



Geschäfts-Nr.: 3.2-2284/04
Auftrags-Nr.: 20 63 71 87

Essen, 27.06.2004
Amo

RWTÜV Systems GmbH

Ein Unternehmen der
RWTÜV Gruppe

Prüftag(e): 14.06.2004

Langemarckstr. 20
D-45138 Essen
Postfach 10 32 61
D-45032 Essen
Telefon 02 01/8 25-0
Telefax 02 01/8 25-25 17

Sitz: Essen
AG Essen, HRB 9976
Aufsichtsratsvorsitzender:
Dr. Wilhelm Wick

Geschäftsführung:
Volker Klosowski

Fachbereich
Gebäudetechnik

Elektro- und Gebäudetechnik
Brand- und Explosionsschutz
- Projekte -

Gutachten zur Abschirmwirkung einer Luftwandanlage

1. Allgemeines

Auftraggeber: LWT – Luftwandtechnologie
Konstruktions-, Entwicklungs- und
Vertriebsgesellschaft mbH
Konstantinstraße 351
41238 Mönchengladbach

Auftrag vom: 02.06.2004

Auftragsumfang: Durch das Gutachten soll geklärt werden, inwieweit die durch eine Torwandanlage zu erzielende Abschirmwirkung mit der einer Luftschleuse vergleichbar ist.

2. Vorbemerkung

Bei der vom Auftraggeber vertriebenen Torwandanlage handelt es sich um eine lufttechnische Anlage mit deren Hilfe verhindert werden soll, dass aus einem mit Schad- und/oder Geruchsstoffen belasteten Gebäude Raumluft über die geöffneten Zufahrtstore in die Umgebung gelangt. Hierfür wird über leicht nach innen oder außen geneigte Schlitzauslassdüsen unbelastete Luft (im allgemeinen Außenluft) – je nach Höhe und Breite der Zufahrtsöffnung – entweder von oben nach unten oder horizontal von den beiden Seiten her mit vergleichsweise hoher Geschwindigkeit ausgeblasen. Durch die leichte, von der Senkrechten beziehungsweise der Waagerechten abweichenden Ausblasrichtung des Luftstrahls soll bei Über- oder Unterdruck im Gebäude dessen Abschirmwirkung gegenüber der freien Umgebung verstärkt werden.

Der Luftstrahl induziert aufgrund seiner hohen Ausblasgeschwindigkeit auf beiden Seiten Luft aus der Umgebung, die dann am Boden beziehungsweise im Bereich der Tormitte sowohl nach innen als auch nach außen abströmt. Hierdurch gelangt zwangsläufig ein nicht zu vermeidender Anteil schadstoffbelasteter Luft aus dem Gebäudeinneren auch in die Umgebung. Anderer-

seits wird durch den hohen Strahlimpuls verhindert, dass – bedingt durch Windeinfluss – Luft über die ansonsten ungeschützte Zufahrtsöffnung ein- oder ausströmt.

Durch das Gutachten soll somit geklärt werden, um welchen Anteil die Schadstoffemission aus einem Gebäude durch den Einsatz einer Torwandanlage reduziert werden kann.

3. Versuchsort

Die Versuchsmessungen wurden an einem Werkhallentor bei der Firma LWT in Mönchengladbach durchgeführt, das mit einer zwischen Einblasung von oben nach unten und Einblasung von den Seiten her zu variierenden Versuchs-Torwandanlage ausgestattet war. Aus versuchstechnischen Gründen wurden die Messungen auf die Variante „Einblasung von oben nach unten“ beschränkt, die aber wegen des bei isothermen Versuchsbedingungen zu vernachlässigenden Schwerkräfteinflusses auf die Einblasung von den Seiten her übertragen werden können.

Die Länge der in 2,62 m Höhe über dem Fußboden installierten Schlitzauslassdüse betrug 3,0 m. Ihre Spaltbreite konnte zwischen 10 und 20 mm variiert werden. Der von oben nach unten ausgeblasene Zuluftstrahl war in einem Winkel von $12,5^\circ$ gegenüber der Senkrechten nach außen geneigt. Der Volumenstrom ließ sich mit Hilfe eines Stellpotentiometers stufenlos bis auf maximal etwa 7 000 m³/h einstellen.



