HSLU Hochschule Luzern

Prüfstelle Gebäudetechnik

Prüfbericht Nr.:HP-222280

Vergleichsmessung Ventilatorensysteme

Prüfobjekte:	Ventilatorwand mit 3 EC-Ventilatoren, EBM-Papst Typ 3 x K3G560-PB31-71 Doppelseitig saugender Radialventilator, Gebhardt Typ RZR 11-800
Auftraggeber:	ZITT Motoren AG Herr Daniel Hüsser Rainstrasse 3 CH-8143 Stallikon
Prüflabor:	Hochschule Luzern Technik & Architektur Prüfstelle Gebäudetechnik Technikumstrasse CH-6048 Horw
Ort, Datum:	Horw, 14. Januar 2023

Freigabe:

Alex Primas, Dipl. Masch.-Ing. FH
Senior Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dieser Bericht umfasst 34 Seiten und darf ohne die schriftliche Genehmigung der Prüfstelle Gebäudetechnik nur in ungekürzter Form vervielfältigt werden.

Dateiname: r_20230114_HP 222280_Vergleichsmessung Ventilatorensysteme.docx

Inhaltsverzeichnis

1. Auftrag 3
2. Prüfobjekt, Eingangsdatum, Datum der Prüfung 3
2.1. Prüfling 1; «Fan Grid» aus drei Ventilatoren mit freilaufendem Laufrad 3
2.2. Prüfling 2; doppelseitig saugender Radialventilator 4
2.3. Prüfung 3; Fan Grid (Prüfling 1) mit Wandeinfluss an der Austrittseite 4
3. Prüfverfahren 5
3.1. Prüfplan 6
4. Messresultate 7
4.1. Bemerkung zu den Messresultaten 7
4.2. Messresultate Prüfling 1: Ventilatorwand 7
4.3. Messresultate Prüfling 2: Doppelseitig saugender Radialventilator 10
4.4. Messresultate Prüfung 3: Ventilatorwand (Prüfling 1) mit austrittseitigen Hilfswänden 13
4.5. Vergleich der Resultate zwischen den Prüfaufbauten 16
5. Interpretation der Messergebnisse 19
6. Schlussbemerkung 19
7. Anhang 1, Prüfaufbauten 20
7.1. Prüfaufbau 1 (Prüfling 1) 20
7.2. Prüfaufbau 2 (Prüfling 2) 21
7.3. Prüfaufbau 3 (Prüfling 1 mit Hilfswänden) 22
8. Anhang 2, Prüfeinrichtung 23
9. Anhang 3, Symbole und Formeln 24
9.1. Gemessene Werte; Beschreibung und Symbole 24
9.2. Formelzusammenstellung Berechnete Grössen 25
10. Anhang 4, Fotos 27
10.1. Prüfling 1 und Messaufbau Prüfung 1 27
10.2. Prüfling 2 und Messaufbau Prüfung 2 29
10.3. Messaufbau Prüfung 3 mit Prüfling 1 32
11. Anhang 5, Spezifikation Messgeräte 34
12. Anhang 6, Literaturhinweise 34

1. Auftrag

Der Messauftrag basiert auf der Offerte vom 11. August 2022 für eine Systemvergleichsmessung von zwei verschiedenen Ventilatorsystemen. Für jedes System werden Betriebspunkte im Volumenstrombereich von gut 17'500 m^3/h bis knapp 32'000 m^3/h gemessen. Bei der Vergleichsmessung ist die Leistungsaufnahme der beiden Systeme bei jeweils bei identischem Volumenstrom / Druck, zu ermitteln.

Für folgende Aufbauten werden Leistungsmessungen durchgeführt:

1. Prüfling 1: Ventilatorwand mit 3 EC-Ventilatoren, EBM-Papst Typ 3 x K3G560-PB31-71
2. Prüfling 2: doppelseitig saugender Radialventilator, Gebhardt Typ RZR 11-800 mit Antrieb von ZITT Motoren AG, Motortyp ZKPM-112-Y-MC-7,5
3. Prüfling 1: Ventilatorwand mit 3 EC-Ventilatoren, EBM-Papst Typ 3 x K3G560-PB31-71 mit umgebenden Wänden an der Austrittseite (Messung Systemeffekt der Störung)

2. Prüfobjekt, Eingangsdatum, Datum der Prüfung

2.1. Prüfling 1; «Fan Grid» aus drei Ventilatoren mit freilaufendem Laufrad

Prüfobjekt: Ventilatorwand mit 3 EC-Ventilatoren, EBM-Papst Typ 3 x K3G560-PB31-71

Daten: Eingang Prüfling: 10. Oktober 2022
Durchführung Leistungsmessung: 11. Oktober 2022 bis 14. Oktober 2022

Geometrische Dimensionen:
Die in Tabelle 1 zusammengestellten Dimensionen und Querschnittsflächen am Eintritt und Austritt des Ventilators wurden ermittelt und für die Berechnungen verwendet.

Tabelle 1: Prüfling 1; Dimensionen und Querschnittsflächen am Eintritt und Austritt

Element	Position *)	Abmessung	Querschnitt
Beruhigungskammer (iTC)	3	Ø 2500 mm	A_3 = 4.91 m^2
Ventilatoreintritt *)	1	Ø 380 mm (3x)	A_1 = 0.34 m^2
Ventilatoraustritt **)	2	Ø 655 mm, h = 200 mm (3x)	A_2 = 1.23 m^2
Laufrad		D_r = Ø 655 mm (3x)	

Hinweis: Bei Einbauart Kat. A ist Querschnitt A_2 und A_3 massgebend für Bestimmung des Ventilatordrucks P_f
*) Basierend auf Durchmesser am Ende des Einlauftrichters
**) Basierend auf Aussendurchmesser Laufrad und Austrittsbreite (inkl. Radius)

Weitere Details zum Prüfobjekt (Fotos, Dimensionen, Prüfaufbau) sind im Anhang 1 Kapitel 7.1 wiedergegeben.

2.2. Prüfling 2; doppelseitig saugender Radialventilator

Prüfobjekt: doppelseitig saugender Radialventilator, Gebhardt Typ RZR 11-800
mit Antrieb ZITT Motoren AG, Motortyp ZKPM-112-Y-MC-7,5

Daten: Eingang Prüfling: 18. Oktober 2022
Durchführung Leistungsmessung: 20. Oktober 2022 bis 24. Oktober 2022

Geometrische Dimensionen:
Die in Tabelle 2 zusammengestellten Dimensionen und Querschnittsflächen am Eintritt und Austritt des Ventilators wurden ermittelt und für die Berechnungen verwendet.

Tabelle 2: Prüfling 2; Dimensionen und Querschnittsflächen am Eintritt und Austritt

Element	Position *)	Abmessung	Querschnitt
Beruhigungskammer (iTC)	3	Ø 2500 mm	A_3 = 4.91 m^2
Ventilatoreintritt *)	1	Ø 586 mm (2-seitg)	A_1 = 0.54 m^2
Ventilataustritt **)	2	h = 1003 mm, b = 1003 mm	A_2 = 1.01 m^2
Laufrad		D_r = Ø 800 mm	

Hinweis: Bei Einbauart Kat. A ist Querschnitt A_2 und A_3 massgebend für Bestimmung des Ventilatordrucks P_f
*) Basierend auf Durchmesser am Ende des Einlauftrichters (beidseitig)
**) Basierend auf Kanalanschlussdimension am Ventilataustritt (Innenmass)

Weitere Details zum Prüfobjekt (Fotos, Dimensionen, Prüfaufbau) sind im Anhang 1 Kapitel 7.2 wiedergegeben.

2.3. Prüfung 3; Fan Grid (Prüfling 1) mit Wandeinfluss an der Austrittseite

Prüfobjekt: Ventilatorwand mit 3 EC-Ventilatoren, EBM-Papst Typ 3 x K3G560-PB31-71
Mit umgebenden Wänden an der Austrittseite (Messung Systemeffekt der Störung)

Daten: Eingang Prüfling: 9. Dezember 2022
Durchführung Leistungsmessung: 12. Dezember 2022 bis 19. Dezember 2022

Geometrische Dimensionen:
Die Dimensionen und Querschnittsflächen am Eintritt und Austritt des Ventilators sind identisch mit Prüfung 1 (Prüfling 1). Sie sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Dimensionen und Abstände der zusätzlich, austrittsseitig angebrachten Hilfswänden sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Dimensionen und Abstände austrittsseitig angebrachten Hilfswänden

Hilfswandelement	Breite	Höhe	Tiefe	Umschlossener Querschnitt
Umschlossener Bereich	2478 mm	1692 mm *)	1182 mm **)	$A_{Austritt}$ = 4.19 m^2
Hilfswandelement	Abstand 1	Abstand 2	Abstand 3	zu Laufräder ***)
Seitliche Elemente	508 mm	503 mm	912 / 908 mm	
Oberes Element	n.R.	n.R.	104 mm	
Unteres Element	114 mm	114 mm	n.R.	

Hinweis: Umschlossener Querschnitt $A_{Austritt}$ entspricht dem freien Elementquerschnitt in einem Lüftungsgerät
*) Bereich 1683…1701 mm (abhängig vom Messtandort, tiefere Wert in Elementmitte)
**) Innenmass (gemessen ab Rückwand bis Elementende am Austritt; Mass ab Montageplatte: 1.2 m)
***) Abstände zwischen Aussenradius Laufrad bis zur Wand; Abstand 1/ 2 beziehen sich auf untere Ventilatoren, Abstand 3 bezieht sich auf den Ventilator oben

Weitere Details zum Prüfobjekt (Fotos, Dimensionen, Prüfaufbau) sind im Anhang 1 Kapitel 7.3 wiedergegeben.

3. Prüfverfahren

Die Leistungsmessung wird in Anlehnung an SN EN ISO 5801:2017 «Ventilatoren – Leistungsmessung auf genormten Prüfständen» an der Prüfstelle Gebäudetechnik der HSLU durchgeführt.

Um eine vergleichbare Situation des Einbaus für alle Prüfobjekte zu erhalten, werden die Messungen gemäss Einbauart-Kategorie A durchgeführt. Der Aufbau basiert auf einem Prüfaufbau mit Prüfkammer auf der Eintrittsseite des zu prüfenden Ventilators (iTC) und einem freien Prüfraum auf der Austrittseite (oTS). Auf der Eintrittsseite wird in der Berechnung die Luftgeschwindigkeit in der Beruhigungskammer als vernachlässigbar betrachtet.
Der Aufbau des Ventilators an die Prüfeinrichtung (Beruhigungskammer) erfolgte wie in den Skizzen zum Aufbau im Anhang 1 in Kapitel 7 dargestellt.

Für alle Messungen wurden die Prüflinge mit 50 Hz Wechselstrom (Netzanschluss 380V, dreiphasig) gespiesen (Anschluss an den am Prüfling zur Verfügung gestellten Anschlussboxen).

In der Messung 3 (an Prüfling 1, «Fan Grid») wird Prüfling 1 auf der Austrittseite mit umgebenden Wänden gemessen, um den Systemeffekt zu ermitteln der sich in einem realen Gehäuse aus den druckseitig vorhandenen Gehäusedimensionen (Wände) ergibt. Die verwendeten Abstände und Dimensionen der umgebenden Wände sind in der Skizze zum Aufbau in Kapitel 7.1 dargestellt.

Abweichungen zur Norm SN EN ISO 5801:2017
Folgende Abweichung zu einer Messung nach Norm SN EN ISO 5801:2017 sind vorhanden:

- Prüfling 1 «Fan Grid»: Am geprüften Fan Grid werden die in SN EN ISO 5801:2017 (Bild I1) geforderten Abstände den Einzelventilatoren zueinander im Fan Grid nicht eingehalten.
- Prüfling 2 «Radialventilator»: Am geprüften doppelseitig saugenden Radialventilator werden die in SN EN ISO 5801:2017 (Bild 9) geforderten Abstände in der saugseitigen Prüfkammer nicht eingehalten (Abstand zur Druckmessung, geforderter Halbkugelradius am Eintritt).

Die Abweichungen zur Norm wurden mit dem Kunden vor der Durchführung der Messungen besprochen.

