aus, weil eine praktische Handhabung nicht möglich ist. Darüber hinaus wäre eine zusätzliche Erfassungstechnik für jene Lösungsmitteldämpfe notwendig, die mit dem Öffnen des Abdichtungssystems freigesetzt werden. Da diese Erfassungstechnik nicht Gegenstand des Vorhabens war, wurde diese Variante nicht verifiziert.

Für die Umsetzung der Versuchsergebnisse bieten sich daher nur die zwei folgenden technischen Verfahren bzw. Konzepte an. Die Konzepte sind in ihrer Wirksamkeit effizient, unterscheiden sich jedoch besonders hinsichtlich ihrer Handhabungen und ihrer technischen Kapazität bzw. ihres notwendigen Luftvolumens zur Erfassung der Lösungsmitteldämpfe.

Das **zweite Konzept** basiert auf den Versuchsergebnissen zur Auswahl und Erprobung von Quellauslässen (ringförmiger Quellauslass). Dieses Prinzip erfordert für den betrieblichen Einsatz eine bautechnische Änderung, wonach die Behälter mit einem angeschweißten ringförmigen Zuluftkanal oder einem Doppelboden ausgestattet werden. Der Doppelboden ist gut geeignet, damit die Zuluft als Quellauslass von unten nach oben in eine absaugende Senke strömt.

Dieses Konzept wurde jedoch von der Firma Warnecke & Böhm GmbH verworfen, weil dazu die Anschaffung neuer oder die konstruktive Veränderung aller vorhandenen Mischbehälter notwendig gewesen wäre. Jeder Mischbehälter hätte darüber hinaus an jedes Mischaggregat oder jedes Rührwerk angeschlossen werden müssen, was unter dem Gesichtspunkt der Arbeitsabläufe beschwerlich ist. Der Vorteil der Anwendung eines solchen Systems bedeutet eine Verminderung der Investitionskosten für die Lüftungstechnik, was sich auf einen geringeren Luftverbrauch ausgewirkt hätte.

Mit dem **dritten Konzept** wurde ein anderer Lösungsweg beschritten. Da eine unmittelbar wirkende Anströmtechnik an die Behälterwandungen unter den gegebenen Bedingungen nicht möglich ist, wurde zum letztgenannten System nach dem zweiten Konzept (Doppelboden) eine Variante gewählt, die die gleichen Effekte ermöglicht.

Das Konzept beinhaltet eine Anströmung der Behälterzylinder, wobei die Zuluftelemente nicht Bestandteil der Mischbehälter sind, sondern fest mit der Lüftungstechnischen Anlage verbunden werden. Die Luftleistungen haben sich zwar gegenüber der im zweiten Konzept vorgestellten Variante verdoppelt, aber es überwiegt bei dieser Lösung der Vorteil des einfacheren Umgangs während der täglichen Nutzung durch die Bediener.

2.1.6 Stand der Technik

In Bezug auf die Luftführung und der Erfassung von gas- und dampfförmigen luftfremden Stoffen findet man allgemeingültige Vorgaben in der BG-Regel zur Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen (BGR 121).

Die Anforderung aus der Technischen Regel für brennbare Flüssigkeiten Nr. 20 (TRbF20) für die aktive Lagerung von brennbaren Flüssigkeiten fordert bezogen auf das Raumvolumen der Lagerhalle einen 5-fachen Luftwechsel pro Stunde. Der technische Hintergrund besagt, dass durch intensive Luftverdünnungen das Risiko der Entzündung und Explosion von Lösungsmitteldämpfen herabgesetzt wird.

Aus den Erfahrungen im Lüftungsbau resultieren die Planungsgrundsätze für die Errichtung einer Lüftungstechnischen Anlage im Lösungsmittelbereich. Ausgehend von der Tatsache, dass Lösungsmitteldämpfe „spezifisch schwerer als Luft“ sind, wird zumeist nach den Anhaltspunkten in der TRbF20 eine 5-fache Luftwechselrate je Stunde und Produktionshalle zur raumgreifenden Verdünnung der Lösungsmitteldämpfe gewählt.

In der Praxis kommt es in den meisten Fällen zur Überdimensionierung von Lüftungstechnischen Anlagen, was immer mit einem erhöhten Energieverbrauch verbunden ist. Durch die überdimensionierten Absaugvorrichtungen steigen die Lösungsmittelfrachten in den Abluftkaminen erheblich.

Entscheidend ist selbstverständlich die Frage, ob die Lösungsmitteldämpfe schwerer als die sie umgebende Luft sind. Es muss jedoch auch unterschieden werden zwischen einem Lager für brennbare Flüssigkeiten und einem Produktionsraum.

Treten im Lager infolge einer Havarie Lösungsmitteldämpfe aus, sinken sie zumeist infolge einer thermisch stabilen Raumlage zu Boden. Im Gegensatz dazu herrschen in Produktionsräumen üblicherweise thermisch instabile Lagen. Jede Maschine und jede tätige Person bewirken thermische Abstrahlungen, woraus dynamische Einwirkungen auf das Sinkverhalten bzw. den Auftrieb der Lösungsmittel resultieren. Dies führt zu einer dynamischen Luftbewegung in den Produktionsräumen und zu einer Anreicherung der Luft mit Lösungsmitteldämpfen.

Nach den vorliegenden Lösungen zu den Grundsatzfragen wird es nunmehr möglich, die Ausbreitung der Lösungsmitteldämpfe in einer Luftschleierführung an den Mischkesseln zu sammeln, ohne dafür eine Absaugung zu benutzen. Vielmehr treten nur noch jene Lösungsmitteldämpfe aus der Flüssigphase aus, die auf Grund ihres Partialdruckes verdunsten.

2.1.7 Anlagenplanungen zum Projekt

Nach Abschluss der Versuche wurde die Planung für weitere acht Produktionsräume als Investitionsvorhaben unter weitgehender Verwendung der Lüftungstechnischen Elemente der Pilotanlage aufgenommen.

Die Anlagenplanung sah vor, eine zentrale Lüftungsanlage mit folgenden Spezifikationen zu errichten:

- Sicherung der Lüftungstechnischen Grundversorgung der Produktionsräume
- Gewährleistung der Luftführung für den automatisierten Betriebsteil zur Erfassung und Ableitung der Lösungsmitteldämpfe

Sechs Unternehmen erhielten Anfragen zum Projekt, wobei drei Unternehmen auf Grund ihrer Kompetenz und Leistungsfähigkeit in der engeren Wahl verblieben.

Das Anlagenkonzept (Anhang 2, Zeichnung 15) beinhaltet die neu einzuführende Regeltechnik mit dem Gasmonitor, eine Wärmerückgewinnung und eine Ableitung der Abluft über einen zentralen Kamin.

Die neu entwickelten Anströmer für die lufttechnische Erfassung der Lösungsmitteldämpfe wurden separat in Auftrag gegeben. Die Realisierung der Gesamtanlage erfolgte wegen der komplexen Aufgabenstellung von mehreren Unternehmen in verschiedenen Einzelpaketen.

2.1.8 Errichtung der Anlage

Die Anlage wurde beginnend mit dem Aufbau des zentralen Abluftkamins in mehreren zeitlichen Etappen errichtet. Wegen der engen Platzverhältnisse in den Produktionsräumen war eine Aufteilung der Lüftungszentrale an zwei verschiedene Standorte notwendig. Auf die Errichtung der Hauptzentrale und die Realisierung von Detailinstallationen in den ersten beiden Produktionsräumen folgte eine Testphase mit den erforderlichen Optimierungsarbeiten, die sich über einen Zeitraum von etwa fünf Monaten erstreckte. Nach der Installation der zweiten Lüftungszentrale wurden die Detailinstallationen in weiteren Produktionsräumen abgeschlossen.

2.1.9 Komplexität des Anlagensystems

Die Lüftungstechnische Anlage wurde in älteren Produktionsräumen installiert. Die Beheizung der Räume war besonderes problematisch und erfolgte bisher über beheizbare Deckenlüfter mit Luftumwälzung. Die von der Beheizungstechnik erzeugte Luftströmung bewirkte jedoch gravierende Störungen und verhinderte eine stabile Ausbildung der Luftschleier.

Aus der geschilderten Situation ergab sich die Notwendigkeit, die Grundheizung für die Produktionsräume zu verändern. Dies wurde über eine in der Anlagentechnik integrierte Lüftungstechnische Grundbeheizung verwirklicht, die mit einer Wärmerückgewinnung verbunden ist (Anhang 2, Zeichnung 15).

2.2 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Entwicklung und der anlagentechnischen Realisierung eröffnen weitere Perspektiven für neue Techniken zur Minderung von Emissionen und zur Reduzierung des Energieverbrauchs. Es erscheint daher besonders sinnvoll im angrenzenden Fachgebiet der Lackiertechnik, weitere Entwicklungsarbeiten anzuregen.

2.2.1 Ergebnisse der Entwicklung

Das Entwicklungsziel eines umweltschonenden Verfahrens zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen beim Einsatz von stark emittierenden Schadstoffen während der Herstellung von lösungsmittelhaltigen Lacken und Farben wurde erreicht und kann mit folgenden Aussagen und Ergebnissen zusammengefasst werden:

- Es wurde eine neue Methode für die Erfassung flüchtiger organischer Lösungsmitteldämpfe entwickelt, die nach der Ausbildung von Luftschleiern mit geringen Volumenströmen funktioniert.
- Mit der praktizierten Luftströmung können die produktionsbedingten handwerklichen Tätigkeiten an den Mischgefäßen ungehindert ohne die Benutzung von Verdeckelungen oder Abdichtungen ausgeführt werden.
- Die Lüftungsleistungen und ihre Strömungsintensität werden über einen Gasmonitor gesteuert. Damit kann die Lüftungstechnische Anlage in ihrer Intensität dem Bedarf angepasst werden, so dass sie nur bei Vorhandensein von belasteter Umgebungsluft in Betrieb gesetzt wird.
- Mit der entwickelten Luftführung beim Umgang mit organischen Lösungsmitteln haben sich die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) soweit verbessert, dass wegen der Geringfügigkeit keine Nachmessungen mehr erforderlich sind.
- Es konnte eine Minimierung der abgeleiteten Emissionen auf ein Drittel der Ursprungswerte registriert werden.
- Die Lüftungstechnische Anlage wurde mit einer Energierückgewinnung ausgestattet, die im Vergleich mit anderen Heizperioden, wie dem Winter 2007/2008, zu einer Reduzierung des Energieverbrauches um etwa 40 Prozent beitragen kann.

Die einzelnen Stufen der Entwicklung sind in der folgenden Abbildung (Bild 19) dargestellt und basieren auf Erfassungen der luftfremden gasförmigen Lösungsmitteldämpfe und der jeweiligen gaschromatographischen Auswertung.

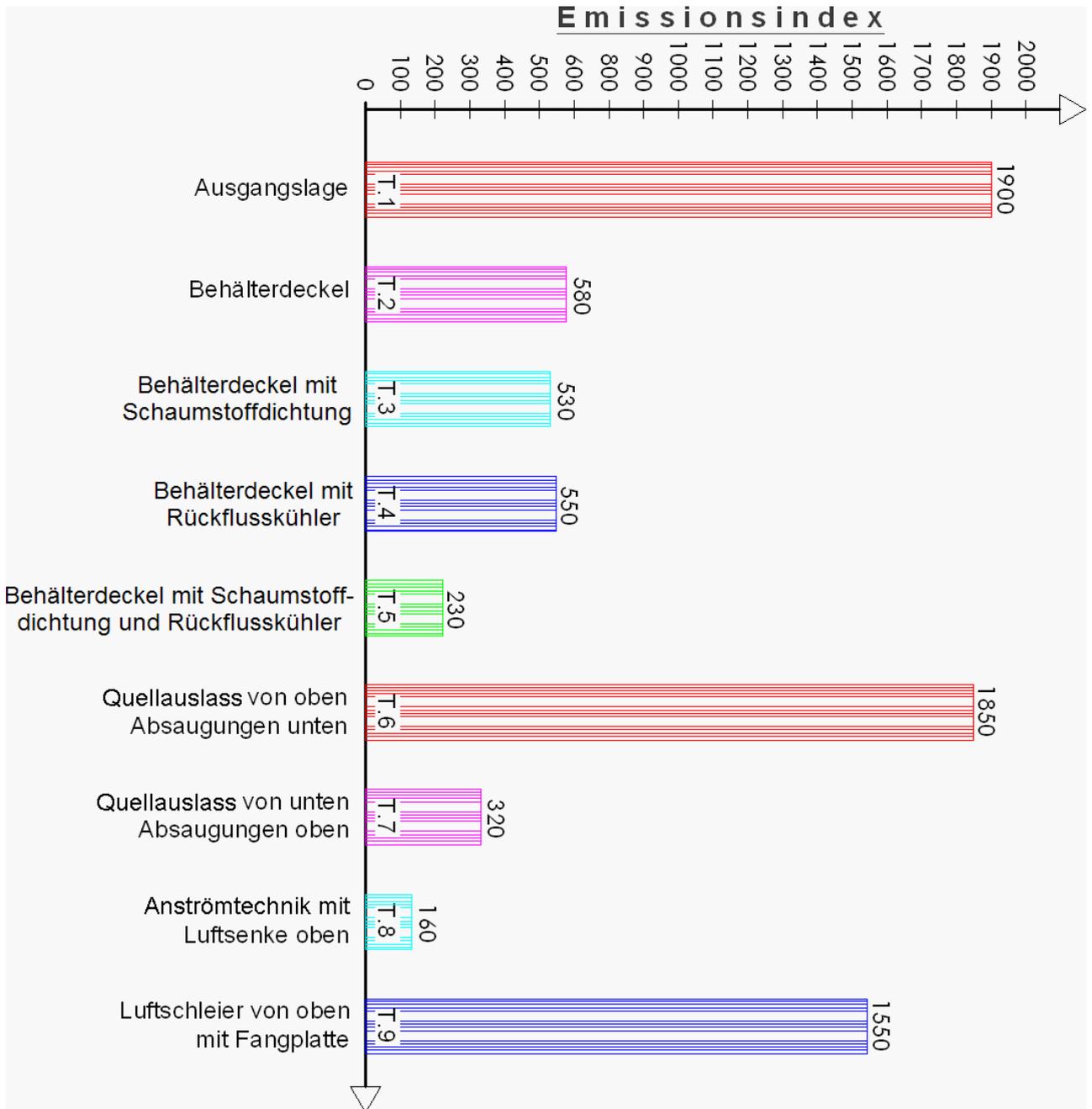


Bild 19: Darstellung der Ergebnisse der Auswertungen aus den Tabellen 1 bis 9

Die in der grafischen Darstellung zusammengefassten Ergebnisse können wie folgt interpretiert werden:

- Die freigesetzten Emissionen aus den Mischvorgängen an den offenen Produktgefäßen (siehe Tabelle 1) verursachen ohne die Verwendung von sonstigen Lüftungstechniken Emissionsbelastungen mit einem Emissionsindex von 1900.
- Die lüftungstechnischen Installationen nach dem angewandten Stand der Technik (siehe Tabelle 6) weisen bei den gegebenen Bedingungen einen Emissionsindex von 1850 aus. Dazu ist das Ergebnis nach Tabelle 7 heranzuziehen, wonach eine umgekehrte Luftführung

bei vergleichbarer technischer Installation eine Absenkung der Emissionsausbreitung um einen mehr als 5-fachen Wert bewirkt.

- Im Vergleich der Ergebnisse von Tabelle 8 und Tabelle 9 weist die von oben wirkende Luftschleierführung (siehe Tabelle 9) mit einem Emissionsindex von 1550 ein schlechtes Ergebnis auf. Dieser Zustand erklärt sich aus der Tatsache, dass die hohen Turbulenzen und Verwirbelungen der Elektroantriebe die nach unten wirkenden Luftschleier gestört haben.
- Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus Tabelle 9 erwiesen sich die nach oben geführten Luftschleier (siehe Tabelle 8) als stabil bei einem Emissionsindex von 160.

2.2.2 Ergebnisse nach Errichtung der Anlage

Nach Abschluss aller Montagearbeiten lassen sich bezüglich der drei Hauptziele des gesamten Vorhabens die folgende Ergebnisse zusammenfassen:

Humanisierung der Arbeitsplätze

- Durch arbeitsschutztechnische Messungen kann eine sehr deutliche Reduzierung der Arbeitsplatzkonzentrationen an luftfremden gasförmigen Schadstoffen nachgewiesen werden.
- Entsprechend der Technischen Regelwerke (TRGS 402 und TRGS 900) liegen die gemessenen Konzentrationen der luftfremden gasförmigen Schadstoffe unterhalb von 10 Prozent der jeweiligen Grenzwerte.
- Weitere arbeitsplatzbezogene Messungen können aufgrund dieser geringen Konzentrationen an luftfremden Stoffen entfallen.

Reduzierung der freigesetzten Emissionen

- Die Ergebnisse einer ersten Kontrolle der Abgaswerte bei der Freisetzung am Kaminaustrag verweisen auf eine Reduzierung der Emissionsmassenströme von ursprünglich ca. 8 kg C/h auf weniger als 4 kg C/h. Der Emissionsmassenstrom bezieht sich hierbei auf den Kohlenstoffanteil in den verdampfenden Lösungsmitteln.
- Die Kontrollen der Abgaswerte am Kaminaustrag sollten innerhalb eines Zeitraumes von einem Jahr zweimal wiederholt werden.
- Die Feststellung gilt als gesichert, dass eine Reduzierung der freigesetzten Emissionen auf 50 Prozent der Ausgangswerte erreicht wurde.
- Die Verwirklichung des gestellten Ziels einer Reduzierung der Emissionsmassenströme auf ein Drittel der Werte der Ausgangslage ist erneut nach einem längeren Dauerbetrieb zu überprüfen.

Wirtschaftlichkeit

- Der Energieverbrauch wurde mit Hilfe von eingebauten Wärmemengenzählern registriert. Es ist allerdings nicht möglich, einen Vergleich zu den Ergebnissen der vergangenen Heizperioden aufzustellen, weil die lufttechnische Anlage erst jetzt über die technischen Einrichtungen zur Registrierung der Wärmemengen verfügt.
- Auf der Basis von Erfahrungen mit den verwendeten Anlagenkomponenten zur Wärmerückgewinnung lässt sich prognostizieren, dass eine Einsparung von 35 Prozent des Einsatzes an Wärmeenergie erreicht werden kann.
- Bei einem durchschnittlichen Erdgasverbrauch von ca. 160 000 m³ pro Jahr kann mit der prognostizierten Reduzierung des Einsatzes von Wärmeenergie eine Einsparung an Erdgas von 56 000 m³ pro Jahr verzeichnet werden, wobei diese Zahlen nach Beendigung der Heizperiode erneut geprüft werden müssen.

2.3 Bewertung der Ergebnisse

Mit der Aufnahme der einzelnen Erprobungsphasen konnte definitiv festgestellt werden, dass eine Verminderung der Raumluftbelastungen eingetreten ist. Dieser Zustand spiegelte sich in den Messergebnissen wieder. Die Mitarbeiter an den verschiedenen Arbeitsplätzen haben diese Resultate sehr begrüßt.

