

— Stellungnahme —

zur aerodynamischen Optimierung von
Abluftanlagen mit Regenschutzhauben

Stuttgart, Oktober 2019

Die Stellungnahme ist urheberrechtlich geschützt. Sie darf Dritten, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Autors zugänglich gemacht werden.

1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Die Firma IBO Umwelt GmbH entwirft und optimiert unter anderem Abluftanlagen für industrielle Kunden. In einer vorangegangenen Beauftragung wurde das Potenzial von Diffusoren vor dem Abluftauslass untersucht, die einen Teil der ansonsten ungenutzten kinetischen Energie im Luftstrahl zurückgewinnen und so einen effizienteren Betrieb der gesamten Anlage ermöglichen. Der dadurch erhöhte statische Druck gestattet dabei eine Reduktion der Antriebsleistung bei gleichbleibender Förderleistung.

In der Vorgängeruntersuchung wurde nun nachgewiesen, dass ein solcher Diffusor bei optimaler Auslegung tatsächlich den theoretisch möglichen Druckgewinn fast vollständig erbringt. In der konkreten Installationssituation sind jedoch häufig noch weitere praktische Randbedingungen zu berücksichtigen. So ist in der Regel ein Regenschutz vorzusehen, der verhindert, dass Niederschlag in die Abluftanlage dringen und so den Betrieb beeinträchtigen oder gar die Anlage beschädigen kann. Hierfür können beispielsweise entsprechende Hauben angebracht werden, die durch geeignete Umlenkungen ein direktes Eindringen unterbinden und den Ablauf des Niederschlagswassers außerhalb der Abluftleitung gewährleisten.

2 Aerodynamische Messungen

2.1 Aufbau

Der in Abbildung 1 gezeigte Prüfstand der Vorgängeruntersuchung wurde wieder verwendet. Dieser besteht aus einem Radiallüfter, einer Beruhigungsstrecke, einem Gaszähler zur präzisen Messung des Volumenstromes sowie den eigentlichen Maßnahmen am Auslass, nämlich alternativ zum klassischen zylindrischen Auslass den beiden Diffusoren und Regenschutzhauben der Fa. Berliner Luft. Ein Teil der gelieferten Komponenten ist in Abbildung 2 dargestellt. Über eine Ansaugblende am Lüfter kann der Volumenstrom eingestellt werden, über die Ringleitungen am Rohrende wird der statische Druck abgenommen und als Differenz zur Umgebung gemessen. Der Prüfstand ist mit einer Nennweite von 155 mm ausgeführt. Extern wird auch noch Luftdruck, Luftfeuchte und Temperatur gemessen, aus denen die Luftdichte am Messtag zu $1,135 \text{ kg/m}^3$ bestimmt wird. Kontrollmessungen ergaben eine Genauigkeit der Druckmessung von einzelnen Pascal, der Gaszähler ist mit einer Genauigkeit besser 1% spezifiziert.

2.2 Theorie

In der vorangegangenen Stellungnahme wurde der theoretisch mögliche Druckgewinn hergeleitet zu

$$\Delta p_{\text{Theorie}} = p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2} u_1^2 \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right) = \frac{\rho}{2} u_1^2 \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 \right)$$

mit dem Querschnittsverhältnis $\frac{A_1}{A_2}$ (als Diffusor $A_2 > A_1$) beziehungsweise dem Durchmesser-
verhältnis $\frac{D_1}{D_2}$. Für den reinen Diffusor der Vorgängeruntersuchung konnte dieser theoretisch mögliche Druckgewinn im Rahmen der Messgenauigkeit auch vollständig erzielt werden.



Abbildung 1: Abluftprüfstand (im Vordergrund)



(a) Regenschutzhaube mit Adapter



(b) Diffusor

Abbildung 2: Von Berliner Luft gelieferte Teile

Dieser Druckgewinn entspricht einem reduzierten strömungsmechanischen Leistungsbedarf um

$$\Delta P_{\text{Luft}} = \dot{V} \cdot \Delta p_{\text{Gebläse}},$$

wobei für das Einsparpotenzial an elektrischer Leistung noch die Wirkungsgrade von Antriebsventilator und Elektromotor zu berücksichtigen sind.

2.3 Messung

Für die Messung wurden unterschiedliche Konfigurationen untersucht. Als Referenz dient der zylindrische Auslass ohne weitere Anbauten, des weiteren wurden die beiden Diffusoren mit den Enddurchmessern 250 mm und 315 mm separat angebaut und schließlich noch die Diffusoren mit den passenden Regenschutzhauben. Da diese über einen quadratischen Anschlussflansch verfügen, kam jeweils ein mitgelieferter Adapter zum Einsatz, wobei für den großen Diffusor ein kurzer und ein langer Adapter vermessen wurden. Der kleine Diffusor hatte zunächst einen eingangsseitig zu geringen Querschnitt und zu großen Öffnungswinkel und wurde dann durch eine besser passende Variante ersetzt, die in Abbildung 3 am Prüfstand angebaut ist.

