

ZIEHL-ABEGG SE

Nachleitrad für die Landwirtschaft

Abluftfahrenüberhöhung

DLG-Prüfbericht 5642F



Hersteller/Anmelder

ZIEHL-ABEGG SE
Heinz-Ziehl-Straße
D-74653 Künzelsau
Telefon: 07940 16-0
Telefax: 7940 16-67
E-Mail: info@ziehl-abegg.de
www.ziehl-abegg.de



DLG e.V.
Testzentrum
Technik und Betriebsmittel

Kurzbeschreibung

- Bauteil zum Einbau in einem Abluftkamin mit Ø 650 mm,
- vorgesehen zur Erhöhung der Abluftfahne,
- Leitschaufeln sollen eine Drallminderung der Strömung und damit eine Zunahme der Abluftströmungsgeschwindigkeit in axialer Richtung bewirken,
- ca. 20 mm hinter dem Rohreinbauventilator im Abluftkamin montiert,
- an 4 Stellen mit Schrauben am Abluftkaminrohr befestigt,
- ausgeführt als ringförmiges Bauteil mit 13 Stück gekrümmten Leitschaufeln,
- bestehend aus Kunststoff

Technische Hauptdaten

Länge	87 mm
Durchmesser	645 mm
Masse	1,43 kg

Beurteilung – kurzgefasst

Der Einsatz des Nachleitrades für die Landwirtschaft bewirkt durch einen geringeren Drall am Luftaustritt des Abluftkamins eine axial stärker gebündelte Strömung. Der Kernstrahlbereich ist deutlich stärker ausgeprägt und stabiler.

Insbesondere bei Windstille oder niedrigen Windgeschwindigkeiten führt dies zu einer Zunahme der Abluftfahnenüberhöhung. Die ermittelten Abluftfahnenüberhöhungen lagen bei Nennleistung (Drehzahl 100 %) bzw. nur gering abgesenkter Ventilator Drehzahl und

Windgeschwindigkeiten bis zu 10 m/s zwischen ca. 2 und 4 m höher als ohne Nachleitrاد. Im stärker abgesenkten Regelbereich fällt die Differenz aufgrund der dann deutlich reduzierten Abluftfahnenüberhöhungen entsprechend geringer aus.

Bewertung

Testkriterium	Testergebnis	Bewertung
Abluftfahnenüberhöhung		
– Abstandsgewinn	2 bis 4 m	+
– Geschwindigkeitsgewinn	1,5 bis 1,8 m/s in 4 m Abstand vom Austritt	+
– spez. Energieaufwand	ca. 2 W/1000 m³/h Mehraufwand	+

Bewertungsbereich: ++ / + / ○ / – / – – (○ = Standard)

Folgendes Bewertungsschema für den DLG-FokusTest „Abluftfahnenüberhöhung“ wird angewandt:

BEWERTUNG	TESTERGEBNIS*		
	Abstandsgewinn (m)	Geschwindigkeitsgewinn (m/s)	spez. Energiemehraufwand (W/1000 m³/h)
++	> 6	> 3,0	< 0,5
+	> 3	> 1,5	< 2,5
○	> 1	> 0,5	< 5,0

* bei Nennspannung sowie bis ca. 20 % Absenkung, Windgeschwindigkeit < 4,5 m/s und 10 Pa Widerstand des angenommenen Lüftungssystems

Prüfbedingungen und -durchführung

Der DLG-FokusTest „Abluftfahrenüberhöhung“ wurde als Laborprüfung und als Praxiseinsatz durchgeführt. Alle Messungen erfolgten als Vergleichsmessung an einem Abluftkaminsystem jeweils mit und ohne eingebautes Nachleitrad.

Mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation wurden Abluftfahrenüberhöhungen bei verschiedenen Zuständen durch das Institut für Technologie und Biosystemtechnik der FAL Braunschweig berechnet. Dazu wurde das CFD-Strömungssimulationsprogramm COMET genutzt, welches zur Berechnung von Gebäude- durch- und umströmungen anwendbar ist.

Bei der Laborprüfung wurden am DLG-Kammerprüfstand für Ventilatoren Messungen zur Ermittlung des Strömungsprofils bei unterschiedlichen Ventilatorspannungstufen vorgenommen. Dazu wurde die Luftgeschwindigkeit mit einem Hitzdraht-Anemometer nach folgendem Messstellenraster ermittelt:

- waagerechte Messebene auf der Mittellachse des Luftstrahls,
- ausgehend vom Luftaustritt am Diffusor in 1 m-Abständen bis zu 10 m Entfernung,
- Messpunkte rechtwinklig zur Mittellachse beidseitig im Abstand von:
0, 25, 50, 75 und 100 cm.