Bild 1: Werkhallentor bei der Firma LWT mit Torwandanlage



Bild 2: Schlitzauslassdüse mit Einblasrichtung von oben nach unten

4. Versuchsdurchführung

Die Messung des über die Torwandanlage ausgeblasenen Zuluftvolumenstromes (Primärluft) und des aus Primär- und Induktionsluft sich ergebenden Mischluftvolumenstromes erfolgte mit Hilfe eines SF₆-Tracergas-analysators (Vivo Tracergas System) der Firma Dantec Dynamics GmbH, Erlangen. Für die Ermittlung des Primärluftvolumenstromes wurde eine Tracergasmenge von 10 ml/s in den aus dem rückwärtigen Raumbereich angesaugten Primärluftstrom eingegeben und die nach dem Ventilator an der Schlitzauslassdüse sich ergebende Tracergaskonzentration c_0 gemessen.

Der Primärluftstrom konnte daraus mit Hilfe der Beziehung

$$\dot{V}_{PL} = \frac{10 \text{ ml/s}}{c_0 \text{ ml/m}^3} \cdot 3600 \text{ s/h}$$

berechnet werden.

Um eine allmähliche Anreicherung des Tracergases im Raum möglichst zu verhindern und um Druckausgleich gegenüber der Umgebung aufrecht zu erhalten, erfolgte die Luftansaugung bei geöffneten Oberlichtern der Werkhalle. Die Auswertung der Messung erfolgte im übrigen unter Berücksichtigung des allmählich sich ändernden Grundpegels an Tracergas mit Hilfe einer zum Gasanalysator zugehörigen Software.

Für die Messung des Mischluftvolumenstromes wurde nacheinander in 1,8 m, 1,2 m und 0,4 m Höhe über dem Fußboden an gleichzeitig zwei bis drei Stellen Probeluft aus dem Mischluftstrahl angesaugt und dem Gasanalysator zugeführt. Aus der mittleren Tracergaskonzentration c und der bekannten Pri-

märluftmenge konnte daraus der Mischluftvolumenstrom entlang der Strahl-
 länge mit Hilfe der Beziehung

$$\dot{V}_{ML} = \dot{V}_{PL} \cdot \frac{c_0}{c}$$

berechnet werden. Hierbei wird vorausgesetzt, dass der Mischluftstrahl auf-
 grund seiner Geschwindigkeit gegenüber der ihn umgebenden ruhenden Luft
 kein Tracergas an die Umgebung verliert und sich außerdem über die Strahl-
 dicke wegen der turbulenten Luftbewegung innerhalb des Strahls eine
 gleichmäßige Tracergaskonzentration einstellt.

Der aus der Umgebung induzierte Sekundärluftstrom, der zusammen mit dem
 Primärluftstrom den Mischluftvolumenstrom bildet, lässt sich dann durch die
 Beziehung

$$\dot{V}_{SL} = \dot{V}_{PL} \cdot \left(\frac{c_0}{c} - 1 \right)$$

ermitteln.

Die mittlere Ausblasgeschwindigkeit wurde rechnerisch aus dem zuvor ermit-
 telten Primärluftstrom und der vorgegebenen Geometrie des Schlitzauslasses
 bestimmt. Die Luftgeschwindigkeiten im Freistrahler und im beidseitig nach in-
 nen und nach außen abströmenden Luftstrom wurden dagegen mit Hilfe ei-
 nes Hitzdrahtanemometers des Herstellers Airflow Lufttechnik GmbH, Rhein-
 bach, mit der Typenbezeichnung TA4 gemessen.

