

Programm Lebensgrundlage Umwelt
und ihre Sicherung (BWPLUS)

**Qualitätsgerechte und effektive Maßnahmen zur Luftreinhaltung in
handwerklichen und industriellen Lackierereien**

J. Domnick, A. Scheibe, R. Hruschka, D. Ondratschek
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb
Universität Stuttgart

Förderkennzeichen: BW D 21001

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit Mitteln
des Landes Baden-Württemberg gefördert

Oktober 2003

Qualitätsgerechte und effektive Maßnahmen zur Luftreinhaltung in handwerklichen und industriellen Lackierereien

J. Domnick, A. Scheibe, R. Hruschka, D. Ondratschek

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb
Universität Stuttgart

Zusammenfassung

Bei den in relativ kleinen Umfängen anfallenden Lackierarbeiten in handwerklichen und industriellen Betrieben sind bedarfsgerechte Lüftungs- und Abscheideeinrichtungen meistens nicht vorhanden bzw. nur bedingt funktionsfähig. Durch Overspray und Lösemittel entstehen insgesamt erhebliche Belastungen der Umwelt, des Betriebspersonals und der Produktionsabläufe. Für Baden-Württemberg wird allein die Lösemittelbelastung mit ca. 10.000 t/a angegeben. Eine Verbesserung dieser Situation und die Lösung der hierbei auftretenden Probleme hängt entscheidend von der Auslegung der tatsächlich erforderlichen Lüftungstechnischen Maßnahmen und der effektiven Betriebsweise der installierten Anlagen ab. Daher werden im Rahmen dieses Projektes für typische Klein-Lackieranlagen bedarfsgerechte, kostengünstige und auch nachweislich funktionsfähige Musterlösungen erarbeitet. Hierfür werden erprobte Verfahren zur Simulation von Raumströmungen eingesetzt und mit Praxismessungen sowie Strömungs-Sichtbarmachungen kombiniert.

Die erbrachten Untersuchungs- und Simulationsergebnisse bestätigen die Richtigkeit des eingeschlagenen Lösungswegs und weisen für die betrachteten Anlagenbeispiele deutliche Verbesserungsvorschläge auf. Als Ergebnis für Betreiber und Hersteller entsprechender Lackieranlagen liegt mit dem Anhang dieses Berichtes eine bisher nicht verfügbare Planungsgrundlage in Form eines Musterkatalogs vor.

Effective Measures for Air Pollution Control in Small Industrial Paint Shops

Summary

Due to the relatively small extent of coating work in small industrial enterprises, appropriate installations for ventilation or separation are mostly not existent or only functioning in a limited way. Overspray and solvent emissions are a considerable burden for environment, personnel, and production processes. In Baden-Württemberg alone the solvent pollution amounts to about 10,000 tons/a.

An improvement of this situation crucially depends on the layout of the required ventilation systems and on the efficient operation of the installations (e.g., avoidance of ill defined flow conditions like turbulences or dead space). Within the context of this project practice-relevant and efficient solutions shall be worked out and published. For this purpose, well known techniques from numerical flow simulation are employed and combined with experimental measurements and flow visualization techniques.

The results obtained up to now prove the adopted way to be the right one, and already now the results show distinct suggestions for improvement. As a final result, a basis for planning, something that was missing up to now shall be presented to both operators and manufacturers of the corresponding coating plants in form of a model catalogue.

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Beim Spritzlackieren mit lösemittelhaltigen Materialien belasten Emissionen aus den Applikations- und Trocknungsprozessen sowie aus zusätzlichen Arbeitsvorgängen wie Teilevorbehandlung, Reinigung der Beschichtungseinrichtungen, Lackwechsel usw. erheblich Umwelt, Nachbarschaft und Betriebspersonal. Die Ursachen für die Probleme durch Emissionen liegen meist materialbedingt bei den eingesetzten Lösemitteln (Dämpfe und Gerüche); darüber hinaus entstehen auch beim Einsatz lösemittelarmer Systeme wie Wasserlacken oder festkörperreichen Lacken (High-Solids) Belastungen durch Lackoverspray. Die Auswirkung dieser Belastungen hängt entscheidend von der Gestaltung und Einstellung der Lüftungstechnischen Einrichtungen ab. Bei zahlreichen Optimierungs- und Planungsarbeiten wurden immer wieder Lackieranlagen angetroffen, die den Anforderungen zur Luftreinhaltung nicht genügten. Messungen und Visualisierung der Luftströmungen zeigten unzureichende Strömungsgeschwindigkeiten ($< 0,2 \text{ m/s}$), Turbulenzen sowie schlecht belüftete Zonen.



Abb. 1.1: Häufig angetroffene Ausgangssituation im Handwerk

Eine deutliche Verbesserung dieser Situation kann sowohl durch eine individuelle Auslegung der tatsächlich erforderlichen Lüftungstechnischen Maßnahmen als auch durch eine effektivere

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

Betriebsweise bereits installierter Anlagen erzielt werden. Der Einsatz entsprechender Anlagen oder Modifikationen scheiterte bisher allerdings meistens an der

- Unkenntnis der Betreiber über den tatsächlich erforderlichen Aufwand und der damit zusammenhängenden Befürchtung hoher Investitions- und Betriebskosten,
- Unkenntnis über die effektive Betriebsweise der installierten Anlagen, z.B. Vermeidung zu geringer Luftvolumenströme sowie undefinierter Strömungsverhältnisse.

Ziel des hier vorliegenden Vorhabens ist daher die Definition des tatsächlichen Bedarfs an Lüftungstechnischen Maßnahmen in Klein-Lackieranlagen sowie die Aufzeigung geeigneter Verbesserungsmaßnahmen. Für eine aussagekräftige Gruppe von Handwerksbetrieben wurde zunächst der Status Quo erfasst, katalogisiert und geeignete Lüftungs- und Absaugeinrichtungen festgelegt. Die Funktionsfähigkeit anlagentechnischer Anordnungen und Auslegungen wurde mit Hilfe der Simulation der Luftströmungsverhältnisse untersucht. Hierbei konnte die Vielzahl der anfallenden virtuellen Modifikationen schnell den Weg zu praxisrelevanten, optimierten Verhältnissen aufzeigen. Mit dem Abschluss dieses Vorhabens stehen den Anwenderunternehmen und Anlagenherstellern repräsentative Musterlösungen mit dem Anspruch, bedarfsgerecht und kostengünstig zu sein, in anschaulicher Darstellung zur Verfügung.

2 Maßnahmen zur Luftreinhaltung

2.1 Umsetzung und Vorgehensweise

Allein in Baden-Württemberg wird die Zahl der von der oben beschriebenen Situation betroffenen Unternehmen auf ca. 8.000 geschätzt. Um für die Umsetzung des hier beschriebenen Projektes eine relativ gesicherte Aussage zu erhalten, wurde zunächst eine einheitliche Vorgehensweise definiert und in insgesamt 43 unterschiedlich strukturierten Betrieben eine Bestandsaufnahme der gegenwärtigen Lackiersituation durchgeführt. Die Einteilung der unterschiedlichen Situationen in insgesamt 4 Kategorien (A, B, C, D) mit jeweils bis zu 12 Variationen erlaubt hierbei ein systematisches Vorgehen und eine gezielte Erarbeitung von Verbesserungsmaßnahmen. Die Kategorien unterscheiden sich im Wesentlichen in der Kabinengröße, der Anordnung diverser Raumausstattungen sowie in der technischen Gestaltung der Luftführung.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

Im Einzelnen wurden die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Arbeiten durchgeführt:

1. Erfassung von Lackierkabinen-Geometrien und der Randbedingungen für die Strömungssimulation (Maße, Raumeinrichtungen, Anlagendimensionen und Lüfterleistung).
2. Erstellung einer Datenerfassungstabelle mit drei Muster-Beispielen für unterschiedliche Handwerks- und Industriebetriebe.
3. Vorbereiten einer Einteilung der tatsächlichen Lackiersituationen aus Praxisbetrieben in typische bzw. ähnliche Kategorien (vier Muster-Lackiersituationen, vgl. Abb. 2.1.1).
4. Durchführung der Erfassung der Lackiersituationen in 43 Betrieben aus unterschiedlichen industriellen Bereichen (Abb. 2.1.2).
5. Sichtung der Daten und Zuordnung in die entsprechenden Kategorien. Nochmalige Modifikation der Muster-Kategorien, um möglichst realitätsnahe Kategorien zu erhalten.
6. Übertragung der Daten aus den Muster-Lackierereien in CAD-Modelle für die Simulation.
7. Mehrere Vortests und Probeläufe zur Bestimmung der geeignetsten Strömungs- und Turbulenzmodelle sowie zur optimalen Auswertung der erhaltenen Simulationsergebnisse.
8. Simulation der Ausgangssituation der Kategorie A sowie Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse (vgl. Kapitel 2.2).
9. Berechnung und Auswertung von elf unterschiedlichen Variationen der Kategorie A.
10. Zwischenbesprechung mit allen beteiligten Projektpartnern. Diskussion der Ergebnisse und Maßnahmen zur Verbesserung.
11. Simulation zweier weiterer Varianten zur Verifizierung der Verbesserungsvorschläge.
12. Bewertung der Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich des Nutzens, der Kosten, des technischen Aufwandes und der Akzeptanz der Betriebe.
13. Aufbereitung der CAD-Datenmodelle für die Kategorien B, C und D.
14. Präsentation der Ergebnisse beim Statusseminar BWPLUS in Karlsruhe am 11.03.2003.
15. Berechnung verschiedener Variationen der Kategorien B, C und D.
16. Berechnungen der Konzentrationsverteilung für die Kategorie B / Variante 2.
17. Detaillierte Vor-Ort-Erfassung der Ist-Situation in einem Stuttgarter Schreinerbetrieb.
18. Erstellung detailgetreuer CAD-Datenmodelle und Durchführung verschiedener Strömungs- und Konzentrationsverteilungs-Simulationen.
19. Erarbeitung konkreter Verbesserungsvorschläge und Umsetzung in der ausgewählten Schreinerei. Verifizierung durch Simulationen und Messungen vor Ort.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackereien

Die Strömungsberechnungen wurden allesamt mit dem Programm FLUENT in seiner aktuellen Version durchgeführt.

1	Kategorie	A	B	C	D
2		X	XX	XXX	XXXX
3	Lackiersituation	Geringe Flächenleistung in der Werkhalle	Mittlere Flächenleistung in gesondertem Lackierraum	Hohe Flächenleistung in gesondertem Lackierraum	Fußbodenarbeiten auf der Baustelle
4	Flächenleistung	100 m ² /Woche	200 m ² /Woche	400 m ² /Woche	bis 1000 m ² /Woche
5	Lackierhäufigkeit	1-2x/Woche	2-4x/Woche	2-4x/Woche	Situativ
6	Lackierzeit	2-3 h/Tag	3-4 h/Tag	3-4 h/Tag	8 h/d
7	Lackart	LL 1-K; (VL 1-K)	LL 2-K; (Öl/Wachs)	LL 2-K; (Öl/Wachs)	LL 2(1)-K, Kleber, Lasuren
8	Lackmenge pro Jahr	250 kg (50 kg)	400 kg (100kg)	500 kg (100kg)	bis 2 t/a
9	Dimension Lackierraum	Werkhalle	Lackierraum	Lackierraum	z.B. Wohnzimmer
10	Länge	25 m	6 m	6 m	6 m
11	Breite	10 m	4 m	5 m	5 m
12	Höhe	3,5 m	3 m	3 m	2,5 m
13	Absaugung / Beschreibung auch der Anbauteile	Trockenfilterwand mit Gebefilter	Trockenfilterwand (Lamellenfilter) mit eingliedigen Seitenblechen	Trockenfilterwand (Gefebefilter) und Bodenabsaugung mit zweigliedrigen Seitenblechen und Deckenblech	gemietete Absaugbox mit Abluftrohr ins Freie
14	Position Absaugung	Werkhalleneck	Wandseite mittig	Wandseite, 2/3 seitlich	Wandseite mittig
15	Dimensionen Absauggehäuse (L * B * H)	2 * 0,5 * 1,5 m	2 * 0,8 * 1,8 m	3 * 0,5 * 2 m	1,3 * 0,5 * 0,6 m
16	Position Absaugwand / Absaugspalt	Vorderseite Gehäuse	0,5 m im Gehäuse, ganze Frontseite	Vorderseite Gehäuse	Schlitzförmiger Absaugspalt in Bodennähe, 0,1 m * 1,3 m
17	Dimensionen, Positionen der Anbauteile	-	2 Seitenbleche, je 1 m breit, 2 m hoch, Winkel 120° zur Absaugung	2 zweigliedrige Seitenbleche, je 2 * 0,8 m breit, 2 m hoch, Winkel 1. Glied 120° zur Absaugung, 2. Glied 100 - 140° zum 1. Deckenblech 3 m breit, 1 m lang, Winkel 120° zur Absaugung	-
18	Luftleistung Absaugung 1 NICHT DIE LÜFTERLEISTUNG!	6000 m ³ /h	10000 m ³ /h	12000 m ³ /h	4000 m ³ /h
19	Dimensionen und Position der Absaugung 2	-	-	2 * 3 m (Höhe 10 cm), Boden vor der Absaugung	-
20	Luftleistung Absaugung 2 (Bodenluft)	-	-	2200 m ³ /h	-
21	Zuluftanlage	Keine (Werktor auf)	Keine (Fenster auf)	Deckenfilter	Keine (Fenster auf)
22	Dimensionen Zuluftanlage (L * B * H)	4 * 3 m	1,5 * 1,2 m	2,5 * 1,5 * 0,5 m	1,2 * 0,8 m
23	Position Zuluftanlage	3 m, 30° neben Absaugung	2 m, 180° gegenüber Absaugung, mittig	1 m, 30° neben Absaugung	6 m, 180° gegenüber Absaugung, mittig
24	Luftleistung Zuluftanlage	n.B. (ca. 2000 - 10000 m ³ /h)	n.B. (ca. 650 - 3300 m ³ /h)	12000 m ³ /h	n.B. (ca. 650 - 3300 m ³ /h)
25	Der Absaugung 1 nächstgelegene Einrichtung, Maschinen	Schleifisch mit Absaugung im Arbeitsbereich	Ablagetisch	Ablagetisch	-
26	evtl. Luftleistung Absaugung 3	3600 m ³ /h	-	-	-
27	Dimensionen Einrichtung	3 * 1 * 1,2 m	1,5 * 0,5 * 1,2 m	2 * 1 * 1,2 m	-
28	Abstand/Position Einrichtung	4 m, 30° neben Absaugung	0 m, 30° neben Absaugung	2 m, 180° neben Absaugung	-
29	Absaugart	Gemisch	Schrank vorw.	Stuhl vorw.	Fußboden
30	Werkstückart, Beispiele	-	-	-	-
31	Geometrie Werkstück	Platte/Spielzeug	Platte	Gestell	-
32	Dimensionen Werkstück	0,1-2 * 0,1-1 * 0,1-0,2 m	1 * 1 * 0,1 m	0,5 * 0,5 * 0,8 m	z.B. 5 * 6 m
33	Untere Arbeitshöhe	1,1-2 m	0,1 m	0,8 m	0,0 m
34	Höhe	0,1-2 m	0,1 m	0,8 m	0,0 m
35	Abstand Werkstückmitte - Absaugung	1 m	0,5 m	0,7 m	2,5 m
36	Temperaturbereiche ggf. Luftfeuchtebereiche	12 - 30 °C 50 - 80 %	16 - 25 °C 50 - 70 %	18 - 22 °C 50 - 70 %	16 - 25 °C 50 - 70 %