Beim Praxiseinsatz erfolgten vergleichende Rauchgasuntersuchungen an einem Stallgebäude (Schweinemaststall mit insgesamt 875 Plätzen, Abteilgröße 175 Plätze). Dabei wurde bei gleichen Einsatzbedingungen das Austrittsverhalten der eingefärbten Abluftfahne beobachtet.

Bei der Prüfung wurde das Abluftkaminsystem vom Typ „Big Dutchman, CL -600“ mit einem Rohrinrendurchmesser von Ø 650 mm und ca. 4.100 mm Gesamtlänge eingesetzt. Es setzt sich aus folgenden Elementen zusammen:

- Einströmdüse (200 mm lang),
- 1. Rohrstück*) mit Axialventilator (Hersteller: Ziehl-Abegg AG, Typ: FC063-6ET.41.3, 1-phasig, spannungsregelbar, 0,6 kW, 890 U/min),
- 5 weitere Rohrstücke*), Dachring (400 mm lang) und Diffusor¹⁾.

Das Nachleitrad wurde im 2. Rohrstück direkt nach dem Axialventilator eingebaut.



*Bild 1:
Einbausituation des Nachleitrades
im Abluftkaminsystem (beispielhafte
Schnittbilddarstellung; durch
geringere Anzahl an Rohrstücken
ist die Gesamtlänge hier kürzer als
beim Prüfmuster)*

¹⁾ je 500 mm lang

Prüfungsergebnisse

I. Laborprüfung

Der Einsatz mit oder ohne Nachleitrad hat Einfluss auf die Kennwerte des Abluftkaminsystems. Die Ergebnisse der Luftleistungsmessung in der geprüften Konfiguration sind in Bild 2 dargestellt. Tabelle 1 enthält eine Übersicht der wichtigsten Kennwerte aus den Vergleichsmessungen mit und ohne Nachleitrad. Mit dem Einbau des Nachleitrades vermindert sich bei gleicher Betriebsspannung der Luftvolumenstrom um 2,5 bis 7 %; je geringer die Spannung umso größer der prozentuale Unterschied. Bei gleichem Volumenstrom beträgt der Druckverlust bei Nennspannung und 10 Pa angenommenen Widerstand des angenommenen Lüftungssystems ~ 6 Pa (Bild 4) mit Nachleitrad. Dieses Ergebnis spiegelt sich in den Werten zur spezifischen elektrischen Leistung wieder. Mit Nachleitrad werden ~ 2 W je 1000 m³/h Abluftvolumenstrom mehr verbraucht, d.h. ~ 6 % mehr Elektroenergie.

Die Ergebnisse zum Strömungsprofil nach dem Austritt der Abluft aus dem Abluftkaminsystem sind bei Nennspannung im Bild 3, 4 und 5 dargestellt. Es ist erkennbar, dass durch die drallmindernde Wirkung des Nachleitrades das Geschwindigkeitsprofil in radialer Richtung geringer ausfächert und sich in axialer Richtung ein deutlich ausgeprägter Kernstrahlbereich mit insgesamt höherem Geschwindig-

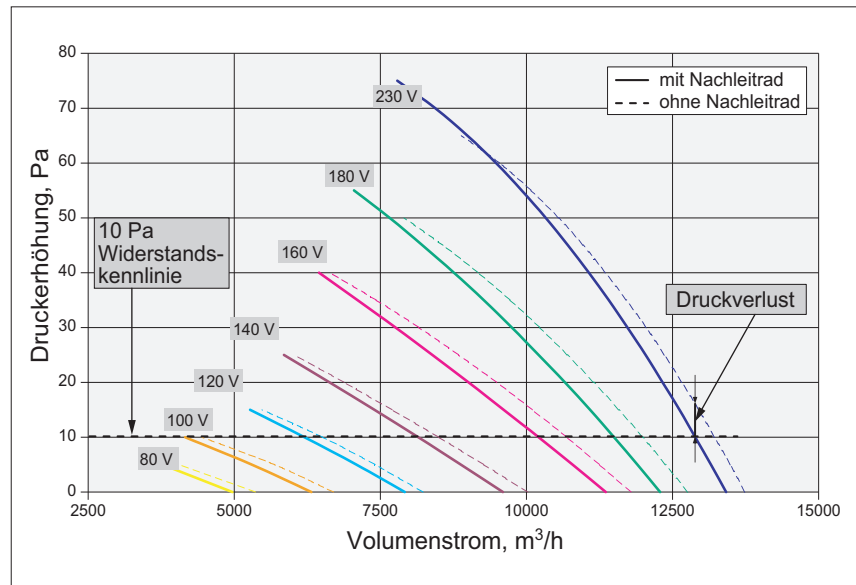


Bild 2:
Luftleistungskennlinien des Ventilators FC063-6ET.41.3
beim Einsatz im Abluftkaminsystem mit Nachleitrad