Alle technischen Effekte können jedoch erst nach einer längeren Betriebslaufzeit praxisgerecht festgestellt und beurteilt werden, weil auch jahreszeitlich bedingte Einflüsse berücksichtigt werden müssen.

2.3.1 Technische Effekte

Es wurden neue Erfassungsmethoden beim offenen Umgang mit organischen Lösungsmitteldämpfen entwickelt, die sich auf eine geeignete Luftführung gründen.

Die angewandte Methode einer vertikal nach oben gerichteten Luftschleierbildung funktioniert beim Vorhandensein von thermischen Effekten und Turbulenzeinflüssen, weil die nach oben gerichtete Strömungswirkung durch die genannten Nebeneffekte unterstützt wird.

Die angewandte Methode der Luftführung ist durch folgende Eigenschaften und Merkmale gekennzeichnet:

- Die Methode funktioniert durch Anströmen der Behälter und durch eingesetzte lufttechnische Senken. Alle Funktionen werden durch Gasmonitore und eine damit verbundene Konzentrationsüberwachung gesteuert.
- Die Behälter müssen nicht verdeckelt werden. So entstehen spürbare Arbeitserleichterungen für die Mitarbeiter.
- Innerhalb des entstehenden Luftzylinders betragen die gemessenen Konzentrationen mehr als 1.500 ppm, während außerhalb der Luftzylinder nur etwa 50 ppm gemessen wurden und die Gerüche nicht wahrnehmbar waren. Dieses Ergebnis zeigt, dass die verdunstenden Lösungsmittel weitgehend in dem durch die Strömung gebildeten Luftzylinder verbleiben.
- Die einzustellende Luftgeschwindigkeit am Rand der schlauchförmig ausgebildeten Luftzylinder bzw. des Luftschleiers ist ab einer Geschwindigkeit von ca. 0,5 m/s in der Weise wirksam, dass der Luftschleier nicht durch sonstige Einflüsse gestört wird. Innerhalb des Luftschleiers bilden sich hohe Konzentrationen der verdampfenden Lösungsmittel aus.

2.3.2 Umweltrelevanz

Die Abgaswerte bei der Freisetzung am Kaminaustrag deuten nach ersten Überprüfungen auf eine Reduzierung der Emissionsmassenströme von ca. 8 kg C/h auf weniger als 4 kg C/h. Die Vermin-

derung der Freisetzung von Emissionen basiert auf einer Reduzierung des Ausbreitungsvolumens durch die Luftschleierteknik. Dieser Mechanismus wurde nicht weiter verifiziert.

In zusätzlichen Untersuchungen sollte jedoch geprüft werden, in welchem Umfang der Grad der verdampfenden flüchtigen Lösungsmittel durch die Luftschleierteknik beeinflusst werden kann.

2.3.3 Arbeitsschutztechnische Auswirkungen

Es wurden mit den arbeitsschutztechnischen Messungen deutliche Reduzierungen der Arbeitsplatzkonzentrationen festgestellt. Entsprechend der Technischen Regelwerke (TRGS 402 und TRGS 900) liegen die gemessenen Konzentrationen der luftfremden gasförmigen Schadstoffe unterhalb von 10 Prozent der jeweiligen Grenzwerte. Dies bedeutet, dass weitere arbeitsplatzbezogene Messungen entfallen können.

Nach einer Testphase von etwa sechs Monaten sollten weiteren Prüfungen unter dem Gesichtspunkt des Arbeitsschutzes vorgenommen werden, weil zum Zeitpunkt der Überprüfungen nicht das gesamte Rohstoffsortiment zur Verfügung stand.

2.4 Verbreitung der Ergebnisse

Die Entwicklungsergebnisse werden im Rahmen der Berichterstattung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) veröffentlicht.

Weitere Möglichkeiten bestehen durch Präsentationen vor Ort und in Zusammenarbeit mit dem Amt für Technischen Umweltschutz des Landratsamtes in Miesbach.

3 Fazit

Die neu entwickelte technische Lösung für ein umweltschonendes Verfahren zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen beim Einsatz von stark emittierenden Schadstoffen während der Herstellung von lösungsmittelhaltigen Lacken und Farben sorgt dafür, dass Lösungsmitteldämpfe durch die Ausbildung von Luftschleiern gebündelt werden und sich damit deren Ausbreitung in den Produktionsräumen in starkem Maße verringert.

Das Verfahren verhindert insgesamt die Ausbreitung von luftfremden gasförmigen Schadstoffen. Es führt zu einer Verminderung der Schadstofffrachten im Abgas und zu einer Verringerung der Belastung der Atemluft an den Arbeitsplätzen.

Die erforderlichen Luftschleier werden im Ergebnis einer speziellen konstruktiven Gestaltung der Strömungsauslässe mit einer vergleichsweise geringen Strömungsgeschwindigkeit erzeugt.

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sind besonders drei Effekte hervorzuheben, die mit der neuen Lüftungstechnischen Anlage und dem umweltschonenden Verfahren zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen verbunden sind:

- Die herkömmliche Auslegung nach dem Stand der Technik würde eine Lüftungstechnische Anlage mit einer etwa 4-fachen Luftleistung erfordern, um vergleichbare Effekte hinsichtlich der Reduzierung der luftfremden gasförmigen Schadstoffe zu erzielen.
- Aufgrund der geringeren Luftleistung reduzieren sich die Investitionskosten und die laufenden Betriebskosten für die Lüftungstechnische Anlage zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen.
- Die Reduzierung der Luftleistung und die Verminderung der Lösemittelfrachten in der Abluft vermindern die technischen und wirtschaftlichen Aufwendungen für nachgeschaltete Abluftreinigungssysteme.

Die entstandene innovative technische Lösung für ein umweltschonendes Verfahren zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen beim Umgang mit flüchtigen organischen Lösungsmitteln eröffnet zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten in anderen Bereichen, wie zum Beispiel in der Lackiertechnik. Hier werden sprühtechnische Lackieranlagen auf der Basis der DIN EN 12215 betrieben.

Die Eigenschaften moderner Beschichtungsstoffe weichen oftmals vom Anforderungsprofil des Regelwerks ab. Auf diese Weise werden oft überdimensionierte Lüftungsanlagen errichtet, ohne dass immer eine ausreichende Reduzierung der Schadstoffbelastung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erreicht werden kann.

Anhang

Anhang 1: Bilder

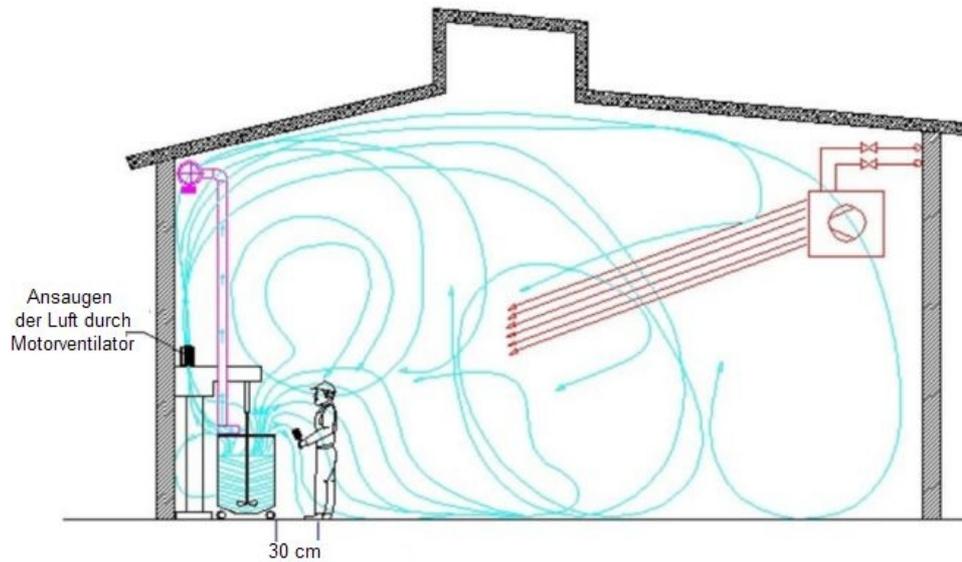


Bild 1: Ausgangslage zu Beginn des Vorhabens



Bild 2: Deckel zur Abdichtung der Behälter mit Bedienöffnungen und pneumatischer Führung



Bild 3: Deckel mit Bedienöffnung im angehobenen Stand



Bild 4: Deckel mit pneumatischer Führung und Abdichtung gegen die Welle



Bild 5: Quellauslass (aus Lochblech gefertigt) zur unterschiedlichen Verwendung und Prüfung der Strömungsversuche



Bild 6: Fangplatte mit Schlitzdüse für Luftschleier. Der umlaufende Luftschleier kesselt die austretenden Emissionen ein. Die Absaugung erfolgt in der Mitte der Fangplatte.



Bild 7: Die Schlitzdüse der Fangplatte ist in ihrer Breite variabel einstellbar. Somit wurde es möglich, unterschiedliche Luftvolumen und unterschiedliche Luftgeschwindigkeiten in den Luftschleiern zu erproben.



Bild 8: Für ein gleichmäßiges Strömungsprofil der Luftschleier wurden individuell einstellbare Zuluftführungen installiert.



Bild 9: Basisversuch zu Tabelle 1. Die Konzentrationen der verdunstenden Lösungsmittel wurden erfasst und beurteilt.



Bild 10: Erprobung der Dichtigkeit und des Austritts von Lösungsmitteldämpfen (Tabelle 2)



Bild 11: Erprobung eines Deckels aus Holz mit Schaumstoffdichtung (Tabelle 3)



Bild 12: Erprobung eines Deckels aus Holz mit Rückflusskühler (Tabelle 4)



Bild 13: Erprobung eines Deckels aus Holz mit Schaumstoffdichtung und Rückflusskühler (Tabelle 5)



Bild 14: Absaugung und diffuse Luftverteilung



Bild 15: Luftströmung nach oben. Die Luft strömt durch Einwirkung der Thermik und der Turbulenzen der Mischvorgänge vertikal nach oben. (Tabelle 7)



Bild 16: Anströmung der Zuluft an die Behälterwand; Ausbildung der Absaugung als Senke oberhalb des Emittenten; Quellauslass als ringförmiger Anströmer ausgebildet (Tabelle 8)



Bild 17: Wirkung des Luftschleiers. Die geringe Luftströmung bildet einen einhüllenden Luftschleier, der in die Senke oberhalb des Rührorgans mündet.



Bild 18: Fangplatte mit Luftschleierdüse

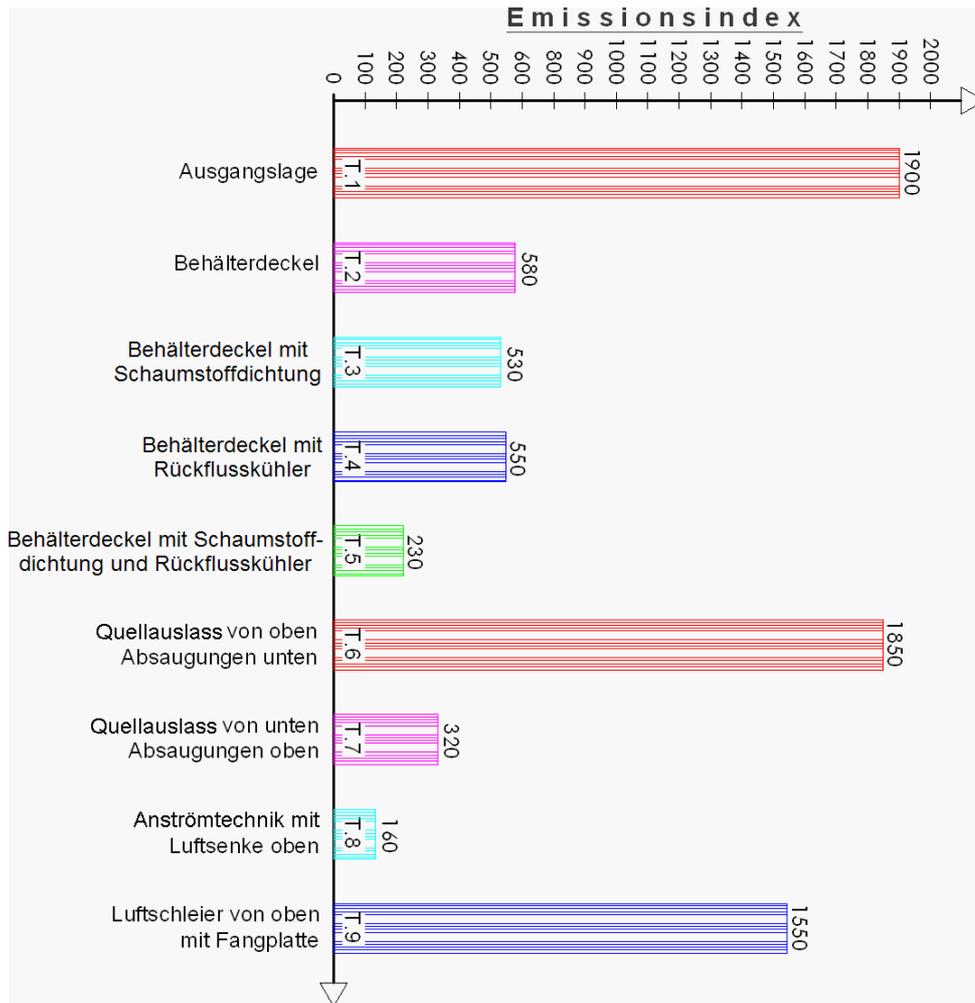
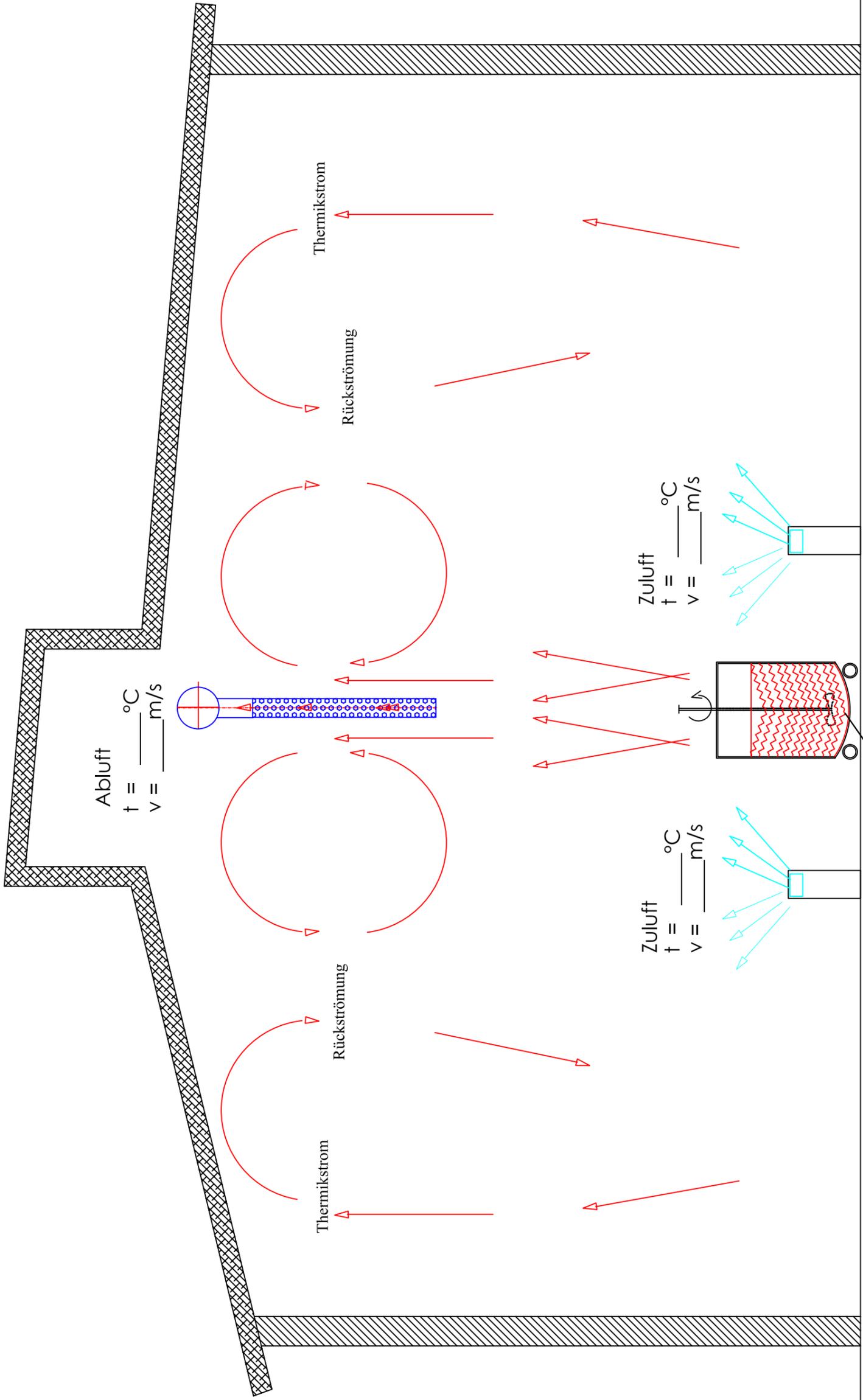