Abb. 2.1.1: Einteilung der Ausgangssituationen in unterschiedliche Kategorien

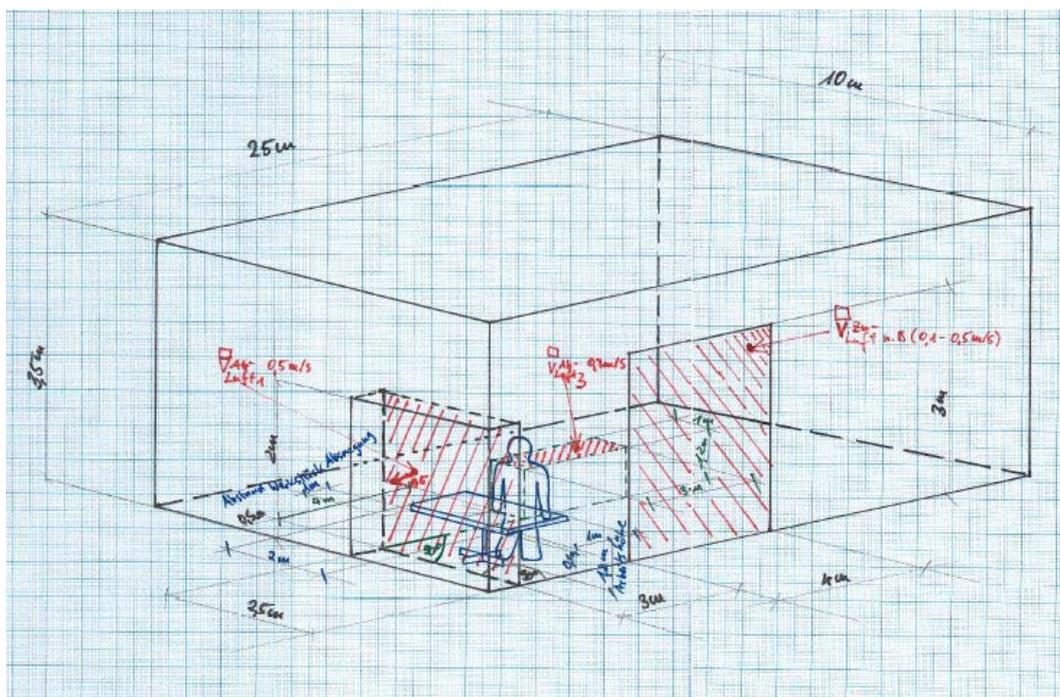


Abb. 2.1.2: Vor Ort erfasste Handskizze der Kategorie A

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

2.2 Auswertung der Kategorie A

Mit der Kategorie A wird eine Werkhalle der Größe 25 m x 10 m x 3,5 m beschrieben. Der Arbeitsbereich des Lackierers befindet sich in einer der Ecken der Halle und besteht im Wesentlichen aus einem Arbeitstisch, einer Werkbank und einer Trockenfilterwand als Absaugung. Die Absauggeschwindigkeit in der Filterwand beträgt 0,6 m/s. Die nachströmende Frischluft wird durch das große Hallentor (im Bild 2.2.1 rot dargestellt) in die Halle geleitet.

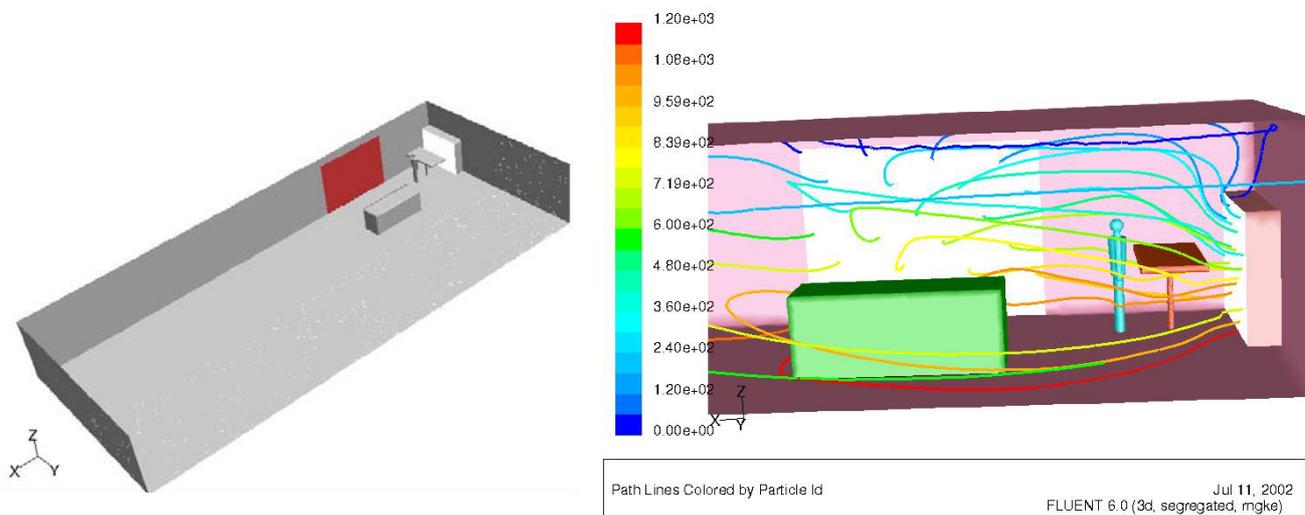


Abb. 2.2.1: CAD-Datenmodell der Kategorie A und Darstellung von Stromlinien

Im Rahmen dieses Berichtes werden nachfolgend repräsentativ die wichtigsten der insgesamt 13 Variationen der Kategorie A (nämlich die Varianten 1, 4, 5 und 8) gezeigt. Sie beziehen sich hauptsächlich auf:

- die Position des Hallentores und zusätzlich geöffneter Fenster
- die Position bzw. Ausrichtung des Arbeiters und der Werkbank (90 Grad-Drehung)
- eine zusätzliche Absaugvorrichtung auf der Werkbank
- eine Verkleidung der Absaugung zur Kanalisierung der Strömung im Arbeitsbereich
- eine Installation von Trennwänden bzw. Vorhängen

Zur einheitlichen Darstellung und vergleichbaren Interpretation werden die Ergebnisse der Strömungssimulationen immer mit demselben Schema dargestellt. Als Bezugspunkt für die drei Schnittebenen der x-, y- und z-Koordinate wird der Arbeitsbereich des Lackierers gewählt. Da

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

die gesamte Raumströmung anhand einzelner Bilder nur schwer zu erfassen ist, werden in den ausgewählten Schnittebenen die Geschwindigkeitsverteilungen der Luft vektoriell dargestellt. Zusätzlich werden exponierte Stromlinien, die den Strömungsweg von Fluiden vom Einlass (Tor) bis zum Auslass (Absaugung) markieren, dargestellt.

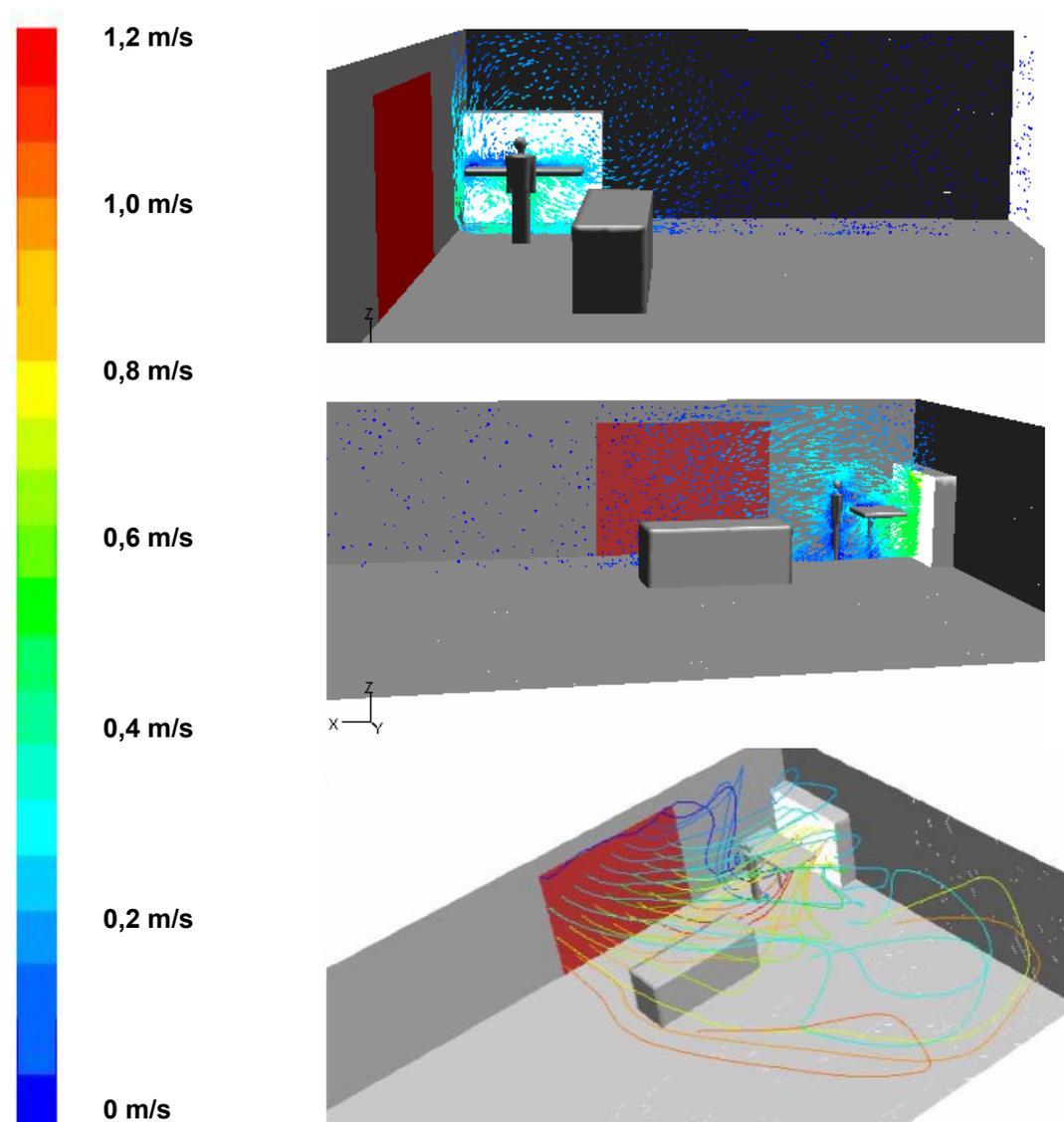


Abb. 2.2.2: Ergebnisdarstellung der Kategorie A / Variante 1

Gegenüber der Variation 1 wurde bei der Variation 4 das Tor geschlossen und ein weiter Richtung Mitte liegendes Tor geöffnet. Zusätzlich wurde ein gegenüber liegendes Fenster geöffnet, durch das die Frischluft einströmen kann. Der Bereich der Absaugung wurde trichterförmig verkleidet. Mit diesen Änderungen bildet sich eine etwas günstigere Strömung im Lackierbereich

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

(Arbeitspunkt) aus. Durch die Verkleidung wird die Strömung im Auslass kanalisiert und die Verschmutzungsgefahr durch Lackablagerungen minimiert. Allerdings kann das relativ kleine Fenster bei dem großen Abstand von der Absaugung nur einen geringen Effekt der „Vergleichmäßigung“ hervorrufen.