Hinweis:

Die dargestellte Widerstandskennlinie von 10 Pa stellt eine Kennlinie von einem angenommenen Lüftungssystem dar.

keitsniveau ausbildet. Mit Nachleitrad werden im Kernstrahl beispielsweise 4 m/s noch nach ~ 7 m Abstand erreicht. Dagegen wird ohne Nachleitrad dieser Geschwindigkeitswert bereits nach ~ 3 m unterschritten. Diese Tendenzen bleiben auch im Regelbetrieb, d. h. bei abgesenkten Spannungen, erhalten (Tabelle 2). Die Geschwindigkeitsdifferenzen betragen 1 bis 2 m/s, wobei die höheren Werte vorwiegend im Abstandsbereich von 2 bis 4 m ermittelt wurden.

II. Praxiseinsatz

Im Praxiseinsatz wurde das Abströmverhalten anhand von Form und Richtung der eingefärbten Abluftfahne unter gleichen stallseitigen, meteorologischen und topografischen Bedingungen visuell beobachtet.

Bei allen Einstellungen war ein Unterschied zwischen der Abluftfahne vom Abluftkamin mit bzw. ohne Nachleitrad gut zu erkennen. Am

Tabelle 1:

Kennwerte mit und ohne Nachleitrad bei 10 Pa konstantem Widerstand eines angenommenen Lüftungssystems

elektrische Spannung V	Volumenstrom				spezifische elektrische Leistung			
	mit	ohne	Differenz		mit	ohne	Differenz	
		m³/h		%	W/1000 m³/h			%
230	12890	13220	-330	-2,5	37,9	35,9	2,0	5,6
180	11500	11990	-490	-4,1	34,7	32,7	2,0	6,1
160	10210	10690	-480	-4,5	35,1	33,0	2,1	6,4
140	8150	8500	-350	-4,1	36,4	34,4	2,0	5,8
120	6200	6510	-310	-4,8	37,3	35,0	2,3	6,6
100	4160	4450	-290	-6,5	39,2	36,9	2,3	6,2
80 ^{*)}	3770	4060	-290	-7,1	27,9	26,6	1,3	4,6

^{*)} Messwerte bei 5 Pa, eine Druckerhöhung von 10 Pa wurde nicht erreicht

Kamin mit Nachleitrad zeigte die Abluftfahne eine kompaktere gebündeltere Form und sie erreichte einen größeren senkrechten Quellhöhenanteil (Bild 6 und 7).

III. Berechnungen und Simulation

Aufgrund der spezifischen Emissionssituation landwirtschaftlicher Tierhaltungsanlagen, mit z. B. vergleichsweise geringen Gebäudehöhen, werden für die Geruchs- und Ammoniakausbreitung Angaben zur Abluftfahnenüberhöhung innerhalb von Genehmigungs- und Überwachungsverfahren berechnet und simuliert. Grundlage sind die TA Luft und darauf basierende Richtlinien, z.B. die VDI 3782 „Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre – Berechnung der Abluftfahnenüberhöhung“.

Für den landwirtschaftlichen Bereich sind zudem die VDI-Richtlinie „3471 und 3472 Emissionsminderung – Tierhaltung“ verfügbar. Darin wird u. a. festgestellt, dass besonders Zeiten mit geringer Luftgeschwindigkeit und Windstille in Bodennähe kritisch für die Ausbreitung sind (Bild 9). Zudem nimmt die Windgeschwindigkeit mit zunehmender Höhe über dem Erdboden zu; so kann z. B. der Anteil an Windstillen in 5 m Höhe doppelt so hoch sein wie in 10 m.

Nach [1] berücksichtigen vielfach die Formeln zur Abluftfahnenüberhöhung nicht so genannte Downwash-Effekte, d. h. eine Verwirbelung und Absenkung der Abluftfahne im Leebereich des Gebäudes. Zusätzlich wirkt sich aus, dass bei diesen Berechnungen von einer idealisierten drallfreien Strömung am Abluftaustritt ausgegangen wird. Die Berechnungen bei Anwendung der VDI 3782 führen dabei zu deutlich höheren Werten von Δh als die Berechnungen gemäß der Tierhaltungsrichtlinie VDI 3471. Die Ergebnisse der hier

[1] Krause, K.-H., Linke, S.:

Abluftfahnenüberhöhung beim Stallbetrieb mit Zwangslüftung, in LANDTECHNIK 5/2006