5. Versuchsergebnisse

Die Messungen wurden für an der Schlitzauslassdüse eingestellte Spaltbrei-
 ten von 10 und 20 mm durchgeführt. Außerdem wurden für die Spaltbreite
 10 mm zwei unterschiedlich große Primärluftvolumenströme eingestellt. Fol-
 gende Ergebnisse wurden hierbei gefunden:

**Tabelle 1: Primär- und Mischluftvolumenströme sowie die sich daraus ergebenden, die
 Sperrluft der Torwandanlage penetrierenden Luftvolumenströme**

Spaltbreite mm	Primärluft m³/h	v ₀ m/s	c ₀ ppm	Höhe m	c ppm	Mischluft m³/h	penetrier. Luft m³/h
10	1 580	14,63	22,78	1,8	10,83	3 323	436
			22,78	1,2	8,30	4 336	689
			24,58	0,4	8,93	4 349	692
10	2 175	20,14	19,40	1,8	6,10	6 917	1 186
			19,40	1,2	5,85	7 213	1 259
			19,40	0,4	5,30	7 961	1 447
20	2 420	20,14	14,88	1,8	5,60	6 430	1 003
			16,60	1,2	5,80	6 926	1 127
			16,90	0,4	6,20	6 596	1 044

Im realen Einsatzfall setzt sich der Mischluftvolumenstrom zur Hälfte aus mit Schadstoffen belasteter Raumluft und zur Hälfte aus reiner Außenluft zusammen und strömt – zumindest bei Windstille und senkrechter Ausblasrichtung – zur Hälfte nach außen und zur Hälfte nach innen ab. Der Volumenstrom, der damit netto von der Hallenseite zur freien Umgebung durch den Sperrluftstrahl der Torwandanlage strömt und damit Maßstab für eine mögliche Schadstoffemission ist, wurde von uns als penetrierender (die Torwand durchdringender) Luftstrom bezeichnet und beträgt im Idealfall ein Viertel des insgesamt induzierten Luftvolumenstromes. Je nach Stärke und Richtung des Windes kann bis zum Durchbruch, bei dem die Abströmrichtung in Bodennähe sich durch Windeinfluss umkehrt, der penetrierende Luftvolumenstrom aber auch zwischen Null und dem halben Sekundärluftstrom variieren.

In den Diagrammen 1 bis 3 wurden die in der Tabelle 1 bereits enthaltenen Messwerte für die von uns ermittelten Mischluft- und die penetrierenden Luftvolumenströme auch graphisch in Abhängigkeit von der Lauflänge des Freistrahls dargestellt. Sie zeigen, dass der penetrierende Luftvolumenstrom nur geringfügig von den Lauflänge des Strahls abhängt, da die Luftinduktion im wesentlichen unmittelbar nach Austritt des Luftstrahls aus der Düse stattfindet. Der induzierte Luftvolumenstrom wird hingegen vorrangig von der Ausblasgeschwindigkeit und der Spaltbreite des Düsenschlitzes bestimmt.

Um eine Aussage darüber machen zu können, bis zu welchen Windgeschwindigkeiten die Torwand gegenüber einem Durchbruch stabil bleibt, wurde deshalb von uns neben der Abströmgeschwindigkeit am Boden nach innen und nach außen auch noch die Strahlmittengeschwindigkeit in 0,4 m Höhe über dem Fußboden gemessen.

Tabelle 2: Luftgeschwindigkeiten an der Torwandanlage

Spaltbreite mm	v ₀ m/s	v _(0,4 m über FB) m/s	Misch- zahl	Abströmgeschwindigkeit in m/s	
				nach innen	nach außen
10	14,63	ca. 2,0	0,24	0,6 – 1,1	ca. 0,9
10	20,14	ca. 2,9	0,22	2,7 – 3,2	2,6 – 3,2
20	11,20	2,1 – 2,2	0,24	2,4 – 2,9	1,9 – 2,9

Die Tabelle 2 zeigt, dass die nach innen und nach außen gerichteten Abströmgeschwindigkeiten starken zeitlichen Schwankungen unterlagen und trotz der mit 12,5° nach außen geneigten Ausblasrichtung keine eindeutige Abhängigkeit davon erkennen ließen. Der Luftstrahl strömte am Boden zu etwa gleichen Anteilen nach innen und nach außen ab. Weiterhin lag die Abströmgeschwindigkeit – zumindest bei den Versuchen mit Primärluftvolumenströmen > 2 000 m³/h – etwa in der Größenordnung der in 40 cm Höhe über dem Fußboden gemessenen Strahlmittengeschwindigkeiten, so dass die Torwandanlage bis zu Windgeschwindigkeiten, die denen der Strahlmittengeschwindigkeit in Bodennähe entsprachen, als stabil gegenüber einem Durchbruch anzusehen sind.