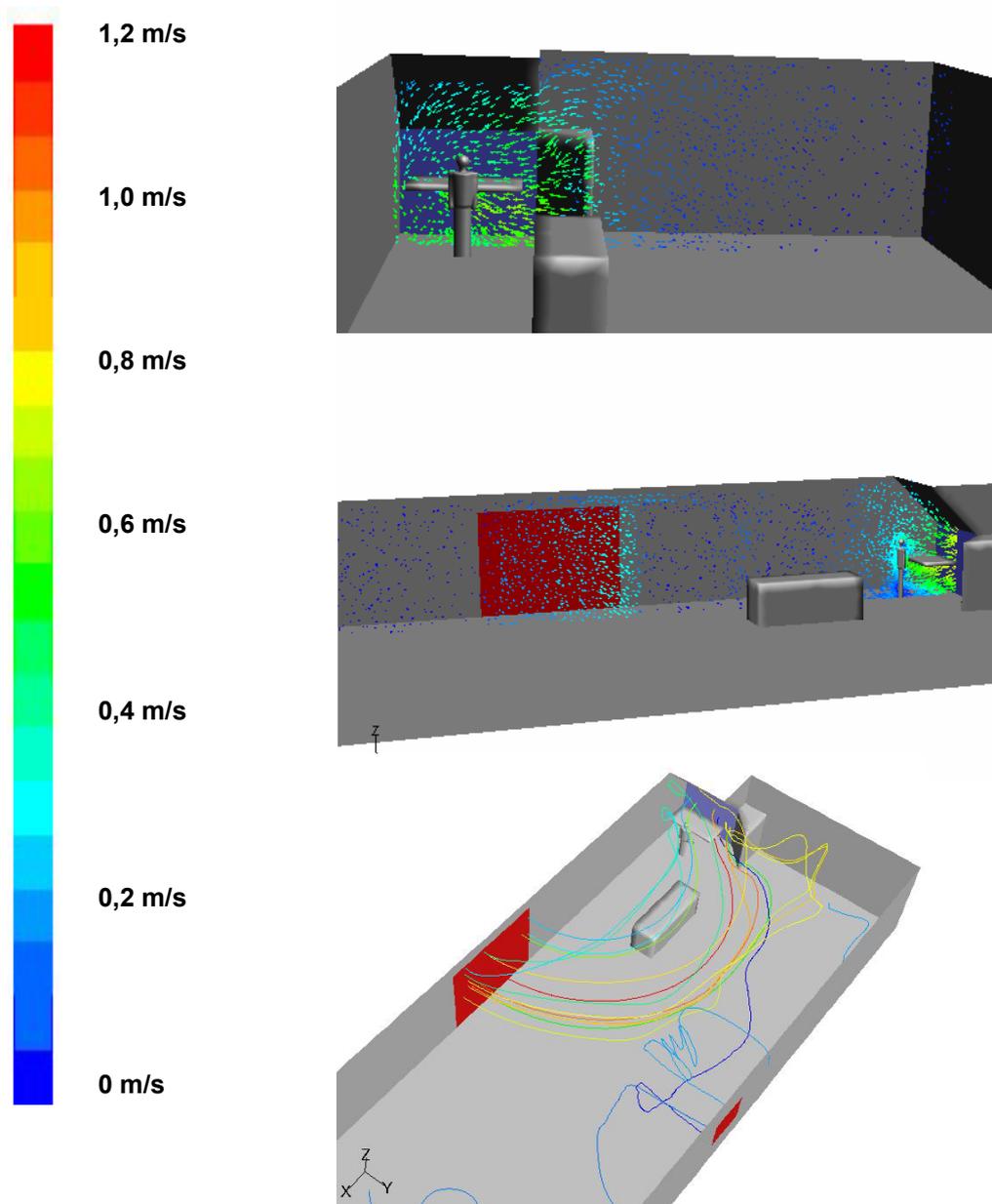


Abb. 2.2.3: Ergebnisdarstellung der Kategorie A / Variante 4

Wesentlich symmetrischere Bedingungen herrschen hingegen in der Variante 5. Hier wurde das Tor geschlossen und ein der Absaugung gegenüber liegendes Fenster geöffnet.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

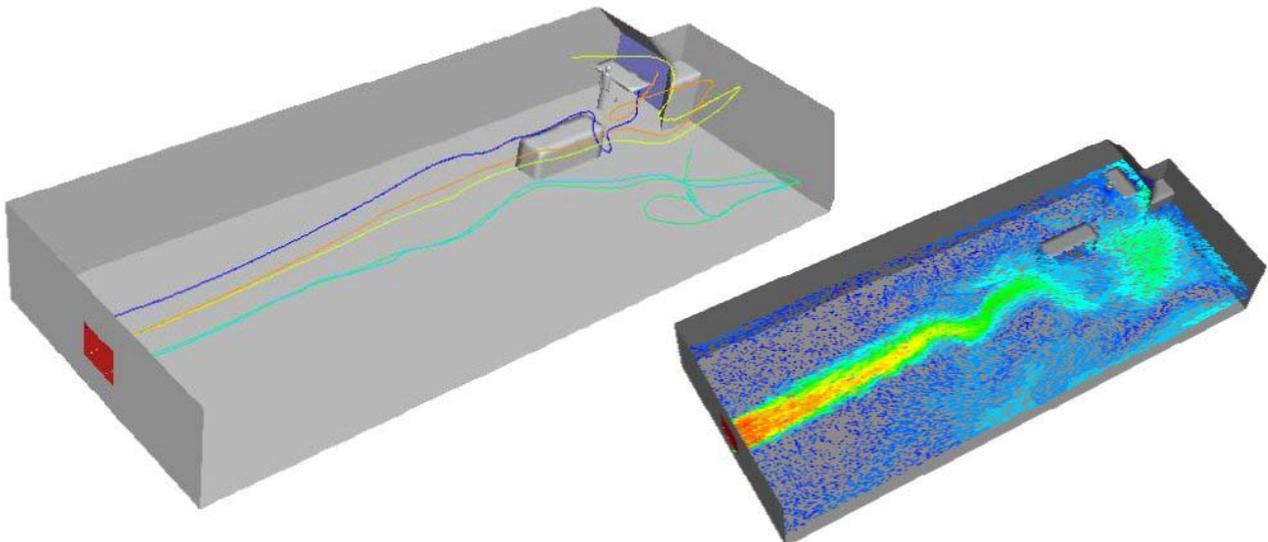


Abb. 2.2.4: Ergebnisdarstellung der Kategorie A / Variante 5

Das Ziel der Verbesserungsmaßnahmen in den Lackierkabinen sollte eine möglichst gleichmäßige und symmetrische Strömung sein. Diese kann am einfachsten dadurch erreicht werden, wenn sich die Absaugung in der Mitte der Wand befindet und auf der gegenüberliegenden Wand eine gleich große Öffnung für die Einströmung angebracht ist. Diese Bedingungen sind in der Variante 5 nahezu erreicht. Allerdings kann hier die lange Laufstrecke der Strömung quer durch die Halle zu erheblichen Problemen hinsichtlich der Verschleppung von Staub und Schmutzpartikel führen. Die geeignetsten Verbesserungsmaßnahmen für die Kategorie A ergeben sich daher aus einer Abtrennung und damit Verkleinerung der Räumlichkeiten, wie sie in der Variante 8 der Abb. 2.2.5 dargestellt ist. Allerdings wird hier die Luft noch durch das seitlich liegende Tor eingeleitet. Weitere Verbesserungen gegenüber dieser Variation bestehen in

- der symmetrischen Raumgestaltung, vgl. Kategorie B
- der Flächengleichheit von Ein- und Auslass
- der 90 Grad-Drehung des Arbeitstisches und des Arbeitsbereiches.

Diese ersten Beispiele zeigen auf, in welcher Form die Ergebnisse sinnvoll dargestellt werden können. Bereits bei den ersten Diskussionen mit Anlagenherstellern und Betreibern deutet sich an, dass es oftmals mit einfachen Maßnahmen möglich sein wird, die Belüftungssituation im

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

Bereich der Lackierung entscheidend zu verbessern.

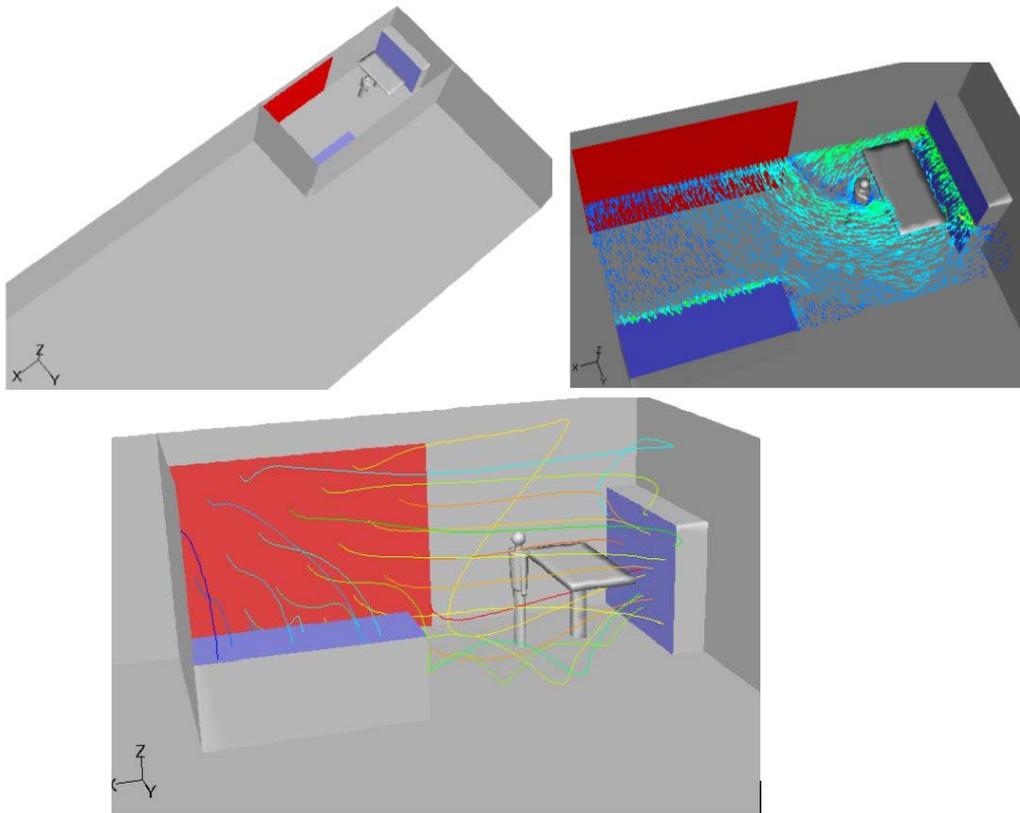


Abb. 2.2.5: Ergebnisdarstellung der Kategorie A / Variante 8

2.3 Auswertung der Kategorie B

Die Kategorie B charakterisiert eine Werkhalle der Größe 6 m x 4 m x 3 m. Der Arbeitsbereich des Lackierers besteht im Wesentlichen aus einem Arbeitstisch, einer Werkbank und einer Trockenfilterwand als Absaugung. Die Absauggeschwindigkeit in der Filterwand beträgt 0,77 m/s. Die nachströmende Frischluft wird durch ein gegenüberliegendes Fenster eingeleitet.

Die Kategorie B wurde mit insgesamt 7 Varianten berechnet. Abb. 2.3.1 zeigt die Ausgangssituation dieser Rechenanordnung und die Ergebnisse der Strömungssimulation. Die an und für sich günstige Strömung wird durch den Arbeiter selbst behindert. Durch die Versperrung entsteht ein Wirbel im Arbeitsbereich. Zudem wird ein Teil der Strömung an der Wand oberhalb der Absaugung umgelenkt und in einem großen Wirbel in das Arbeitsgebiet hinein zurücktransportiert.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

Dieser Zustand kann durch Drehen des Arbeiters und durch Verkleiden der Absaugung verbessert werden (vgl. Abb. 2.3.5 und Abb. 2.3.6).

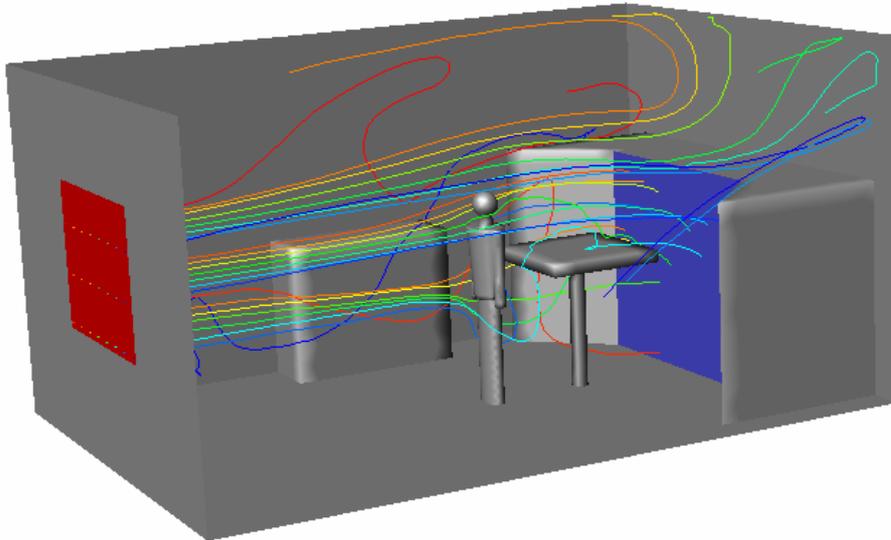


Abb. 2.3.1: CAD-Modell der Kategorie B / Variante 1 und Stromlinien

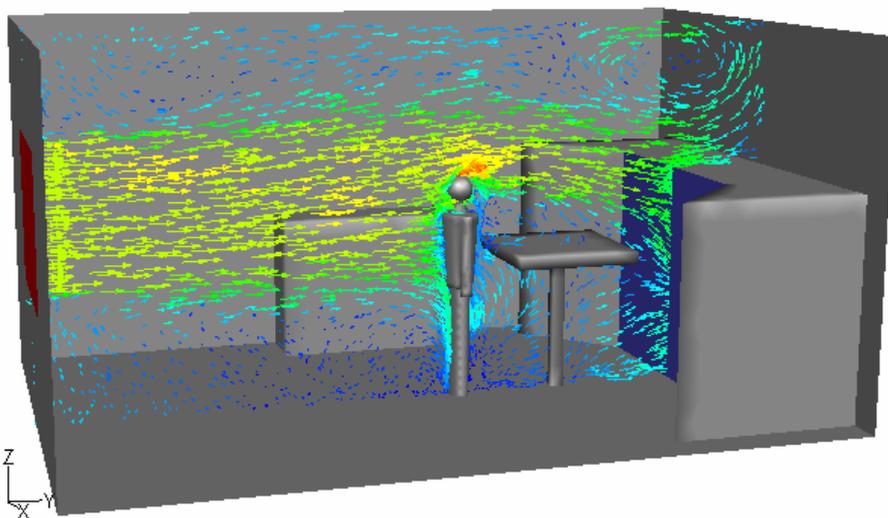


Abb. 2.3.2: Geschwindigkeitsvektoren im Längsschnitt der Kategorie B / Variante 1

Abb. 2.3.3 zeigt in einer Ausschnittsvergrößerung diejenigen Stromlinien, die im Arbeitsbereich beginnen und in Richtung Absaugung gehen. Durch den vorherrschenden Wirbel besteht die Gefahr der Lösemittel-Konzentrationsanhäufung (vgl. Kapitel 2.6).