3.1. Prüfplan

Die Leistungsmessung an den Prüfobjekten wird bei den folgenden Bedingungen geprüft:

Tabelle 4: Prüfplan mit Messpunkten

Kurve	Messpunkt	q_v m^3/h	p_{fs} Pa	Bemerkung
Anlagen Kurve 1	4	25410	900	Einstellwert p_{fs} bei etwa 853 Pa *)
	8	22935	733	
	12	20430	581	
	16	17685	436	
Anlagen Kurve 2	A	**30000**	**718**	**Festgelegter Nennbetriebspunkt (Auslegungspunkt)**
	B	27375	594	Interpolierter Punkt auf Anlagenkuve zu Auslegungspunkt
	C	23031	426	Interpolierter Punkt auf Anlagenkuve zu Auslegungspunkt
	D	21446	365	Interpolierter Punkt auf Anlagenkuve zu Auslegungspunkt
Anlagen Kurve 3	3	33960	700	Einstellwert q_{Vsg1} bei etwa 31830 m3/h **)
	7	30600	567	
	11	27255	450	
	15	23625	338	Einstellwert p_{fs} bei etwa 327 Pa ***)
"Kurve" 4	14	30225	196	

Die Anlagenkurven: 4-8-12-16; A-B-C-D; 3-7-11-15 und 2-6-10-14 basierend auf der Funktion $P_{fs} = C \times q_v^n$ mit n = ca. 2

*) Sollwert für p_{fs} von 900 Pa konnte mit Prüfling 1 (Fan Grid) nicht erreicht werden

**) Sollwert für q_v von 33'960 m^3/h (bei p_{fs} = 700 Pa) konnte mit Prüfstand nicht erreicht werden

**) Einstellwert in Messung 1 lag bei 327 Pa, daher MP 15 Messung 2 und 3 auf möglichst gleichen Wert eingestellt.

In den drei Messungen werden die Messpunkte gemäss Tabelle 4 möglichst genau eingestellt (für q_v auf ca. +/- 0.2% für p_v auf ca. +/- 10 Pa). Siehe auch Bemerkungen in Tabelle 4.

Gemessen werden die Leistungsdaten gelieferten Ventilatorsystemen für die Druck-Volumenstrom Messpunkte gemäss Tabelle 4. Mit einem Leistungsmessgerät wird dabei die Leistungsaufnahme des Systems inkl. Motorenregelung (Messung an Netzanschlussseite) für jeden Messpunkt aufgezeichnet und dokumentiert. Die Messungen erfolgen bei Laborumgebungsbedingungen (Temperatur / Feuchte).

Der Messungen der Daten erfolgt gemäss Messchema vom Prüfaufbau in Abbildung 20.
Folgende Werte werden gemessen:

- Ein- und Austrittstemperatur der Luft (TR 502, TR 602)
- Luftfeuchte vor dem Prüfling (MR 503)
- Gesamtdruck vor dem Prüfling (PDR 501)
- Volumenstrom der Luft vor dem Prüfling (FR201), kompensiert mit TR502, PDR 501 und PR701)
- Ventilatorendrehzahl (SR 603); Für Prüfling 1 «Fan Grid» wird der Mittelwert der 3 Ventilatoren im Fan Grid im Bericht ausgewiesen
- Elektrische Leistungsaufnahme des Ventilatormotors inkl. mitgeliefertem FU (ER 605)
- Umgebungsbedingungen: Barometrischer Luftdruck (PR701), Lufttemperatur (TR 702), Luftfeuchtigkeit (MR 703)

Nicht gemessen wird die Wellenleistung des Ventilators (keine Messung mit Dynamometer)

Folgende Werte werden rechnerisch ermittelt:

- Luftdichte
- Massenstrom
- statischer Ventilatordruck p_{fs}

Ausgewertet werden Daten zur den Druck-Volumenstrom-Kennlinien inklusive der elektrischen Leistungsaufnahme der untersuchten Ventilatorsysteme gemäss SN EN ISO 5801: 2017.

4. Messresultate

4.1. Bemerkung zu den Messresultaten

Die in den nachfolgenden Tabellen verwendeten Formelzeichen und deren Definition sind in der Formelzusammenstellung in Anhang 3 in Kapitel 9 beschrieben.
Neben den wichtigsten Rohmessdaten sind in einer weiteren Tabelle die daraus berechneten Daten zu den Ventilatoren-Kennlinien enthalten.
In den Abbildungen sind die Kennlinien für die elektrische Eingangsleistung des Motors inkl. Motorensteuerung (P_{ed}), der statische Ventilatorendruck (p_{fs}), die Luftleistung (P_u), die sowie der Gesamtwirkungsgrad inkl. Motorenregelung η_{ed} (= P_u / P_{ed}) dargestellt.

4.2. Messresultate Prüfling 1: Ventilatorwand

Tabelle 5 zeigt die wichtigsten Resultate der Leistungsmessungen (inkl. ermittelte Messunsicherheit) sowie die zugehörigen Betriebswerte der Ventilatoren (mittlere Drehzahl über alle drei Ventilatoren sowie die angesetzte Steuerspannung).

Tabelle 5: Zusammenfassung Resultate Leistungsmessung Prüfling 1: Ventilatorwand

	ρ_{sg1}	ρ_{sgm}	q_{Vsg1}	$U(q_{Vsg1})^*$	p_{fs}	$U(p_{fs})^*$	p_f	$U(p_f)^*$	P_u	$U(P_u)^*$	P_{ed}	$U(P_{ed})^*$	η_{ed}	$U(\eta_{ed})^*$	N	U_{Steuer}
	kg/m³	kg/m³	m³/h	m³/h	Pa	Pa	Pa	Pa	W	W	W	W	-	-	1/min	V
MP_4	1.101	1.104	25412	+/- 82	853	+/- 1	870	+/- 1	6123	+/- 32	9672	+/- 21	0.633	+/- 0.004	1544	10.00
MP_8	1.107	1.110	22926	+/- 75	739	+/- 1	754	+/- 1	4787	+/- 25	7619	+/- 16	0.628	+/- 0.004	1425	8.31
MP_12	1.114	1.117	20417	+/- 67	575	+/- 1	587	+/- 1	3319	+/- 18	5285	+/- 11	0.628	+/- 0.004	1257	7.25
MP_16	1.119	1.121	17676	+/- 58	441	+/- 1	450	+/- 1	2204	+/- 12	3564	+/- 7	0.618	+/- 0.004	1098	6.29
MP_A	1.094	1.098	29987	+/- 97	719	+/- 1	744	+/- 1	6176	+/- 33	9305	+/- 20	0.664	+/- 0.004	1519	9.11
MP_B	1.098	1.101	27386	+/- 88	594	+/- 1	615	+/- 1	4668	+/- 25	7040	+/- 16	0.663	+/- 0.004	1384	8.08
MP_C	1.110	1.112	23035	+/- 75	427	+/- 1	442	+/- 1	2821	+/- 15	4300	+/- 9	0.656	+/- 0.004	1167	6.60
MP_D	1.113	1.114	21450	+/- 71	363	+/- 1	376	+/- 1	2237	+/- 12	3430	+/- 7	0.652	+/- 0.004	1078	6.16
MP_3	1.088	1.091	31845	+/- 102	708	+/- 1	736	+/- 1	6492	+/- 34	9711	+/- 21	0.669	+/- 0.004	1543	10.04
MP_7	1.092	1.095	30630	+/- 99	568	+/- 1	594	+/- 1	5038	+/- 27	7500	+/- 16	0.672	+/- 0.004	1419	8.35
MP_11	1.100	1.102	27254	+/- 88	451	+/- 1	471	+/- 1	3559	+/- 19	5322	+/- 12	0.669	+/- 0.004	1262	7.25
MP_15	1.110	1.111	23645	+/- 77	327	+/- 1	343	+/- 1	2249	+/- 13	3408	+/- 7	0.660	+/- 0.004	1081	6.17
MP_14	1.091	1.094	30217	+/- 97	197	+/- 1	222	+/- 1	1855	+/- 13	3051	+/- 6	0.608	+/- 0.004	1099	6.08

* : Die erweiterte Messunsicherheit U errechnet sich aus einer kombinierten Standardunsicherheit und einem Erweiterungsfaktor k = 2 und gibt ein Intervall an, das einen geschätzten Grad des Vertrauens von 95% hat.

Tabelle 6 zeigt weitere Details der Messresultate der Leistungsmessungen von Prüfling 1.

Tabelle 6: Zusammenfassung Details Messresultate Prüfling 1: Ventilatorwand

	p_a, PR701	PDR501	TR502	TR602	MR503	$q_{v101} + q_{v201}$	qm	v_2 *)	PDR503 **)
	Pa	Pa	°C	°C	% RF	m³/h	kg/h	m/s	Pa
MP_4	97135	-854	29.8	30.5	32.9	25339	27981	5.7	-1414
MP_8	97160	-740	28.6	29.3	35.4	22863	25378	5.1	-1192
MP_12	97184	-576	27.1	27.6	38.8	20374	22761	4.6	-933
MP_16	97175	-441	26.3	26.8	40.9	17632	19778	4.0	-706
MP_A	97104	-721	31.8	32.4	29.1	29888	32831	6.7	-1494
MP_B	97128	-596	31.1	31.7	30.6	27301	30101	6.1	-1240
MP_C	97169	-428	28.7	29.1	35.3	22981	25578	5.2	-882
MP_D	97174	-364	28.1	28.5	36.4	21389	23872	4.8	-756
MP_3	97149	-710	33.8	34.3	26.2	31752	34677	7.1	-1583
MP_7	97106	-569	32.9	33.3	27.7	30530	33481	6.9	-1374
MP_11	97122	-452	31.2	31.6	30.5	27161	29990	6.1	-1088
MP_15	97169	-328	29.0	29.3	34.5	23585	26251	5.3	-807
MP_14	97146	-198	34.6	33.5	25.2	30128	32979	6.8	-974

*) rechnerische Luftgeschwindigkeit am Ventilatoraustritt (Punkt 2 gem ISO 5801); massgebend für Bestimmung von p_f und P_u
**) Messwert (indikativ) für mittleren Druck an den Messstuzen der 3 Ventilatoren (k-Faktor gem. Datenblatt EBM = 348)

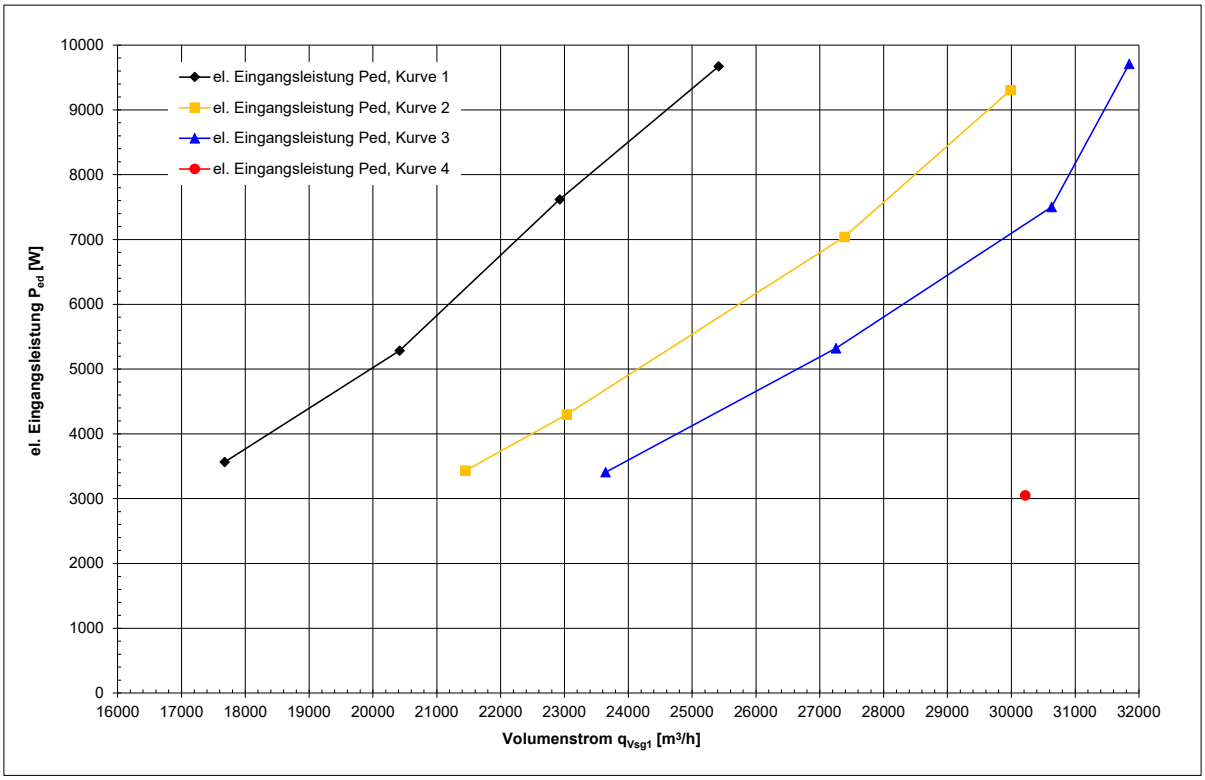

Abbildung 1: Kennlinien Eingangsleistung P_{ed} / Volumenstrom; Prüfling 1: Ventilatorwand