Bild 19: Darstellung der Ergebnisse der Auswertungen aus den Tabellen 1 bis 9

Anhang 2: Zeichnungen

Systemerprobung

2. Erprobung der Schlitzauslässe: Luftführung von unten ohne Rührkesselabdeckung



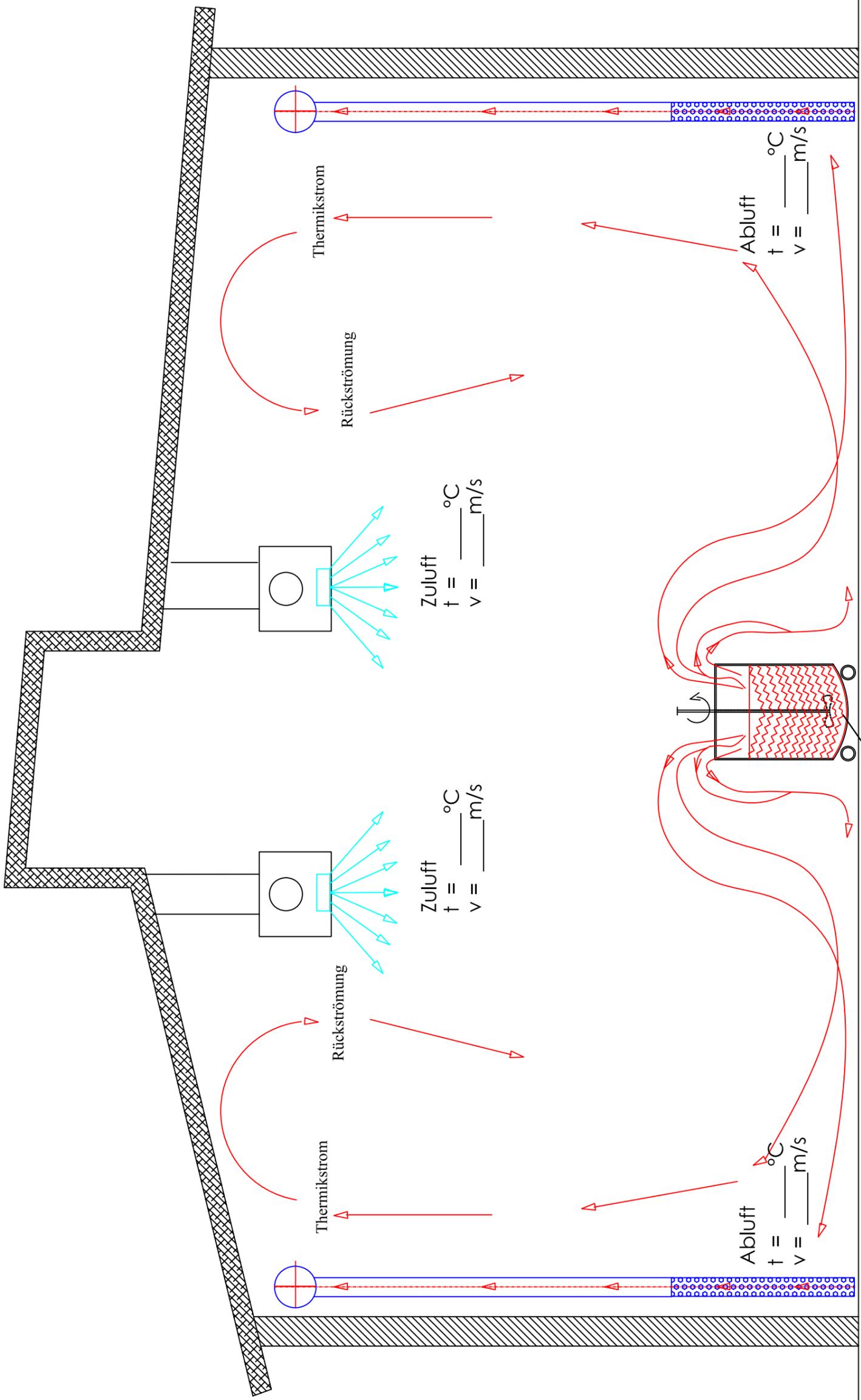
W&B.SZ - 02

MABSTAB 1: (Verstärkt, Halbzeug) (Projekt-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		(Gewicht)
Bearb.	Name	WARNECKE & BÖHM GMBH Lack- und Farbenfabrik Westerbergstr. 1b, 83727 Schliersee Schlitzauslässe Luftführung von unten
Gepr.	SHURAWSKI	
Norm		
GmbH Dienstleister für Lackfabriken & Lackieranlagenbetreiber Am Meisenhorf 4 D-42897 Remscheid Tel: 02191/655894 Fax: 02191/65953 E-Mail: info@schweck-gmbh.de www.schweck-gmbh.de		Blatt
Zust:	Änderung	Blätter

DIE PLANUNG IST GÜLTIG FÜR DEN BESTIMMTEN ANWENDUNGSBEREICH UND BEZÜGLICH DER VERWENDETEN MATERIALIEN UND VERFAHREN. BEI VERÄNDERUNGEN DER VERFAHREN, BEI WECHSELN DER MATERIALIEN ODER BEI WECHSELN DER VERFAHREN IST DIE PLANUNG NEU ZU VERFAHREN.

Systemerprobung

3. Erprobung der Drallauslässe: Luftführung von oben ohne Rührkesselabdeckung



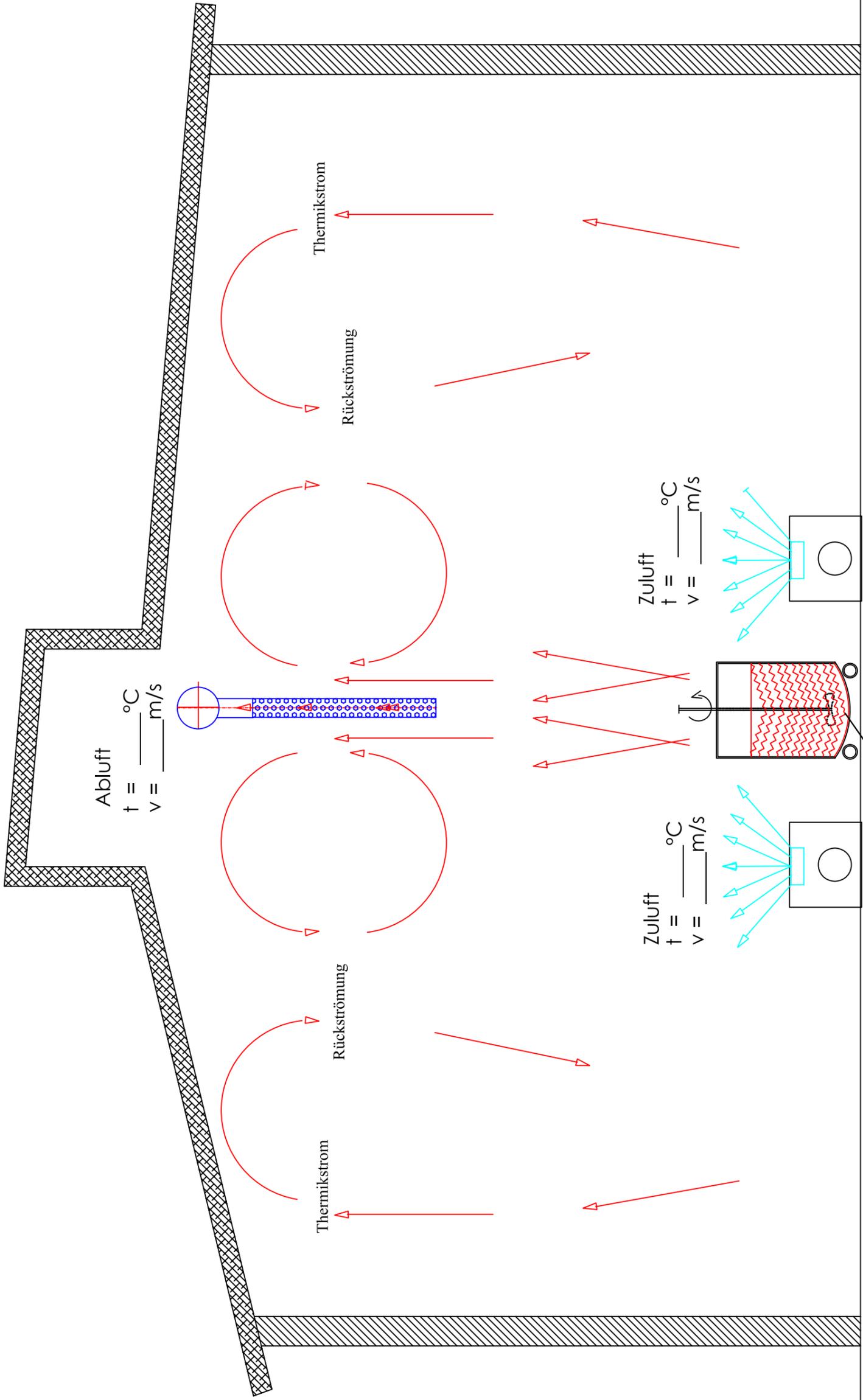
W&B.SZ - 03		MABSTAB 1: (Werkstoff, Halbzeug) (Bauteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		(Gewicht)
Bearb.	Name	WARNECKE & BÖHM GMBH		
Gepr.	Datum	Lack- und Farbenfabrik		
Norm		Westerbergstr. 1b, 83727 Schliersee		
		Drallauslässe		
		Luftführung von oben		
		GmbH Dienstleister für Lackfabriken & Lackieranlagenbetreiber		
		Am Meisenhort 4		
		D-42897 Remscheid		
		Tel.: 02191/665894		
		Fax: 02191/65953		
		E-Mail: info@schweck-gmbh.de		
		www.schweck-gmbh.de		
Zust.	Änderung	Datum	Name	Blätter
				Blatt

Emissionsquelle

DIE PLANUNG IST GÜLTIG FÜR DIE BESCHRIEBENE ANLAGE UND BEZUGSRAUM. VERÄNDERUNGEN SIND MIT UNSERER ZULASSUNG ZU BEFOLGEN. BEI VERÄNDERUNGEN DER ANLAGE ODER DES RAUMS SIND UNSERER ZULASSUNG BEI DER PLANUNG ZU BEZUG NEHMEN. BEI VERÄNDERUNGEN DER ANLAGE ODER DES RAUMS SIND UNSERER ZULASSUNG BEI DER PLANUNG ZU BEZUG NEHMEN. BEI VERÄNDERUNGEN DER ANLAGE ODER DES RAUMS SIND UNSERER ZULASSUNG BEI DER PLANUNG ZU BEZUG NEHMEN.

Systemerprobung

4. Erprobung der Drallauslässe: Luftführung von unten ohne Rührkesselabdeckung



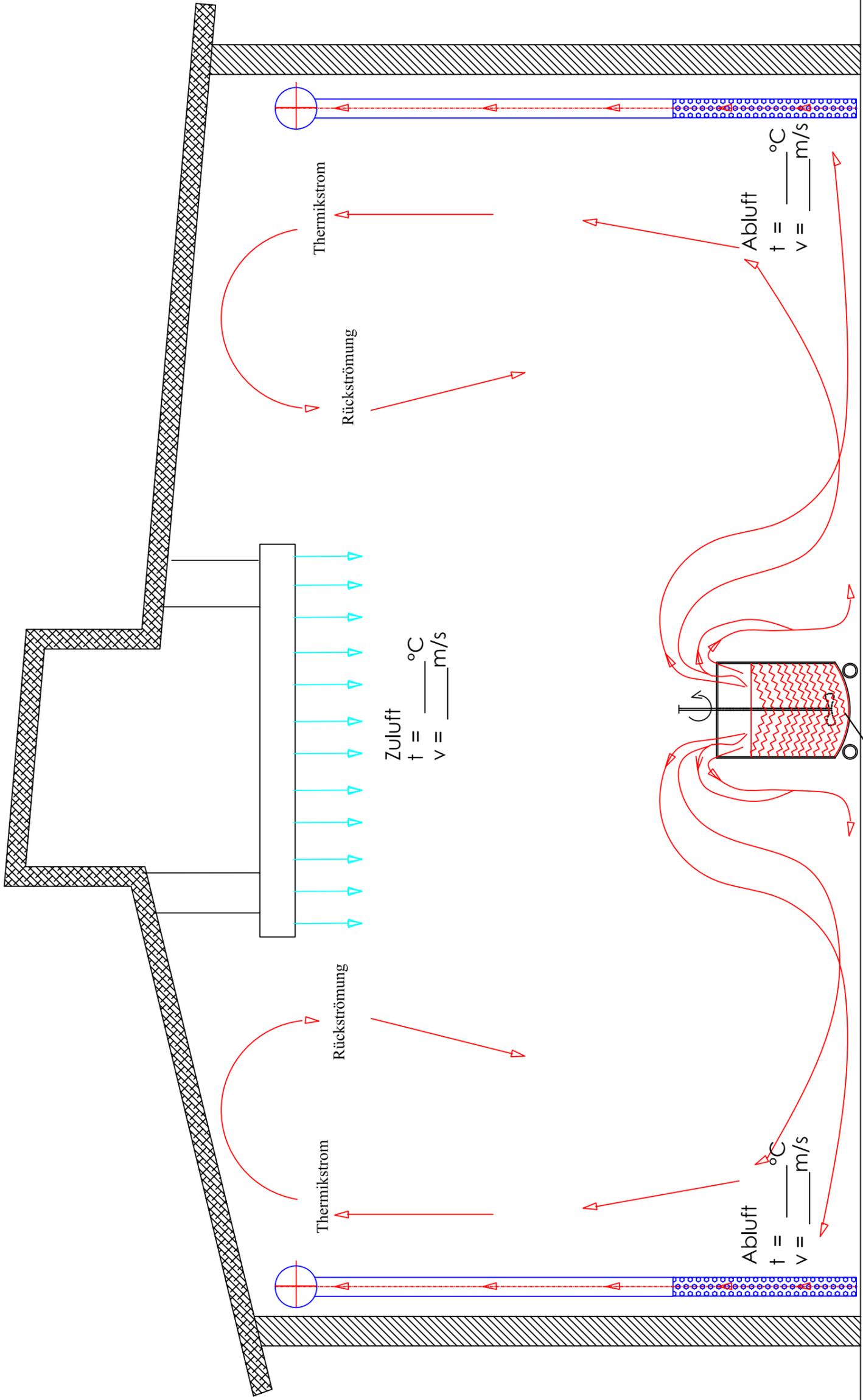
W&B.SZ - 04

MABSTAB 1: (Verstärkt, Halbzeug) (Projekt-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		(Gewicht)
		
Name	WARNECKE & BÖHM GMBH	
Datum	Lack- und Farbenfabrik	
Bearb.	Westerbergstr. 1b, 83727 Schliersee	
Gepr.	Drallauslässe	
Norm	Luftführung von unten	
		
Gmbh schweck Dienstleister für Lackfabriken & Lackieranlagenbetreiber Am Meisenhorf 4 D-42897 Remscheid Tel: 02191/655894 Fax: 02191/65953 E-Mail: info@schweck-gmbh.de www.schweck-gmbh.de		
Zust:	Änderung	Name
	17	
	18	
	19	
	20	
	21	
	22	
	23	

DIE PLANUNG IST GEBÄUDESTATISCH UND BEZÜGLICH DER TRÄGER UND DER TRÄGERANORDNUNG UND WEITERGABE AN DRITTE BEZÜGLICH DER VERWENDUNG DES VERFAHRENS, BEI MISSBRÄUCHLICHEN VERFAHREN BEI DEN RECHTLICHEN VERFAHREN.

Systemerprobung

5. Erprobung textiler Flächenauslässe: Luftführung von oben ohne Rührkesselabdeckung



Zuluft
 $t = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C}$
 $v = \text{---} \text{ m/s}$

Abluft
 $t = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C}$
 $v = \text{---} \text{ m/s}$

Abluft
 $t = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C}$
 $v = \text{---} \text{ m/s}$

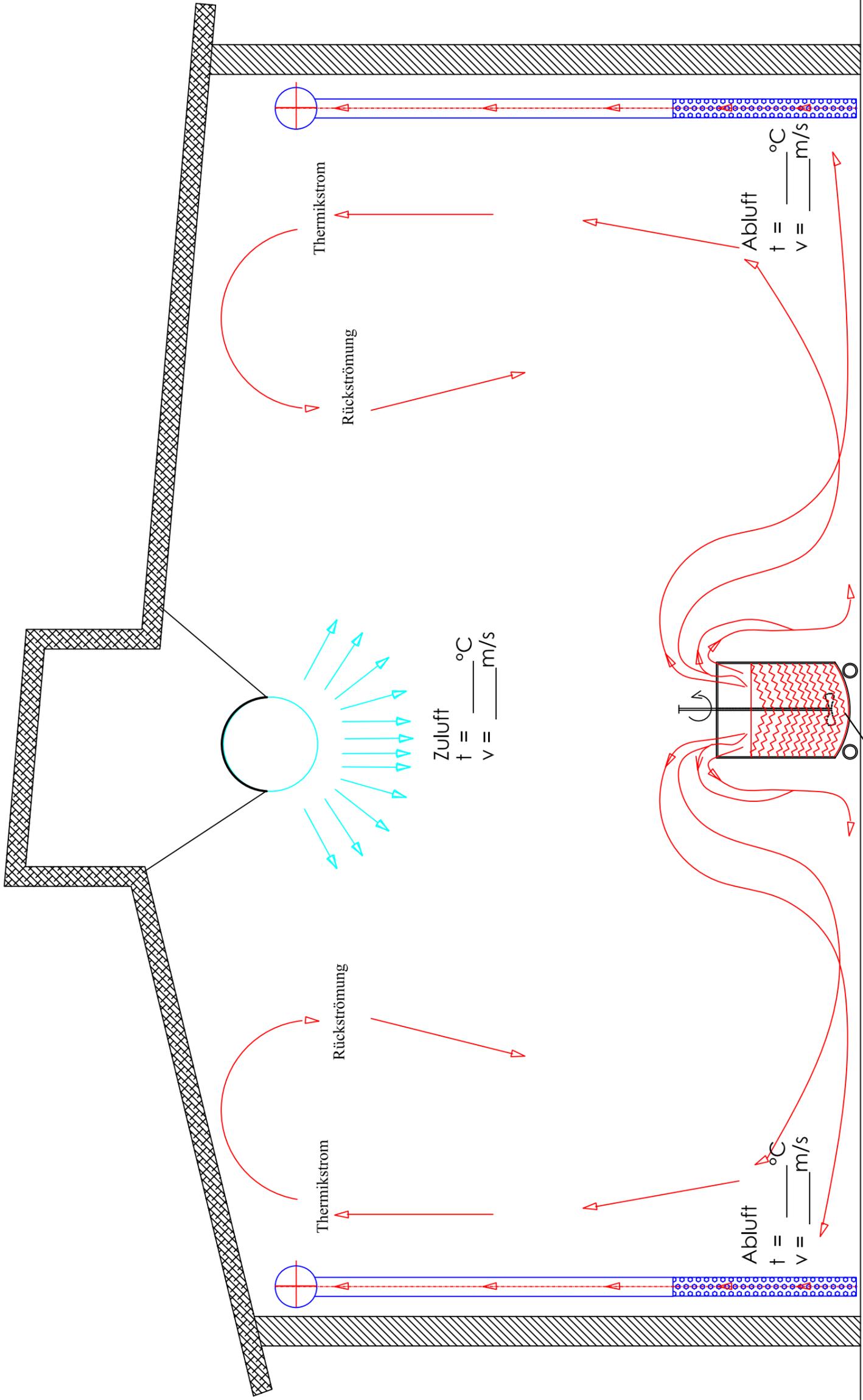
Emissionsquelle

W&B.SZ - 05		MABSTAB 1: (Verkstoff, Halbzeug) (Bauteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		(Gewicht)
Bearb.	Name	WARNECKE & BÖHM GMBH		
Gepr.	Datum	Lack- und Farbenfabrik		
Norm		Westerbergstr. 1b, 83727 Schliersee		
		Textile Flächenauslässe		
		Luftführung von oben		
schweck GmbH Dienstleister für Lackfabriken & Lackieranlagenbetreiber		Blatt		
Am Meisenhort 4 D-42897 Remscheid Tel: 02191/655894		Blätter		
Fax: 02191/65953 E-Mail: info@schweck-gmbh.de		www.schweck-gmbh.de		
Zust:	Änderung	Datum	Name	

BEI PLANUNG IST GESTÜTZTES ERGEBNIS UND BEI BEWERTUNG DER ERGEBNISSE KEINE VERBÜRGEN UND WEITERGABE AN DRITTE.
 BEI PLANUNG MIT AUSDRÜCKLICHER ZUGESTIMMUNG DES VERFASSERS BEI MISSBRÄUCHLICHEM BEWERTUNGS- UND WEITERGABE VERHÄLTEN.