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

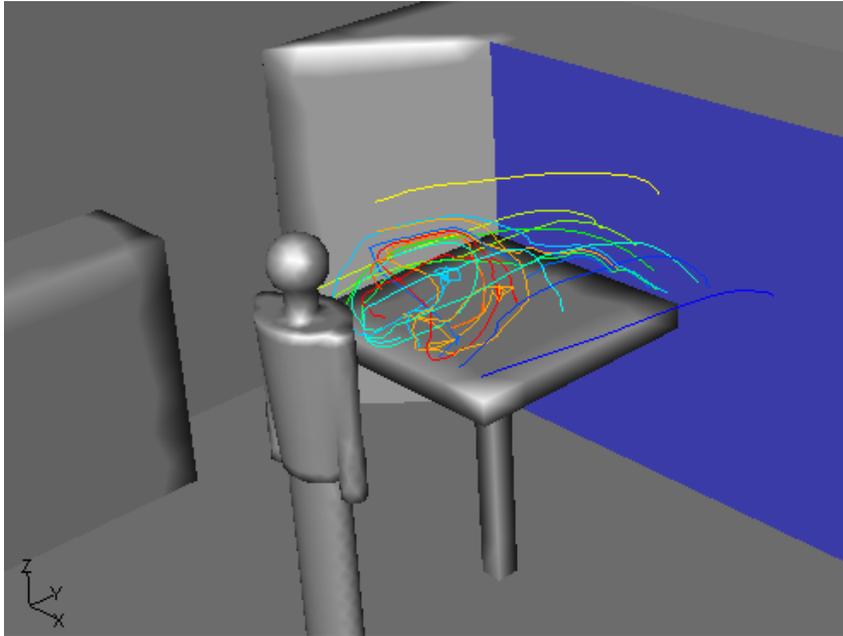


Abb. 2.3.3: Stromlinien im Arbeitsbereich der Kategorie B / Variante 1

Mit der Kategorie B / Variante 2 wird eine in der Praxis häufig angetroffene Ausgangssituation beschrieben. Anstatt dem gegenüberliegenden Fenster wird hier ein seitliches Fenster geöffnet und damit die in Kapitel 2.2 formulierte Symmetrieanforderung verletzt.

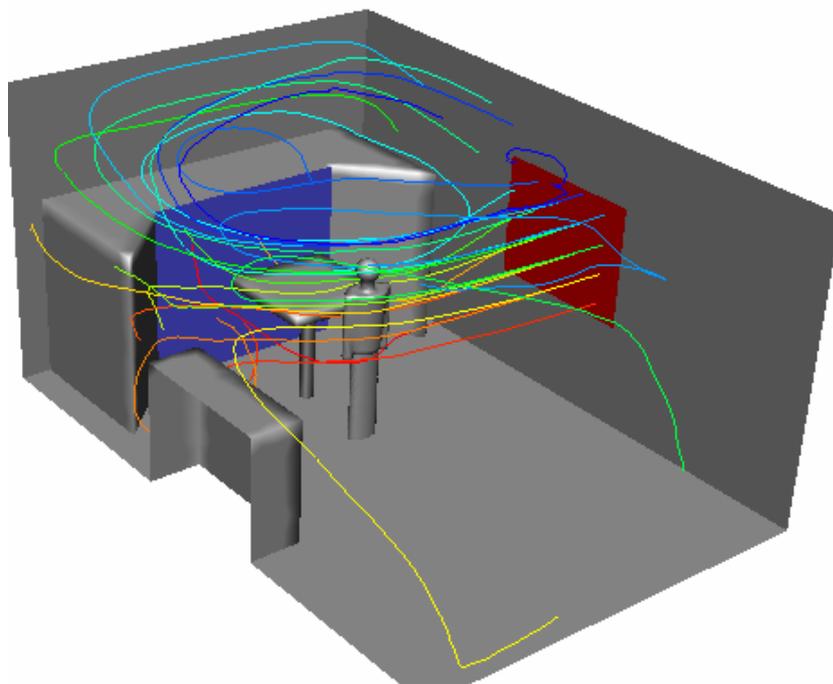


Abb. 2.3.4: CAD-Modell der Kategorie B / Variante 2 und Stromlinien

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

Die besten Strömungsbedingungen für die Kategorie B ergeben sich in der Variante 7. Im Gegensatz zur Variante 1 wurde hier die Absaugung verkleidet, die Position des Arbeiters um 90 Grad gedreht und das gegenüberliegende Fenster zu einem Tor der gleichen Maße wie die Absaugfläche vergrößert. Durch diese Maßnahmen werden die geforderten Symmetriebedingungen weitestgehend erfüllt.

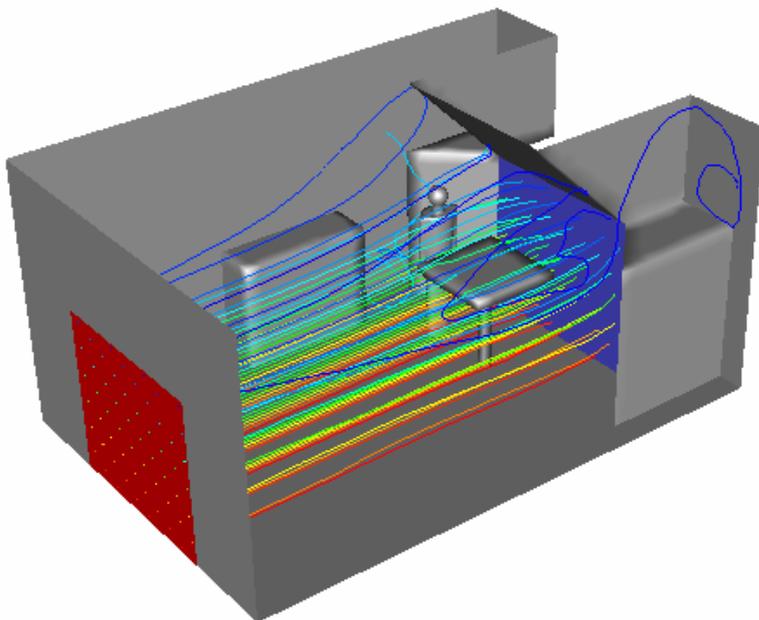


Abb. 2.3.5: CAD-Modell der Kategorie B / Variante 7 und Stromlinien

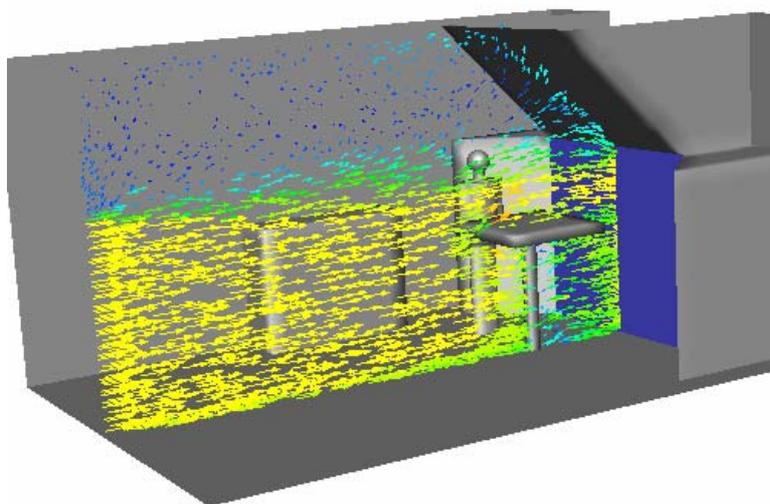


Abb. 2.3.6: Geschwindigkeitsvektoren im Längsschnitt der Kategorie B / Variante 7

2.4 Auswertung der Kategorie C

Mit der Kategorie C wird eine Werkhalle der Größe 6 m x 5 m x 3 m beschrieben. Die Absaugung besteht aus einer Filterwand und einem Boden-Gitterrost mit Filtermatten. Die Absauggeschwindigkeit in der Wand beträgt 0,56 m/s und in der Bodenfläche 0,1 m/s. Die nachströmende Frischluft wird durch einen Zuluftkasten an der Decke eingeleitet. Diese und ähnliche Anordnungen finden sich häufig in den Lackierbetrieben, da sie lufttechnisch durch einfache Strömungsschächte oder Blechkanäle zu realisieren sind.

Die Kategorie C wurde mit insgesamt 7 Varianten berechnet. Abb. 2.4.1 zeigt die Ausgangssituation dieser Rechenanordnung mit den Stromlinien.

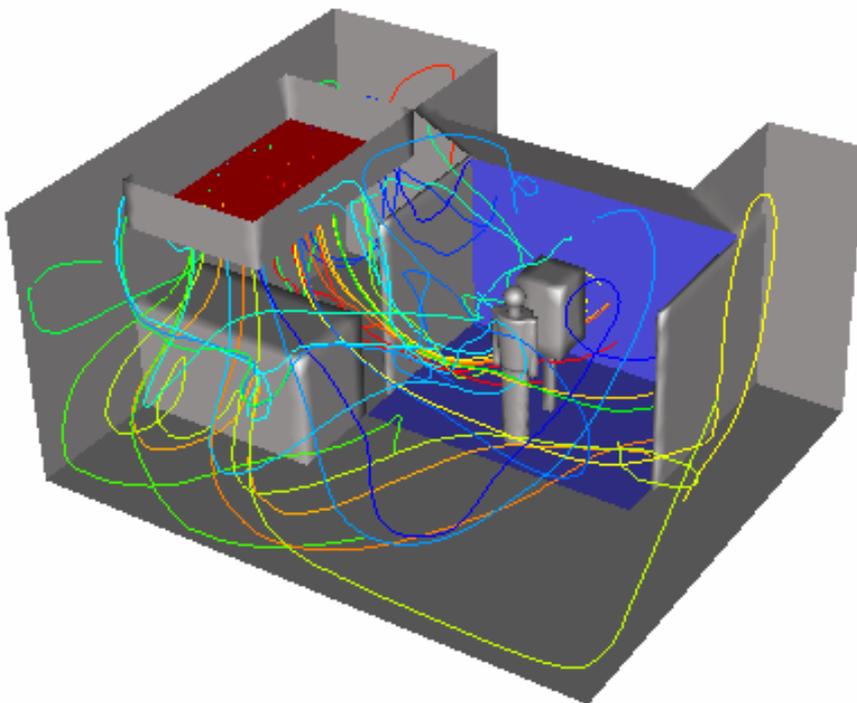


Abb. 2.4.1: CAD-Modell der Kategorie C und Stromlinien

Aufgrund der Zuströmung durch den Deckenkasten „fällt“ die Frischluft zunächst wie ein „Wasserfall“ in die Halle hinein und verteilt sich aufgrund der Staupunktströmung am Boden in alle Richtungen. Es entstehen große Wirbelgebiete und vor allem im Arbeitsgebiet des Lackierers eine „chaotische“ Strömung. Für eine qualitativ hochwertige und reproduzierbare Lackierqualität herrschen hier extrem ungünstige Verhältnisse. Zudem besteht eine erhöhte Gefahr der

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

Verschmutzung durch Lacknebel und Staub. Abb. 2.4.2 zeigt die entsprechenden Geschwindigkeitsvektoren im Längs- und Querschnitt der Lackierkabine.

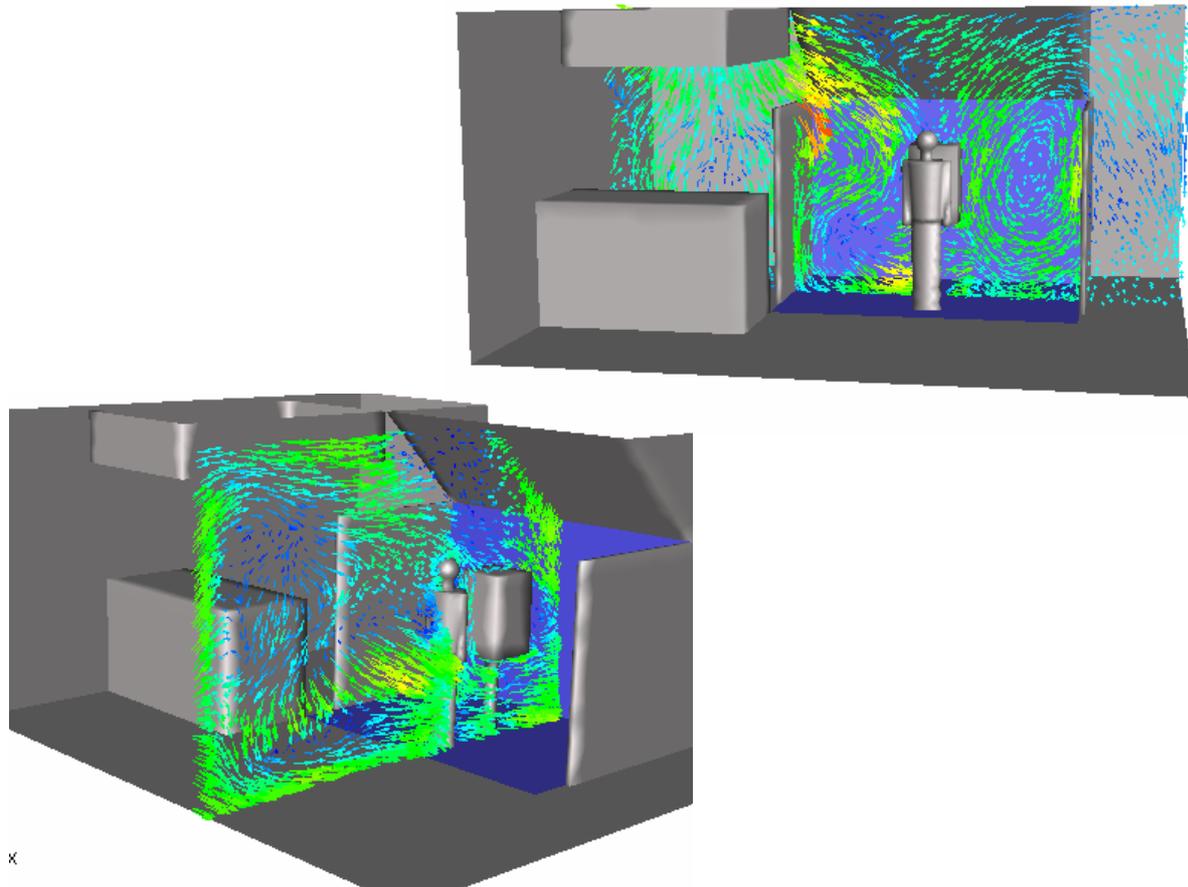


Abb. 2.4.2: Geschwindigkeitsvektoren im Längs- und Querschnitt der Kategorie C / Variante 1

In den Variationen 2, 3, 4 und 6 (vgl. Anhang) konnte durch verschiedene Maßnahmen bei der Verkleidung, der Luftumlenkung und der Installation zusätzlicher Einströmflächen keine nennenswerte Verbesserung der Strömungsverhältnisse erzielt werden. Erst die Entfernung des Zuflutkastens an der Decke und die symmetrische Einströmung durch ein der Absaugung gegenüberliegendes Hallentor bringt den gewünschten Effekt geordneter Strömungsbedingungen und damit eine Minimierung der Verschmutzungsgefahr. Abb. 2.4.3 zeigt die entsprechenden Stromlinien. In der Variante 7 wird die parallele Luftströmung zudem zum Abdunsten bereits lackierter, in einem Lackierwagen gestapelter Werkstückteile benutzt. Mit dieser integrierten Abdunstzone ergibt sich für viele kleine Lackierereien eine kostengünstige und praxisge-

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

rechte Variante.