Theoretisch lässt sich die Strahlmittengeschwindigkeit für den isothermen Flachstrahl mit Hilfe der Beziehung

$$v_x = v_0 \cdot \sqrt{\frac{\delta}{m \cdot x}}$$

mit v_0 = Anfangsgeschwindigkeit des Düsenstrahls
 δ = Schlitzbreite der Auslassdüse
 m = Mischzahl ($\approx 0,2$ bis $0,5$)
 x = Lauflänge des Strahls ab Düsenaustritt

berechnen.

In der Tabelle 2 wurde zusätzlich die sogenannte Mischzahl, die mit Hilfe dieser Beziehung aus den in 0,4 m Höhe über dem Fußboden gemessenen Strahlmittengeschwindigkeiten ermittelt wurde, angegeben. Ferner wurden im Diagramm 4 die mit Hilfe der so bestimmten Mischzahl die Strahlmittengeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Strahllänge für die drei von uns untersuchten Versuchsbedingungen dargestellt.

So zeigt das Diagramm 4 deutlich, wie stark die Strahlgeschwindigkeit mit der Lauflänge des Strahls abnimmt und bei einer Strahllänge von 2,0 m bei Ausblasgeschwindigkeiten von maximal 20,14 m/s bereits $\leq 3,0$ m/s betrug. Geht man beispielsweise davon aus, dass eine Strahlmittengeschwindigkeit von etwa 2,0 m/s für eine hinreichend große Abschirmwirkung gegen Windeinflüsse nicht unterschritten werden sollte, errechnet sich bei einer Schlitzbreite von 10 mm und einer maximalen Strahllänge von 3,0 m eine erforderliche Ausblasgeschwindigkeit von etwa 17,0 m/s.

6. Zusammenfassung

Mit Hilfe von Konzentrationsmessungen von SF₆-Indikatorgas im Luftstrahl einer Luftwandanlage wurden die ausgeblasene Primär- sowie die aus der Umgebung induzierte Sekundärluftmenge messtechnisch erfasst. Es konnte gezeigt werden, dass die induzierte Sekundärluftmenge vorrangig von der Ausblasgeschwindigkeit und der Primärluftmenge, jedoch in nur geringem Maße von der Strahllänge der Torwandanlage abhängt.

Aus den gemessenen Primär- und Sekundärluftmengen konnte die durch die Torwandanlage penetrierende, im realen Einsatzfall mit Schadstoffen belastete Luftmenge rechnerisch bestimmt werden. Unter der Annahme, dass durch die ungeschützte Toröffnung Luft mit einer Geschwindigkeit von 1,0 bis 2,0 m/s abströmt, wird durch die Torwandanlage bei einer Düsen Schlitzbreite von 10 mm und einer Ausblasgeschwindigkeit von 14,63 m/s die Schadstoffemission auf 1,2 bis 2,4 % der ansonsten austretenden Schadstoffmenge reduziert. Bei gleicher Düsen Schlitzbreite jedoch einer Ausblasgeschwindigkeit von 20,14 m/s erhöht sich die Schadstoffemission auf 2,6 bis 5,1 % der ohne Torwandanlage austretenden Schadstoffmenge, was deutlich macht, dass die Ausblasgeschwindigkeit nicht größer sein sollte, als zur Verhinderung eines Luftdurchbruchs unbedingt erforderlich ist. Sinnvoll ist es deshalb, den von der Torwandanlage ausgeblasenen Volumenstrom der Windgeschwindigkeit anzupassen. Bei einer Düsen Schlitzbreite von 20 mm und einer Ausblasgeschwindigkeit von 11,20 m/s wird die Schadstoffemission auf 2,0 bis 4,0 % der Schadstoffmenge ohne Torwandanlage reduziert. Mit der Reduzierung der Schadstoffemission durch den Einsatz einer Torwandanlage bis auf

wenige Prozent der Emission eines ungeschützten Tores ist die Wirksamkeit der Torwandanlage nachgewiesen.

Durch das Gutachten wurden schließlich die theoretischen Grundlagen zur Dimensionierung und zur Bewertung der Abschirmwirkung einer Torwandanlage bereitgestellt.