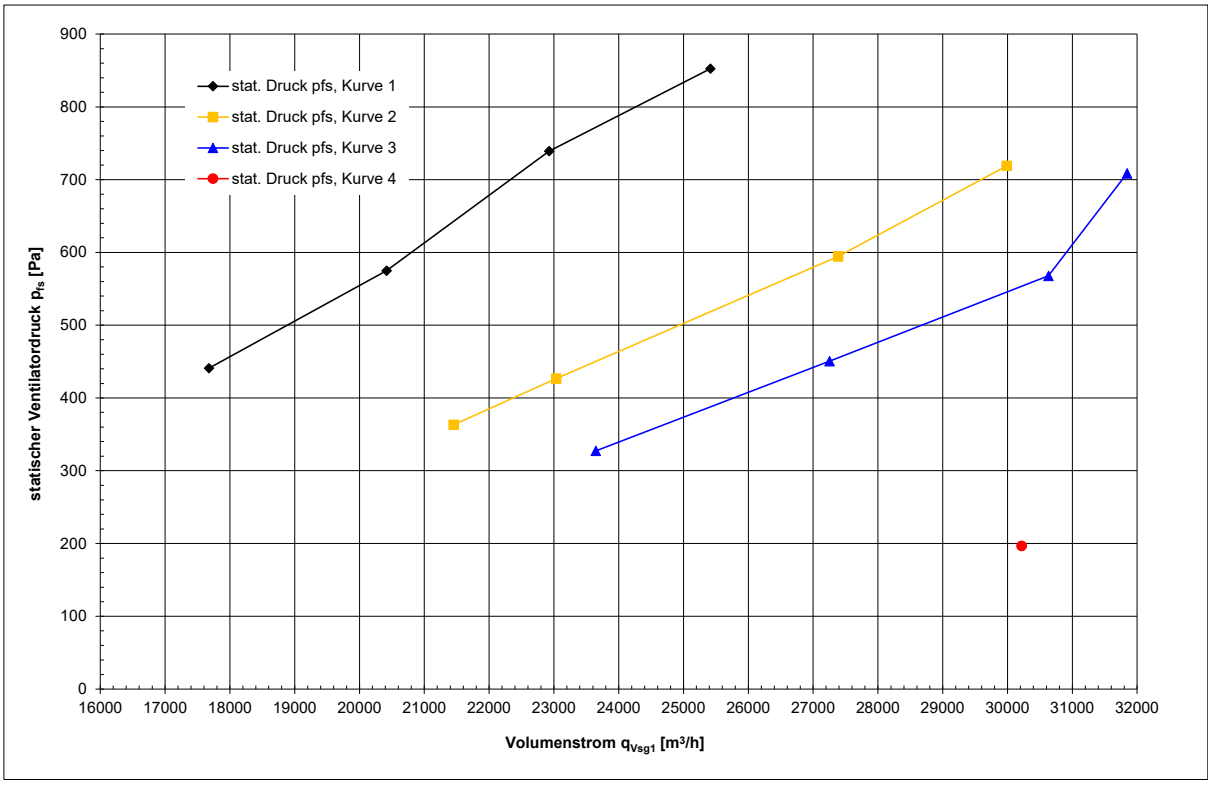

Abbildung 2: Kennlinien statischer Druck p_{fs} / Volumenstrom; Prüfling 1: Ventilatorwand

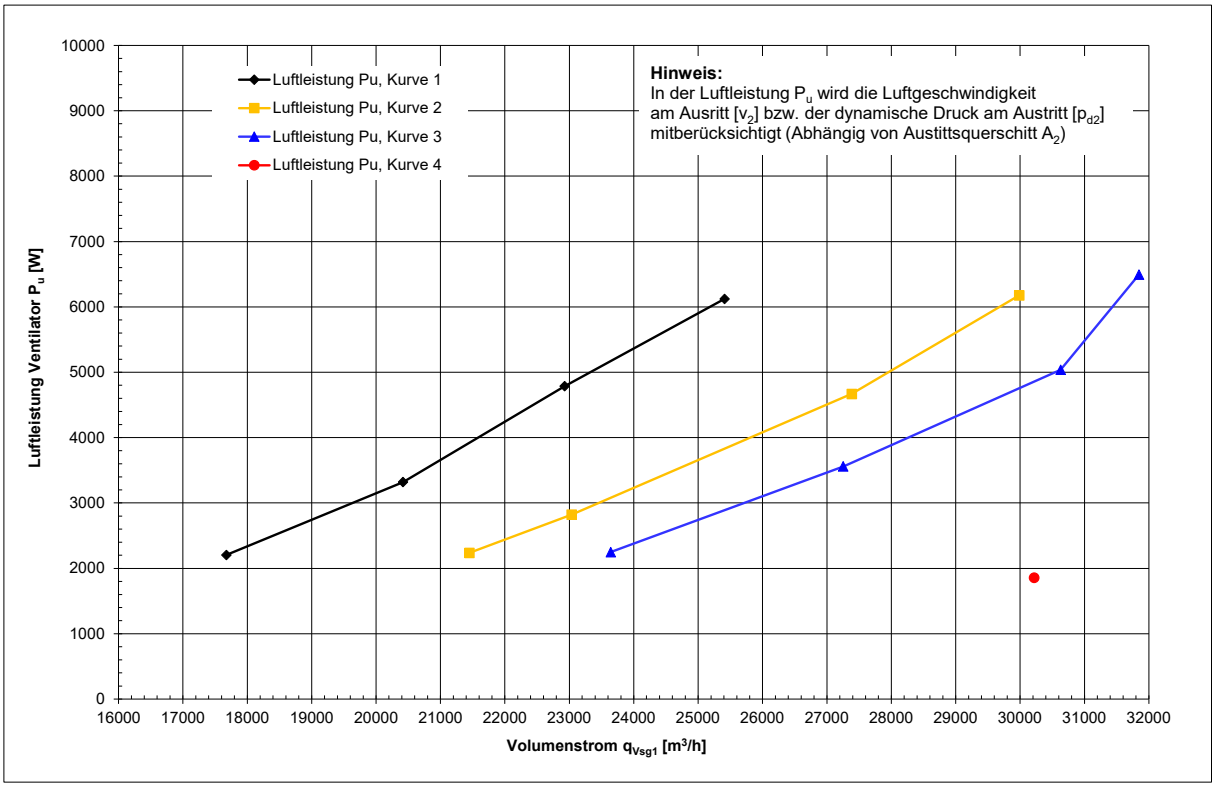

Abbildung 3: Kennlinien Luftleistung P_u / Volumenstrom; Prüfling 1: Ventilatorwand

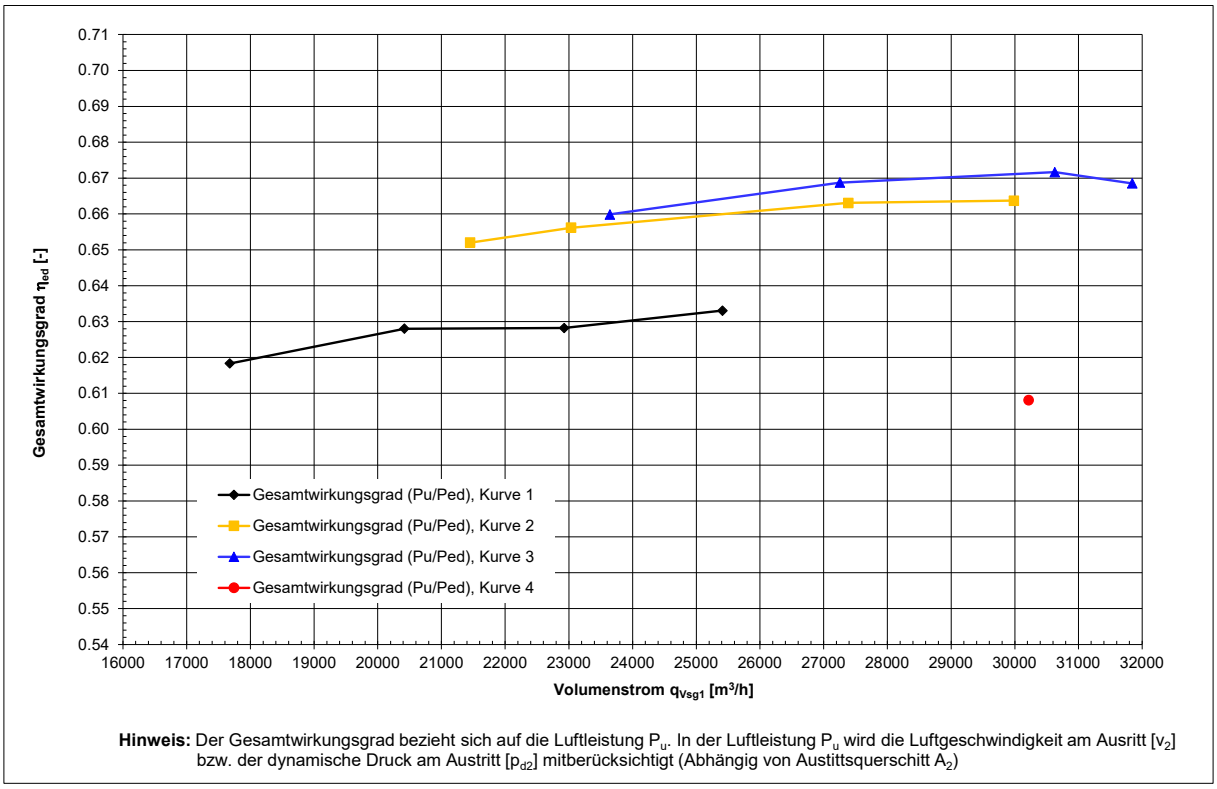

Abbildung 4: Kennlinien Gesamtwirkungsgrad η_{ed} / Volumenstrom; Prüfling 1: Ventilatorwand

4.3. Messresultate Prüfling 2: Doppelseitig saugender Radialventilator

Tabelle 7 zeigt die wichtigsten Resultate der Leistungsmessungen (inkl. ermittelte Messunsicherheit) sowie die zugehörigen Betriebswerte der Ventilatoren (Drehzahl am Laufrad sowie die angesetzte Steuerspannung).

Tabelle 7: Zusammenfassung Resultate Leistungsmessung Prüfling 2: Radialventilator

	ρ_{sg1}	ρ_{sgm}	q_{Vsg1}	$U(q_{Vsg1})^*$	p_{fs}	$U(p_{fs})^*$	p_f	$U(p_f)^*$	P_u	$U(P_u)^*$	P_{ed}	$U(P_{ed})^*$	η_{ed}	$U(\eta_{ed})^*$	N	U_{Steuer}
	kg/m³	kg/m³	m³/h	m³/h	Pa	Pa	Pa	Pa	W	W	W	W	-	-	1/min	V
MP_4	1.090	1.093	25408	+/- 82	851	+/- 1	878	+/- 1	6178	+/- 32	8920	+/- 20	0.693	+/- 0.004	936	9.63
MP_8	1.098	1.101	22932	+/- 75	740	+/- 1	761	+/- 1	4839	+/- 25	7049	+/- 17	0.687	+/- 0.004	866	9.00
MP_12	1.109	1.111	20432	+/- 67	577	+/- 1	595	+/- 1	3369	+/- 18	4963	+/- 12	0.679	+/- 0.004	764	8.08
MP_16	1.115	1.117	17670	+/- 58	438	+/- 1	451	+/- 1	2213	+/- 12	3359	+/- 11	0.659	+/- 0.004	664	7.22
MP_A	1.080	1.082	30002	+/- 96	721	+/- 1	757	+/- 1	6299	+/- 33	8983	+/- 21	0.701	+/- 0.004	919	9.52
MP_B	1.089	1.091	27375	+/- 88	592	+/- 1	623	+/- 1	4729	+/- 25	6799	+/- 17	0.696	+/- 0.004	834	8.71
MP_C	1.103	1.104	23048	+/- 75	424	+/- 1	446	+/- 1	2852	+/- 15	4209	+/- 13	0.678	+/- 0.004	702	7.56
MP_D	1.108	1.109	21453	+/- 71	368	+/- 1	388	+/- 1	2307	+/- 13	3446	+/- 11	0.669	+/- 0.004	654	7.14
MP_3	1.078	1.080	31825	+/- 104	705	+/- 1	747	+/- 1	6587	+/- 34	9449	+/- 20	0.697	+/- 0.004	931	9.62
MP_7	1.082	1.084	30634	+/- 98	569	+/- 1	608	+/- 1	5163	+/- 27	7562	+/- 17	0.683	+/- 0.004	856	8.95
MP_11	1.091	1.093	27243	+/- 88	453	+/- 1	483	+/- 1	3652	+/- 19	5419	+/- 13	0.674	+/- 0.004	762	8.09
MP_15	1.103	1.104	23643	+/- 77	329	+/- 1	353	+/- 1	2315	+/- 13	3531	+/- 14	0.655	+/- 0.004	653	7.14
MP_14	1.090	1.091	30212	+/- 97	198	+/- 1	236	+/- 1	1977	+/- 12	3627	+/- 10	0.545	+/- 0.004	651	7.14

* : Die erweiterte Messunsicherheit U errechnet sich aus einer kombinierten Standardunsicherheit und einem Erweiterungsfaktor k = 2 und gibt ein Intervall an, das einen geschätzten Grad des Vertrauens von 95% hat.