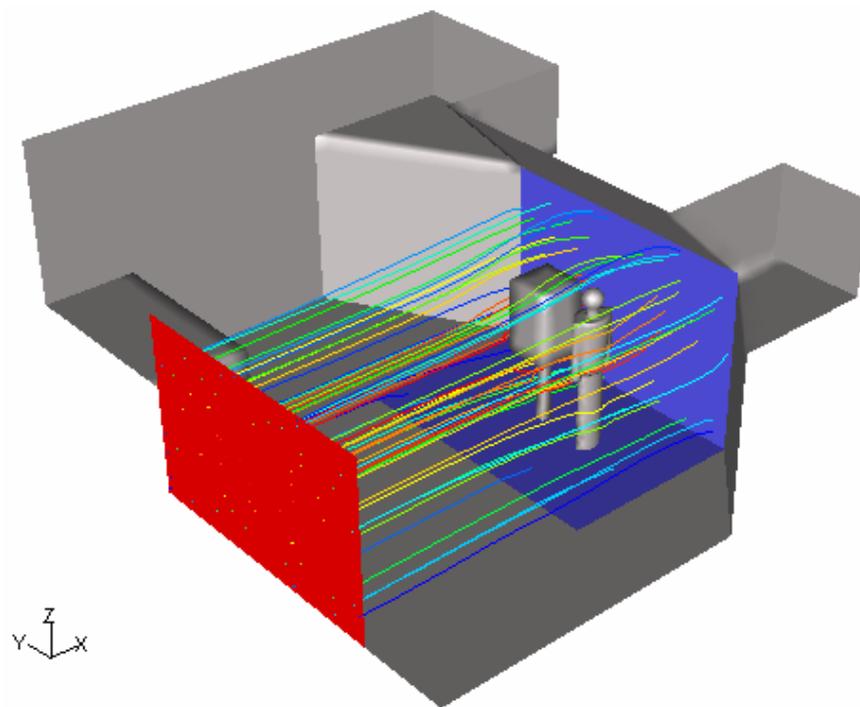


Abb. 2.4.3: Simulations-Modell der Kategorie C / Variante 5 und Stromlinien

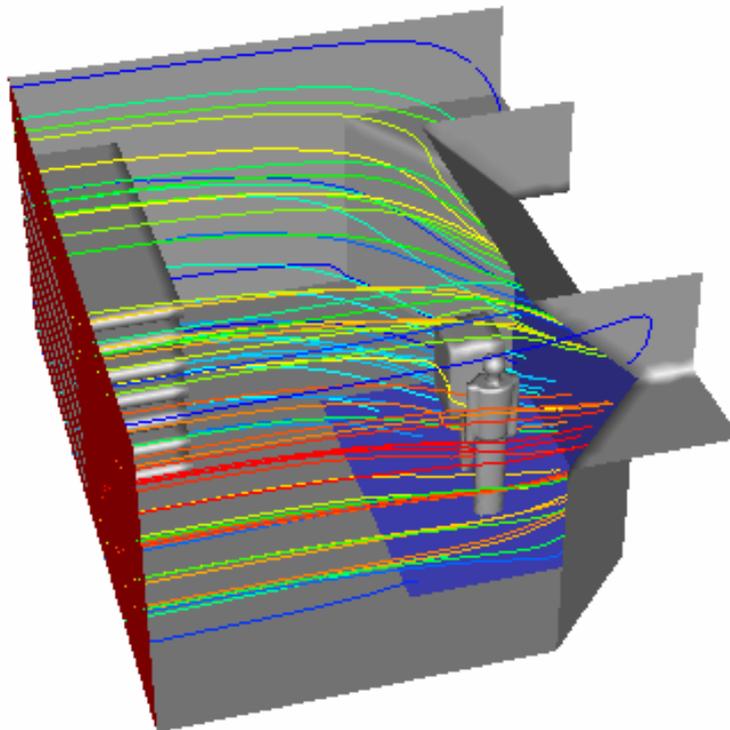


Abb. 2.4.4: Simulations-Modell der Kategorie C / Variante 7 und Stromlinien

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

2.5 Auswertung der Kategorie D

Mit der Kategorie D werden die bisherigen Anordnungen der untersuchten Hallengeometrien ergänzt und abgeschlossen. Die Werkhalle der Größe 6 m x 5 m x 2,5 m wird mit dem Simulationsmodell der Abb. 2.5.1 beschrieben. Der Arbeitsbereich des Lackierers besteht hier aus einer Werkbank als Arbeitsfläche und einer in dem Bodenbereich der Werkbank integrierten Absaugung. Dieses integrierte Absaugungsprinzip erlaubt eine beliebige Positionierung der Werkbank im Raum und ist auf dem Zubehör-Markt als Komplettlösung erhältlich. Die Absauggeschwindigkeit beträgt 1,43 m/s. Die nachströmende Frischluft wird durch ein oberhalb der Werkbank befindliches Fenster eingeleitet. Die Kategorie D wurde mit ebenfalls insgesamt 6 Varianten berechnet.

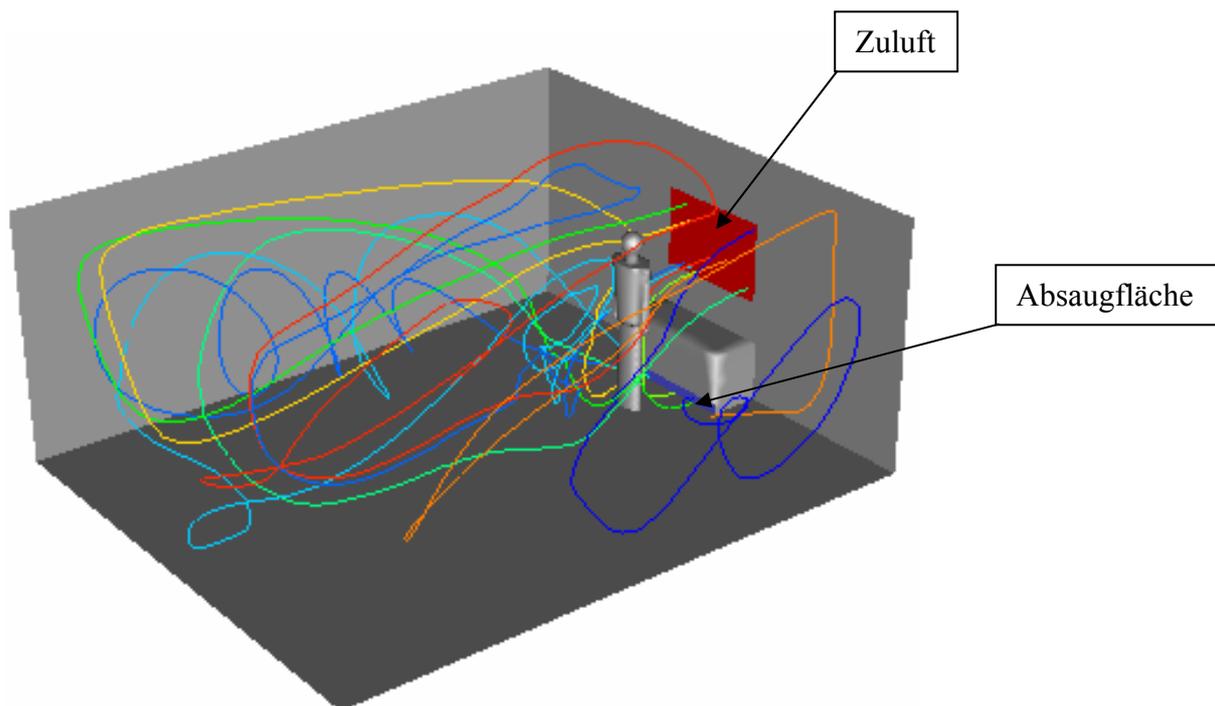


Abb. 2.5.1: Simulationsmodell der Kategorie D / Variante 1 und Stromlinien

Aufgrund der unsymmetrischen Anordnung von Zu- und Abluft wird die frische Luft zunächst weiträumig in die Lackierkabine hinein geleitet, umgelenkt und dann abgesaugt. Hierbei kommt es wiederum zu den bereits erwähnten Problemen der Verschmutzung und Anhäufung der Lösemittelkonzentration. Obwohl in Lackierereien ein Luftzug von mehr als 0,3 m/s bis 0,5 m/s vermieden werden sollte, herrscht in der relativ kleinen Absaugfläche eine Strömungsgeschwin-

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

digkeit von bis zu 2 m/s. Zudem kann hierdurch auf dem Boden befindlicher Staub und Schmutz aufgewirbelt und in den Arbeitsbereich hinein transportiert werden.

In den Varianten 2 bis 6 (vgl. Anhang) wurde die Werkbank mit der Absaugung in verschiedene Raumpositionen gestellt ohne ein erwähnenswertes Optimum zu finden. Erst die Modifikation der Werkbank hinsichtlich einer großen Absaugfläche an der Frontseite würde bei entsprechender Lüfterleistung und symmetrischer Anordnung gegenüber der Zuluft-Fläche eine Verbesserung der Strömungszustände und eine Minimierung der Verschmutzungsgefahr erbringen.

2.6 Berechnung von Lösemittelkonzentrationen in Lackierereien

Ein wichtiger Faktor bei der Optimierung von Strömungszuständen in Lackierereien ist neben der Verschmutzungsgefahr die Ausbreitung von Lösemitteldämpfen bzw. die Sicherstellung des schnellen Abtransports und die Vermeidung von Konzentrationsakkumulationen. Der Transport von Fremdsubstanzen unter Einbeziehung von chemischen Reaktionen und Diffusion kann in dem Programm FLUENT mit unterschiedlich komplexen Modellen berechnet und analysiert werden. Zur Auswertung können nach erfolgter Rechnung z. B. die Massen- und die Konzentrationsverteilungen der Fremdsubstanzen bestimmt werden.

Zur Untersuchung der Konzentrationsverteilung eines vom Arbeitsbereich isotrop austretenden chemisch nicht reaktiven Lösemittels wird zunächst die Kategorie B / Variante (vgl. Kapitel 2.3) herangezogen. Zur Vereinfachung des Rechenaufwandes wurden vorerst die nachfolgenden Annahmen bzw. Randbedingungen festgelegt. Die Abdunstung erfolgt kontinuierlich, ausgehend von einem vollständig lackierten Tisch. Die Lösemittlemission wird mit der Geschwindigkeit $v=0,001$ m/s als zeitlich konstant angenommen. Als Beispiel für das Lösemittel wird Acetylen verwendet. Die Rechnung ist aufgrund der ständigen Emission des Lösemittels instationär, kann aber zu konkreten Zeitpunkten als quasistationär angesehen werden.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

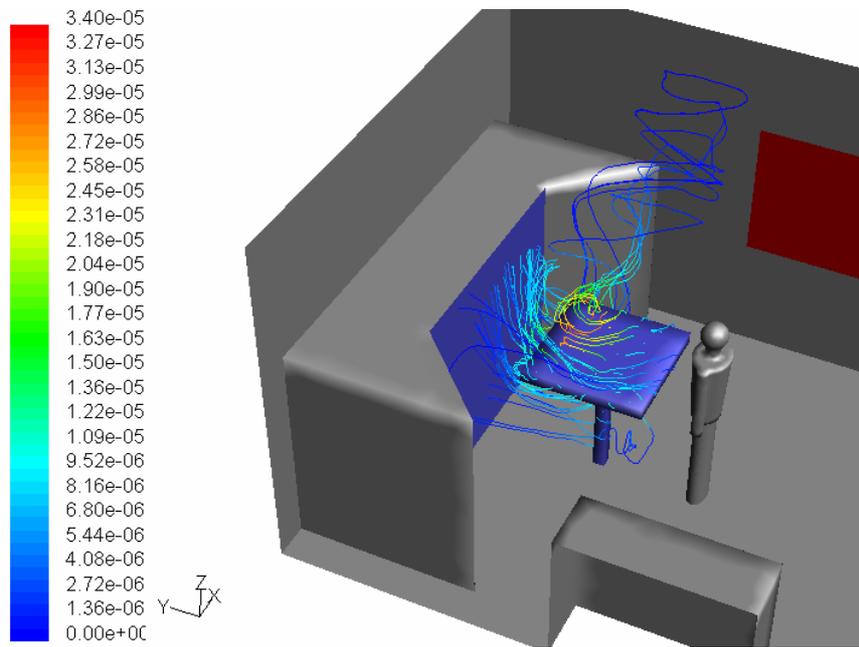


Abb. 2.6.1: Stromlinien des Lösemittels eingefärbt nach molarer Konzentration in kmol/m^3

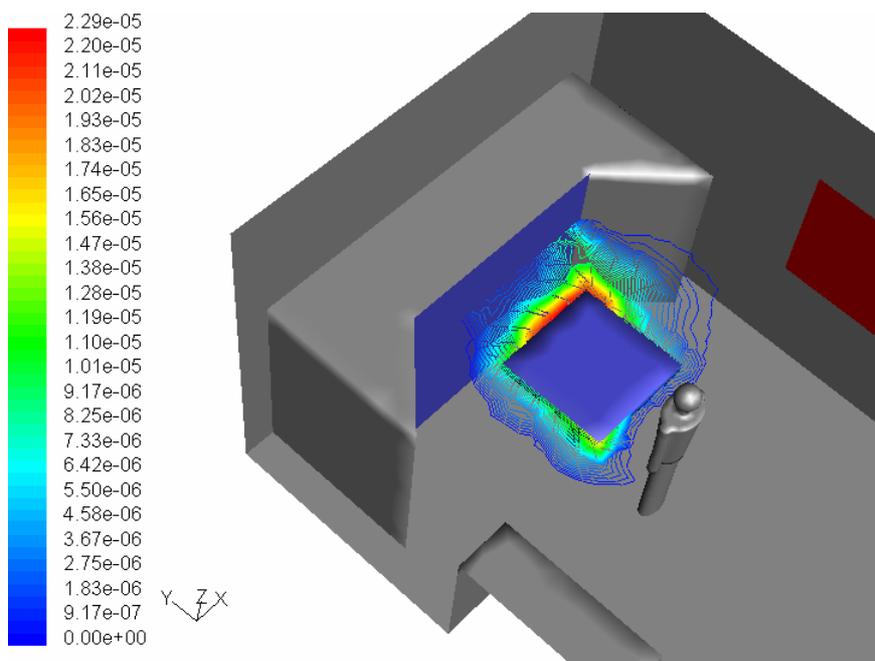


Abb. 2.6.2: Isolinen der molaren Konzentration [kmol/m^3] in einem horizontalen Schnitt