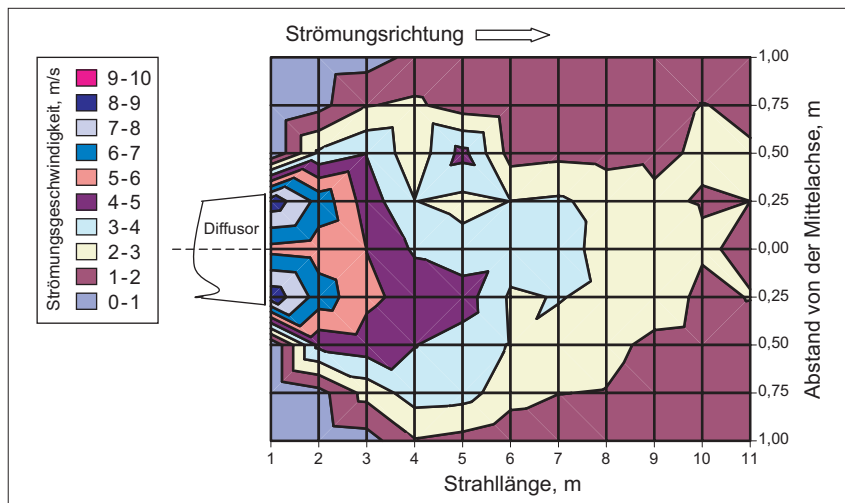


Bild 3:
Profil der Abluftaustrittsströmung –
Abluftkaminsystem ohne Nachleitrad bei 230 V Betriebsspannung

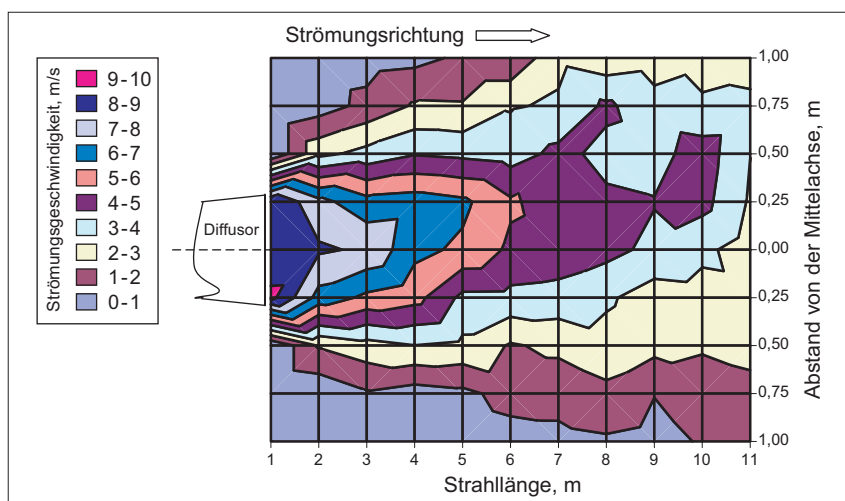


Bild 4:
Profil der Abluftaustrittsströmung –
Abluftkaminsystem mit Nachleitrad bei 230 V Betriebsspannung

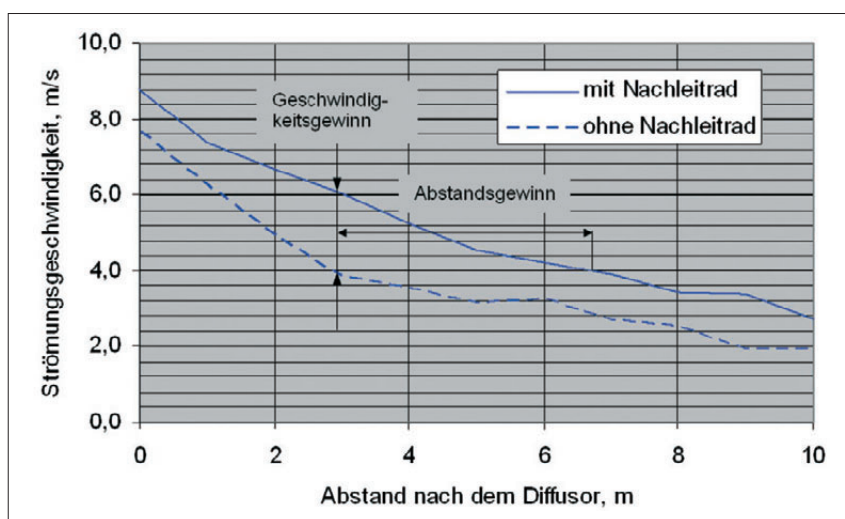


Bild 5:
Mittlere Geschwindigkeit¹⁾ der Abluftaustrittsströmung im Kernbereich –
Abluftkaminsystem bei 230 V Spannung und 10 Pa Widerstand des angenommenen Lüftungssystems