Systemerprobung

6. Erprobung textiler Schlauchauslässe: Luftführung von oben ohne Rührkesselabdeckung

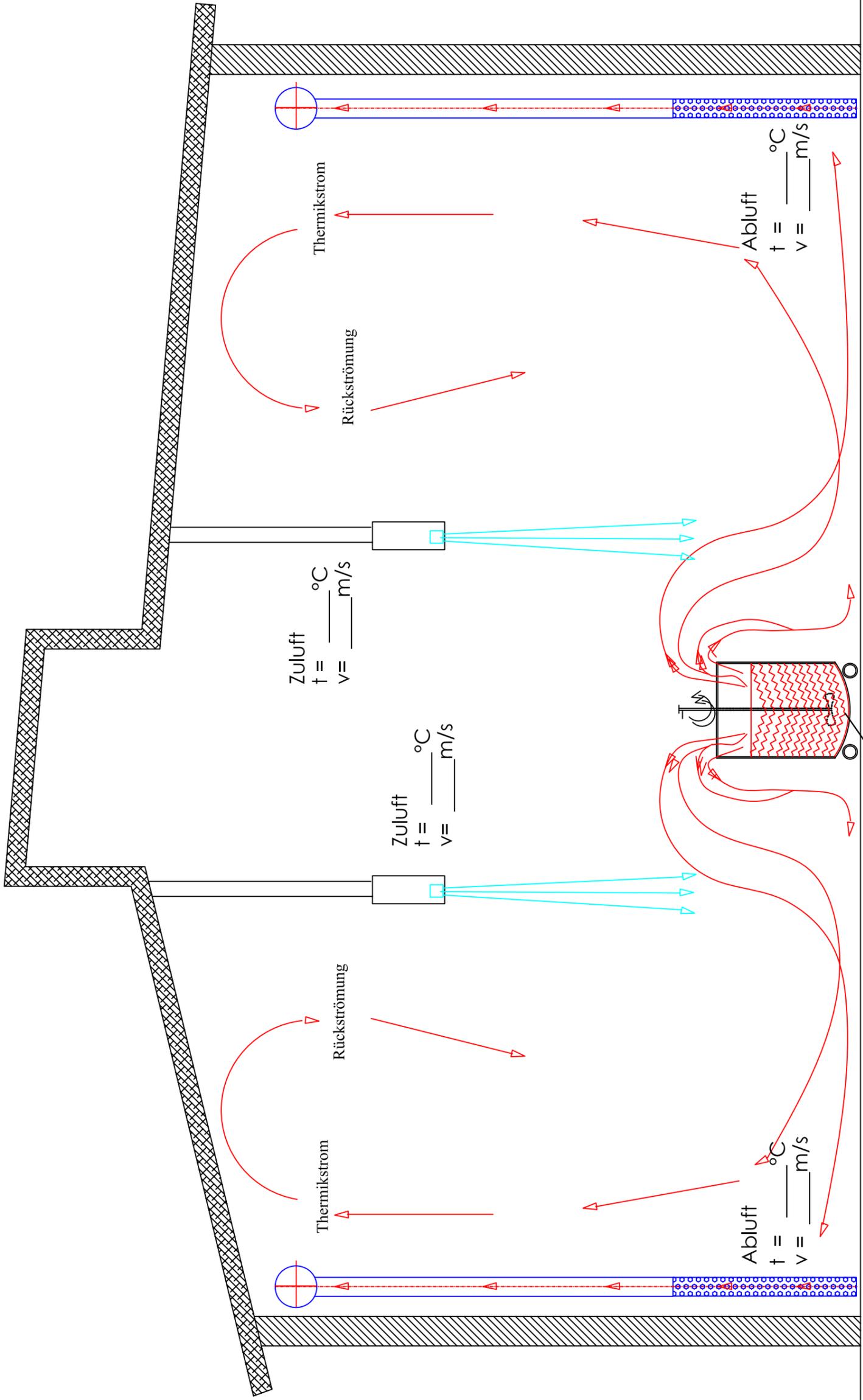


W&B.SZ - 06		MABSTAB 1: (Verkstoff, Halbzeug) (Bauteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		(Gewicht)
Bearb.	Name	WARNECKE & BÖHM GMBH		
Gepr.	Datum	Lack- und Farbenfabrik		
Norm		Westerbergstr. 1b, 83727 Schliersee		
		Textile Schlauchauslässe		
		Luftführung von oben		
schweck GmbH Dienstleister für Lackfabriken & Lackieranlagenbetreiber		www.schweck-gmbh.de		
Am Meisenhort 4		Blatt		
D-42897 Remscheid		Blätter		
Tel: 02191/655894				
Fax: 02191/65953				
E-Mail: info@schweck-gmbh.de				
Zust.	Änderung	Datum	Name	

Emissionsquelle

Systemerprobung

7. Erprobung der Weitwurfdüsen: Luftführung von oben ohne Rührkesselabdeckung

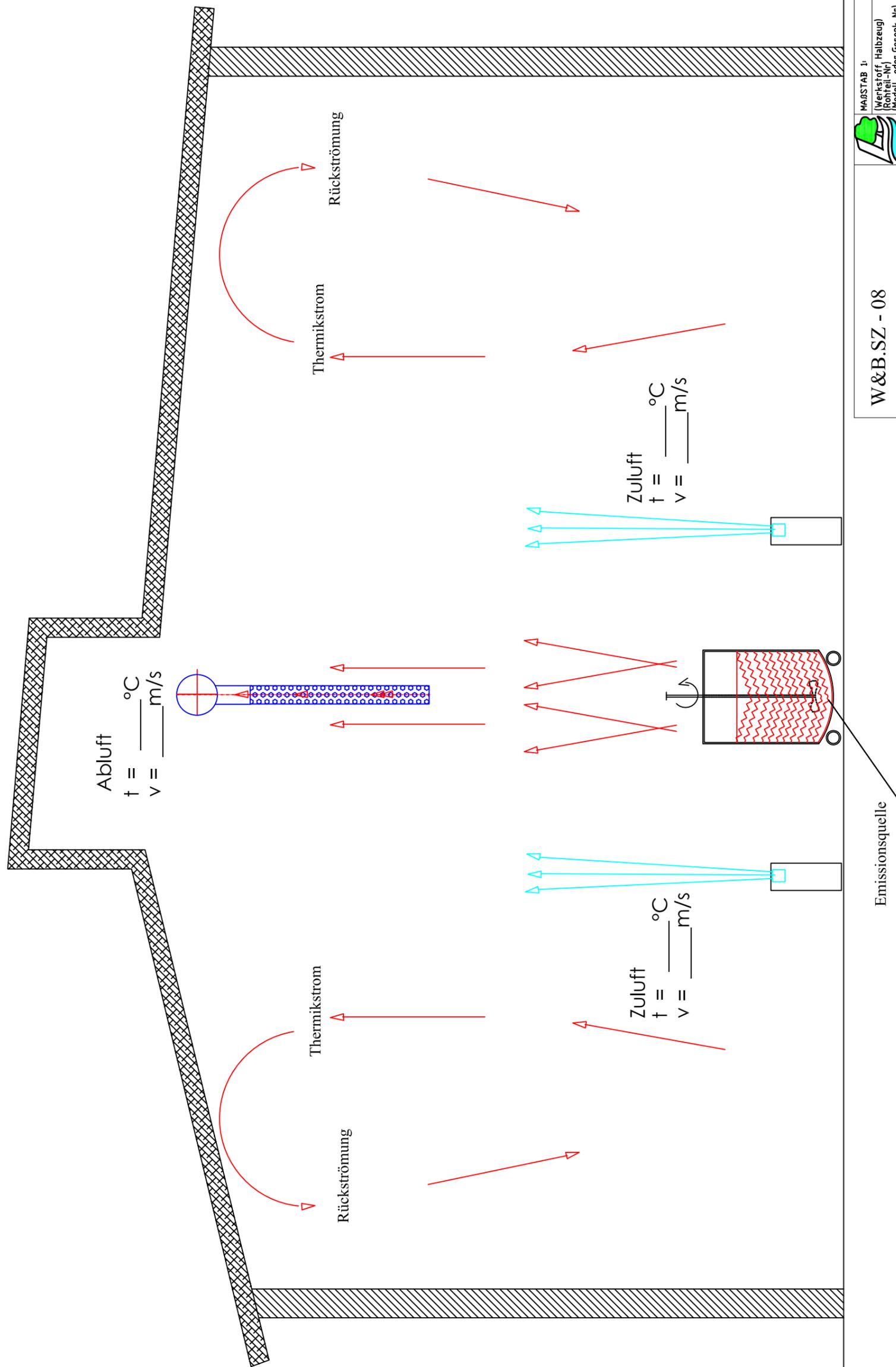


W&B.SZ - 07		MABSTAB 1: (Verstärkt, Halbzeug) (Projekt-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		(Gewicht)
Bearb.	Name	WARNECKE & BÖHM GMBH		
Gepr.	Datum	Lack- und Farbenfabrik		
Norm		Westerbergstr. 1b, 83727 Schliersee		
		Weitwurfdüsen		
		Luftführung von oben		
schweck GmbH Dienstleister für Lackfabriken & Lackieranlagenbetreiber		Blatt		
Am Meisenhort 4 D-42897 Remscheid Tel.: 02191/655894		Blätter		
Fax: 02191/65953 E-Mail: info@schweck-gmbh.de		www.schweck-gmbh.de		
Zust.	Änderung	Datum	Name	

Emissionsquelle

Systemerprobung

8. Erprobung der Weitwurfdüsen: Luftführung von unten ohne Rührkesselabdeckung



W&B.SZ - 08		MABSTAB 1: (Verstärkt, Halbzeug) (Projekt-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		(Gewicht)
Bearb.	Name	Datum	Name	
Gepr.	SHURAWSKI		WARNECKE & BÖHM GMBH	
Norm			Lack- und Farbenfabrik	
			Westerbergstr. 1b, 83727 Schliersee	
			Weitwurfdüsen	
			Luftführung von unten	
				Blatt
				Blätter
				www.schweck-gmbh.de
				www.schweck-gmbh.de

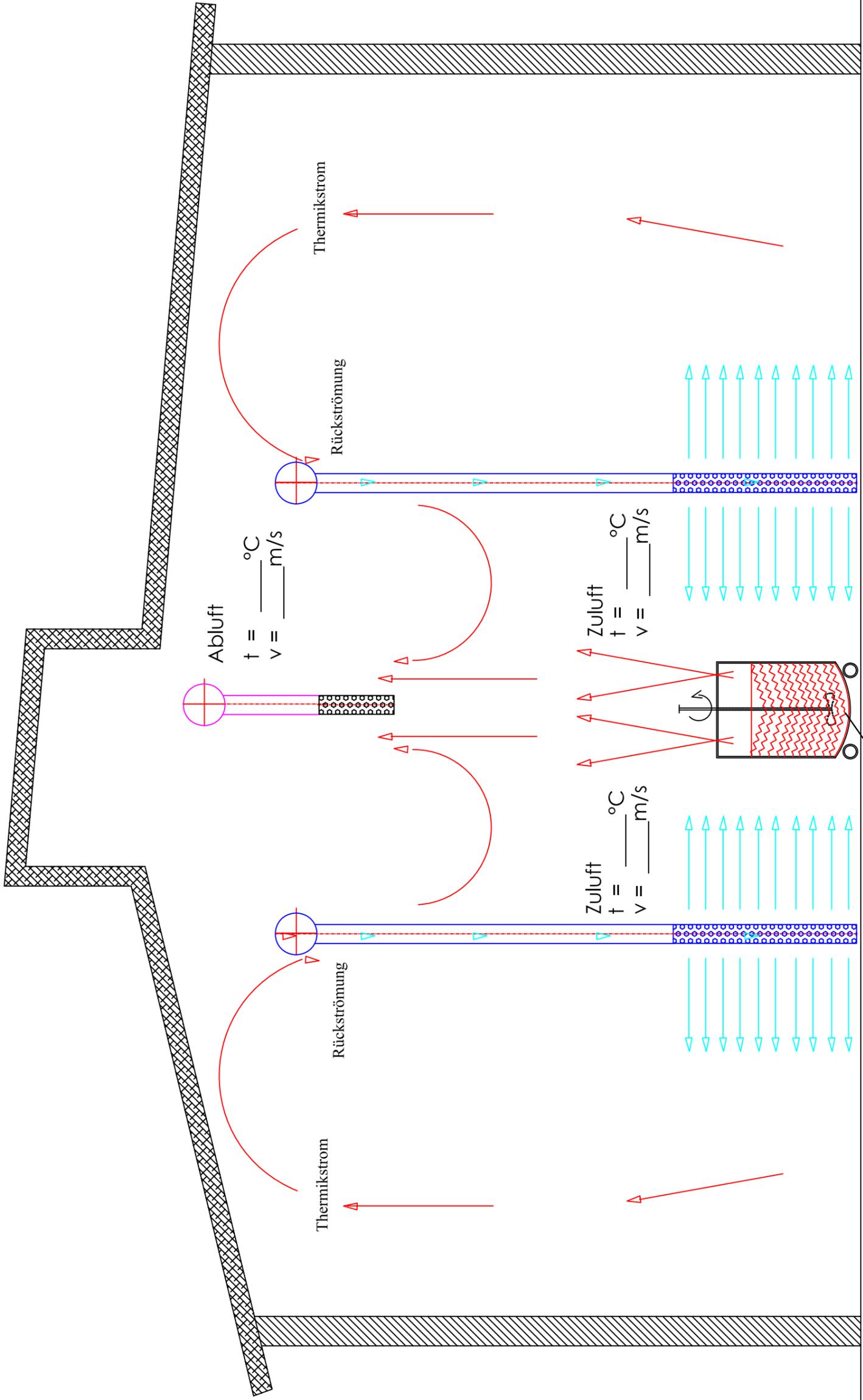
GmbH
schweck
 Dienstleister für Lackfabriken
 & Lackieranlagenbetreiber

Am Meisenhort 4
 D-42897 Remscheid
 Tel: 02191/665894
 Fax: 02191/65953
 E-Mail: info@schweck-gmbh.de

BEZUG NEUR MIT AUSDRÜCKLICHER EINGEMANGELTES VERFAHRS, BEI MISSBRÄUCHLICHEN NUTZUNGEN UND WEITERGABE AN DRITTE.

Systemerprobung

9. Erprobung der Lochblechhaulasse: Luftführung von oben ohne Rührkesselabdeckung

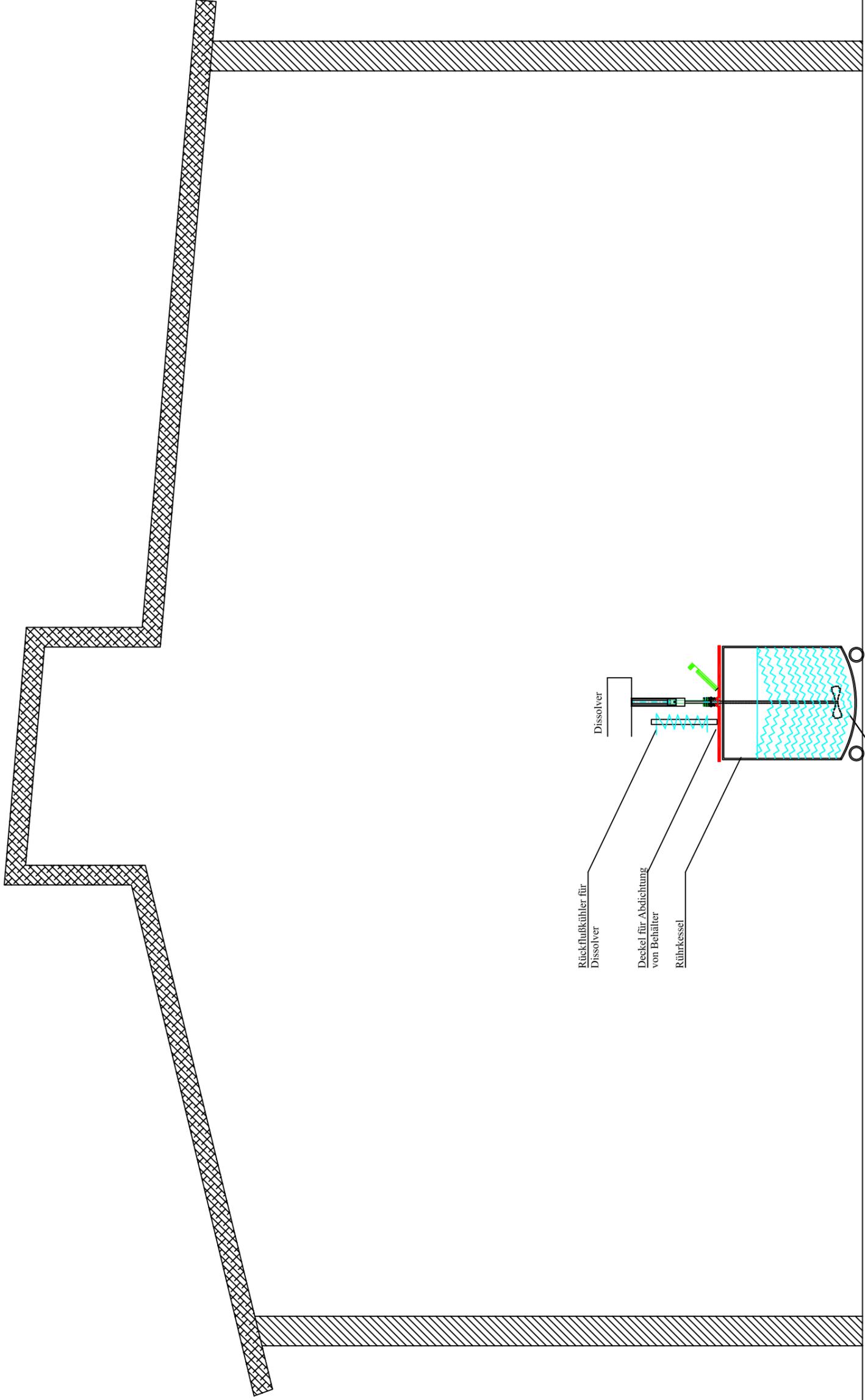


W&B.SZ - 09

MABSTAB 1: (Verkstoff, Halbzeug) (Kontroll-Obj.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		(Gewicht)
Name	SHURAWSKI	
Datum		
Bearb.		
Gepr.		
Norm		
<p>GmbH schweck Dienstleister für Lackfabriken & Lackieranlagenbetreiber</p> <p>Am Miesenhof 4 D-42897 Remscheid Tel.: 02191/665894 Fax: 02191/65953 E-Mail: info@schweck-gmbh.de www.schweck-gmbh.de</p>		
<p>WARNECKE & BÖHM GMBH Lack- und Farbenfabrik Westerbergstr. 1b, 83727 Schliersee Lochblechhaulasse Luftführung von oben</p>		
Zust.	Änderung	Name
	17	
	18	
	19	
	20	
	21	
	22	
	23	