Der staatlich anerkannte Sachverständige

*Digitised
Signature*

Düsenpaltbreite 10 mm
Primärluftstrom = 1 580 m³/h

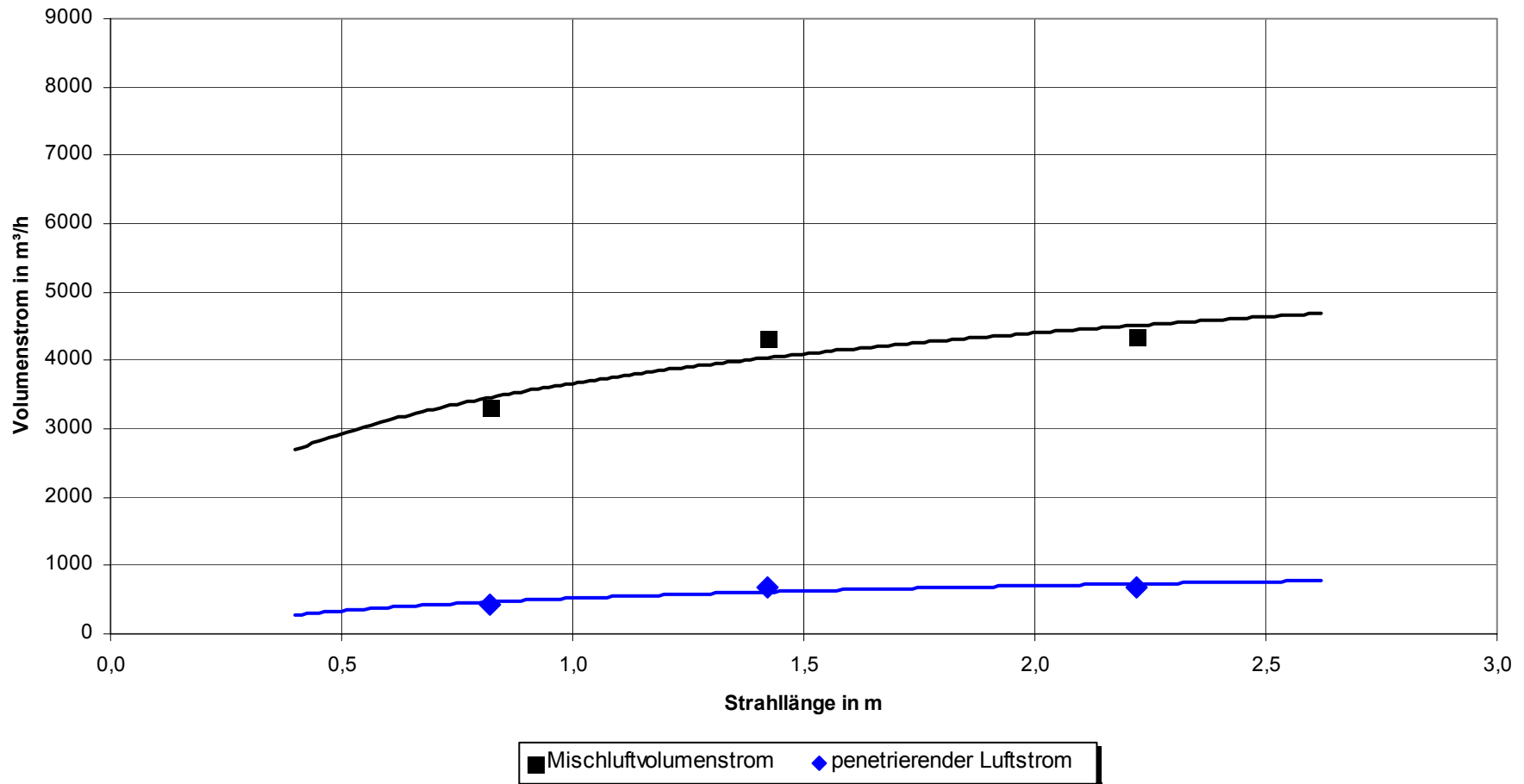


Diagramm 1: Mischluft- und penetrierender Luftstrom in Abhängigkeit der Strahlänge bei 10 mm Düsenpaltbreite und 1 580 m³/h Primärluft