¹⁾ Mittelwert aus 3 Messwerten: Achsenmitte und $\pm 0,25$ m radialer Abstand

Tabelle 2:
Strömungsgeschwindigkeit der Abluft nach dem Diffusoraustritt

elektrische Spannung	mittlere Strömungsgeschwindigkeit ¹⁾ , [m/s] / Abstand nach dem Diffusor, [m]											
	0			2			4			6		
	ohne NLR	mit NLR	Diff.	ohne NLR	mit NLR	Diff.	ohne NLR	mit NLR	Diff.	ohne NLR	mit NLR	Diff.
V												
230	7,7	8,8	1,1	4,9	6,7	1,8	3,5	5,3	1,8	3,2	4,2	1,0
180	6,4	8,1	1,7	4,2	5,6	1,4	3,1	4,6	1,5	2,7	3,9	1,2
160	5,7	6,7	0,9	3,9	4,9	1,0	2,6	3,8	1,2	2,5	3,1	0,6
140	3,7	5,6	1,9	2,7	4,1	1,4	2,4	3,1	0,8	1,6	2,3	0,7
120	2,4	3,7	1,2	2,2	3,2	1,0	1,6	2,3	0,7	1,2	1,8	0,6
100	1,0	2,1	1,1	0,7	1,5	0,8	0,6	1,2	0,7	0,4	1,1	0,6

¹⁾ Mittelwert aus 3 Messwerten: Achsenmitte und $\pm 0,25$ m radialer Abstand,
Messwerte bei 80 V Spannungseinstellung sind nicht angegeben, da nur maximal 0,2 m/s direkt am Diffusoraustritt gemessen wurden.

durchgeführten Simulationsrechnungen liegen zwischen denen der genannten Näherungsformeln.

Simulationsrechnung mit/ohne Nachleitrad

Aufgrund der Ergebnisse aus den zuvor genannten Strömungsgeschwindigkeitsmessungen ist ersichtlich, dass der axiale Strömungsanteil mit Nachleitrad deutlich höher ist. Dies ist eine Folge des reduzierten Dralls in der Strömung mit Nachleitrad. Da der

deutlich sichtbare Einfluss des Dralls in den VDI-Richtlinien-Formeln keine Berücksichtigung findet, wurden mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation Abluftfahnenüberhöhungen bei verschiedenen Strömungszuständen berechnet (FAL Braunschweig).

Bei dieser Simulation werden achsenmittig an der Auslassfläche des Abluftkamins ein masseloses Partikel und am Kaminrand eine definierte Konzentration an Ammoniak von 20 ppm freigesetzt. Die Flug-

bahn des Partikels wird zur Ermittlung der Abluftfahnenüberhöhung herangezogen; die Konzentrationsverteilung dient zur Verdeutlichung des Abströmverhaltens.

Folgende Ausgangsparameter liegen der Simulationsrechnung zugrunde:

- Gebäudehöhe: 10 m,
- Strömungsrotation (Drall): 153 U/min (Angabe vom Anmelde) ohne Nachleitrad und 0 U/min (Festlegung) mit Nachleitrad,



Bild 6:
Rauchfahne ohne Nachleitrad



Bild 7:
Rauchfahne mit Nachleitrad

Angaben zum Stallgebäude

- Schweinemaststall mit 875 Plätzen, 6 Abteile und Zwangsentlüftung,
- 34 x 26 m Gebäudegrundfläche, 14° Dachneigung, 6,4 m Firsthöhe über Flur,
- ca. 1,5 m Kaminaustrittshöhe über Dach

Meteorologische Bedingungen beim Test

- 17 °C Lufttemperatur, 986 hPa Luftdruck, bewölkt,
- Windgeschwindigkeit 1,5 bis 2 m/s