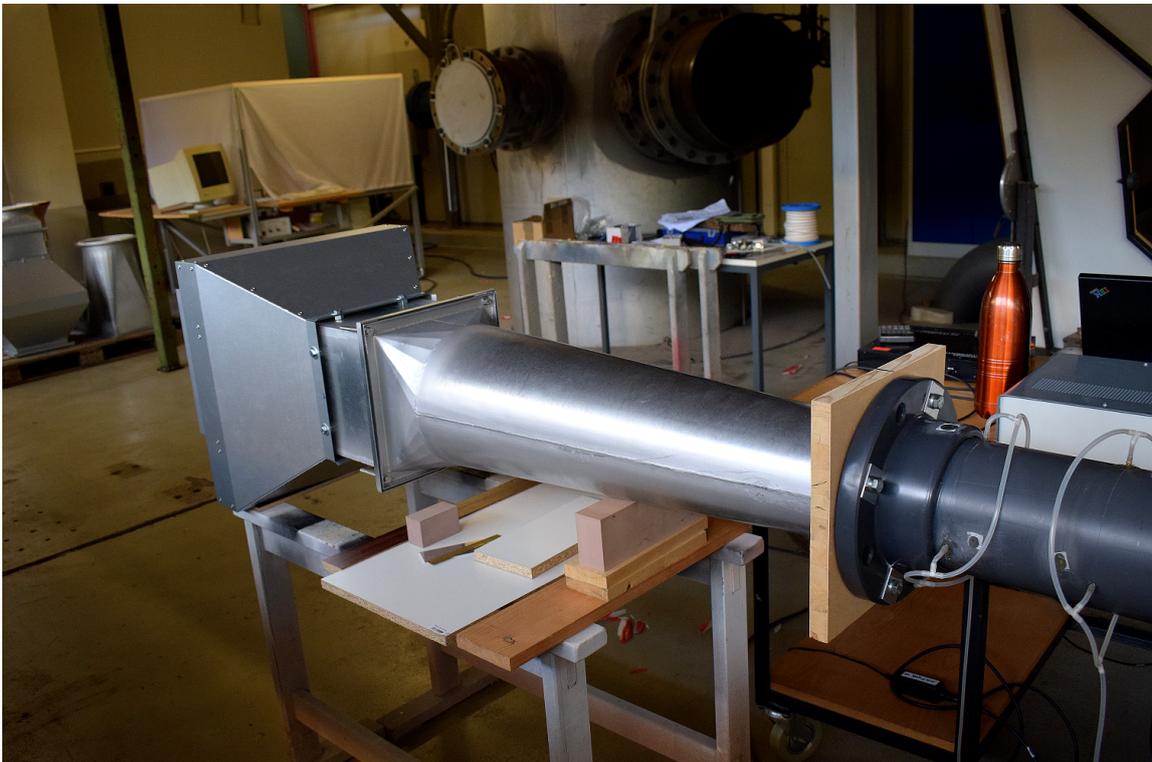


Abbildung 3: Optimierter kleiner Diffusor mit Haube

Insgesamt ergaben sich so 7 unterschiedliche Konfigurationen, die jeweils bei zwei unterschiedlichen Volumenströmen mit je 3 Wiederholungen vermessen wurden. Zur Kontrolle wurde der direkte Auslass ohne weitere Anbauten zuokm Ende der Kampagne nochmals vermessen. Hierbei ergab sich folgendes Bild.

Auslass	Variante	Haube	\dot{V} m ³ /h	u_{Rohr} m/s	u_{Auslass} m/s	Δp_{Gewinn} Pa	$\Delta p_{\text{Theorie}}$ Pa	η %
ohne	-	-	1000	14,7	14,7	-5	0	-
		-	500	7,4	7,4	-1	0	-
klein	alt	-	1000	14,7	3,8	3	115	2%
		-	500	7,4	1,9	-1	29	-4%
	neu	-	1000	14,7	3,8	89	115	77%
		-	500	7,4	1,9	22	29	76%
		X	1000	14,7	3,8	81	115	70%
		X	500	7,4	1,9	20	29	69%
groß	-	-	1000	14,7	2,7	78	120	65%
		-	500	7,4	1,4	20	30	66%
	kurz	X	1000	14,7	2,7	78	120	65%
		X	500	7,4	1,4	20	30	66%
	lang	X	1000	14,7	2,7	81	120	68%
		X	500	7,4	1,4	20	30	66%
ohne	-	-	1000	14,7	14,7	-5	0	-
		-	500	7,4	7,4	-2	0	-

Die Reproduzierbarkeit der Messungen bei den drei Wiederholungen sowie mit der zusätzlichen Messung ohne Anbau zum Ende war ausgezeichnet. Die Ergebnisse der Wirkungsgradbestimmung sind sehr konsistent, auch wenn etwas größere Verluste als mit den ursprünglichen Diffusoren aufgetreten sind. Dies ist zu erklären durch die zusätzlichen Verluste an den Übergängen, insbesondere mit den Adaptern.