Systemerprobung

10. Erprobung des Abdichtungs- und Kühlsystems mit und ohne Lüftung.



Emissionsquelle
Emission nur beim Öffnen des Deckels

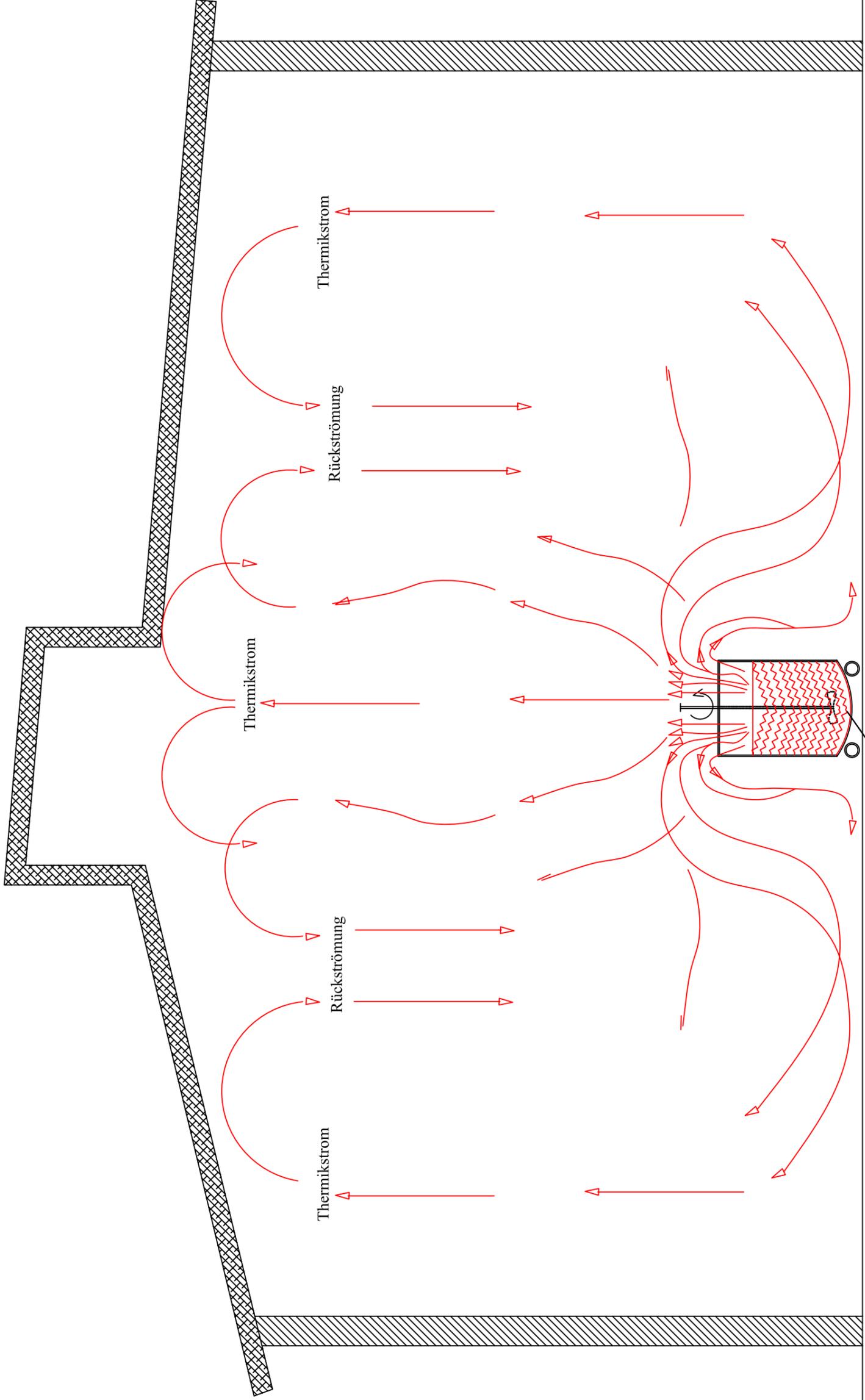
W&B.SZ - 10

		MABSTAB 1: (Werkstoff, Halbzeug) (Produkt-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)	(Gewicht)
Bearb.	Name	WARNECKE & BÖHM GMBH	
Gepr.	Datum	Lack- und Farbenfabrik	
Norm		Westerbergstr. 1b, 83727 Schliersee	
		Abdichtungs- und Kühlsystem	
			
schweck GmbH Dienstleister für Lackfabriken & Lackieranlagenbetreiber Am Meisenhorf 4 D-42897 Remscheid Tel: 02191/655894 Fax: 02191/65953 E-Mail: info@schweck-gmbh.de www.schweck-gmbh.de			
Zust:	Änderung	Name	Blatt
			Blätter

DIE PLANUNG IST GESTÜTZT AUF DEN ANGEGEBENEN DATEN UND BEZUGSWEISEN. DIE VERANTWORTUNG FÜR DEN RICHTIGEN VERWENDUNG DER VERFAHREN LIEGT BEI DER ANWENDER. DIE VERANTWORTUNG FÜR DEN RICHTIGEN VERWENDUNG DER VERFAHREN LIEGT BEI DER ANWENDER.

Ausgangslage

11. Luftströme im Raum ohne Lüftung und ohne Rührkesselabdeckung

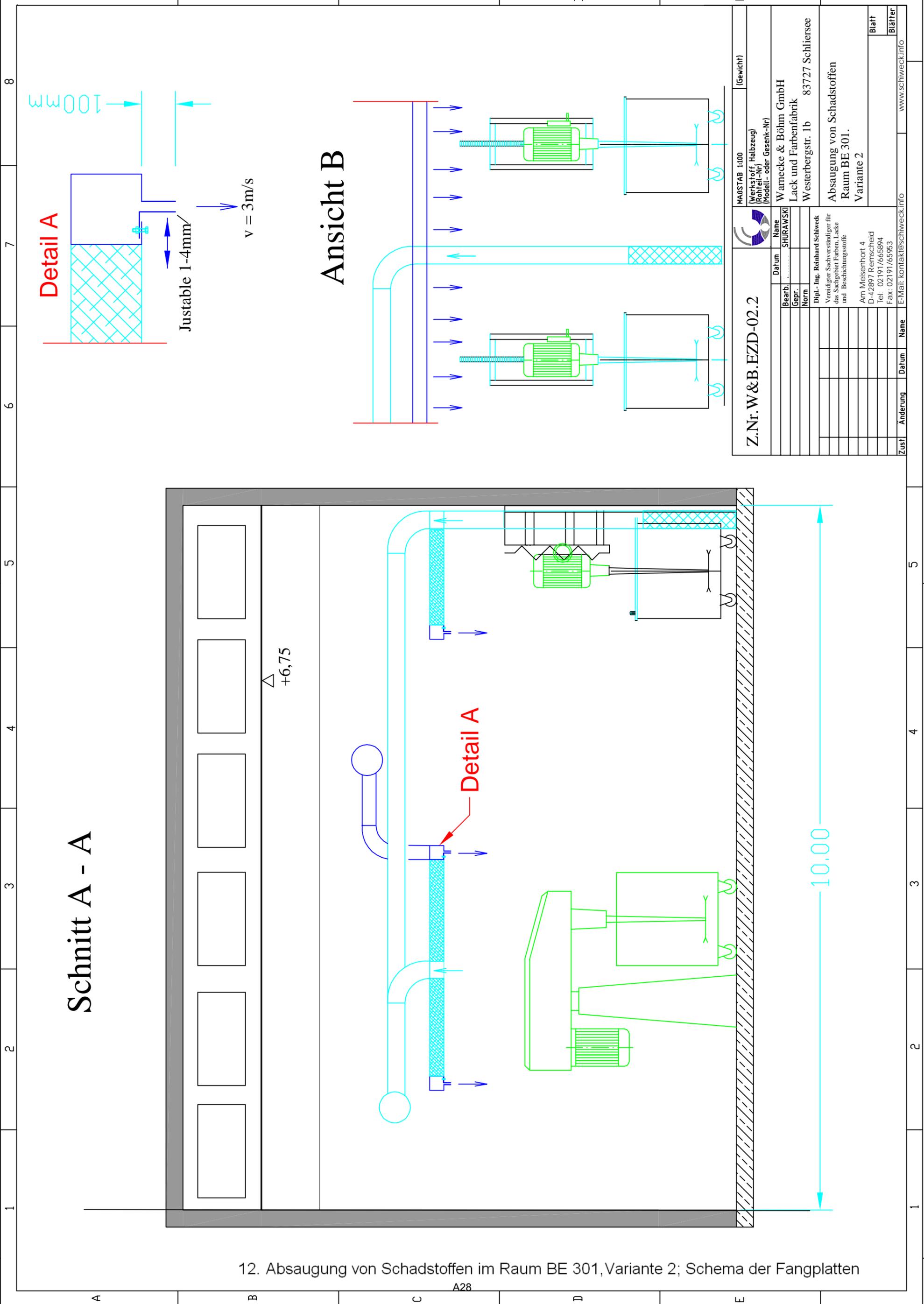


Emissionsquelle

W&B.SZL - 01

MABSTAB 1:1 (Verkstoff, Halbzeug) (Produkt-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		[Gewicht]	
Bearb.	Name	WARNECKE & BÖHM GMBH	
Gepr.	Datum	Lack- und Farbenfabrik	
Norm		Westerbergstr. 1b, 83727 Schliersee	
		Luftstrome im Raum	
		Ausgangslage	
 GmbH schweck Dienstleister für Lackfabriken & Lackieranlagenbetreiber Am Meisenhorf 4 D-42897 Remscheid Tel: 02191/655894 Fax: 02191/65953 E-Mail: info@schweck-gmbh.de www.schweck-gmbh.de		Blatt Blätter	
Zust:	Änderung	Datum	Name

BELEGTE MIT AUSDRÜCKLICHER GENEHMIGUNG DES VERFASSERS. BEI MISSBRÄUCHLICHEM VERBRAUCH BEIBEHALTEN. BEIBEHALTEN UND WEITERGABE AN DRITTE.



Detail A

Justable 1-4mm/
v = 3m/s

Ansicht B

Schnitt A - A

△ +6,75

Detail A

10,00

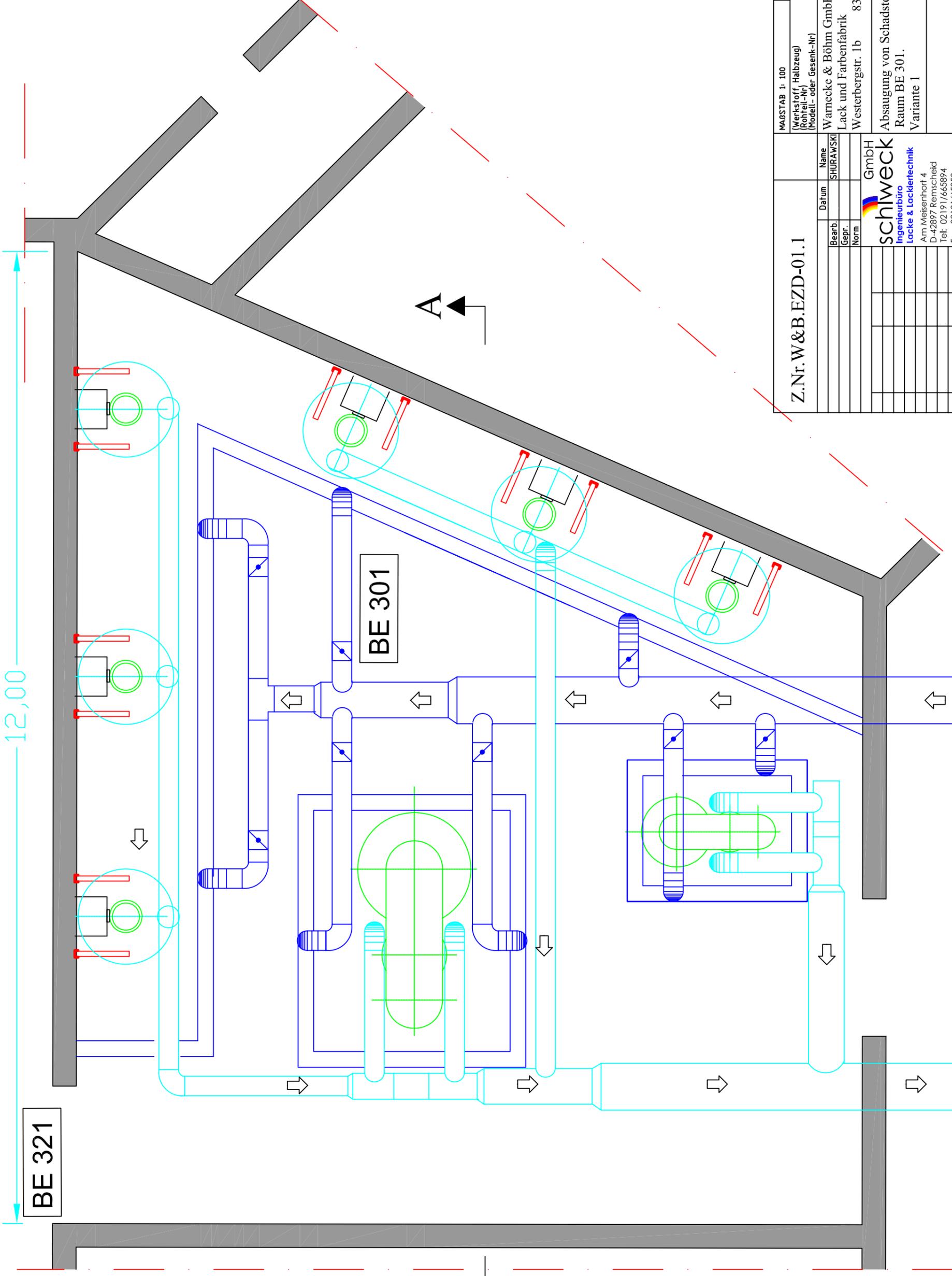
Z.Nr. W&B.EZD-02.2



MA8STAB 1:100 (Gewicht)	Werkstoff-Halbzeug (Rohteil-Nr.) Modell- oder Gesenk-Nr.	Name SHURAWSKI
Warnecke & Böhm GmbH Lack und Farbenfabrik Westerbergstr. 1b 83727 Schliersee		
Absaugung von Schadstoffen Raum BE 301. Variante 2		
Dipl.-Ing. Reinhard Schwöck Verediger Sachverständiger für das Sachgebiet Farben, Lacke und Beschichtungsstoffe		
Am Meisenhort 4 D-42897 Remscheid Tel.: 02191/665894 Fax: 02191/665953		
E-Mail: kontakt@schwoeck.info		
Zustf.	Änderung	Name
		Datum
www.schwoeck.info		

12. Absaugung von Schadstoffen im Raum BE 301, Variante 2; Schema der Fangplatten

A28



12,00

BE 321

BE 301

Z.Nr. W&B.EZD-01.1

MAßSTAB 1: 100
(Werkstoff Halbzeug)
(Rohteil-Nr)
(Produkt- oder Gesenk-Nr)

Name		Datum		Name		Datum	
Bearb.	SHURAWSKI			Zust.	Anderung		
Gepr.							
Norm							

GmbH
schweck
Ingenieurbüro
Locke & Lockertechnik
Am Meisenhort 4
D-42897 Remscheid
Tel.: 02191/665894
Fax: 02191/65953
E-Mail: kontakt@schweck.info
www.schweck.info

Warnecke & Böhm GmbH
Lack und Farbenfabrik
Westerbergstr. 1b 83727 Schliersee

Absaugung von Schadstoffen
Raum BE 301.
Variante 1

14. Absaugung von Schadstoffen im Raum BE 301, Variante 1; Versuchsanlage BE 301

Anhang 3: Fachbericht ILK-B-31-06-3279

Fachbericht
ILK-B-31-06-3279
28.09.2006
Seitenzahl 22

Strömungssimulationen zur Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen im Bereich der Herstellung von Lacken und Farben

Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke

Dipl.-Math. Angelika Ehle,

Dr.-Ing. habil. Matthias H. Buschmann

Zertifiziert nach ISO 9001

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH • Bertolt-Brecht-Allee 20 • 01309 Dresden
Geschäftsführer: Dr. rer. nat. habil. Ralf Herzog • Prokurist: Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke
Tel.: 0351/4081-520 • Fax 0351/4081-525 • E-Mail: gf@ilkdresden.de • <http://www.ilkdresden.de>
Commerzbank Dresden • Kto. 8 000 135 • BLZ 850 400 00 • Amtsgericht Dresden HRB 6118

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	3
2 Strömungssimulation	4
3 Diskussion der Ergebnisse	8
3.1 Auswertung der Geschwindigkeitsfelder in unterschiedlichen Schnittebenen	9
3.2 Auswertung der Konzentrationsfelder in unterschiedlichen Schnittebenen	11
4 Zusammenfassung und Bewertung der Simulationsergebnisse	13
5 Bildanhang	15

1 Aufgabenstellung

Die Firma WARNECKE & BÖHM GmbH & Co. KG Lack- und Farbefabrik beabsichtigt, die Wechselwirkung zwischen Raumluftrömung und Emission von Schadstoffen während der Herstellung lösungsmittelhaltiger Farben zu untersuchen. Hierzu sollen Strömungssimulationen durchgeführt werden. Die Strömungssimulationen müssen zum einen den Ausbreitungsvorgang der Schadstoffe beginnend, an der freien Oberfläche der Farbflüssigkeiten und zum anderen die Ausbildung der Raumluftrömung, beinhalten.

Für die korrekte Simulation beider Vorgänge sind die Hallengeometrie und die konstruktive Ausführung der Rührwerke sowie unterschiedliche Varianten von Ausblasung und Absaugung von besonderer Bedeutung. Aus Beiden ist eine Berechnungsdomäne aufzubauen, für welche die Raumluftrömung sowie die Schadstoffausbreitung simuliert werden. Für die Simulation ist die Berechnungsdomäne in geeignete Subdomänen zu zerlegen und zu diskretisieren.

Eine Analyse der Berechnungsergebnisse soll zu Aussagen bezüglich einer optimalen Konstruktion von Ausblasung und Absaugung führen. Hierbei ist sowohl besonderes Augenmerk auf die Qualität der Raumluftrömung und deren eventuelle Belästigung von Personen, die sich in der Halle aufhalten, als auch auf die Schadstoffausbreitung zu legen.

2 Strömungssimulation

Strömung und Schadstoffausbreitung im Umfeld der Rührwerke werden durch deren komplexe Geometrie geprägt. Es wird daher davon ausgegangen, dass die Strömung immer dreidimensional und turbulent ist. Diese Komplexität gestattet es nicht, die Durchströmung mit ein- bzw. zweidimensionalen Modellen nachzubilden. Für den Istzustand sowie für alle konstruktiven Varianten mit Ausblasung beziehungsweise Absaugung sind deshalb numerische Strömungssimulationen durchzuführen. Für diese numerischen Simulationen wird das Softwarepaket FLUENT verwendet. Unter numerischer Simulation wird die Lösung der die Strömung und das Konzentrationsfeld beschreibenden Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Stoffe verstanden. Hierzu wird die Halle, in welcher die Rührwerke aufgestellt sind, in Domänen aufgegliedert. Diese Berechnungsdomänen wiederum werden diskretisiert, das heißt in eine Vielzahl kleiner Volumenelemente unterteilt. Die Lösung der genannten Bilanzgleichungen erfolgt dann auf diesem diskreten Netz von Gitterpunkten. Alle Simulationen werden stationär durchgeführt.