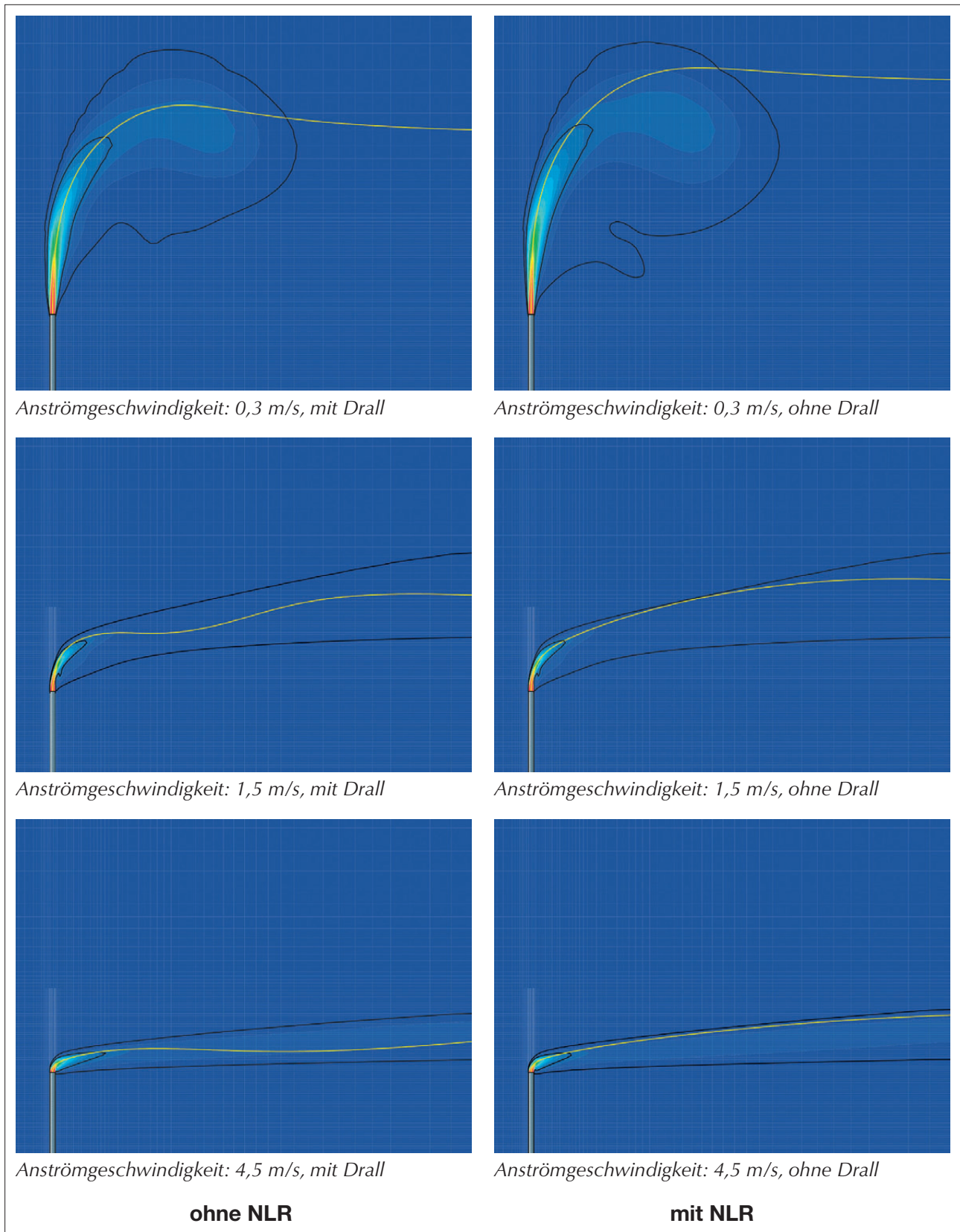


Bild 8:

Darstellung des simulierten Abströmverhaltens anhand der Ausbreitung der Ammoniakfahne mit und ohne Nachleitrad (NLR) für das geprüfte Abluftkaminsystem

Erläuterungen zur Grafik:

- Ammoniakkonzentration: Flächen **blau** = 0, **grün** = 10 und **rot** = 20 ppm,
- Ammoniak-Konzentrationslinien ($c_0 = 20$ ppm) für $1/10 c_0$ und $1/100 c_0$: **schwarze Linien**,
- Bahnlinie des masselosen Partikels: **gelbe Linie**
- Dargestellter Bereich: 50 x 50 m

- Strömungsgeschwindigkeit am Austritt: 8 m/s (mit und ohne Nachleitrad), entspricht einer Betriebsspannungseinstellung von 230 V und
- Windgeschwindigkeit als parabelförmige Anströmung in 10 m Höhe: 0,3; 1,5 und 4,5 m/s.

Zur Darstellung des Abströmverhaltens wurde das Ausbreitungsverhalten der Ammoniakfahne bei den simulierten Anströmgeschwindigkeiten abgebildet (Bild 8). In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Abluftfahnenüberhöhung zusammengefasst. Mit Nachleitrad erreicht die Abluftfahne immer größere Höhen. Die Höhendifferenzen erreichen innerhalb dieser simulierten geringen Windstärken (< 3 Bft entspricht ~ 4,5 m/s) Werte von ca. 2 bis 4 m, welches wiederum einer Zunahme von ca. 20 bis 90 % entspricht.

Unter Verwendung der in der Simulation ermittelten mathematischen Funktionen wurde der Geschwindigkeitsbereich bis auf 10 m/s erweitert und in Bild 10 dargestellt. Es ist hier zusätzlich erkennbar, dass sich der Einfluss der Windgeschwindigkeit ab ca. 3 m/s abschwächt. Bei 10 m/s Windgeschwindigkeit werden mit Nachleitrad noch ca. 5 m Fahnenüberhöhung und ohne 2,5 m erreicht.