Tabelle 8 zeigt weitere Details der Messresultate der Leistungsmessungen von Prüfling 2.

Tabelle 8: Zusammenfassung Details Messresultate Prüfling 2: Radialventilator

	p_a , PR701	PDR501	TR502	TR602	MR503	$q_{v101} + q_{v201}$	qm	v_2 *)
	Pa	Pa	°C	°C	% RF	m³/h	kg/h	m/s
MP_4	96210	-852	29.6	30.8	34.0	25319	27700	7.0
MP_8	96211	-740	27.9	28.9	38.0	22868	25181	6.3
MP_12	96492	-578	26.3	27.1	42.2	20388	22662	5.6
MP_16	96526	-439	25.1	25.8	45.1	17627	19705	4.9
MP_A	96427	-722	33.9	34.9	27.3	29906	32392	8.3
MP_B	96225	-593	31.2	32.0	31.5	27299	29804	7.5
MP_C	96308	-425	28.1	28.7	38.0	23000	25417	6.4
MP_D	96458	-369	27.2	27.7	39.8	21404	23772	5.9
MP_3	96558	-707	35.1	35.9	25.8	31724	34299	8.8
MP_7	96346	-571	33.6	34.3	27.0	30545	33155	8.4
MP_11	96300	-454	31.2	31.8	31.2	27167	29725	7.5
MP_15	96394	-330	28.5	28.9	36.8	23591	26085	6.5
MP_14	96571	-199	33.2	33.4	28.4	30124	32933	8.3

*) rechnerische Luftgeschwindigkeit am Ventilatoraustritt (Punkt 2 gem ISO 5801); massgebend für Bestimmung von p_f und P_u

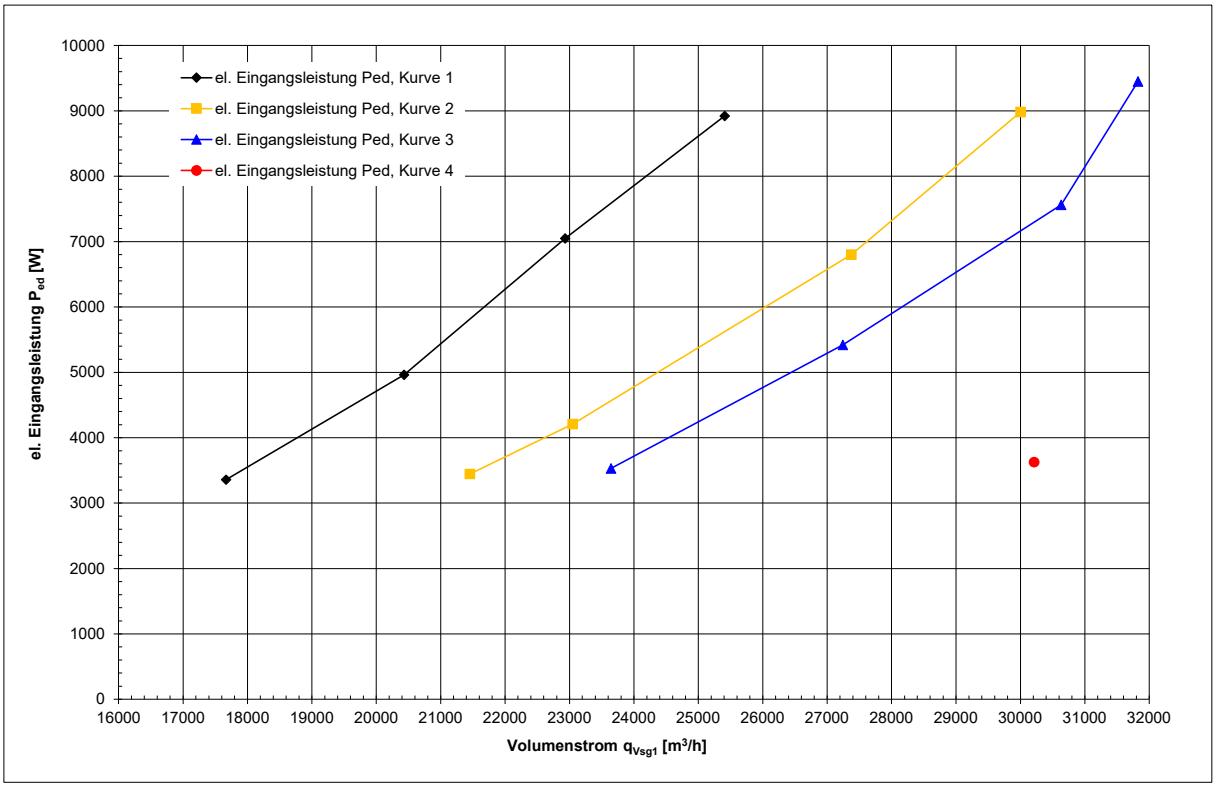

Abbildung 5: Kennlinien Eingangsleistung P_{ed} / Volumenstrom; Prüfling 2: Radialventilator

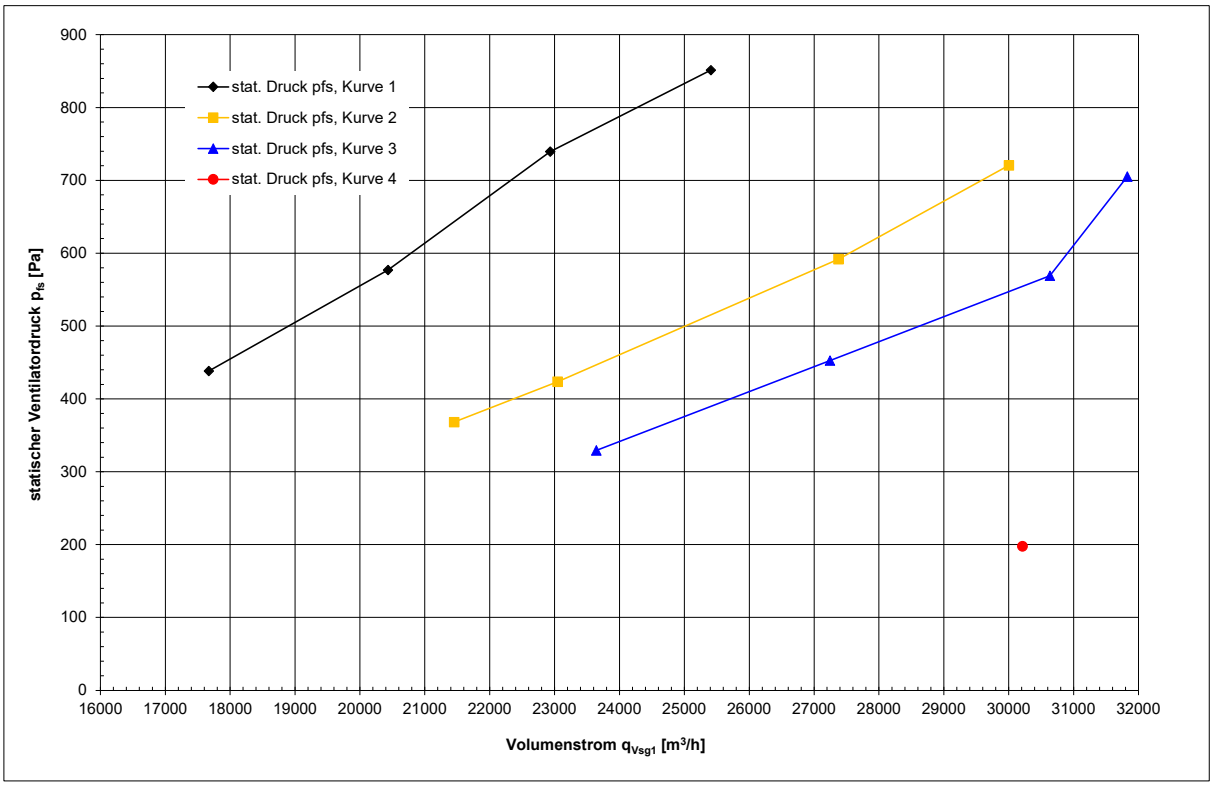

Abbildung 6: Kennlinien statischer Druck p_{fs} / Volumenstrom; Prüfling 2: Radialventilator

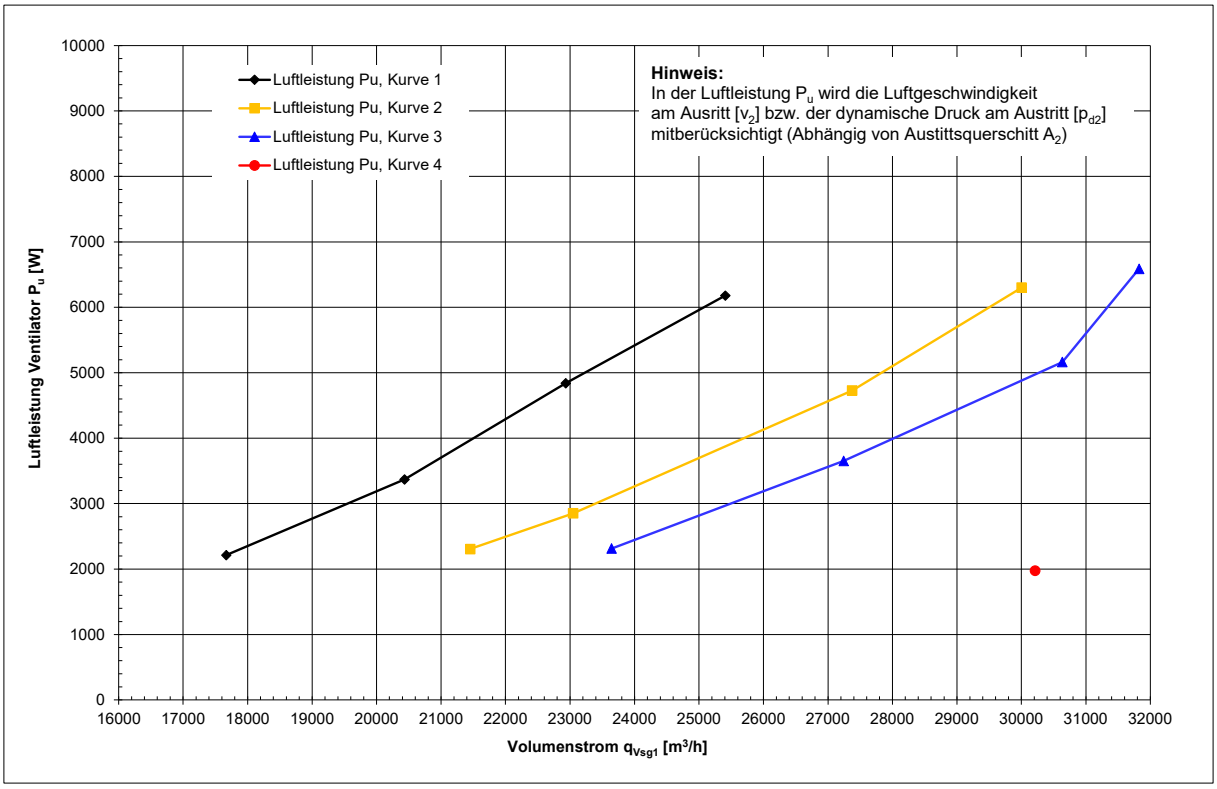

Abbildung 7: Kennlinien Luftleistung P_u / Volumenstrom; Prüfling 2: Radialventilator