Ergebnis der Simulationen sind sehr detaillierte Geschwindigkeit- und Konzentrationsfelder. Die Interpretation der lokalen Strömungsverhältnisse wird auf Basis der berechneten Geschwindigkeitsfelder durchgeführt. Hierzu werden Stromlinienbilder errechnet, die über Richtung und Intensität örtlicher Strömungsgeschwindigkeiten Auskunft geben. Für die Bestimmung der Schadstoffverteilung innerhalb der Halle werden die Konzentrationsfelder ausgewertet. Bild 1.1 zeigt die Berechnungsdomänen der einzelnen untersuchten Varianten. Es sind folgende Konfigurationen zu unterscheiden.

1. Einzelnes Rührwerk mit Farbbottich ohne Ausblasungen bzw. Absaugungen
Im Weiteren wird diese Variante Istzustand genannt.
2. Zwei Rührwerke mit Ausblasung und Absaugung in der Überdachung
Im Weiteren wird diese Konfiguration Variante 1 genannt.
3. Zwei Rührwerke mit Ausblasung und Absaugung in unterhalb des Bottichs
Im Weiteren wird diese Konfiguration Variante 2 genannt.
4. Zwei Rührwerke mit Ausblasung und Absaugung in der Bottichhalterung
Im Weiteren wird diese Konfiguration Variante 3 genannt.

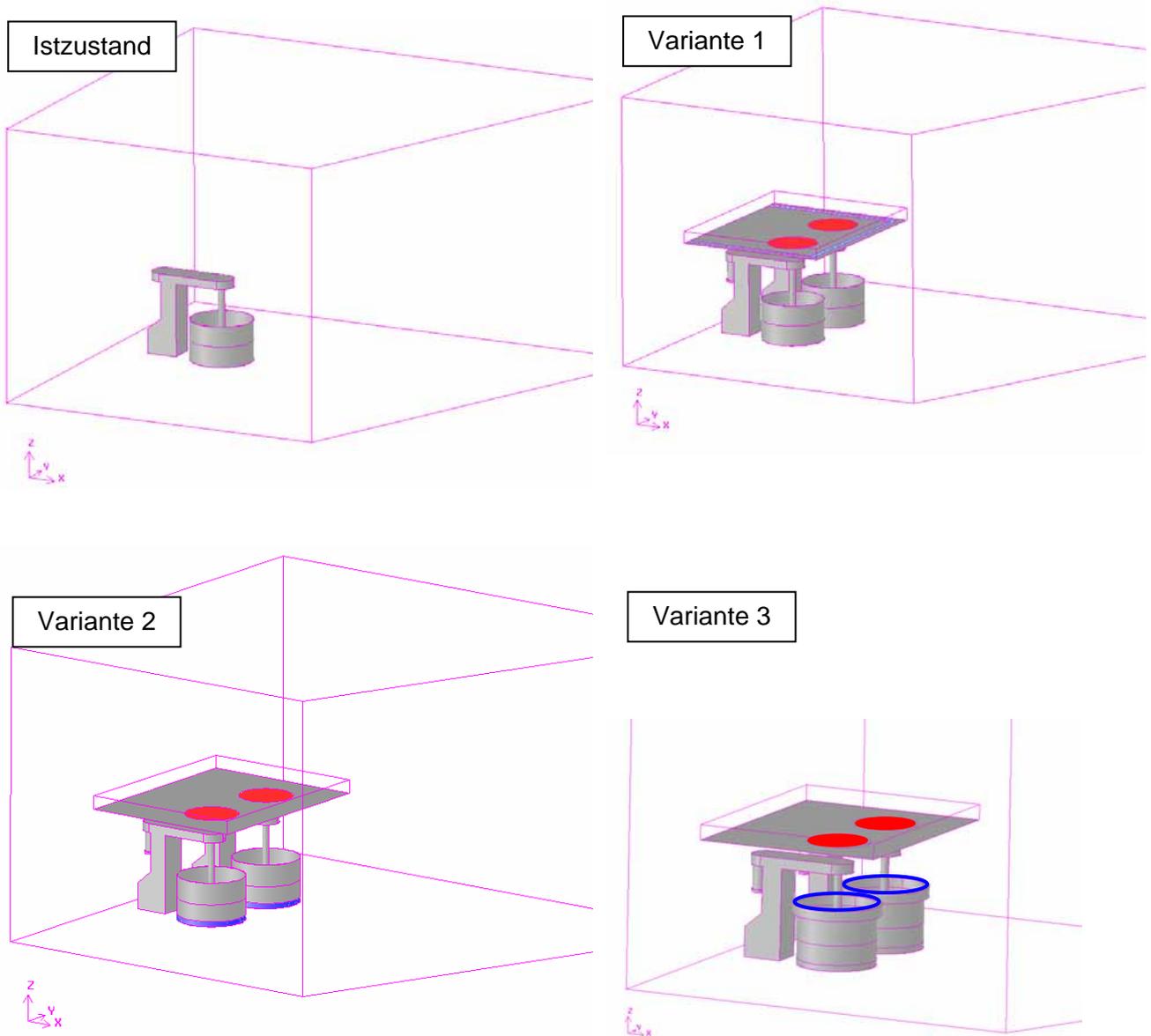


Bild 2.1 Darstellungen der mittels Strömungssimulation untersuchten Konfigurationen von Rührwerken mit Farbbottich und Ausblasungen (blau) bzw. Absaugungen (rot). Die Berechnungsdomäne (Halle) ist jeweils als violettes Drahtmodell dargestellt.

Links oben: Istzustand ohne Absaugung

Rechts oben: Zwei Rührwerke mit Ausblasung und Absaugung in der Überdachung

Links unten: Zwei Rührwerke mit Ausblasung im Bodenbereich

Rechts unten: Zwei Rührwerke mit Ausblasung im Bereich der Halterungen

(Die Darstellungen sind nicht maßstabsgerecht)

In allen Varianten wurden Rührwerke mit gleichen Abmessungen betrachtet. Die Halle, in welcher die Rührwerke aufgestellt sind, ist ebenfalls für alle Varianten gleich. Besonderer Wert wurde auf die Nachbildung von Details der Rührwerke, welche für die lokalen Strömungs- und Konzentrationsfelder in deren unmittelbarer Umgebung von besonderer Bedeutung sind, gelegt. Hier sind insbesondere die Kühlluftansaugung des Motors, der das Rührwerk antreibt, sowie die Rotation des Schaftes des Rührwerkes zu nennen. Diese Details sind insbesondere für den Istzustand von Bedeutung. In diesem Fall befinden sich keine Absaugungen bzw. Ausblasungen in der Halle. Die Schadstoffausbreitung wird daher allein durch Konzentrationsunterschiede im Raum, die Luftbewegung, welche durch den Kühlluftstrom des Motors erzeugt wird, sowie die Rotation des Schaftes angetrieben.

Die numerische Auflösung der Berechnungsdomäne (Diskretisierung der Halle) trägt dem oben genannten Umstand ebenfalls Rechnung. In der unmittelbaren Umgebung der Rührwerke wurde die Strömungsdomäne deutlich höher aufgelöst als in Hallenbereichen, die sich weit entfernt von diesen befinden. Eine nochmals verstärkte Verdichtung der Aufpunkte erfolgte in unmittelbarer Umgebung der ausgasenden Oberfläche der Farbe innerhalb der Bottiche. Im unmittelbaren Umfeld der Rührwerke kann daher mit einer Auflösung der Strömungs- und Konzentrationsfelder im Bereich von ca. 8 bis 15 mm gerechnet werden. Ergebnis dieser Strategie ist eine hohe Auflösung der starken Gradienten von Geschwindigkeit und Schadstoffkonzentration im Umfeld der Rührwerke. Die Domäne erhöhter Auflösung schließt auch den Bereich unmittelbar vor den Rührwerken, in welchen der Aufenthalt von Personen am wahrscheinlichsten ist, ein. Alle Simulationen wurden mit ca. 2 Millionen Aufpunkten für die gesamte Halle durchgeführt. Damit ist eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der einzelnen Rechnungen aus numerischer Sicht gegeben.

Für Varianten mit Ausblasung wird ein gleichförmiger Luftstrom aus den Ausblasöffnungen angenommen. Die Öffnungen der Absaugungen sind für alle Varianten gleich gestaltet. Das Verhalten der Strömung und Konzentration im Raum und insbesondere im Bereich der Absaugung folgt unter diesen Bedingungen direkt aus der Strömungssimulation.

Alle Varianten simulieren eine nicht abgedeckte Oberfläche der Farbbottiche. Es ist daher davon auszugehen, dass bei Abdeckung der Bottiche und damit einer deutlichen Minderung der ins Freie gelangenden Schadstoffe die Konzentrationen im gesamten Hallenbereich entsprechend geringer sind. Dies gilt jedoch nicht für die Geschwindigkeitsverteilungen. Die sich in der Halle

ausbildende Luftbewegung, welche insbesondere durch die unterschiedlichen Formen der Ausblasungen angetrieben wird, wird kaum von der absolut ausgasenden Schadstoffmenge beeinflusst. Die simulierten Geschwindigkeitsfelder gelten daher unverändert auch für Fälle mit deutlich verringerter Ausgasung, jedoch gleicher konstruktiver Ausführung von Ausblasung und Absaugung.

3 Diskussion der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in standardisierter Form. Hierzu werden mehrere Schnittebenen, die in Bild 3.1 dargestellt sind, definiert. Zusätzlich wird eine horizontale Schnittebene, von 1.70 m über dem Boden betrachtet. Diese Schnittebene ist insbesondere für die Bewertung der Schadstoffbelastung für Personen von Bedeutung. Im Bildanhang sind, soweit für die einzelnen Varianten relevant, die Geschwindigkeitsverteilungen und die Schadstoffkonzentrationen in den einzelnen Schnitten dargestellt.

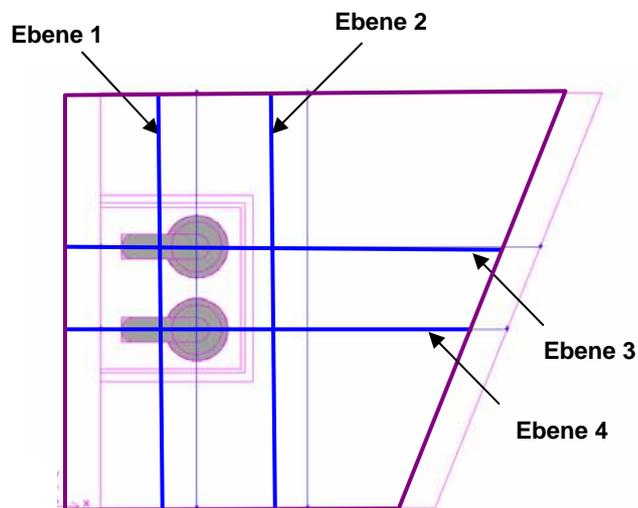


Bild 3.1 Schnittebenen im Umfeld der Rührwerke

Alle Darstellung des Bildanhanges sind nicht maßstäblich, zeigen jedoch die Position der Rührwerke und Zu- bzw. Abluftöffnungen. In allen Fällen, ausgenommen dem Istzustand, wird mit einer Ausblasgeschwindigkeit von 3 m/s gearbeitet. Der ausgeblasene Volumenstrom strömt entsprechend der konstruktiven Ausführung entweder direkt (siehe insbesondere Variante 3) oder über Umwege über die Hallenströmung in die Absaugöffnungen.

3.1 Auswertung der Geschwindigkeitsfelder in unterschiedlichen Schnittebenen

In Bild A1 ist die Geschwindigkeitsverteilung im Längsschnitt durch ein Rührwerk und die gesamte Halle gezeigt. Generell ist zu bemerken, dass sowohl im Fall der Istvariante ohne Ausblasung und Absaugung als auch in allen anderen Varianten ein großräumiges Wirbelgebiet im Hallenbereich entsteht. Im Istzustand weist dieses allerdings kleinere Geschwindigkeiten als in allen anderen Varianten auf. Ursache ist, dass hier die Raumluftrömung nur durch das Rührwerk selbst und die Motorlüftung angetrieben wird. Im Vergleich zu einer Ausblasung sind dies geringe Triebkräfte die im gesamten Raum nur eine schwache Strömung erzeugen.

Abgesehen vom Istzustand, in welchem nur ein Rührwerk berücksichtigt wird, sind die Darstellungen der Ebene 3 in enger Verbindung mit den Darstellungen der Ebene 4 zu sehen. Für die Variante 1 bis 3 ergeben sich nach diesen Bildern sehr ähnliche Muster der Raumluftrömung in beiden Schnitten. Lokal, also im direkten Umfeld der Rührwerke sind die Geschwindigkeitsverteilungen und Luftbewegungen jedoch klar unterscheidbar. Deutlich sichtbar sind jeweils die Bereiche der Ausblasung und Absaugung. In allen Fällen sind sie durch rot gefärbte Stromlinien markiert. In Variante 1 ist eine starke Strömung direkt von der Ausblasung zur Absaugung auf der Unterseite der Absaugvorrichtung, welche sich oberhalb der Rührwerke befindet, festzustellen. Variante 2, welche mit einer Ausblasung unterhalb der Bottiche arbeitet, führt zu einem Strahl, der sich auf dem Boden der Halle ausbreitet. Personen, die sich im Umfeld einer solchen Ausblasung bewegen, werden von diesem Strahl im Fußbereich und im Bereich der Unterschenkel betroffen sein. Nach der Simulation baut sich die Ausblasgeschwindigkeit dabei über eine Distanz von ca. 1 m nur gering ab, so dass durchaus mit deutlichen Belastungen zu rechnen ist. Im Fall von Variante 3 ist eine Ausblasung aus den Ringarmen, die die Bottiche halten, realisiert. Deutlich ist auf der rechten Seite der Bottiche die Bewegung des Luftstromes direkt aus der Ausblasung zur Absaugvorrichtung zu erkennen. Hier gibt es einen freien Weg von Ausblasung zu Absaugung. Auf der linken Seite der Bottiche wird dieser freie Weg vom oberen Haltearm des Rührwerkes versperrt. Der ausgeblasene Luftstrom muss sich hier teilen und gelangt erst dann in die Absaugung. Summiert man die Ergebnisse dieser Darstellungen, kann festgestellt werden, dass die durch die Varianten verursachte Raumluftrömung nahezu gleichartig ist. Lokal gibt es jedoch deutliche Unterschiede, die insbesondere Variante 2 (Ausblasung unterhalb der Bottiche) als nachteilig erscheinen lassen. Bezogen auf die Schadstoffquelle arbeitet offenbar Variante 3 am besten. Hier

gibt es eine starke Bündelung des ausgeblasenen Luftstromes, die eine effektive Absaugung erwarten lässt.

Bild A3 zeigt einen Querschnitt durch die Halle inklusive der Rührwerke. Die Ergebnisse der beiden vorangegangenen Schnitte werden weitgehend bestätigt. In Variante 1 ist ein Kurzschluss festzustellen, bei dem die Masse des ausgeblasenen Luftstromes über einen kurzen Weg direkt in die Absaugung strömt. Im linken unteren Bild – Variante 2 mit Ausblasung unter den Bottichen – ist deutlich die Strahlausbreitung am Boden zu erkennen. Nahezu zwei Drittel des gesamten im Schnitt dargestellten Hallenbodens werden mit Geschwindigkeiten nahe der Ausblasgeschwindigkeit beaufschlagt. Erst Variante 3 zeigt ein stark konzentriertes Strömen des Luftstromes direkt von der Ausblasung auf den Halterungen hin zu den Absaugöffnungen. Der freie Querschnitt der Bottiche wird dabei förmlich eingehaust bzw. ummantelt. Links und rechts von den beiden Rührwerken bilden sich markante Wirbelstrukturen aus, die allerdings nur im oberen Bereich (Nähe Absaugvorrichtung) Geschwindigkeiten oberhalb von 0.30 m/s erreichen.

Bild A4 fasst die Darstellung der Strömung in den Horizontalschnitten zusammen. Auch hier ist zu erkennen, dass jede der drei Varianten ein typisches Muster der Raumluftrömung in der Halle erzeugt. Mit Ausnahme kleinerer Bereiche der Variante 2 sind die in der Halle jeweils induzierten Geschwindigkeiten jedoch geringer als 0.20 m/s. Auch im Bereich der Rührwerke sind unterschiedliche Strömungsbilder zu beobachten. So konzentriert sich offenbar für Variante 1 die Umlenkung der ausgeblasenen Luft hin zur Absaugung in ca. 1.70 m Höhe. In Variante 2 sind die zwischen den beiden Bottichen aufsteigenden Luftströme der Ausblasung im Bodenbereich klar zu erkennen (rot markierte Gebiete). Um die Bottiche herum gibt es jedoch kaum aufsteigende Luftmengen. Dies hat seine Ursache in der seitlichen Abströmung der Luft im Bodenbereich und damit hinein in die Halle (siehe hierzu auch die Bilder A1 bis A3). Variante 3 zeigt eine rosettenförmige Strömungsstruktur. Die beiden Rosetten sind ein Schnitt durch die von den beiden Bottichhalterungen ausgehenden Luftströme und die von ihnen induzierten Wirbel in der Umgebung der Absaugung.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass alle Varianten eine Raumluftrömung induzieren. Im Fall des Istzustandes ist dieser sehr schwach und weist nur sehr geringe Strömungsgeschwindigkeiten auf. Die Varianten 1 bis 3 induzieren großräumige Wirbel, die sich durch die gesamte Halle erstrecken. Bereits aus den Stromlinienbildern ist eine Bewertung der unterschiedlichen konstruktiven Varianten einer Absaugung ableitbar. Zu favorisieren ist offenbar Variante 3, die eine starke

Bündelung des ausgeblasenen Luftstromes und der Abströmung auf dem kürzesten Weg hin zur Absaugung aufweist.

3.2 Auswertung der Konzentrationsfelder in unterschiedlichen Schnittebenen

Die Bilder A5 bis A7 zeigen die Konzentrationsverteilung des aus der freien Oberfläche der Farbe, welche in den Bottichen gerührt wird, in den freien Raum austretenden Schadstoffes. In allen Fällen bildet sich unmittelbar oberhalb der freien Farboberfläche ein Gebiet extrem hoher Schadstoffkonzentration aus. Diese Gebiete (in den Darstellungen rot markiert) konzentrieren sich auf den inneren oberen Bereich der Bottiche. Ursache dieser Zone ist die starke Verwirbelung der Luft direkt über der Farbflüssigkeit. Die Strömung der Luft ist hier turbulent und die Wechselwirkung zwischen Luft und rotierender Farboberfläche daher besonders intensiv. Der Austrag der Schadstoffe aus der Farbflüssigkeit ist damit deutlich stärker als im Fall ruhender Farboberfläche und ruhendem Schaftes.