Bei reduzierter Betriebsspannung liegt das Niveau der Abluftfahnenüberhöhung, sowohl beim Betrieb mit als auch ohne Nachleitrad niedriger. Dementsprechend werden die Differenzen zwischen beiden Betriebszuständen ebenfalls niedriger.

Bild 11 zeigt exemplarisch die mit Hilfe einer aus zahlreichen Simulationsrechnungen abgeleiteten Näherungsformel (FAL Braunschweig) ermittelten Abluftfahnenüberhöhungen bei unterschiedlichen Spannungen; dazugehörige Volumenströme siehe Bild 2 bzw. Tabelle 1.

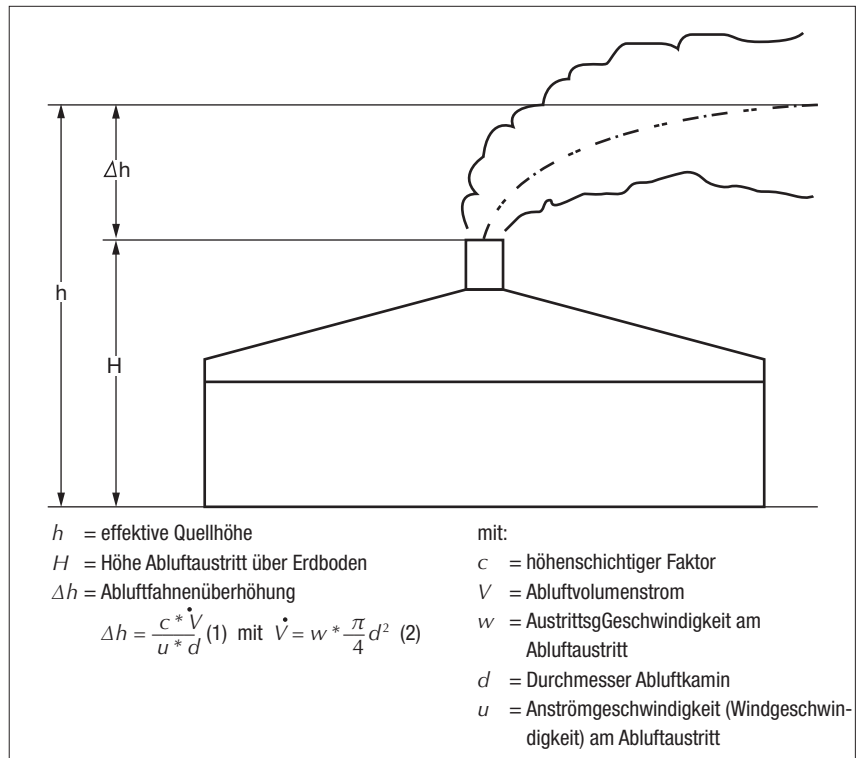


Bild 9:
Schematische Darstellung und Berechnung der Abluftfahnenüberhöhung nach VDI 3471/3472 „Emissionsminderung; Tierhaltung – Schweine/Hühner“

Tabelle 3:
Abluftfahnenüberhöhung

Anströmgeschwindigkeit	Nachleitrad ohne	Nachleitrad mit	Höhenzunahme absolut	Höhenzunahme prozentual
0,3 m/s	24,9 m	29,3 m	4,4 m	18 %
1,5 m/s	11,5 m	13,3 m	1,8 m	16 %
4,5 m/s	3,7 m	6,8 m	3,1 m	86 %