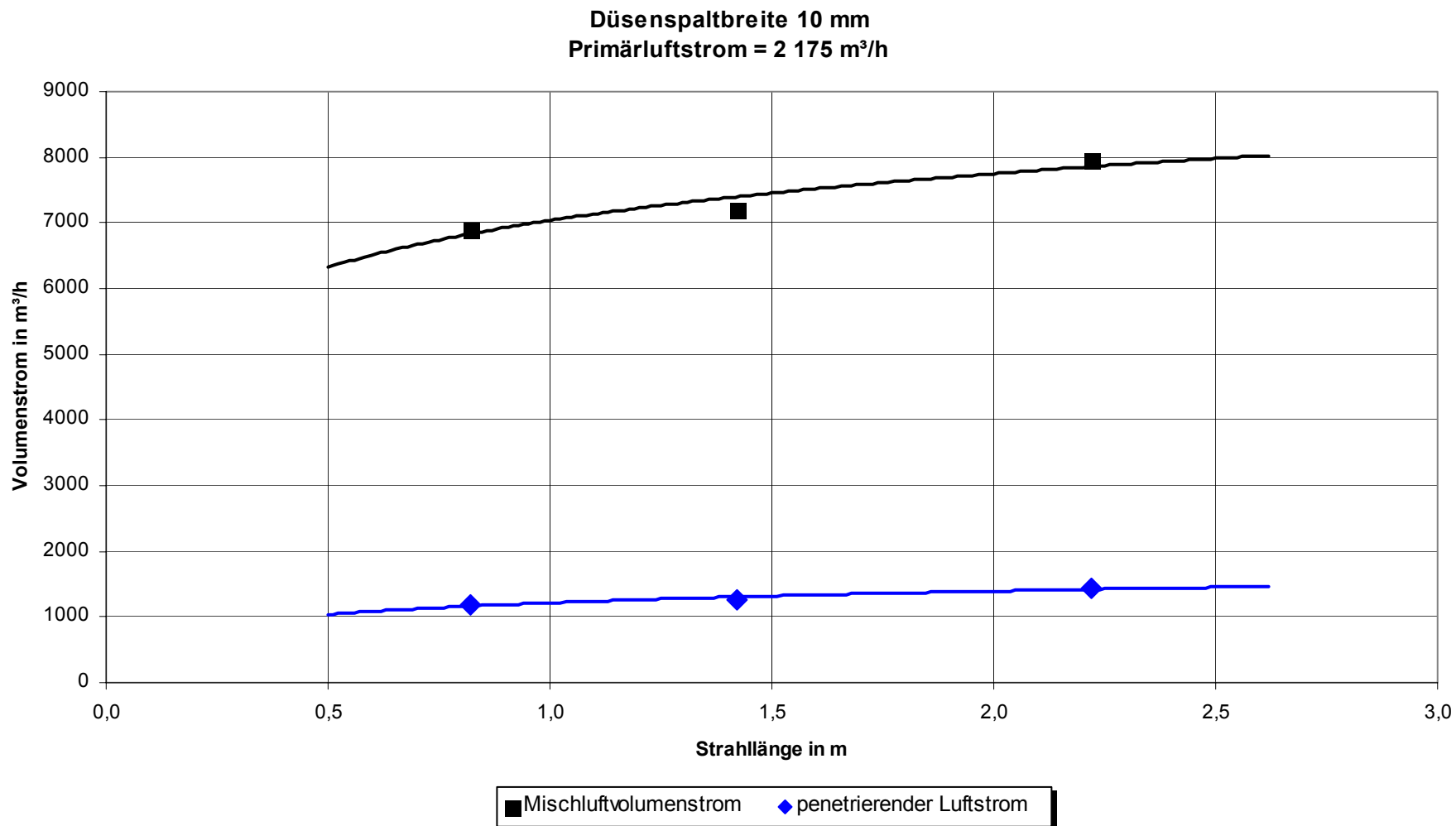


Diagramm 2: Mischluft- und penetrierender Luftstrom in Abhängigkeit der Strahlänge bei 10 mm Düsenspaltbreite und 2 175 m³/h Primärluft