2.4 Bewertung

Bemerkenswert ist, dass in der "alten" Variante des kleinen Diffusors durch den dort realisierten zu großen Öffnungswinkel der erhoffte Effekt des Druckrückgewinns praktisch gänzlich ausgeblieben ist. Die Untersuchung mit Wollfäden offenbarte erhebliche Ablöseprobleme. Der nachgelieferte "neue" Diffusor mit dem korrekten Öffnungswinkel von 7° zeigte mit der Fadensonde deutlich geringere Ablöseerscheinungen und in der Folge die erwartete Wirkung. Erstaunlicherweise war der große Diffusor von dem ebenfalls zu groß geratenen Öffnungswinkel kaum betroffen. Es wäre zu erwarten, dass hier durch eine vergleichbare Korrektur noch eine leichte Verbesserung der Wirkung eintreten könnte, allerdings bei entsprechender Zunahme der Baulänge. In absoluten Zahlen ist das Potenzial dafür jedoch vergleichsweise gering. Auch der Übergang vom runden Diffusorquerschnitt auf den quadratischen Eingang der Regenschutzhaube ist von untergeordneter Bedeutung. Interessehalber wurden am großen Diffusor die kurze und die lange Variante vermessen, mit vernachlässigbaren Unterschieden. Baulänge und Materialverbrauch sprechen hier für den kurzen Übergang.

Eine wichtige Erkenntnis ist auch, dass die Regenschutzhaube selbst so gut wie keinen weiteren Druckverlust verursacht. Beim kleinen Diffusor ist noch ein minimaler Effekt an der Grenze des Messfehlers sichtbar, während am großen Diffusor tatsächlich gar kein Einfluss spürbar ist. Die geringe Querschnittserweiterung zwischen Ein- und Austritt der Haube kompensiert offenbar die ohnehin geringen internen Verluste, zumindest bei den hier vermessenen niedrigen Geschwindigkeiten.

2.5 Anwendung

Für eine kommerzielle Verwertung sind weitere Randbedingungen zu beachten. So sind wohl mindestens 7 m/s Auswurfgeschwindigkeit vorgeschrieben, was – je nach Konfiguration – deutlich oberhalb der gemessenen Werte liegt. In der aktuellen wie auch vorangegangenen Untersuchung hat sich jedoch gezeigt, dass der Gewinn ausgezeichnet mit dem Geschwindigkeitsquadrat skaliert, so dass die Ergebnisse einfach umgerechnet werden können.

Für die kleine Regenschutzhaube wäre hierzu ein Volumenstrom von etwa $1600 \text{ m}^3/\text{h}$, notwendig, für die große gar $2300 \text{ m}^3/\text{h}$. Dabei wäre jeweils ein Druckgewinn von 95 Pa beziehungsweise sogar 260 Pa zu erwarten. Mit konservativen Wirkungsgraden von 50% für das Gebläse und 60% für den elektrischen Antrieb ergibt das bei Dauerbetrieb ein Einsparungspotenzial von 2700 und 7600 kWh pro Jahr. Vereinfachend wird dazu davon ausgegangen, dass mit und ohne Diffusor durch eine entsprechende Nachregelung des Gebläses der gleiche Volumenstrom gefördert wird und Gebläse wie Motor jeweils etwa im Bereich des maximalen Wirkungsgrades betrieben werden.

3 Zusammenfassung

Auch für die Ausführung mit Diffusoren und Regenschutzhauben der Fa. Berliner Luft konnte die aerodynamische Funktion nachgewiesen und im Experiment quantifiziert werden. Die erzielten Gewinne der Diffusoren sind etwas geringer als mit der zuvor untersuchten generischen Variante, dafür sind die Verluste durch die Haube minimal.

Interessanterweise unterscheiden sich der große und der kleine Diffusor mit Regenschutzhaube kaum voneinander. Wegen des zu großen Öffnungswinkels beim großen Diffusor sind auch die Baulängen fast gleich. Insofern ist tendenziell der kleine Diffusor in der Materialbilanz und beim Bauraum etwas günstiger, ohne spürbare aerodynamische Einbußen.

Ein Einsatz erscheint vor allem dort ökonomisch sinnvoll, wo momentan mit relativ hohen Rohrgeschwindigkeiten operiert wird, da die Geschwindigkeit letztlich mit der dritten Potenz in die Leistungsbilanz eingeht. Die regulatorische Beschränkung der Auslassgeschwindigkeit nach unten begrenzt etwas den Effekt, allerdings erst bei Werten, die ohnehin nicht mehr sonderlich wirtschaftlich sind. Zu beachten ist auch noch, dass je nach Kennlinie des möglicherweise unregelmäßigen Antriebes der Effekt erheblich geringer wird, da dieser möglicherweise durch einen höheren Volumenstrom und damit einer – eigentlich unnötigerweise – erhöhten Förderleistung kompensiert wird. Der wirtschaftlich sinnvolle Einsatz oder gar die Nachrüstung eines solchen Diffusors bei Bestandsanlagen ist daher immer im Einzelfall zu betrachten und zu entscheiden.

Stuttgart, den 2.10.2019