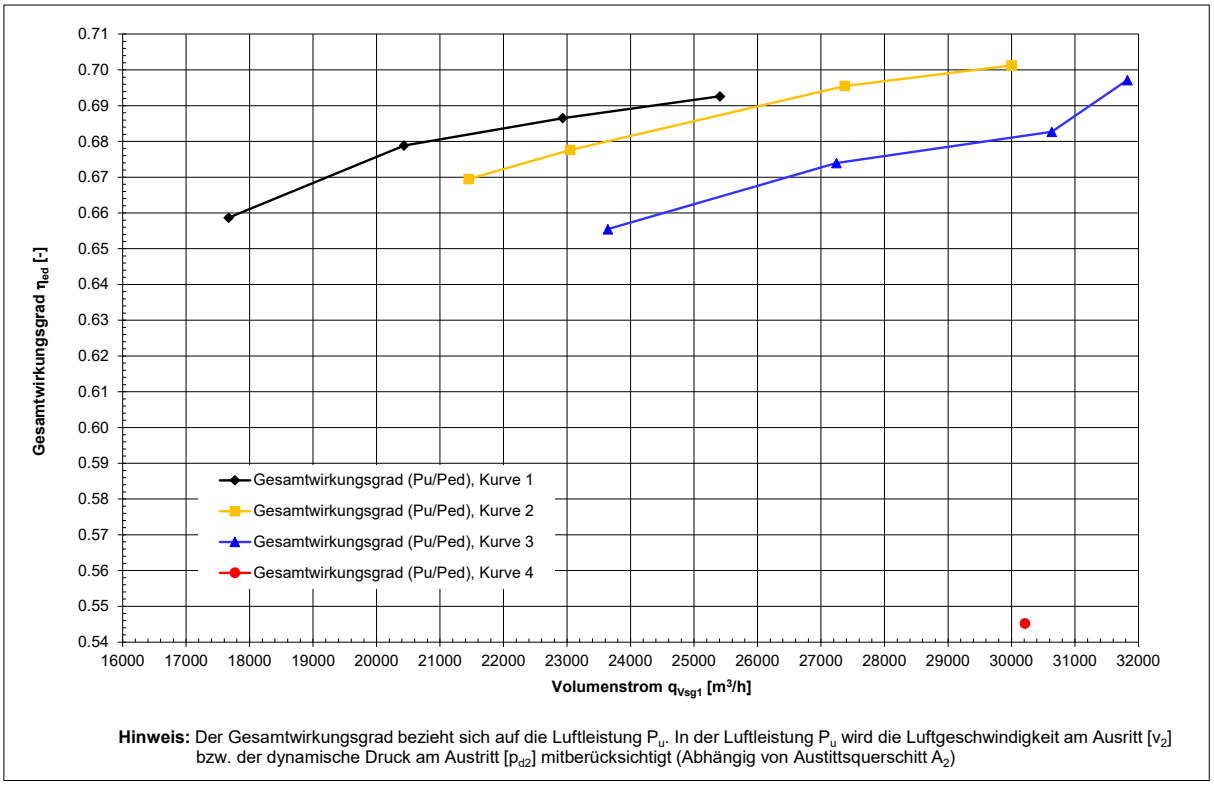

Abbildung 8: Kennlinien Gesamtwirkungsgrad η_{ed} / Volumenstrom; Prüfling 2: Radialventilator

4.4. Messresultate Prüfung 3: Ventilatorwand (Prüfling 1) mit austrittseitigen Hilfswänden

Tabelle 9 zeigt die wichtigsten Resultate der Leistungsmessungen (inkl. ermittelte Messunsicherheit) sowie die zugehörigen Betriebswerte der Ventilatoren (mittlere Drehzahl über alle drei Ventilatoren sowie die angesetzte Steuerspannung).

Tabelle 9: Zusammenfassung Resultate Leistungsmessung Prüfung 3: Ventilatorwand mit Hilfswänden

	ρ_{sg1}	ρ_{sgm}	q_{Vsg1}	$U(q_{Vsg1})^*$	p_{fs}	$U(p_{fs})^*$	p_f	$U(p_f)^*$	P_u	$U(P_u)^*$	P_{ed}	$U(P_{ed})^*$	η_{ed}	$U(\eta_{ed})^*$	N	U_{Steuer}
	kg/m³	kg/m³	m³/h	m³/h	Pa	Pa	Pa	Pa	W	W	W	W	-	-	1/min	V
MP_4	1.107	1.110	25411	+/- 82	855	+/- 1	873	+/- 1	6145	+/- 32	9697	+/- 20	0.634	+/- 0.004	1543	10.13
MP_8	1.114	1.117	22925	+/- 74	738	+/- 1	753	+/- 1	4784	+/- 25	7598	+/- 16	0.630	+/- 0.004	1422	8.25
MP_12	1.125	1.127	20439	+/- 67	576	+/- 1	588	+/- 1	3329	+/- 18	5293	+/- 12	0.629	+/- 0.004	1255	7.23
MP_16	1.130	1.132	17664	+/- 58	441	+/- 1	450	+/- 1	2206	+/- 12	3563	+/- 8	0.619	+/- 0.004	1096	6.24
MP_A	1.096	1.099	30006	+/- 96	719	+/- 1	744	+/- 2	6182	+/- 34	9403	+/- 24	0.657	+/- 0.004	1526	9.08
MP_B	1.104	1.106	27363	+/- 88	596	+/- 1	617	+/- 1	4678	+/- 25	7107	+/- 15	0.658	+/- 0.004	1386	8.03
MP_C	1.117	1.119	23010	+/- 75	429	+/- 1	444	+/- 1	2831	+/- 15	4349	+/- 9	0.651	+/- 0.004	1170	6.63
MP_D	1.122	1.123	21436	+/- 70	362	+/- 1	375	+/- 1	2233	+/- 12	3448	+/- 7	0.648	+/- 0.004	1079	6.22
MP_3	1.096	1.099	31820	+/- 103	706	+/- 1	734	+/- 1	6470	+/- 34	9758	+/- 20	0.663	+/- 0.004	1545	10.10
MP_7	1.095	1.098	30611	+/- 98	566	+/- 1	592	+/- 1	5017	+/- 27	7551	+/- 16	0.665	+/- 0.004	1422	8.48
MP_11	1.103	1.105	27244	+/- 88	449	+/- 1	470	+/- 1	3548	+/- 19	5361	+/- 11	0.662	+/- 0.004	1263	7.37
MP_15	1.118	1.119	23631	+/- 77	325	+/- 1	341	+/- 1	2232	+/- 13	3424	+/- 7	0.652	+/- 0.004	1080	6.10
MP_14	1.101	1.102	30219	+/- 97	196	+/- 1	222	+/- 1	1860	+/- 13	3100	+/- 8	0.600	+/- 0.005	1104	6.20

* : Die erweiterte Messunsicherheit U errechnet sich aus einer kombinierten Standardunsicherheit und einem Erweiterungsfaktor k = 2 und gibt ein Intervall an, das einen geschätzten Grad des Vertrauens von 95% hat.

Tabelle 10 zeigt weitere Details der Messresultate der Leistungsmessungen von Prüfung 3.

Tabelle 10: Zusammenfassung Details Messresultate Prüfung 3: Ventilatorwand mit Hilfswänden

	p_a , PR701	PDR501	TR502	TR602	MR503	$q_{v101} + q_{v201}$	qm	v_2 *)	PDR503 **)
	Pa	Pa	°C	°C	% RF	m³/h	kg/h	m/s	Pa
MP_4	97271	-856	29.0	30.1	22.8	25340	28141	5.7	-1411
MP_8	97290	-739	27.4	28.4	25.0	22868	25557	5.1	-1192
MP_12	97392	-576	25.4	26.1	27.4	20401	23003	4.6	-936
MP_16	97352	-442	24.4	24.9	29.3	17632	19971	4.0	-708
MP_A	97408	-720	32.9	33.8	17.6	29911	32907	6.7	-1487
MP_B	97264	-597	30.5	31.3	20.9	27285	30229	6.1	-1238
MP_C	97299	-430	27.6	28.1	24.8	22958	25724	5.2	-883
MP_D	97321	-363	26.7	27.1	25.9	21389	24060	4.8	-756
MP_3	97401	-708	32.8	33.6	17.6	31729	34907	7.1	-1571
MP_7	97235	-567	33.0	33.6	18.1	30516	33546	6.9	-1369
MP_11	97232	-450	31.0	31.5	20.3	27148	30072	6.1	-1086
MP_15	97302	-326	27.9	28.2	24.3	23587	26424	5.3	-807
MP_14	97410	-198	33.1	33.5	17.4	30122	33293	6.8	-981

*) rechnerische Luftgeschwindigkeit am Ventilatoraustritt (Punkt 2 gem ISO 5801); massgebend für Bestimmung von p_f und P_u

**) Messwert (indikativ) für mittleren Druck an den Messstuzen der 3 Ventilatoren (k-Faktor gem. Datenblatt EBM = 348)

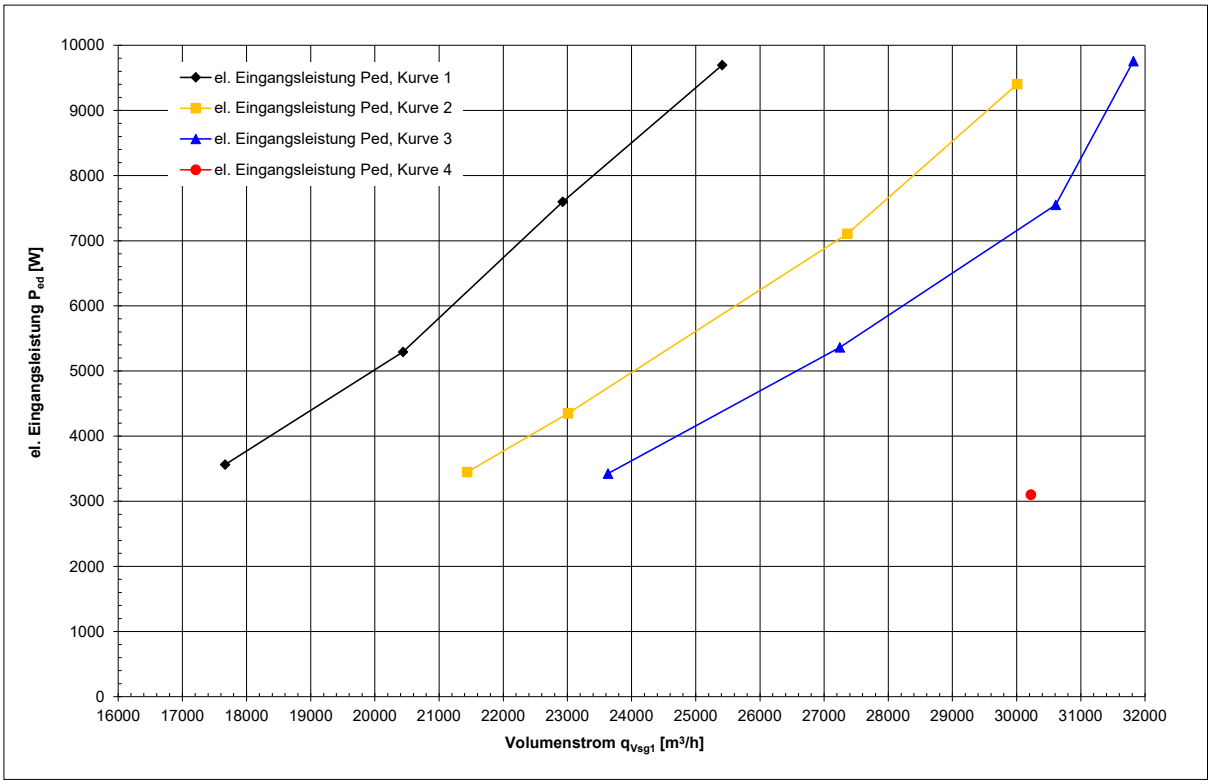

Abbildung 9: Kennlinien Eingangsleistung P_{ed} / Volumenstrom; Prüfung 3: Ventilatorwand mit Hilfswänden

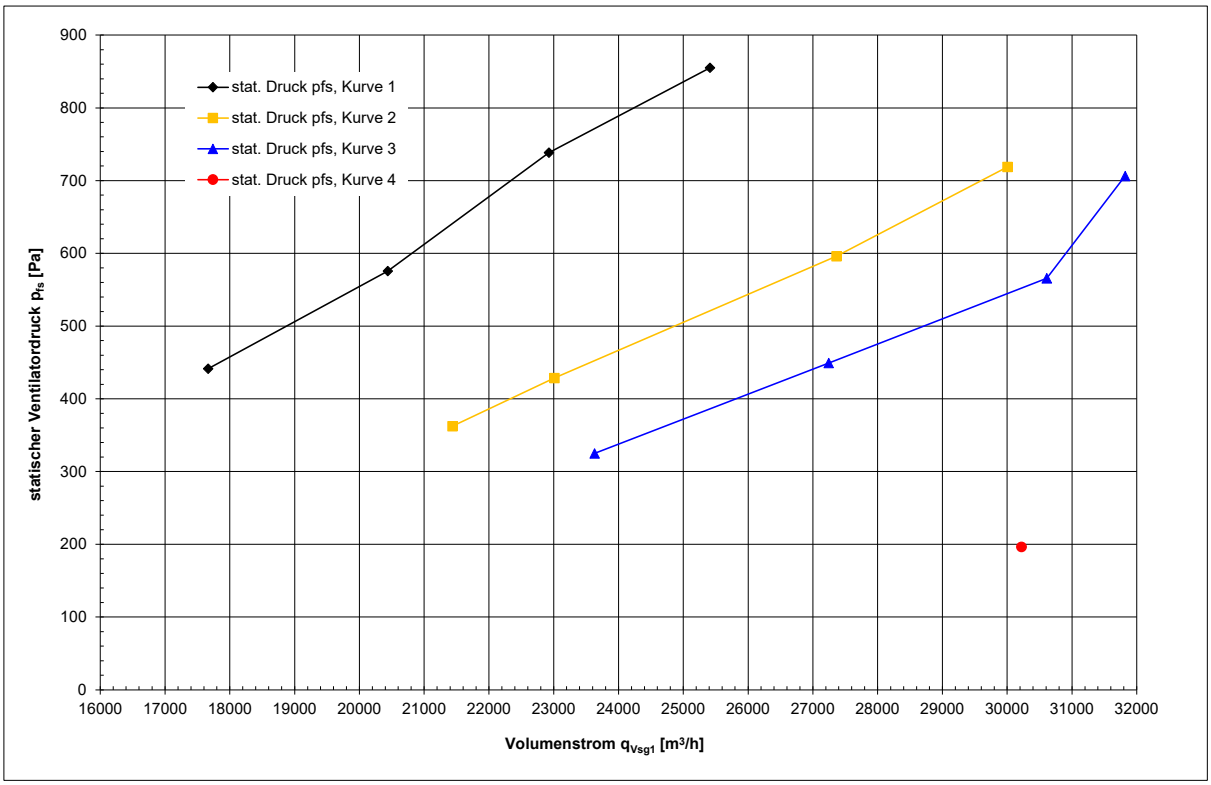

Abbildung 10: Kennlinien statischer Druck p_{fs} / Volumenstrom; Prüfung 3: Ventilatorwand mit Hilfswänden