Düsenspaltbreite 20 mm
Primärluftstrom = 2 420 m³/h

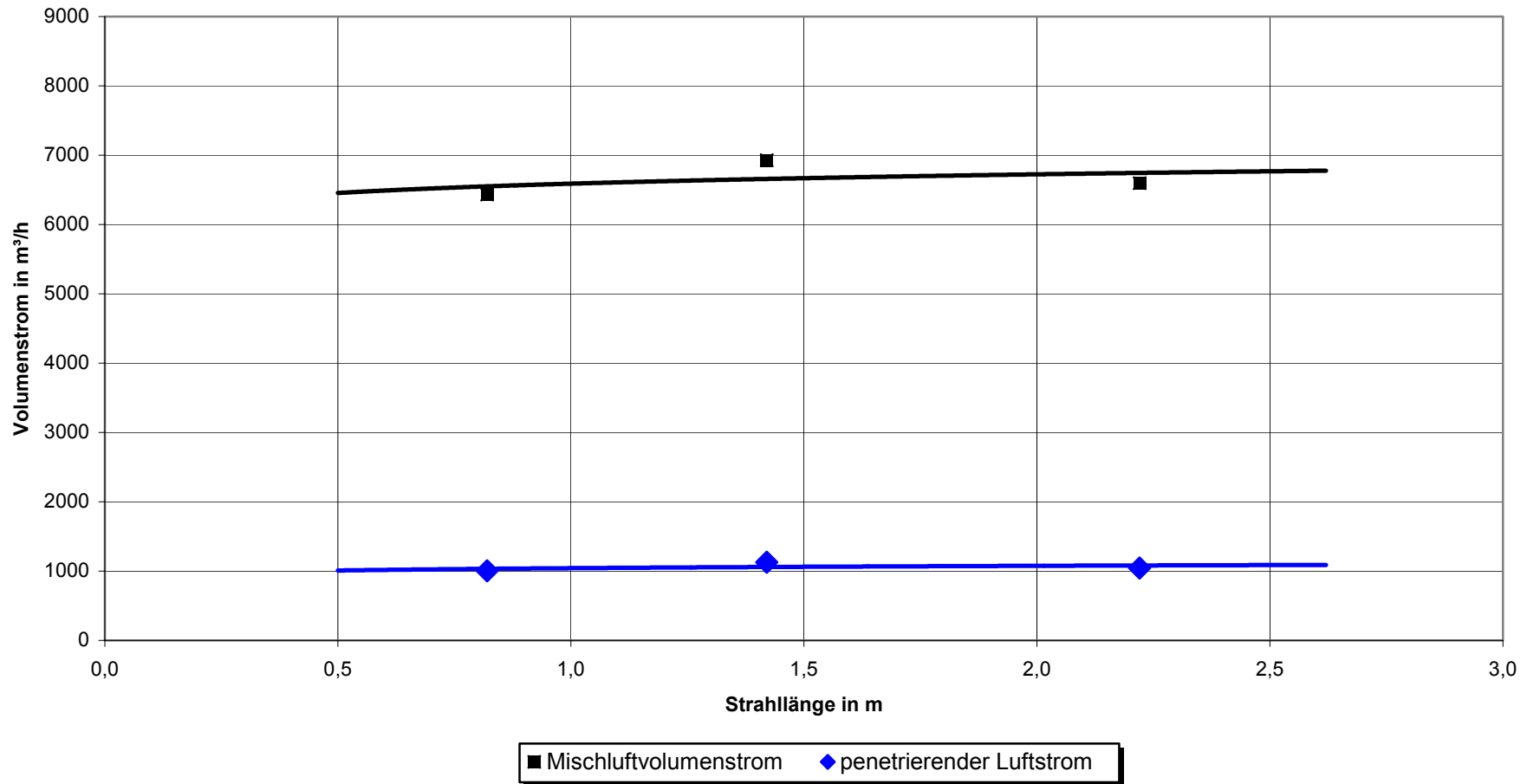


Diagramm 3: Mischluft- und penetrierender Luftstrom in Abhängigkeit der Strahllänge bei 20 mm Düsenspaltbreite und 2 420 m³/h Primärluft