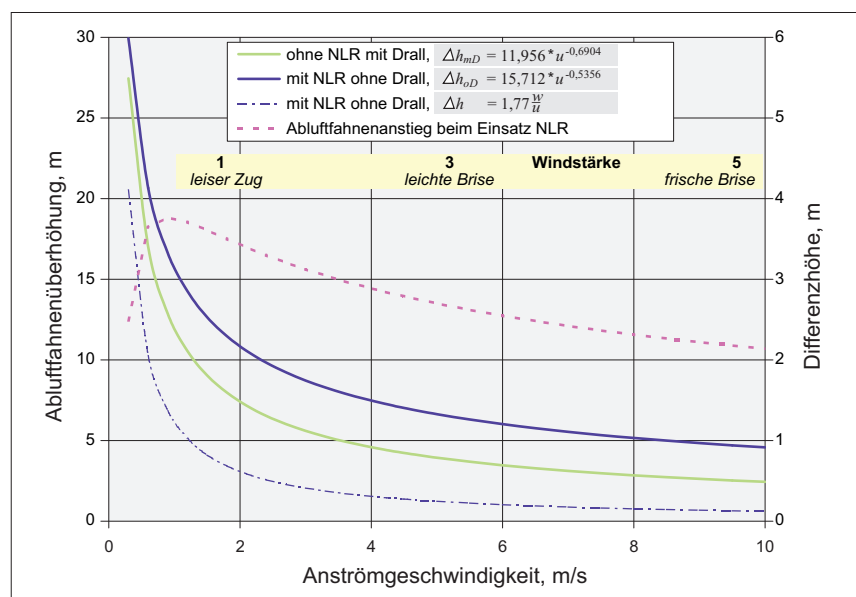


Bild 10:
Abluftfahnenüberhöhung bis 10 m/s Anströmgeschwindigkeit – Abluftkaminsystem bei 230 V Betriebsspannung und 10 Pa Widerstand des angenommenen Lüftungssystems

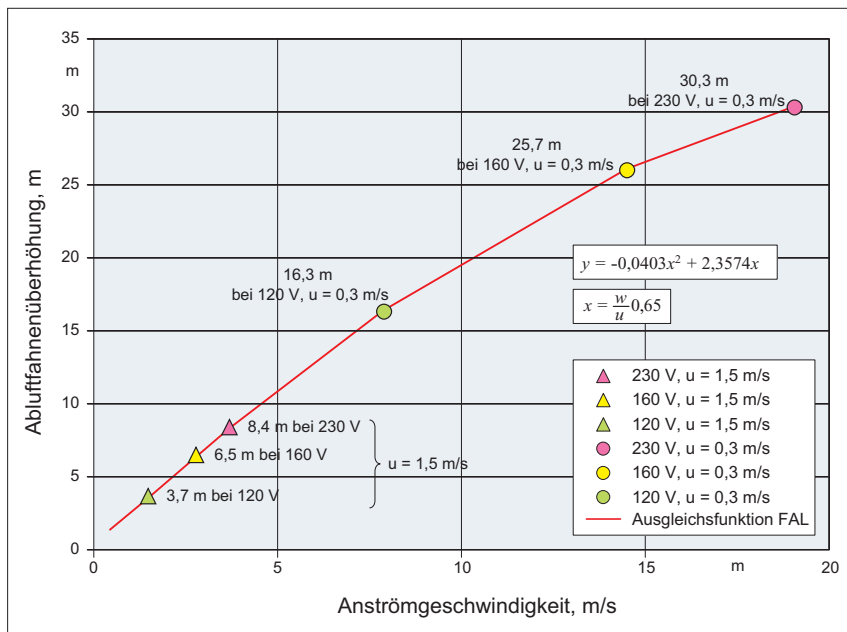


Bild 11:

Abluftfahnenüberhöhungen für ausgewählte Betriebsspannungen bei zwei Geschwindigkeiten im Niedrigwindbereich mit eingebautem Nachleitrad im 230 und 160 V – Abluftkaminsystem und bei 230 V Betriebsspannung und 10 Pa Widerstand des angenommenen Lüftungssystems

Erläuterungen zur Grafik:

$$x = \frac{w}{u} d$$

- Für x gilt allgemein der Ausdruck: mit $d = 0,65$ m für den geprüften Abluftkamin folgt die x-Achsenbezeichnung
- Definition der Formelzeichen siehe Bild 8

Der FokusTest umfasste Untersuchungen unter Laborbedingungen, einen Praxistest und eine numerische Strömungssimulation.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse erfüllt das „Nachleitrad für die Landwirtschaft“ bezüglich des Prüfkriteriums „Abluftfahrenüberhöhung“ die Anforderungen (Bewertung (o) oder besser) für die Vergabe des Prüfzeichens DLG-FokusTest.

Andere Kriterien wurden nicht geprüft.

Prüfungsdurchführung

DLG e.V.,
Testzentrum
Technik & Betriebsmittel,
Max-Eyth-Weg 1,
64823 Groß-Umstadt

Projektleiter

Dipl.-Ing. W. Huschke

Technik, Sicherheit, Qualität

Dipl.-Ing. W. Gramatte



ENTAM – European Network for Testing of Agricultural Machines, ist der Zusammenschluss der europäischen Prüfstellen. Ziel von ENTAM ist die europaweite Verbreitung von Prüfergebnissen für Landwirte, Landtechnikhändler und Hersteller. Mehr Informationen zum Netzwerk erhalten Sie unter **www.entam.com** oder unter der E-Mail-Adresse: **info@entam.com**

10/2006

© DLG



DLG e.V. – Testzentrum Technik und Betriebsmittel

Max-Eyth-Weg 1, D-64823 Groß-Umstadt, Telefon: 069 247 88-600, Fax: 069 247 88-690
E-Mail: Tech@DLG.org, Internet: www.dlg-test.de

Download aller DLG-Prüfberichte kostenlos unter: www.dlg-test.de!