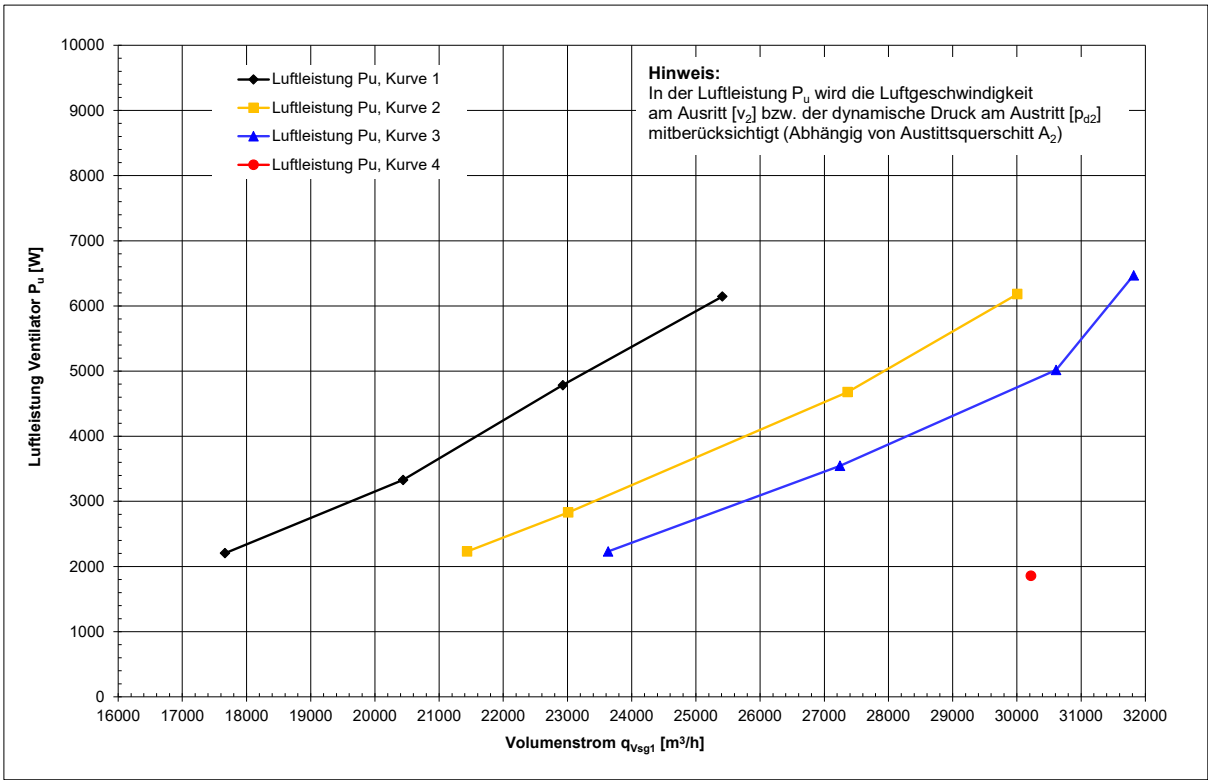

Abbildung 11: Kennlinien Luftleistung P_u / Volumenstrom; Prüfung 3: Ventilatorwand mit Hilfswänden

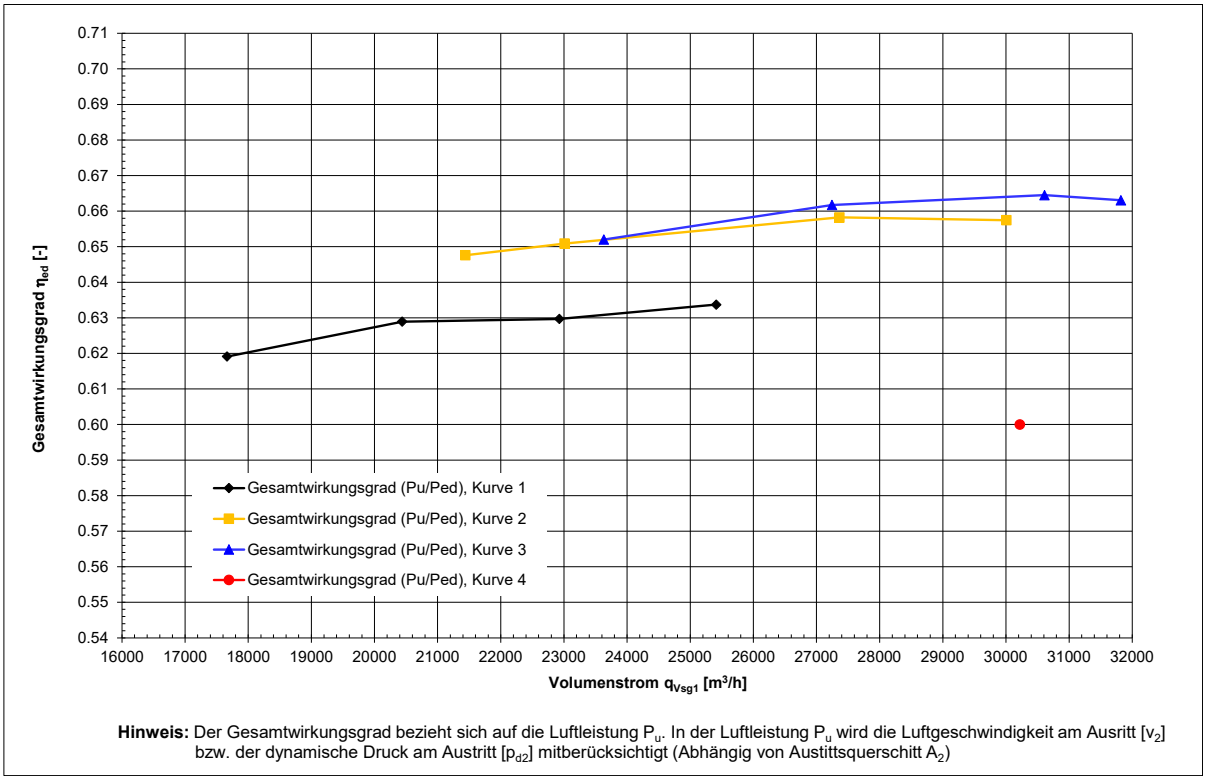

Abbildung 12: Kennl. Gesamtwirkungsgrad η_{ed} / Volumenstrom; Prüfung 3: Ventilatorwand m. Hilfswänden

4.5. Vergleich der Resultate zwischen den Prüfaufbauten

Bei den drei durchgeführten Messungen sind die möglichst dieselben Druck- / Volumenstrom Punkte eingestellt worden. In der Messung ergeben sich jedoch dennoch gewisse Differenzen bei der Luftdichte (v.A. durch Veränderung des barometrischen Druckes) wie auch des eingestellten Volumenstromes und der statischen Druckerhöhung. Diese Differenzen wirken sich auf die Leistungen (Luftleistung P_u und elektrische Leistungsaufnahme P_{ed}) am Ventilator aus.
Um dies zu berücksichtigen kann der Vergleich auf Basis der Luftleistung P_u mit dem Gesamtwirkungsgrad η_{ed} dargestellt werden, wie dies in den vorgehenden Kapiteln gezeigt wird. In diesem Vergleich wird jedoch die Gesamtduckerhöhung mit Berücksichtigung der Luftgeschwindigkeit v_2 am Austritt vom Ventilator (inkl. dynam. Druck p_{d2}) einbezogen.
Um einen Vergleich der Leistungen nur auf Basis der statischen Druckerhöhung ps darzustellen, wird der dynamische Druck am Austritt (Position 2 gem. SN EN ISO 5801:2017) nicht berücksichtigt (Basis Geschwindigkeit $v_2 = 0$) und so die Luftleistung berechnet (hier als $P_{u,\ stat}$ bezeichnet). Dies entspricht dem Fall, wenn der am Ventilatoraustritt vorhandene dynam. Druck p_{d2} nicht genutzt werden kann (entspricht einem Verlust am Austritt von Zeta = 1).

Tabelle 11: Verwendete Daten zum Vergleich der Leistungen zwischen den Messfällen

Prüfling 1: Ventilatorwand

	P_u W	$P_{u,\ stat.}$ *) W	P_{ed} W
MP_4	6123	5997	9672
MP_8	4787	4694	7619
MP_12	3319	3253	5285
MP_16	2204	2161	3564
MP_A	6176	5970	9305
MP_B	4668	4510	7040
MP_C	2821	2726	4300
MP_D	2237	2160	3430
MP_3	6492	6247	9711
MP_7	5038	4818	7500
MP_11	3559	3403	5322
MP_15	2249	2146	3408
MP_14	1855	1646	3051

Prüfling 2: Radialventilator

	P_u W	$P_{u,\ stat.}$ *) W	P_{ed} W
MP_4	6178	5990	8920
MP_8	4839	4700	7049
MP_12	3369	3269	4963
MP_16	2213	2148	3359
MP_A	6299	5992	8983
MP_B	4729	4494	6799
MP_C	2852	2709	4209
MP_D	2307	2192	3446
MP_3	6587	6222	9449
MP_7	5163	4835	7562
MP_11	3652	3420	5419
MP_15	2315	2161	3531
MP_14	1977	1659	3627

Prüfung 3: Ventilatorwand mit Hilfswänden

	P_u W	$P_{u,\ stat.}$ *) W	P_{ed} W
MP_4	6145	6018	9697
MP_8	4784	4691	7598
MP_12	3329	3262	5293
MP_16	2206	2162	3563
MP_A	6182	5975	9403
MP_B	4678	4520	7107
MP_C	2831	2735	4349
MP_D	2233	2155	3448
MP_3	6470	6224	9758
MP_7	5017	4798	7551
MP_11	3548	3392	5361
MP_15	2232	2129	3424
MP_14	1860	1647	3100

Luftleistung P_u des Ventilators (Details zu Messwerten siehe vorgehende Kapitel) berücksichtigt die Gesamtdruckerhöhung (p_f)

*) Berechnet wie Luftleistung P_u des Ventilators aber nur mit Einbezug der statischen Druckerhöhung p_{fs} (statischer Ventilatordruck)

In den nachfolgenden Abbildungen wird die elektrische Eingangsleistung Ped jeweils der Luftleistung Ventilator P_u (gemäss Resultaten in den Vorkapiteln) bzw. der statischer Luftleistung $P_{u,\ stat}$; (gemäss der oben beschriebenen Berechnung) gegenübergestellt.

Die Darstellung der Vergleiche erfolgen jeweils als Vergleich zwischen Prüfling 1 (Ventilatorwand) und Prüfling 2 (Radialventilator) sowie als Vergleich von Prüfling 1 Messung 1 (frei ausblasend) und Messung 3 (mit Hilfswänden).