Strahlmittengeschwindigkeit

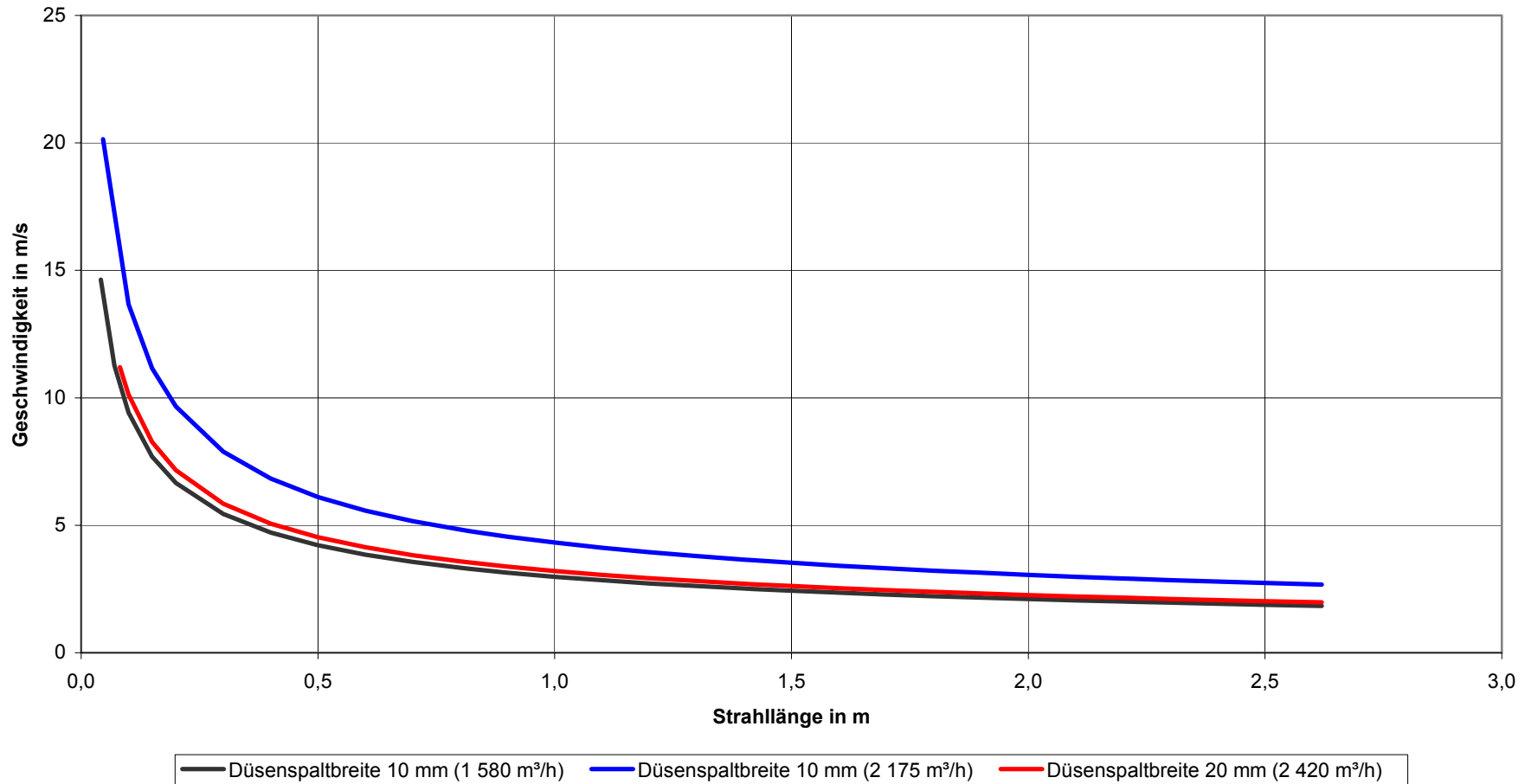


Diagramm 4: Strahlmittengeschwindigkeit in Abhängigkeit der Strahlänge für verschiedene Düsenspaltbreiten und Primärluftströme