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

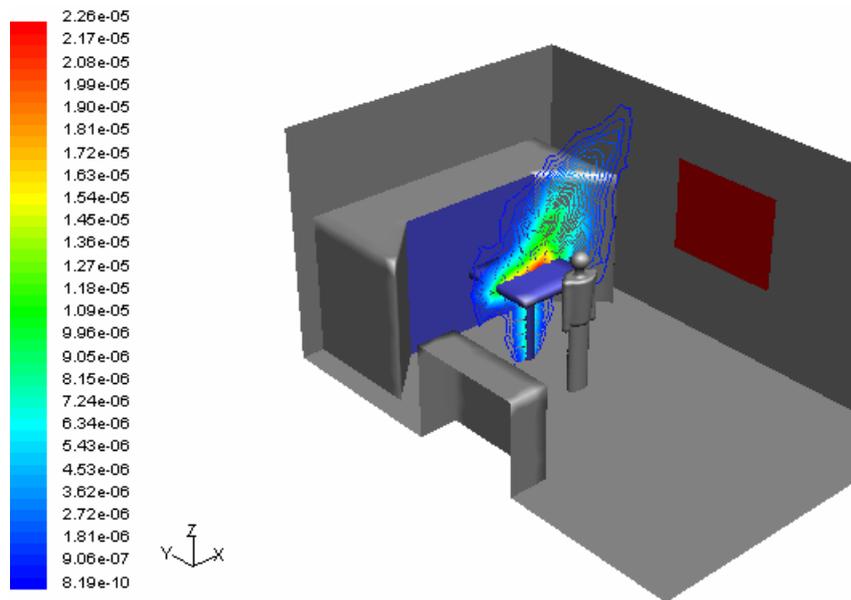


Abb. 2.6.3: Isolinen der molaren Konzentration [kmol/m³] in einem vertikalen Schnitt

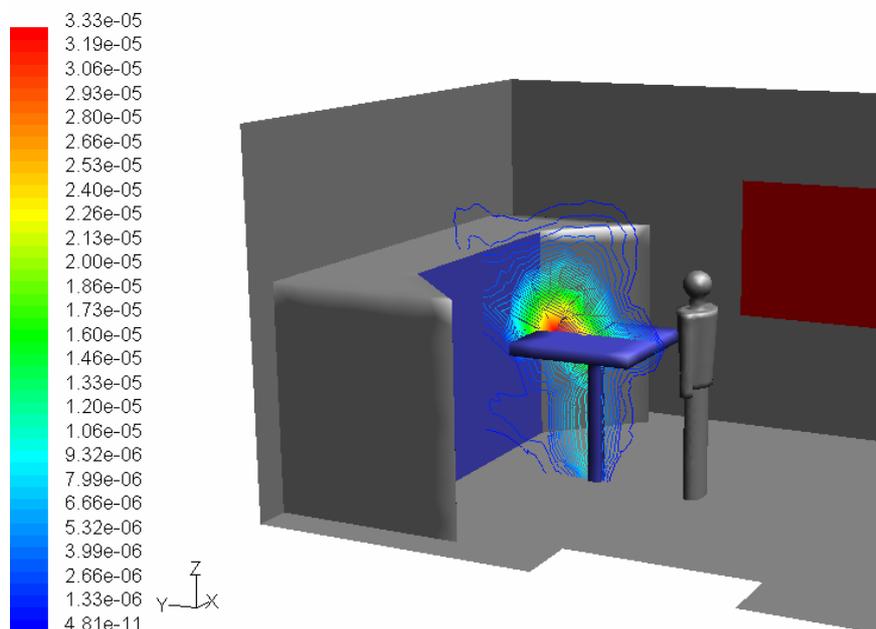


Abb. 2.6.3: Isolinen der molaren Konzentration [kmol/m³] im Längsschnitt der Lackiererei

Die gezeigten Ergebnisse stellen den quasistationären Zustand nach einer Verdunstungsdauer von $t = 283$ s dar. Vor allem in den Abb. 2.6.1 und 2.6.3 wird deutlich, dass das Lösemittel nur zum Teil direkt von der Tischplatte zur Absaugung transportiert wird. Ein erheblicher Anteil wird mit der Luftströmung in die rechte obere Ecke gespült und verursacht dort eine erhebliche

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

Lösemittelkonzentration. Eine Verbesserung dieser Situation ergibt sich mit der Optimierung der Strömungsverhältnisse, wie sie z.B. in der Kategorie B / Variante 7 beschrieben wird.

Das hier gezeigte Beispiel verdeutlicht den direkten Zusammenhang zwischen der Luftströmung und der Ausbreitung der Lösemittelkonzentration in Lackierkabinen und bestätigt so die anfängliche Annahme, dass mit der Optimierung der Luftströmung auch ein verbesserter Abtransport der die Gesundheit beeinträchtigenden Lösemittelkonzentration einhergeht.

3 Detaillierte Untersuchung und Optimierung einer Schreinerei

Die in diesem Bericht vorgestellten Arbeiten wurden in enger Absprache mit dem, das Projekt begleitenden Arbeitskreis durchgeführt. Dieser besteht aus Vertretern

- des Landesinnungsverbandes des Maler- und Lackierhandwerks Baden Württemberg,
- der technischen Informationsstelle des Deutschen Maler- und Lackierhandwerks,
- des Landesverbands Holz und Kunststoff Baden Württemberg,
- des Umweltzentrums für Handwerk und Mittelstand,
- und eines Anlagenbauers.

In diversen Zwischenbesprechungen wurden in Zusammenarbeit mit dem Projektarbeitskreis die verschiedenen Variationen der Kategorien A, B, C und D erarbeitet, an den Bedarf der Lackierbetriebe angepasst und ein umfangreicher Musterkatalog (vgl. Anhang) zusammengestellt. Als abschließende praxisorientierte Anwendung wurden bei einem ausgewählten Betreiber einer Lackiererei die Strömungsverhältnisse im Ist-Zustand aufgenommen, numerisch optimiert und die praktische Umsetzung individueller Maßnahmen betreut.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

3.1 Erfassung des Ist-Zustands bei der Schreinerei Schäffer

Anfang August 2003 fand bei der Fa. Schäffer, einer größeren Schreinerei in Stuttgart-Plieningen ein Ortstermin statt. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, wurde der Lackierraum der Fa. Schäffer vermessen, die Dimensionen, Positionen und Abmessungen handschriftlich erfasst und eine Handskizze vom Arbeitsbereich angefertigt.



Abb. 3.1.1: Lackierraum der untersuchten Schreinerei

Der Lackierbereich der Fa. Schäffer befindet sich in einem separaten Raum, der über eine Zuluftanlage an der Decke belüftet wird. Die Absaugung ist, wie in Bild 3.1.1 dargestellt, mit

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

Gitterrosten und Filtermatten ausgerüstet und in den Boden des Arbeitsbereiches integriert. In einem separaten Bereich der Lackiererei befindet sich die Abdunstzone. Gegenüber der Werkhalle der Schreinerei und verschiedenen Nebenräumen ist der Lackierraum mit mehreren Fenstern und Türen abgeschottet.

Zur Erfassung der Strömungsbedingungen im Ist-Zustand wurden die Luftströmungen mit Hilfe von Rauchgasröhrchen sichtbar gemacht und die Geschwindigkeit mit einem Hitzdrahtanemometer in den folgenden Bereichen des Raumes gemessen:

- Arbeitsbereich,
- Bodenabsaugung unter dem Arbeitsbereich,
- Zuluft-Filterdecke,
- Spalten im Ventilatorkasten,
- Türspalt zum Lacklager,
- Türspalt zur Werkhalle,
- Ablüftbereich.

Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass die Strömungsverhältnisse, entgegen der Annahme der Betreiber, aus den nachfolgenden Gründen teilweise unbefriedigend sind:

- ungleichmäßiger Lufteintritt in der Zuluftanlage,
- zu niedrige Luftgeschwindigkeiten im Einlass (Minimum ca. 0,1 m/s),
- zu starke Einströmung in den Spalten zwischen den Filterelementen (bis zu 4 m/s),
- zu geringe Absaugung im Bodenbereich (ca. 0,10 – 0,15 m/s),
- Richtungsumkehr der Strömung am Ventilatorkasten (0,3 – 0,5 m/s nach außen),
- trotz geschlossener Türen herrscht ein starker Luftzug in Richtung des Werkhallentors,
- die Luft strömt mit bis zu 28 m/s durch den Türspalt in die Werkhalle.

3.2 Simulation des Ist-Zustandes und Vergleich mit den Messwerten

Die bei der Ist-Aufnahme erfassten Messwerte in den Zuströmbereichen dienen als Eingangsbedingungen für die Strömungssimulation, alle anderen Messwerte (vor allem in den Auslässen und Türschlitzen) wurden zur Verifizierung der Simulationsergebnisse erhoben. Das nachfolgende Bild zeigt das detailgetreue CAD-Modell der Lackiererei und die berechneten Strömungsverhältnisse anhand der Stromlinien.

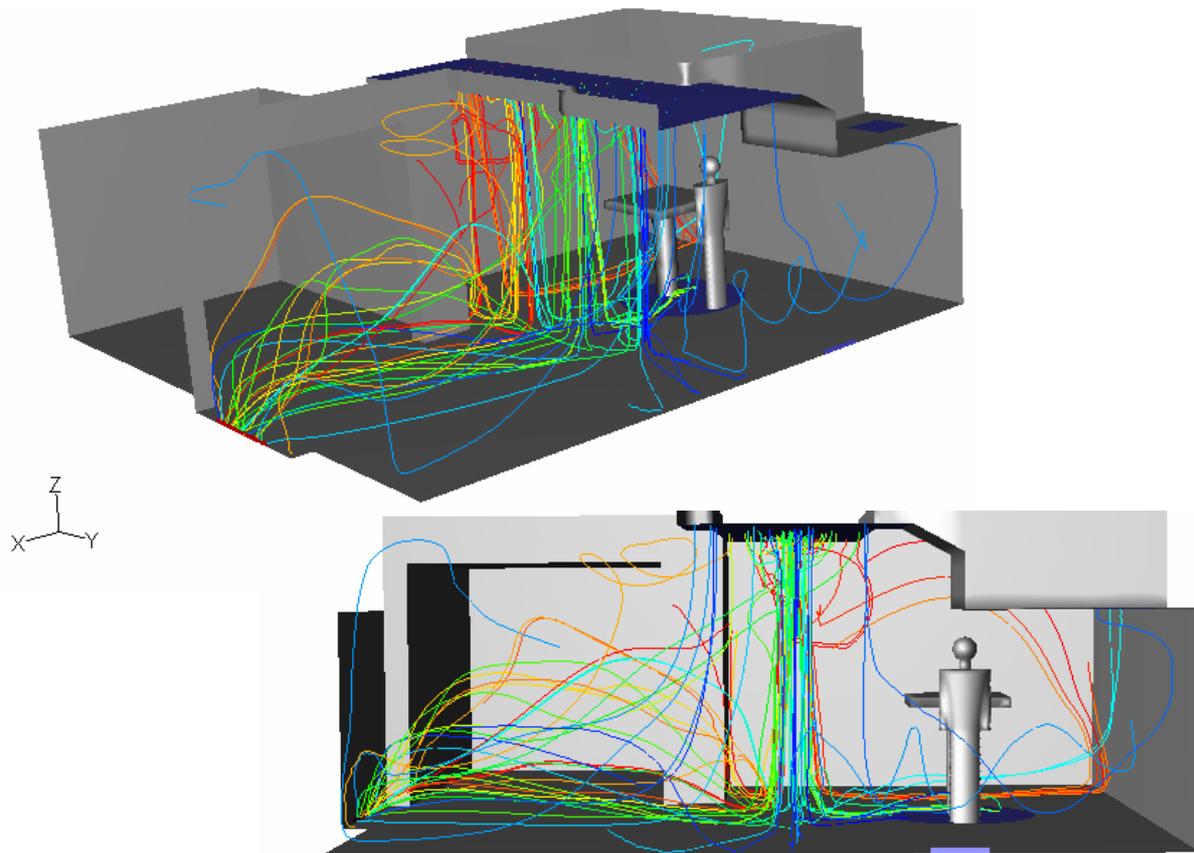


Abb. 3.2.1: CAD-Modell des Lackierraums und Stromlinien des Ist-Zustandes

In dem Simulationsmodell wird die Zuluft, genau wie in der Realität, über den an der Decke befindlichen Luftkanal in den Lackierraum eingeleitet. Da im vorliegenden Fall der größte Teil der Zuluftfläche strömungsmechanisch inaktiv ist, wird der Lufteintritt mit einer Geschwindigkeit von 4 m/s lediglich an vier schmalen Schlitzen simuliert. Die zugeführte Luft breitet sich zunächst wie ein „Wasserfall“ in alle Richtungen der Kabine aus, verwirbelt sehr stark und bildet in mehreren Ecken der Kabine Totgebiete mit erheblicher Tendenz zur Verschmutzung und

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

der Akkumulation von Lösemitteldämpfen. In der Simulation bestätigt sich die gemessene Strömungssituation, bei der nur ein geringer Teil der Luft tatsächlich über die Bodenabsaugung ausgetragen wird. Ein erheblicher Teil des Lufthaushaltes wird hingegen durch den Türschlitz (in der Abb. 3.2.1 vorne rechts) in die benachbarte Halle ausgeblasen.