Betrachtet man die Verteilung des Schadstoffes in der Halle für den Istzustand (z. B. Bild A5 links oben), so ist sofort zu erkennen, dass sich der Schadstoff in der gesamten Halle weitgehend ungehindert ausbreitet. Die experimentell beobachtete keulenförmige Ausbreitung der Schadstoffe im Raum (siehe Messungen der Schiweck GmbH) kann numerisch bestätigt werden. Bild A5 zeigt für den Istzustand, dass in einem gewissen Abstand vor dem Rührwerk sowohl am Boden als auch im Deckenbereich geringere Schadstoffkonzentrationen als in mittleren Höhen vorliegen. Dieser Befund deckt sich ebenfalls mit den experimentellen Ergebnissen. Insgesamt wird für den Istzustand die höchste Schadstoffkonzentration in der gesamten Halle festgestellt. Alle anderen Varianten weisen deutlich geringere Belastungen auf als im Fall des Istzustandes. Dies ist besonders bemerkenswert, da im Istzustand nur ein, in den anderen Varianten hingegen zwei Rührwerke, also eine doppelt so große freie Farbstoffoberfläche, betrachtet wurden.

Die Ausbreitung der Schadstoffe in der Halle ist eng an die im vorangegangenen Kapitel besprochenen Strömungsbilder gebunden. Entsprechend der unterschiedlichen Raumströmung werden daher auch unterschiedliche Schadstoffverteilungen in der Halle zu erwarten sein. Bereits der Vergleich der Konzentrationsverteilungen in Ebene 3 (Bild A5) zeigt diese Unterschiede. Während sich bei Variante 1 eine Schadstofffahne, welche sich in die Halle erstreckt, ausbildet, wird in den Varianten 2 und 3 eine Konzentration nahe Null im gesamten Hallenbereich gefunden. Die Schadstoffkonzentration ist daher auch in den oberen Hallenbereichen bei Variante 1 etwas größer als in

diesen Varianten. Bild A6 verstärkt diesen Eindruck. Man beachte die in diesem Bild andere Auflösung der Konzentrationsverteilung. Nahe Null im gesamten Hallenbereich ist wiederum die Schadstoffverteilung von Variante 2. Variante 1 weist infolge der oben beschriebenen Schadstoff-fahne eine deutlich höhere Konzentration auf. Variante 3 liegt bezüglich ihrer Schadstoffbelastung in etwa zwischen diesen beiden Varianten.

Auch in der vor den Rührwerken liegenden Ebene 1 (Bild A7) sind deutliche Unterschiede der Schadstoffverteilung im Raum festzustellen. Die Istvariante führt zu einer großräumigen Verteilung in der gesamten Halle. Markant ist wiederum die Keulenstruktur der Schadstoffkonzentration, welche sich vom Rührwerk ausgehend in den Raum erstreckt. Für Variante 1 ist die Schadstoff-fahne im linken Bereich gut zu erkennen. Hier werden sogar höhere Konzentrationen als im Ist-zustand erreicht. Die Varianten 2 und 3 zeigen eine nahezu gleichförmige Verteilung im Raum mit nur sehr geringen Werten der Schadstoffkonzentration.

In Bild 8 sind die Schadstoffverteilungen in einem Horizontalschnitt 1.70 m über dem Hallenboden dargestellt. Auch in dieser Höhe zeigt Variante 1 eine deutliche höhere Schadstoffbelastung als die beiden anderen Varianten. Zudem wird der Schadstoff unterschiedlich im Raum angesammelt. Insbesondere in den Ecken der Halle kommt es zu erhöhten Konzentrationen. Dies wird letztlich durch das Muster der Raumluftrömung verursacht (vergleiche hierzu Bild A4). Variante 2 (Ausblasung unterhalb der Bottiche) zeigt in Übereinstimmung mit den vorangegangenen Ergebnissen wiederum die geringsten Schadstoffbelastungen im Raum. Die Schadstoffausbreitung ist stark konzentriert und bleibt auf das unmittelbare Umfeld der Rührwerke begrenzt. Variante 3 (Ausblasung aus den Haltearmen) zeigt ebenfalls eine geringe Schadstoffbelastung in der betrachteten Horizontalebene. Allerdings sind die Konzentrationen in einem größeren Umfeld um die Rührwerke etwas höher als im Fall von Variante 2. Sie erreichen jedoch an keinem Punkt die Werte des Istzustandes oder von Variante 1.

4 Zusammenfassung und Bewertung der Simulationsergebnisse

Im Bericht werden Strömungssimulationen zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Raumluchtströmung und Emission von Schadstoffen während der Herstellung von lösungsmittelhaltigen Lacken und Farben vorgestellt. Die Ergebnisse tragen wesentlich zum besseren Verständnis der in der Halle ablaufenden Ausbreitungsvorgänge von Schadstoffen bei.

Es zeigt sich, dass die Istvariante – einzelnes Rührwerk ohne Absaugung – einen deutlichen Schadstoffausstoß aufweist, der sich in der gesamten Halle ausbreitet. Die gefundenen Muster der Schadstoffverteilung decken sich qualitativ mit den Ergebnisse, welche von der Schiweck GmbH experimentell bestimmt wurden. Von allen untersuchten Varianten ist der Istzustand als der ungünstigste bezüglich der Schadstoffausbreitung einzuschätzen. Ursache ist letztlich, dass keine Absaugung der Schadstoffe vorgenommen wird und sich diese ungehindert im Raum ausbreiten können.

Wertet man die Ergebnisse der anderen untersuchten Varianten, so gelingt dies nur, wenn sowohl Raumluchtströmung als auch Schadstoffverteilung im Raum diskutiert werden. Alle Varianten induzieren großräumige Luftbewegungen in der gesamten Halle. Diese sind vergleichbar in ihrer Intensität, jedoch nicht bezüglich der sich ausbildenden Strömungsmuster (Wirbelbildung etc.). Letzteres ist von besonderer Bedeutung für die lokale Ansammlung von Schadstoffen, wie zum Beispiel in den Hallenecken. Die Strömungsmuster und Geschwindigkeitsverteilungen im unmittelbaren Umfeld der Rührwerke hängen deutlich von der Form der installierten Ausblasung und Absaugung ab. Eindeutig nachteilig ist hier Variante 2 (Ausblasung unter den Bottichen). In dieser Variante bilden sich strahlartige Strömungen direkt oberhalb des Fußbodens aus, die infolge ihrer hohen Geschwindigkeiten eine erhebliche Belastung für sich in der Halle aufhaltende Personen darstellen können.

Eng mit der Raumluchtströmung verbunden ist die Schadstoffausbreitung in der Halle. So bildet sich bei Variante 2 (Ausblasung aus dem Dachbereich) eine Schadstofffahne in Bodennähe aus, welche letztlich zur Kontamination des gesamten Hallenraumes führt. Am besten gebündelt und auf das nächste Umfeld der Rührwerke konzentriert ist die Schadstoffausbreitung in Variante 2 (Ausblasung unterhalb der Bottiche). Variante 3 (Ausblasung aus den Haltearmen) nimmt bezüglich der Schadstoffbelastung in der Halle eine mittlere Stellung zwischen den Varianten 1 und 2 ein.

Bringt man die Ergebnisse von Raumluftrömung und Konzentrationsverteilung aller Varianten zusammen, so ist offensichtlich Variante 3 der Vorzug zu geben. Die Ausblasung aus den Haltearmen und eine Absaugung oberhalb der Rührwerke führen quasi zu einer Ummantelung des Schadstoffstromes in Form eines Luftschleiers. Gestört wird dieser Luftschleier nur im hinteren Bereich des Rührwerkes durch dessen Haltearm. Der Schadstoffstrom wird damit weitgehend direkt vom Entstehungsort zur Absaugung geführt. Variante 3 weist eine etwas höhere Schadstoffbelastung als Variante 2 (Ausblasung unterhalb der Bottiche) auf. Dieser Nachteil wird jedoch durch die deutlich geringeren Strömungsgeschwindigkeiten im Fußbereich mehr als kompensiert.

5 Bildanhang

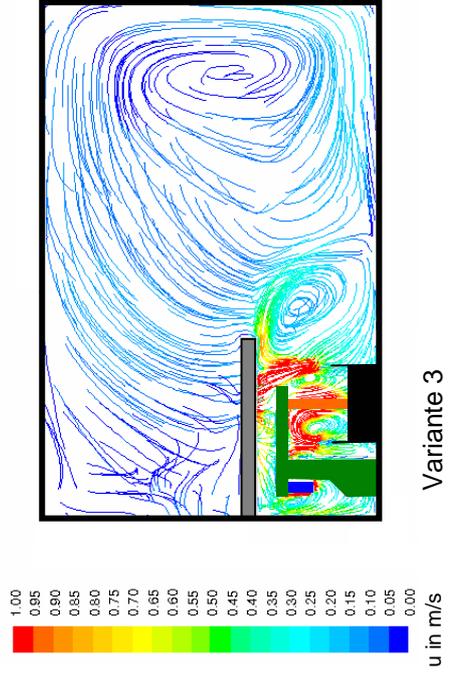
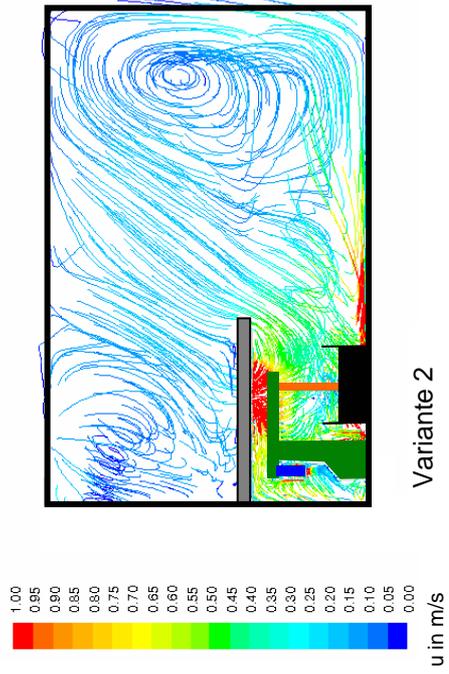
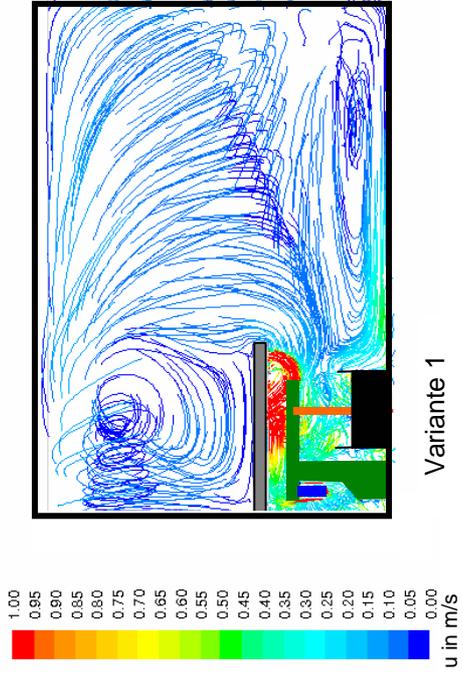
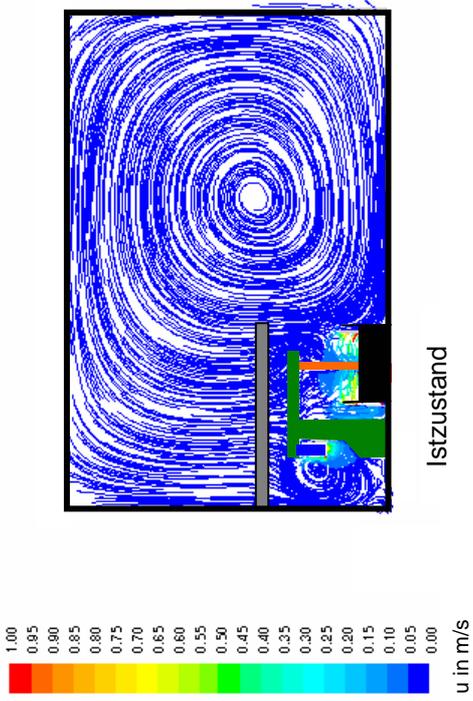
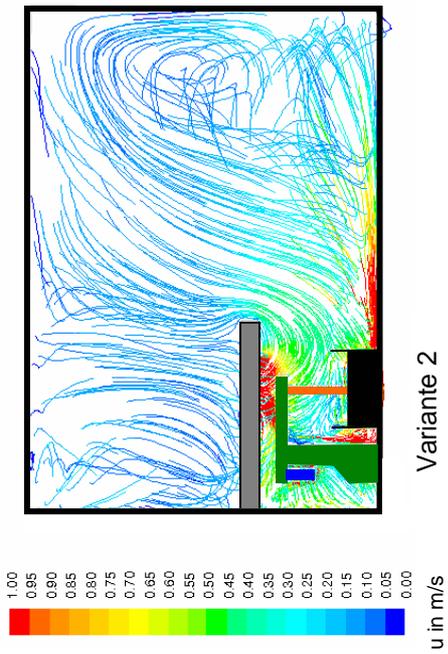
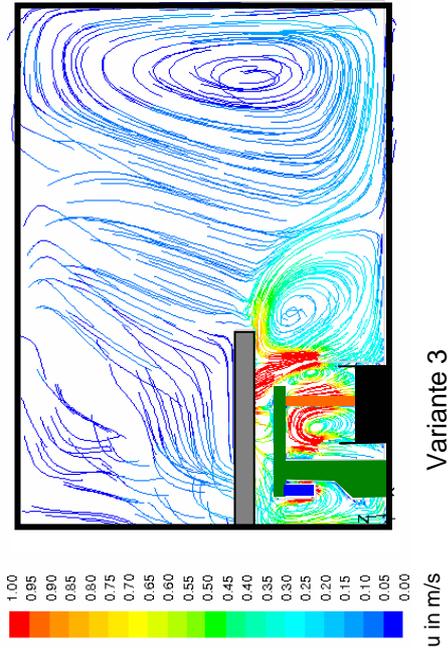
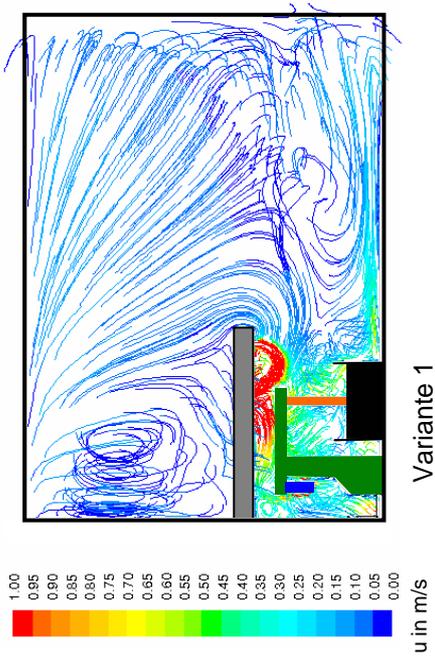
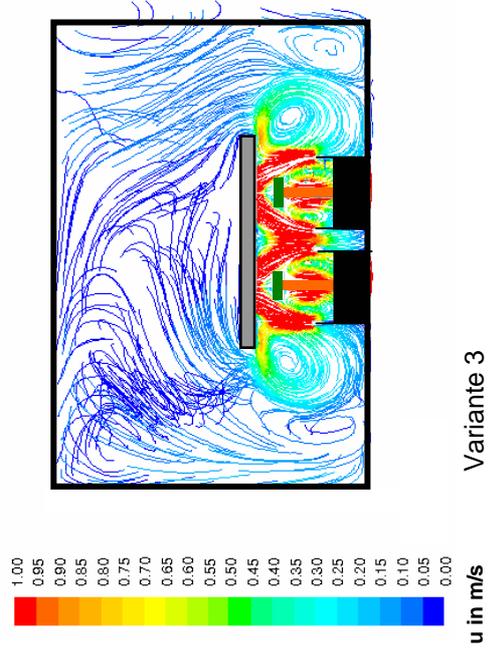
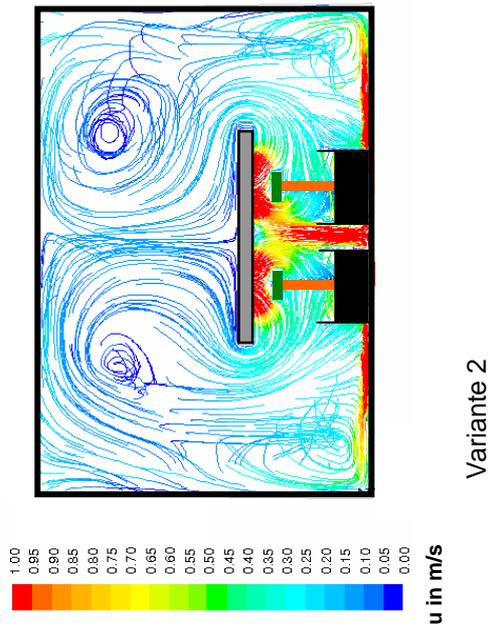
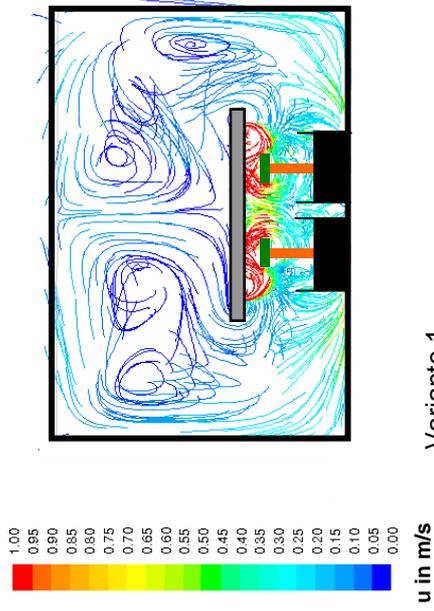


Bild A1 Strömlinien der unterschiedlichen Varianten dargestellt in der Ebene 3



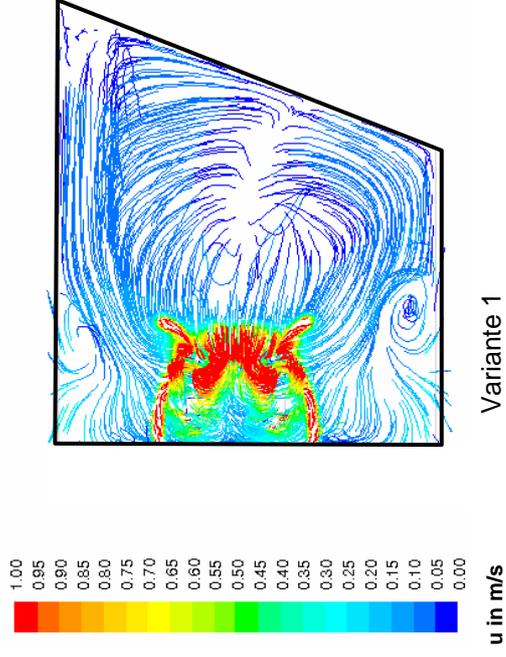
Stromlinien der unterschiedlichen Varianten dargestellt in der Ebene 4