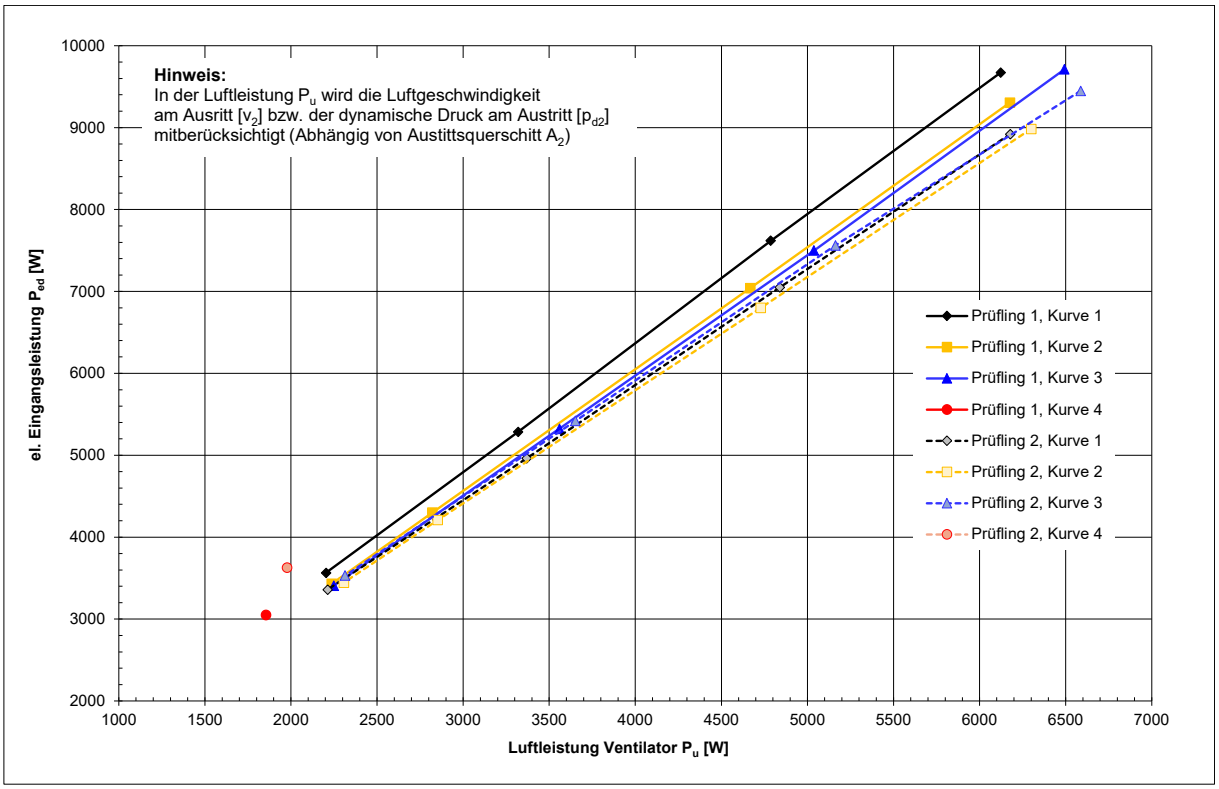

Abbildung 13: Vergleich Eingangsleistung P_{ed} zu Luftleistung Ventilator P_u; Prüfling 1 und Prüfling 2

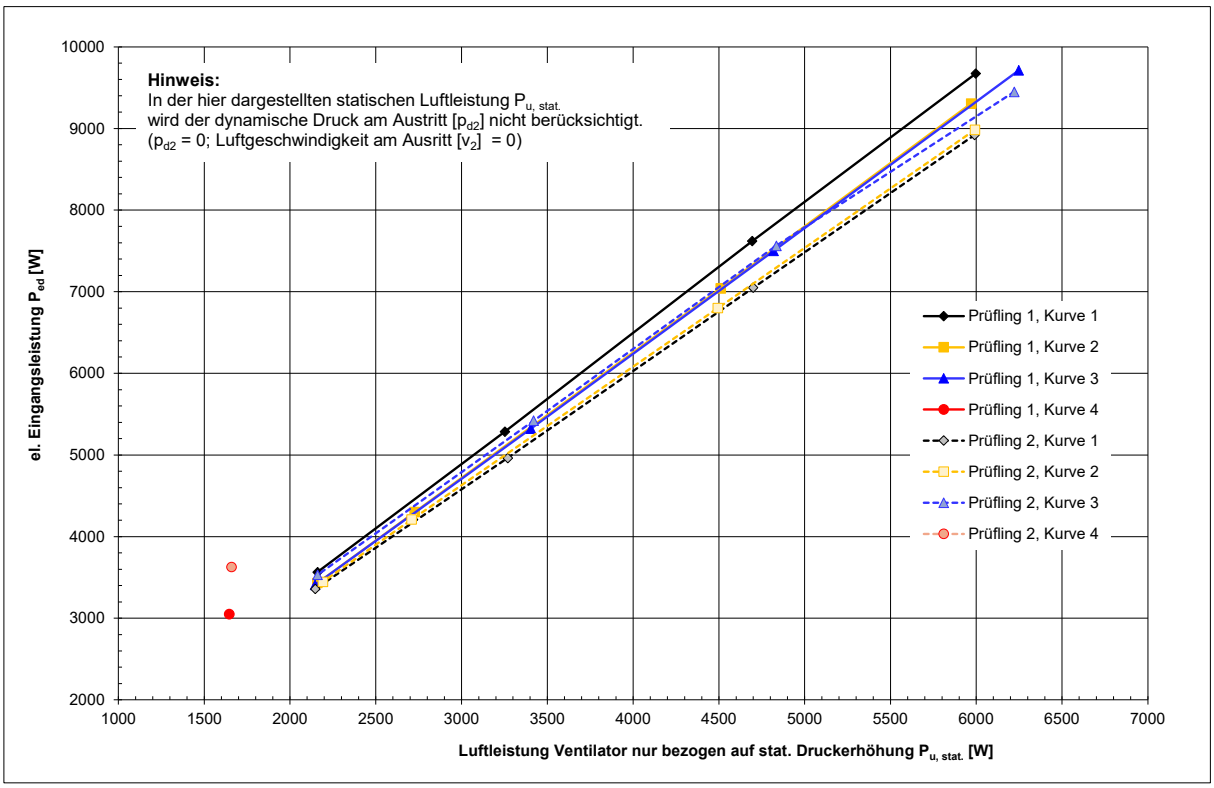

Abbildung 14: Vergleich Eingangsleistung P_{ed} zu statischer Luftleistung $P_{u, stat}$; Prüfling 1 und Prüfling 2

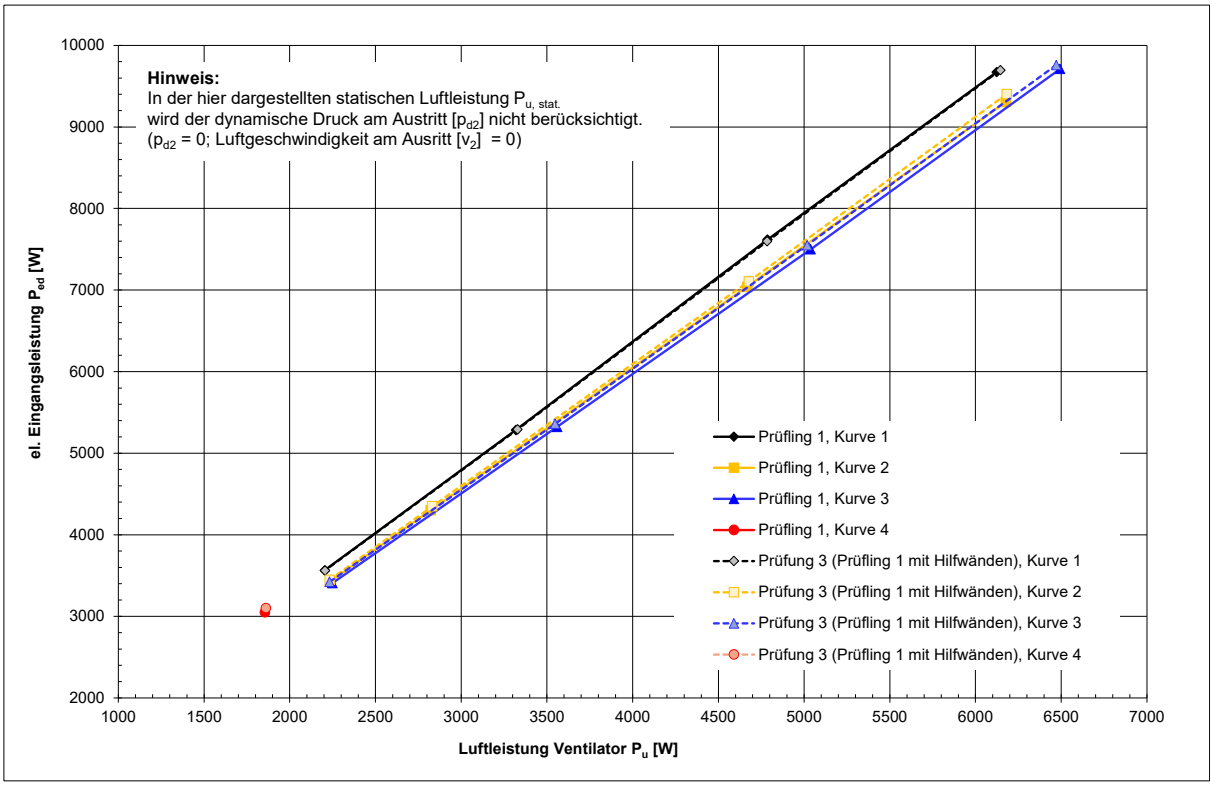

Abbildung 15: Vergleich Eingangsleistung P_{ed} zu Luftleistung Ventilator P_u; Prüfling 1: Messung 1 und 3

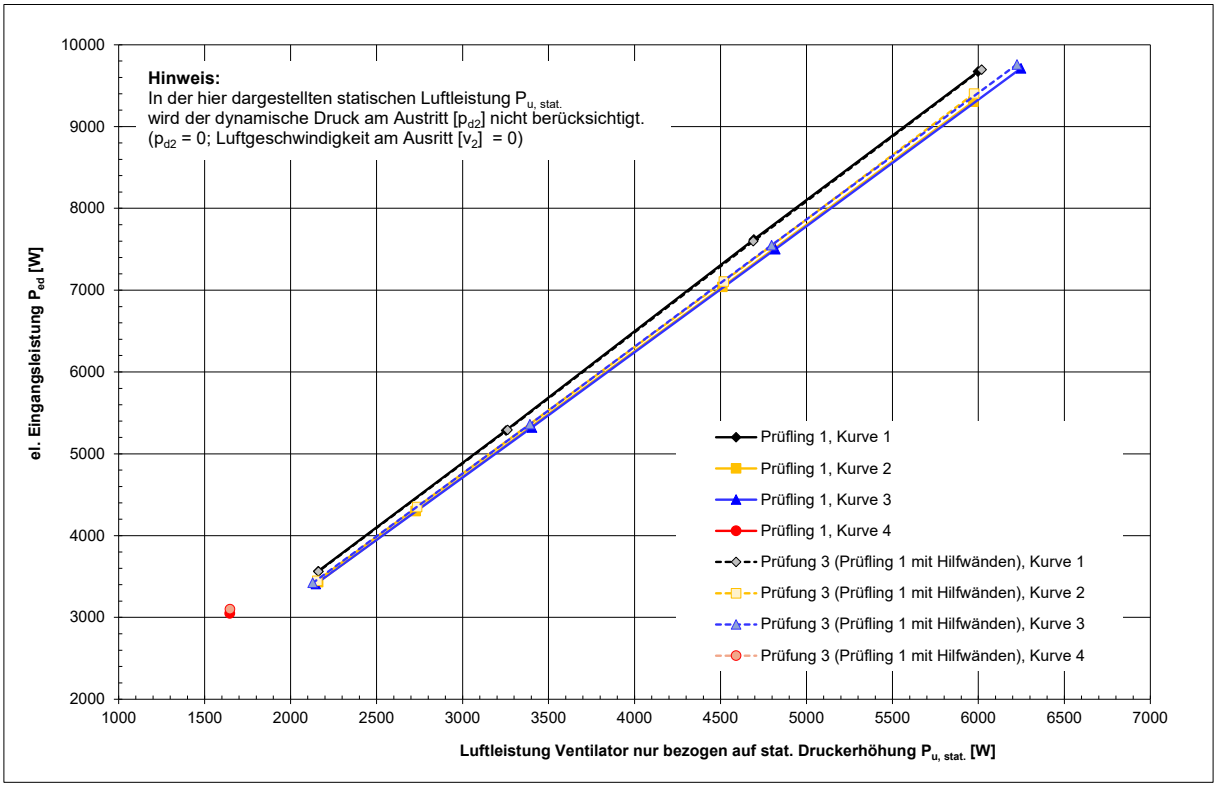

Abbildung 16: Vergleich Eingangsleistung P_{ed} zu statischer Luftleistung $P_{u, stat}$; Prüfling 1: Messung 1 und 3

5. Interpretation der Messergebnisse

Wie in Kapitel 3 beschrieben bestehen in der Messung einige Abweichungen zur Norm SN EN ISO 5801:2017. Diese Abweichungen wurden mit dem Kunden vor der Durchführung der Messungen besprochen. Insbesondere die geringeren Abstände in der saugseitigen Prüfkammer bei Prüfling 2 (doppelseitig saugenden Radialventilator) können einen Einfluss auf das Messresultat haben, was zu einer unterschätzen Luftleistung führen könnte. Der Einfluss dieser Abweichung wird jedoch nicht bewertet oder berücksichtigt.

Bei der Interpretation des Gesamtwirkungsgrades η_{ed} (= P_u / P_{ed}) mus berücksichtigt werden, das in diesem Kennwert der dynamische Druck p_{d2} bzw. die Luftgeschwindigkeit v_2 am Austritt vom Ventilator mitberücksichtigt wird. Der Wert ist also abhängig von der Festlegung des massgebenden Querschnittes am Austritt A_2 (siehe dazu Tabelle 1 und Tabelle 2).