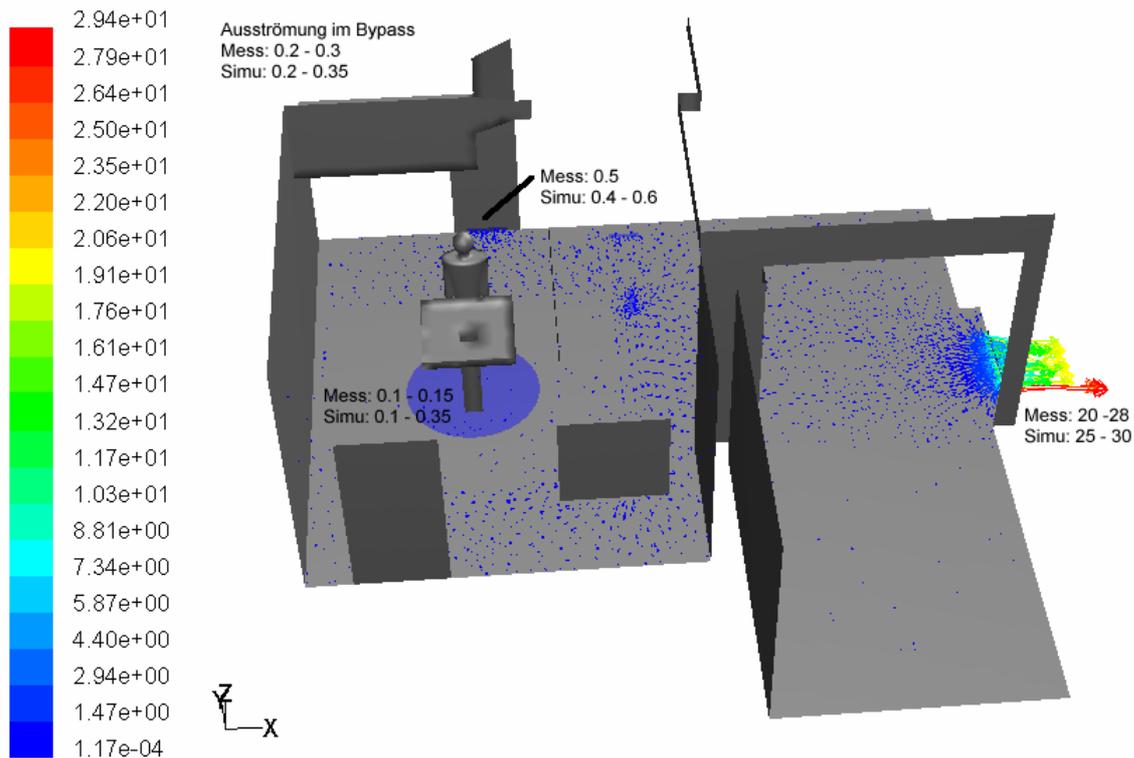


Abb. 3.2.2: Vergleich der Strömungsgeschwindigkeiten [m/s] der Mess- und Simulationswerte

In der Abb. 3.2.2 ist eine Übersicht der markantesten Messorte und -werte dargestellt. Die nachfolgenden Abbildungen erläutern hierzu weitere Details. Generell belegen die Ergebnisse wiederum die hohe Rechengenauigkeit der numerischen Strömungssimulation.

Aufgrund zugesetzter Filtermatten in der Bodenabsaugung und unzureichender technischer Einstellungen wird von der Absaugvorrichtung nicht die nötige Leistung erbracht. In der Bodenabsaugung stellt sich ein erhöhter Strömungswiderstand ein und zwingt einen Großteil der Luft, durch die Türschlitze zu entweichen. So entsteht z.B. an dem Bodenschlitz der Werkshallentüre aufgrund der „Kanalverengung“ ein Luftzug von über 20 m/s und an der hinteren Türe (vgl. Abb. 3.2.3) eine Strömungsgeschwindigkeit von immer noch 0,4 m/s.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

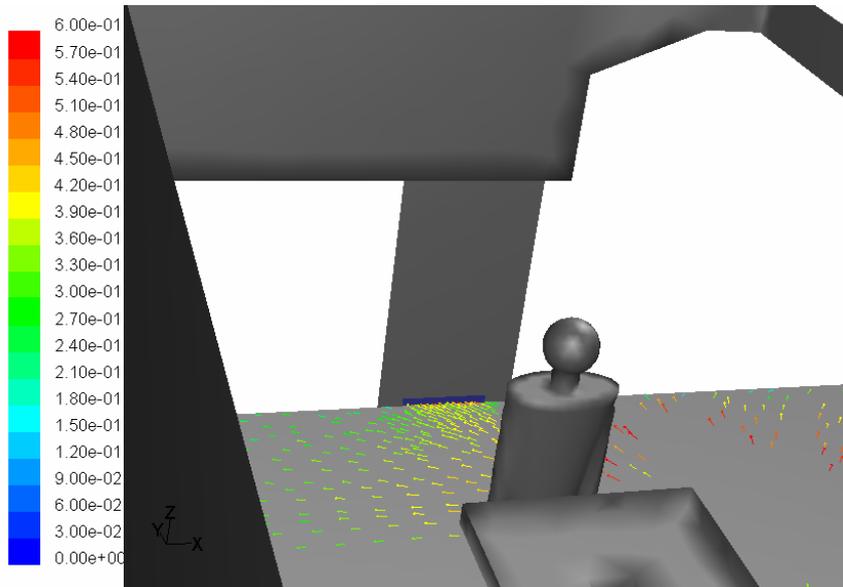


Abb. 3.2.3: Strömungsgeschwindigkeiten (ca. 0,4 m/s) am Bodenschlitz der hinteren Türe

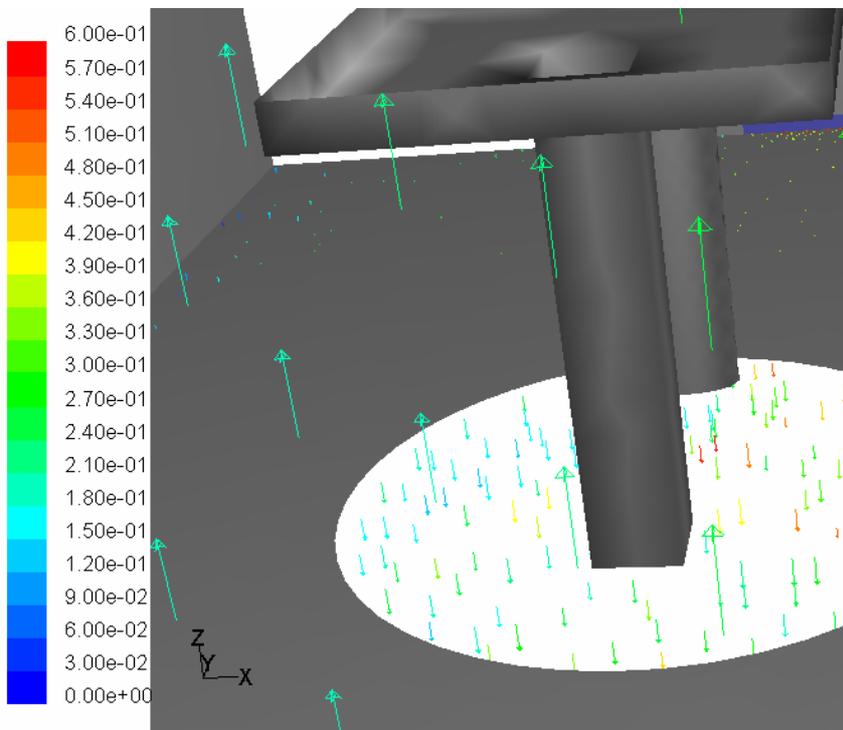


Abb. 3.2.4: Strömungsgeschwindigkeiten in der Bodenabsaugung (ca. 0,3 m/s)

Mit Hilfe der Auswertemöglichkeiten der CFD-Software können alle physikalischen Größen und beliebige Details der dreidimensionalen Strömungsberechnung dargestellt werden. In der

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

Abb. 3.2.4 ist der Bereich der Bodenabsaugung unterhalb der Tischplatte und in der Abb. 2.3.5 der Bereich der Bypass-Zuluftanlage dargestellt. Bei aktiver Stellung sollte hier eigentlich ein Teil der Frischluft ausströmen und bei geschlossener Stellung der Kanal abgedichtet sein. Das Beispiel zeigt deutlich, dass bei einer falsch justierten Anlage aber durchaus ein gegenteiliger Effekt erzielt werden kann.

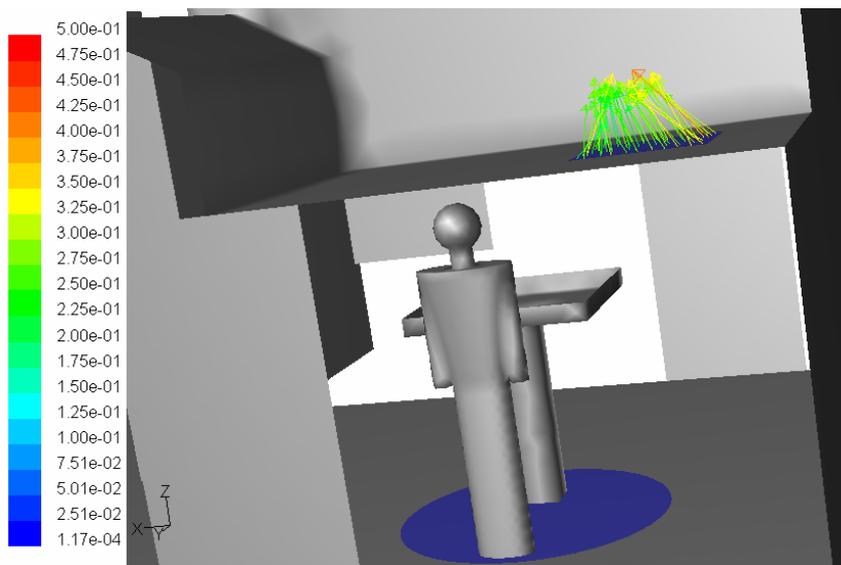


Abb. 3.2.5: Strömungsumkehrung am Bypass der Zuluftanlage (ca. 0,3 m/s).

3.3 Berechnung des Lösemittelabtransports und Vergleich mit Messwerten

Wie in Kapitel 2.6 beschrieben, stellt die Berechnung der Lösemittelkonzentration und die Sicherstellung des schnellen Abtransports einen wichtiger Faktor bei der Optimierung von Strömungszuständen in Lackierereien dar. Zur modellhaften Erfassung der Lacklösemittelkonzentrationen und zur Überprüfung der Simulationsergebnisse wurde im Arbeitsbereich der hier beschriebenen Lackiererei eine 1 m² große Holzplatte mit 250 g Xylol besprüht und die Konzentrationsverteilung mit Hilfe eines Indikator-Röhrchens (Fa. Dräger) erfasst. Die Simulation der Konzentrationsverteilung basiert auf den in Kapitel 2.6 beschriebenen Randbedingungen und Annahmen. Der Vergleich der Mess- und Simulationswerte ist in Abb. 3.3.1 tabellarisch dargestellt. Die Messungen wurden nach 30, 120 und 300 Sekunden sowie an den nachfol-

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

genden fünf Positionen durchgeführt.

- im Arbeitsbereich (5 cm oberhalb der Platte),
- im Bereich der Bodenabsaugung (unterhalb der Platte),
- im Eck neben dem Werkhallentor (in 120 cm Höhe),
- direkt vor dem Werkhallentor (in 100 cm Höhe),
- im Ablüftbereich.

Die 15 Indikatorröhrchen wurden einen Tag nach den Messungen mit einem Gas-Chromatographen ausgewertet. In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Messung und Simulation dargestellt:

Ort	Messung nach 30 s	Messung nach 120 s	Messung nach 300 s	Simulation nach 300 s
Arbeitsbereich	0,034-0,17	0,09	0,05	0,1 -0,15
Bodenabsaugung	0,01	0,005	0,002	0,01 – 0,03
Eck	0	0	0,0005	0,0006 - 0,0008
Haupttor	0	0,005-0,015	0,005-0,01	0,01 – 0,02
Ablüftbereich	0	0	0	0,0003
Angaben jeweils in Mol/m ³				

Abb. 3.3.1: Tabellarische Übersicht der Mess- und Simulationswerte

Wie zu erwarten werden die höchsten Konzentrationen im Arbeitsbereich gemessen und simuliert. Hier sollte sich der Lackierer nur mit entsprechender Schutzkleidung und Atemmaske aufhalten. Die Xylol/Luft-Konzentration an dem Haupttor beträgt nach einer Ausbreitungsdauer von 300 s (und wahrscheinlich auch im stationären Lackierbetrieb) bis zu 0,01 Mol/m³, was ungefähr der 5-fachen Menge der zulässigen Grenzkonzentration für Atemluft entspricht (vgl. TGRS 901-72: 0,001887 Mol/m³, 200 mg/m³). Bei derart hohen Konzentrationen können auch die Arbeiter, die in der benachbarten Halle tätig sind, über die Maßen belastet werden. Die Simulationswerte in Abb. 3.3.2 und Abb. 3.3.3 stimmen sowohl von der Größenordnung als auch von dem Messort weitestgehend mit den erfassten Werten überein.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