Bild A2

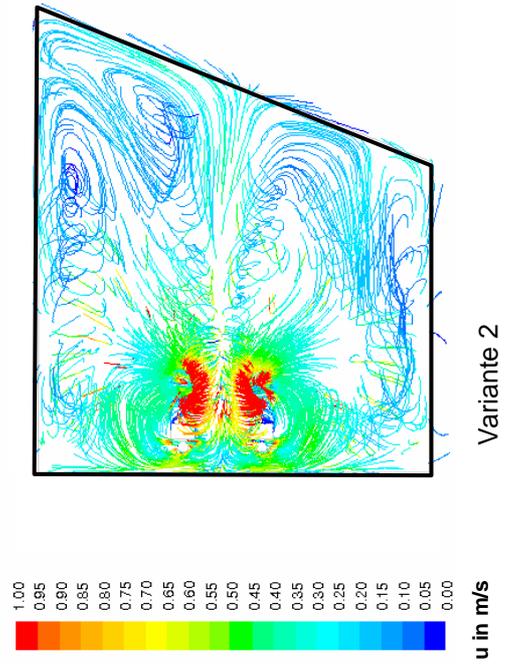


Stromlinien der unterschiedlichen Varianten dargestellt in der Ebene 1

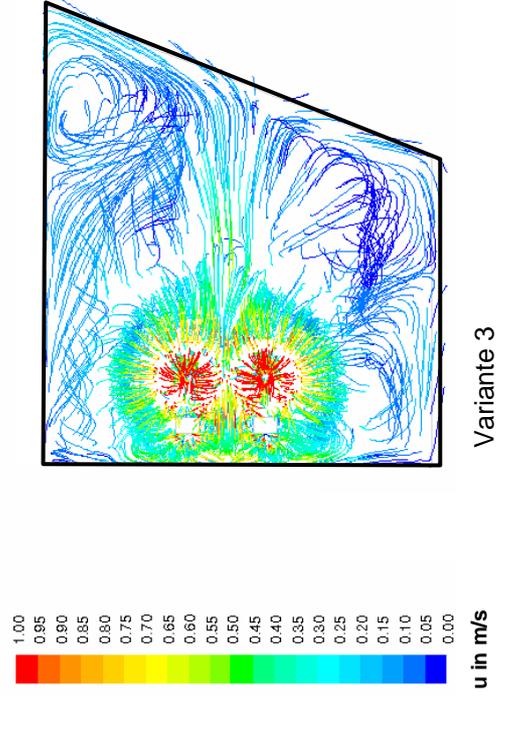
Bild A3



Variante 1



Variante 2



Variante 3

Stromlinien der unterschiedlichen Varianten einer der Horizontalebene 1.70 m über dem Boden

Bild A4

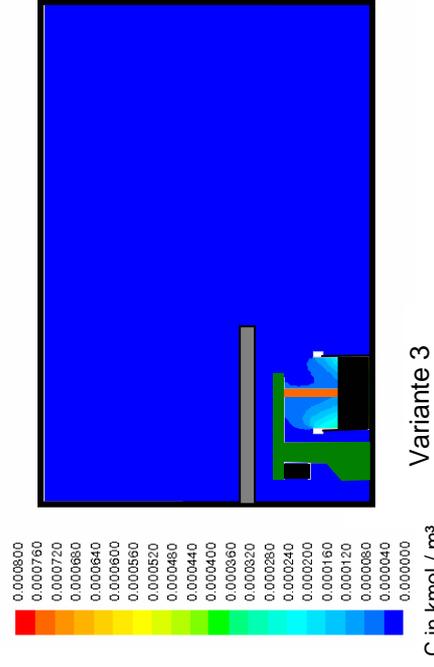
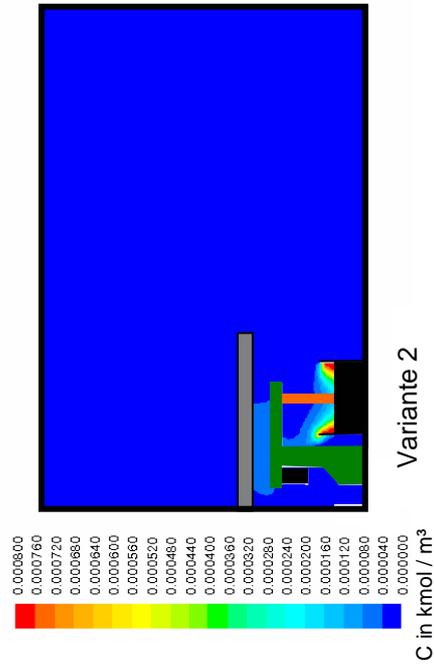
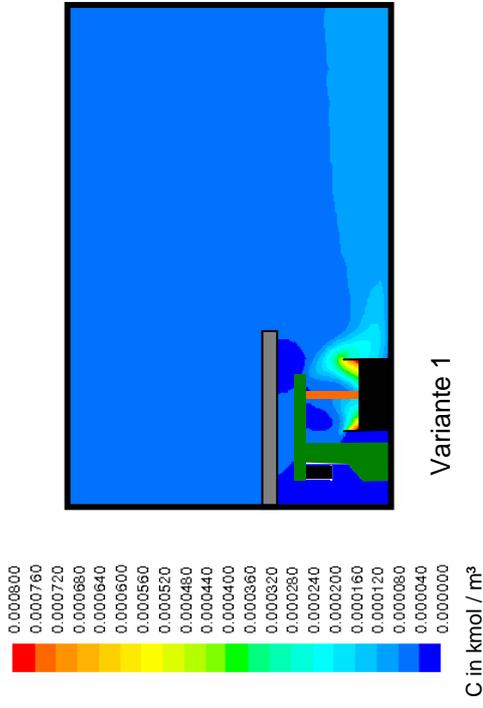
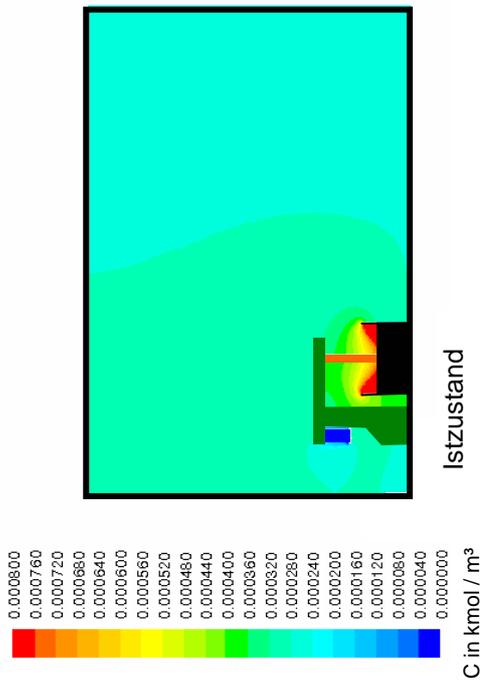


Bild A5 Konzentrationsverteilung der unterschiedlichen Varianten dargestellt in der Ebene 3

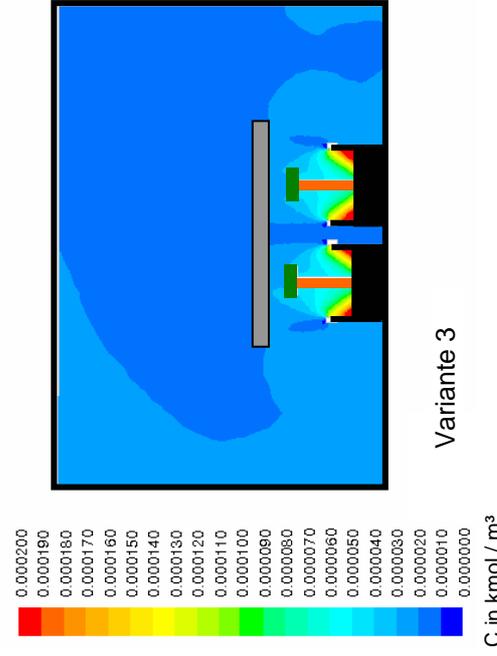
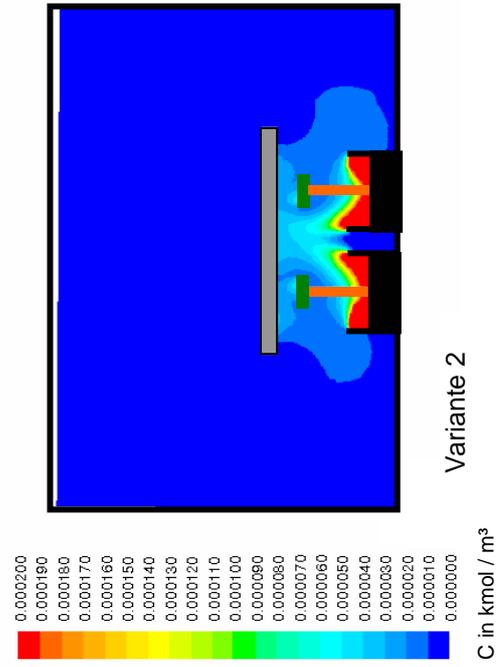
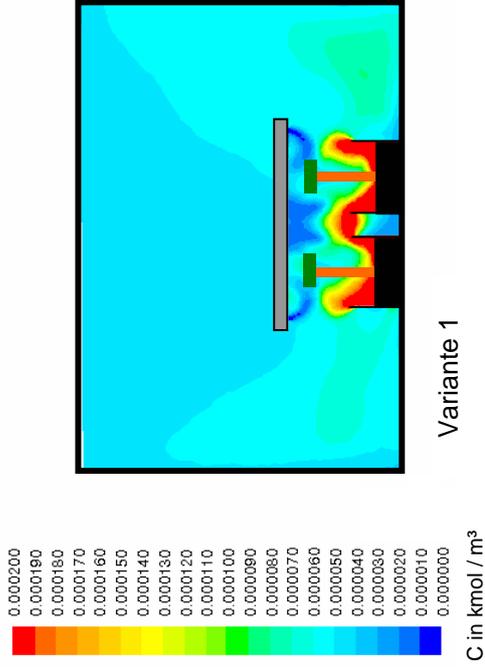


Bild A6 Konzentrationsverteilung der unterschiedlichen Varianten dargestellt in der Ebene 1

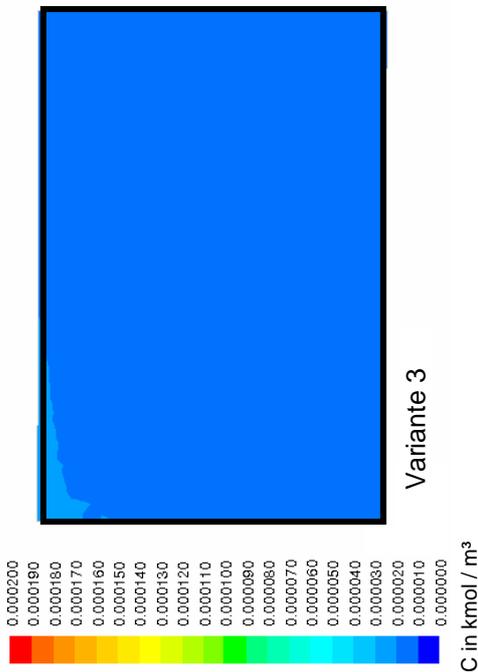
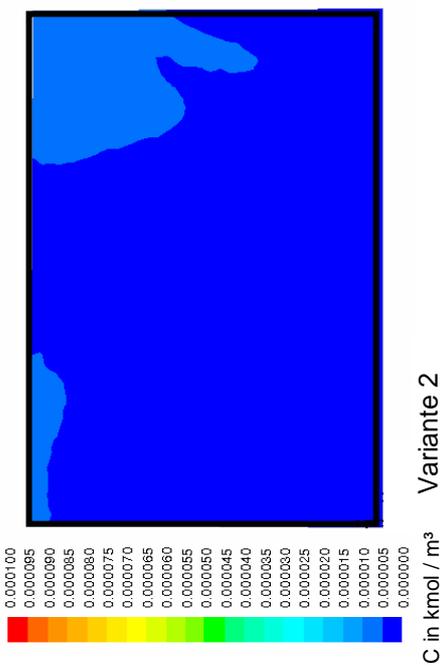
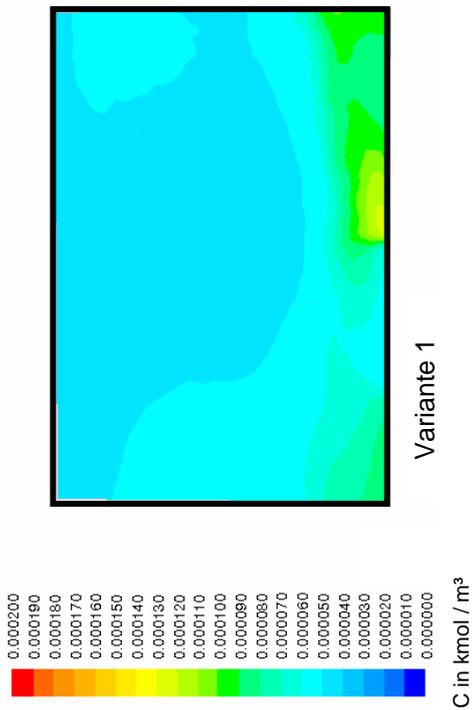
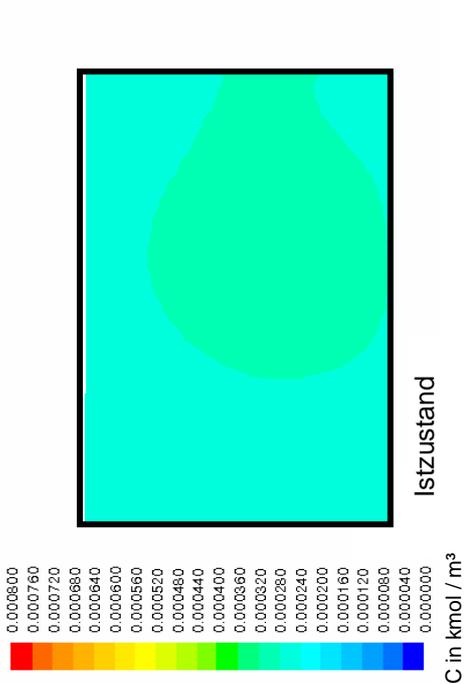


Bild A7 Konzentrationsverteilung der unterschiedlichen Varianten dargestellt in der Ebene 2 (unterschiedliche Skalierung beachten)

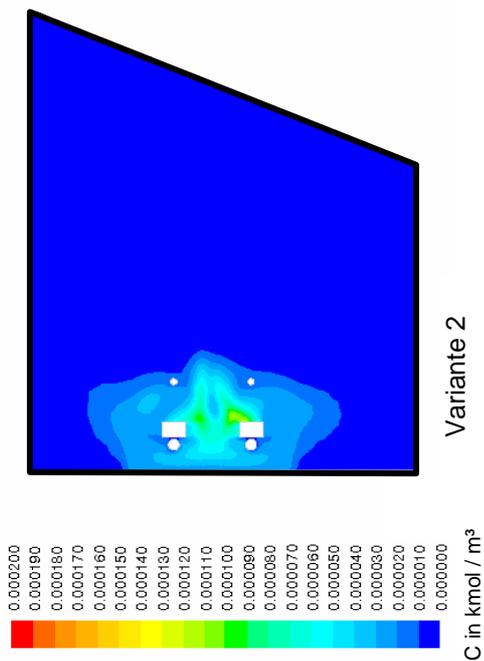
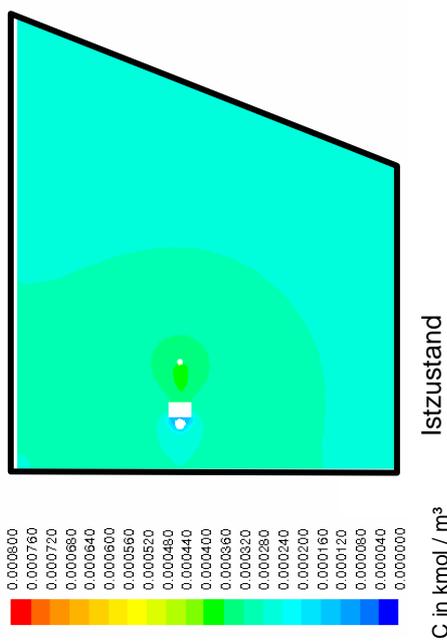
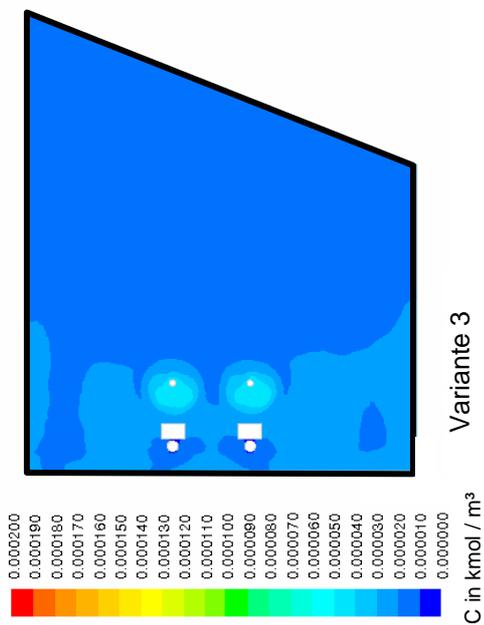
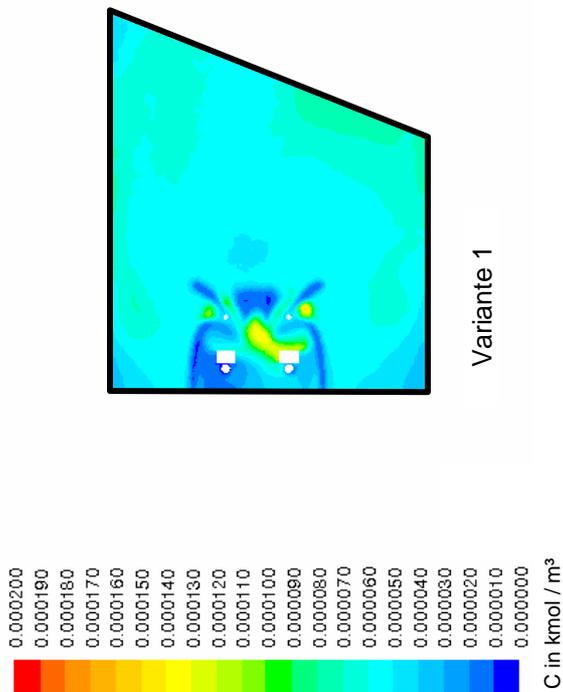


Bild A8 Konzentrationsverteilung der unterschiedlichen Varianten einer der Horizontalebene 1.70 m über dem Boden