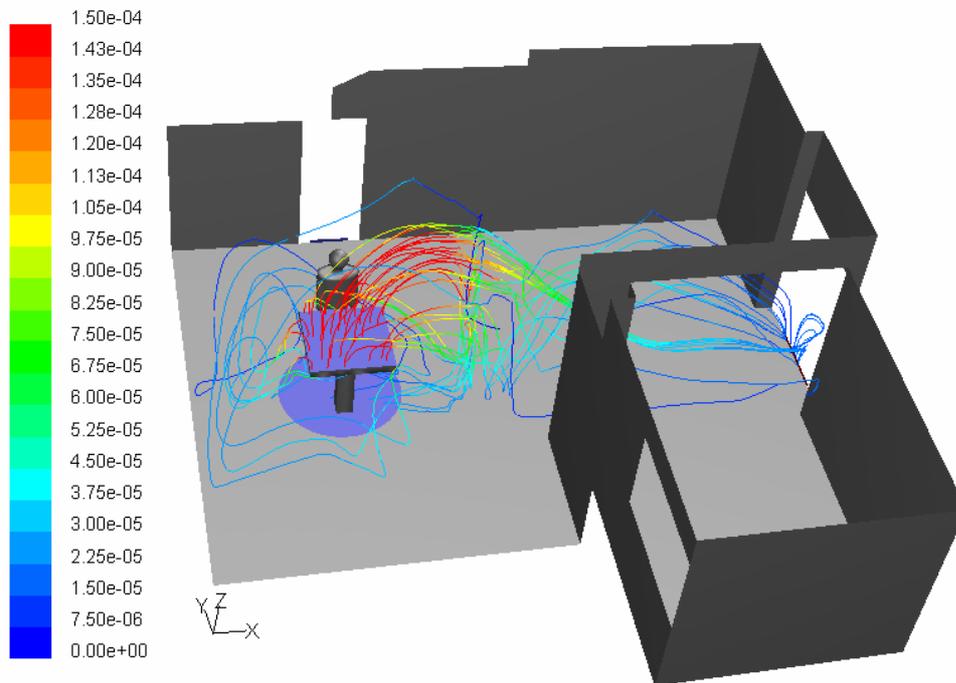


Abb. 3.3.2: Stromlinien und Verteilung der molaren Konzentration in kmol/m³

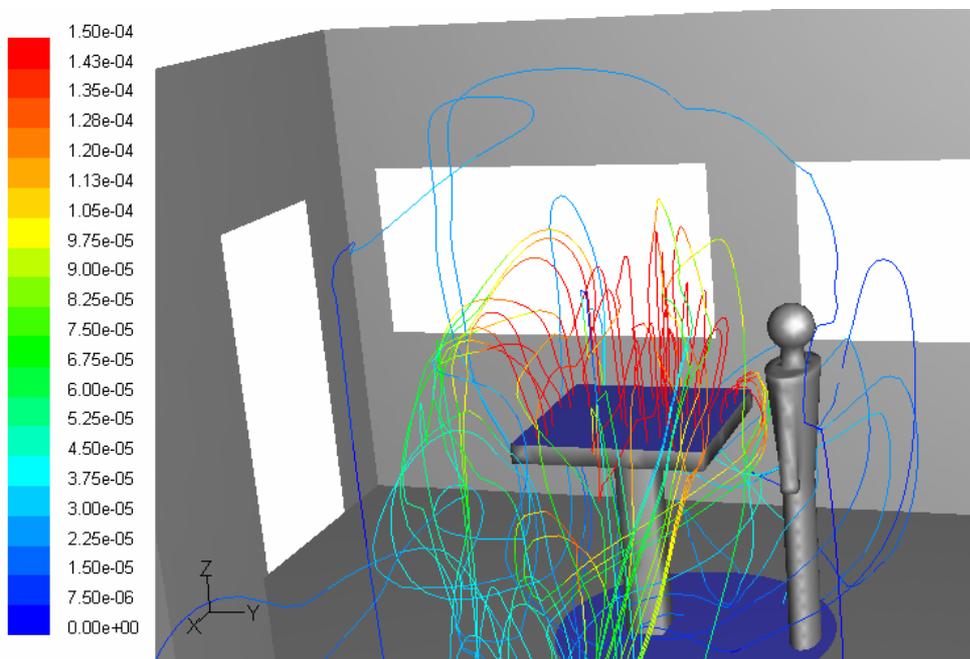


Abb. 3.3.2: Ausschnittvergrößerung der Stromlinien Konzentration in kmol/m³

In der Ausgangssituation wurde im Arbeitsbereich eine 1 m² große Holzplatte (vgl. Tisch) mit 250 g Xylol besprüht. Das Xylol verdunstet, steigt auf und wird mit der Strömung wegtransportiert, wobei die lokale Konzentration mit der Ausbreitung im Raum abnimmt.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

3.4 Optimierung der Strömungsverhältnisse und des Lösemittelabtransports

Zur Verbesserung der Luftströmungsverhältnisse wurden dem Betreiber schon während der Erfassung des Ist-Zustandes folgende Sofortmaßnahmen empfohlen:

1. Abdichten der Spalte in der Filterdecke der Zuluftanlage. Aufgrund der Spalten zwischen den Filterkastenelementen strömt die Frischluft nicht großflächig über die Filtermatten ein, sondern nur partiell mit erhöhter Geschwindigkeit. Die Spalten können als Sofortmaßnahme z.B. mit einem Gewebeband abgedichtet werden.
2. Freihalten der Abluftfilter. Aufgrund der Unwissenheit des Personals über die sachgemäßen Reinigungsvorgänge war die Bodenabsaugung zum größten Teil inaktiv. Hier kann z.B. ein wöchentliches Abklopfen und Aussaugen der Filtermatten zu einer besseren Ausnutzung der Anlagenkapazität herangezogen werden.
3. Herabsetzung der Zuluftmenge bzw. der Ventilatorleistung um ca. 20 %. Mit der Umsetzung von Punkt 1 und Punkt 2 und der Vergleichmäßigung der Strömung können insgesamt auch Energiekosten eingespart werden.
4. Einstellen des Abluft-Ventilators auf eine höhere Leistung. Bei der Erfassung des IST-Zustandes konnte der Ventilator aus technischen Gründen nur mit ca. 50 % Leistung betrieben werden. Bereits in Kapitel 2 wurde aufgezeigt, dass eine optimale Strömung nur bei einer symmetrischen Anordnungen und gleicher Leistung von Zu- und Ablufteinrichtungen erzielt werden kann.
5. Erzeugen einer kontinuierlichen Luftströmung im Bereich der Ablüftzone. Sowohl die Messungen als auch die Simulationen zeigen, dass die Ablüftzone nur unzureichend belüftet wird. Hier kann die Montage eines Ventilators oder eines zusätzlichen Zuluftelements an der Decke Abhilfe schaffen.

Zur Verdeutlichung der hier postulierten Maßnahmen wurden Simulationen mit entsprechenden Eingangs- und Randbedingungen durchgeführt. In der Abb. 3.4.1 ist das modifizierte Simulationsmodell dargestellt. Es wird nunmehr angenommen, dass die Strömung gleichmäßig über die Filterdecke einströmt, die Bodenabsaugung mit der ganzen Fläche zur Verfügung steht und die Türschlitze abgedichtet wurden.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

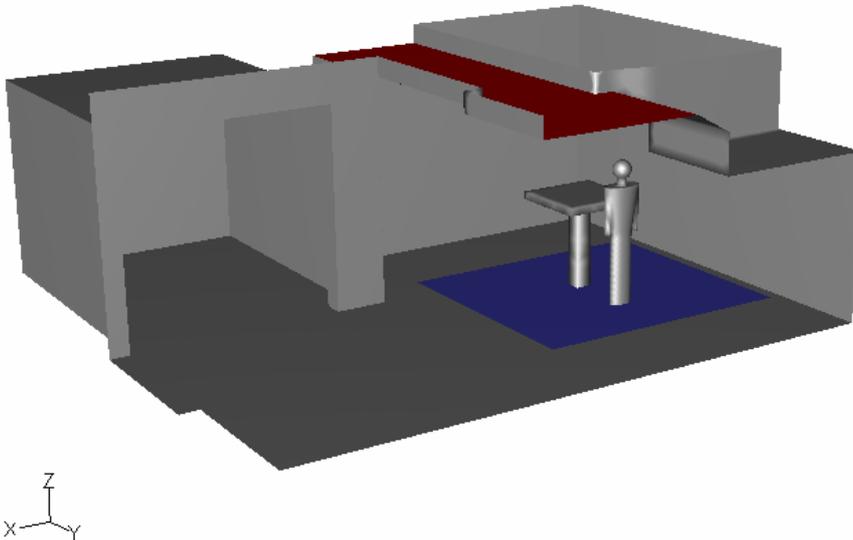


Abb. 3.4.1: CAD-Modell der optimierten Lackierkabine

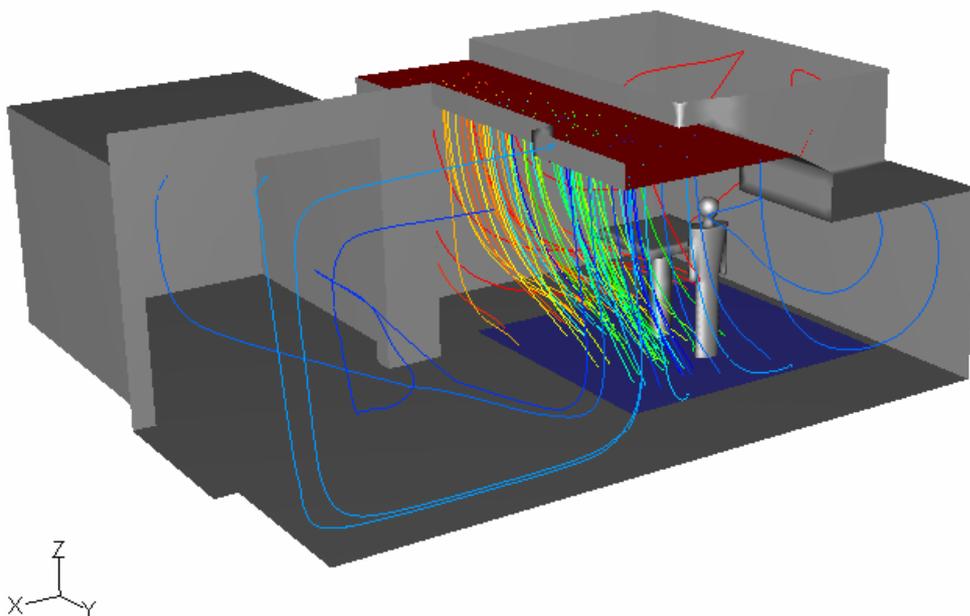


Abb. 3.4.2: Stromlinien in der optimierten Lackierkabine

Die Abb. 3.4.2 und 3.4.3 zeigen die Stromlinien in der optimierten Lackierkabine. Der Hauptteil der Zuluft durchströmt nun den Arbeitsbereich relativ gleichmäßig und wird direkt über die Bodenabsaugung ausgeleitet. Ebenso wird, im Gegensatz zur Abb. 3.3.2, ein Großteil des Lösemitels direkt durch die Bodenfilter ausgetragen (vgl. Abb. 3.4.4).

Maßnahmen zur Luftreinigung in Lackierereien

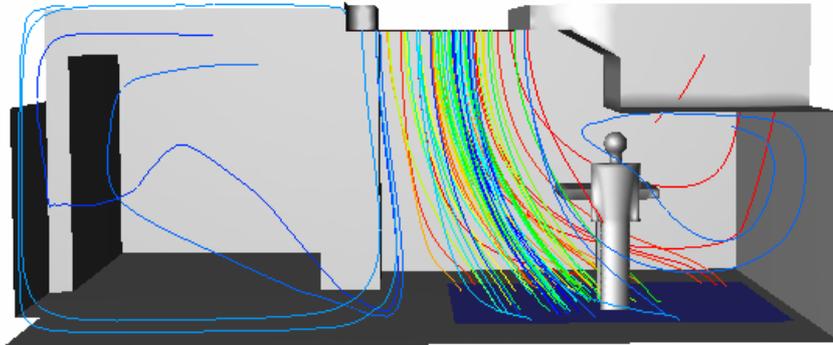


Abb. 3.4.3: Stromlinien in der optimierten Lackierkabine (Seitenansicht)

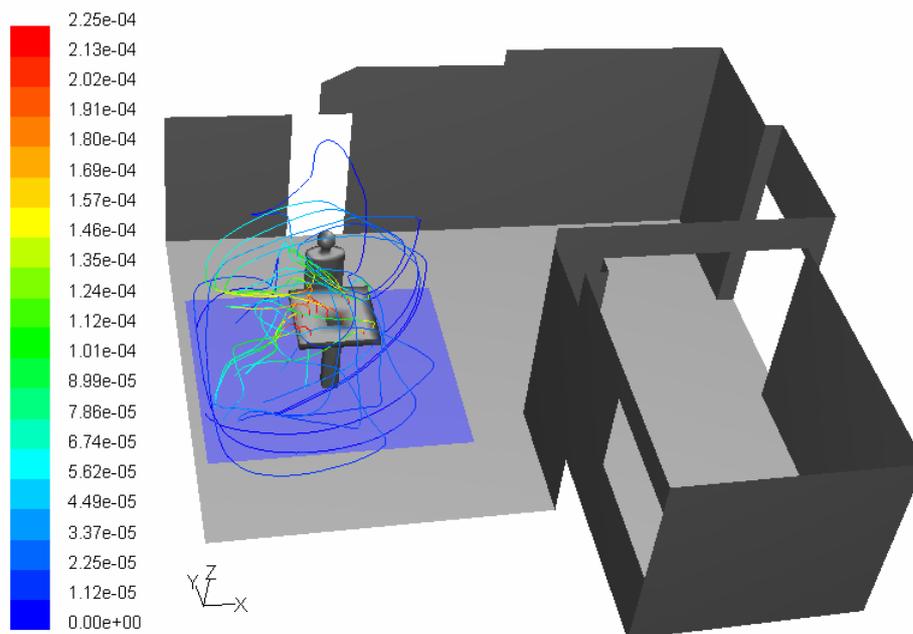


Abb. 3.4.4: Stromlinien und Verteilung der molaren Konzentration in kmol/m^3

Die Simulationsergebnisse zeigen schon mit den relativ einfachen Maßnahmen eine eindeutige Verbesserung des Ist-Zustandes. Zwischenzeitlich hat die Firma Schäffer diese Maßnahmen in ihrer Lackiererei umgesetzt und bestätigt ebenfalls eine deutliche Verbesserung der Luftströmung. Zudem zeigt sich, dass der Lackierbereich deutlich weniger durch Lacknebel verschmutzt wird. Der Abzug des Lacknebels durch die Bodenabsaugung ist nun visuell deutlich zu erkennen und die Lösemitteldämpfe in der angrenzenden Werkstatt sind kaum mehr wahrnehmbar.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Lackierereien

In KW 38/2003 wird die Firma Schäffer zudem einen Elektriker beauftragen, um eine Reduzierung der Zuluftleistung um ca. 20 % und eine Erhöhung der Abluftleistung um ca. 50 % vorzunehmen. Nach erfolgter Einstellung wird das Institut erneut die Luftströmungsverhältnisse und die Lösemittelausbreitung erfassen und abschließend berichten.

4 Literatur

- [1] Simulation auch für handwerkliche und industrielle Lackierereien. „besser lackieren!“, 1, 2003.
- [2] Ondratschek, D.: Effektive, lösemittelarme Lackierverfahren in Kleinbetrieben einführen. Tagungsband der Veranstaltung „VOC-Richtlinie als Chance für Lackierbetriebe“, Vincentz Verlag, Hannover 2000.
- [3] Domnick, J., Scheibe, A., Ye, Q.: Numerische Simulation von Kabinen- und Zerstäuberströmungen. Jahrbuch für Lackierbetriebe 1999, Vincentz Verlag, Hannover 1998.
- [4] Domnick, J., Ye, Q.: Optimierung der Luftführung in Trocknern mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation. 15. Deutsches Wasserlack-Symposium, Technik + Kommunikation Verlag, Berlin 2000.