Für eine reale Anwendung ist es massgebend ob und inwieweit der am Austritt verfügbare dynamische Druck nutzbar ist. Aus diesem Grund ist in Kapitel 4.5 auch ein Vergleich nur mit der Berücksichtigung der statischen Druckerhöhung des Ventilators (p_{fs}) dargestellt. Die dafür massgebende Luftleistung wird hier nur bezogen auf die statische Druckerhöhung bestimmt und als $P_{u,\ stat}$ bezeichnet. Dies entspricht dem Fall, wenn der am Ventilatoraustritt bezogen auf den dynamischen Druck ein Verlust von Zeta = 1 auftritt.

6. Schlussbemerkung

Die Messresultate gelten ausschliesslich für das gemessene Prüfobjekt. Die Auswahl des Prüfobjektes war nicht Teil des Auftrages.
Der Prüfbericht und die zugehörigen Dokumente werden während 10 Jahren archiviert.
Der Auftraggeber kann, während dieser Zeit, die Dokumente einsehen. Der Aufwand beim Erstellen von Kopien wird dem Kunden verrechnet.

7. Anhang 1, Prüfaufbauten

7.1. Prüfaufbau 1 (Prüfling 1)

Der Prüfaufbau 1 für die Ventilatorwand (Prüfling 1) beinhaltet drei Ventilatoren mit freilaufendem Laufrad vom Typ EBM-Papst Typ K3G560-PB31-71. Die Grundplatten der Ventilatoren (800x800mm) sind bündig aneinander auf eine Grundplatte montiert. Details zum Aufbau sind aus Abbildung 17 ersichtlich.
Die Ventilatoren saugen die Luft aus der Prüfkammer (iTC) an und blasen sie frei in die Laborumgebung aus (oTS). Die elektrische Leistungsmessung erfolgt für alle drei Ventilatoren gemeinsam (ER 605). Die Ansteuerung der Ventilatoren erfolgt über ein 0-10 V Signal.

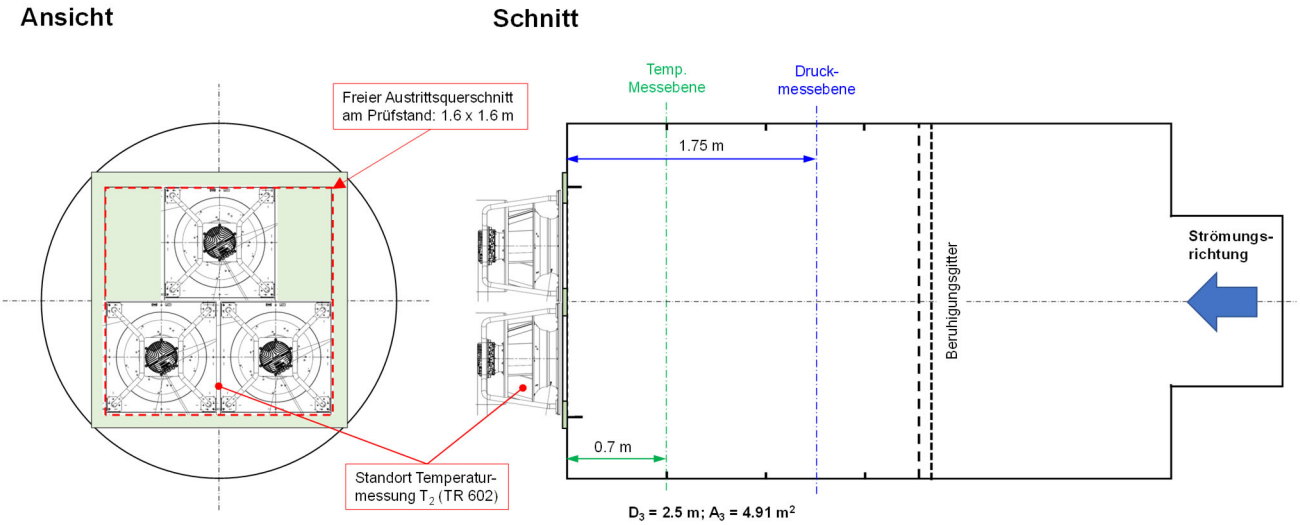

Abbildung 17: Prüfaufbau 1; Ventilatorwand mit drei Ventilatoren mit freilaufendem Laufrad

7.2. Prüfaufbau 2 (Prüfling 2)

Für den Prüfaufbau 2 mit dem doppelseitig saugenden Radialventilator (Prüfling 2) wird der Ventilatoren vom Typ EBM-Papst Typ K3G560-PB31-71 in die Beruhigungskammer eingebaut. Mit einer Grundplatte wird die Kammer abgedichtet. Bei diesem Aufbau werden die in EN ISO 5801:2017 (Bild 9) geforderten Abstände in der saugseitigen Prüfkammer nicht eingehalten. Details zum Aufbau sind aus Abbildung 18 ersichtlich. Der Ventilator saugt die Luft aus der Prüfkammer (iTC) an und bläst sie frei in die Laborumgebung aus (oTS). Dieser Aufbau entspricht z.B. einem Fall für einen Einbau innerhalb eines Lüftungsgerätes, wenn druckseitig kein Kanalanschluss oder Diffusor vorhanden ist.
Die elektrische Leistungsmessung (ER 605) schliesst die Motorensteuerung mit ein. Die Ansteuerung des Ventilators erfolgt über ein 0-10 V Signal.

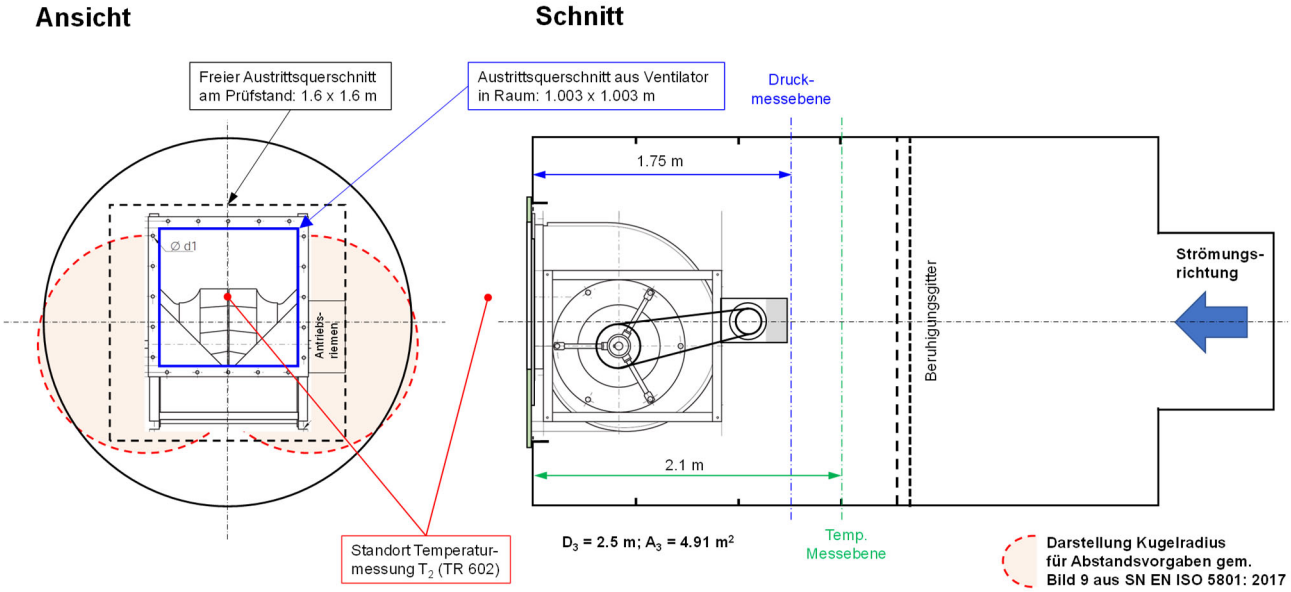

Abbildung 18: Prüfaufbau 2; Doppelseitig saugender Radialventilator

7.3. Prüfaufbau 3 (Prüfling 1 mit Hilfswänden)

Der Prüfaufbau 3 für die Ventilatorwand (Prüfling 1) mit Hilfswänden entspricht im Grundsatz dem Aufbau gemäss Kapitel 7.1. Auf der Austrittsseite der drei Ventilatoren (Ventilatoren mit freilaufendem Laufrad, Typ EBM-Papst Typ K3G560-PB31-71) wird jedoch ein Holzrahmen angebracht, der die Einschränkungen, welche sich durch das Gehäuse innerhalb einer Lüftungsgerätes ergeben würden.
Die Dimensionierung des umschlossenen Querschnittes am Austritt erfolgte so, dass beim Nennbetriebspunkt (Messpunkt A: 30'000 m^3/h) Luftgeschwindigkeit beim 2 m/s nicht überschreitet (entsprechend der Geschwindigkeitsklasse V3 gemäss SN EN 13053: 2019).
Der gewählte rechteckige Querschnitt entspricht typischen Abmessungen für ein Gehäuse eines Lüftungsgerätes. Details zum Aufbau sind aus Abbildung 19 ersichtlich.
Die Ventilatoren saugen die Luft aus der Prüfkammer (iTC) an und blasen sie nun nicht mehr frei in die Laborumgebung aus, sondern es muss eine Umlenkung des Luftstromes an den Hilfswänden erfolgen.
Die elektrische Leistungsmessung erfolgt auch hier für alle drei Ventilatoren gemeinsam (ER 605). Die Ansteuerung der Ventilatoren erfolgt ebenfalls über ein 0-10 V Signal.

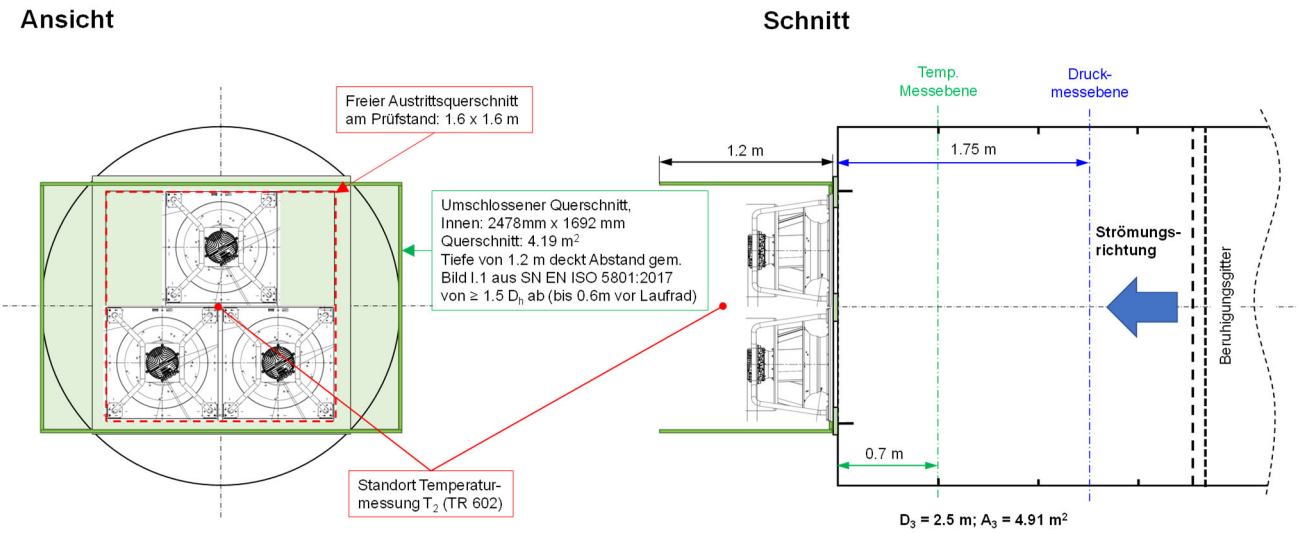

Abbildung 19: Prüfaufbau 3; Ventilatorwand (Prüfling 1) mit *austrittseitigen Hilfswänden*

8. Anhang 2, Prüfeinrichtung

Die Prüflinge werden gemäss Einbauart-Kategorie A am grossen Lüftungskomponentenprüfstand «Gross-LKP» angeschlossen, wobei saugseitig die Prüfkammer des «Gross-LKP» verwendet wird und die Ausblasung für die Prüfung 1 (Prüfling 1) und Prüfung 2 (Prüfling 2) frei ist.
Prüfung 3 wird mit Prüfling 1 am Austritt mit zusätzlichen Hilfswänden in einem festgelegten Abstand von der Ausblasung des Laufrades durchgeführt, um den sich daraus ergebenden Systemeffekt zu messen.
Der Prüfstand verfügt über zwei Turbinengaszähler für die Volumenstrommessung. Die Messpunkte werden mithilfe der beiden Hilfsventilatoren angefahren.

Die Messstellen und die zugehörigen Messparameter zeigt das Messschema:

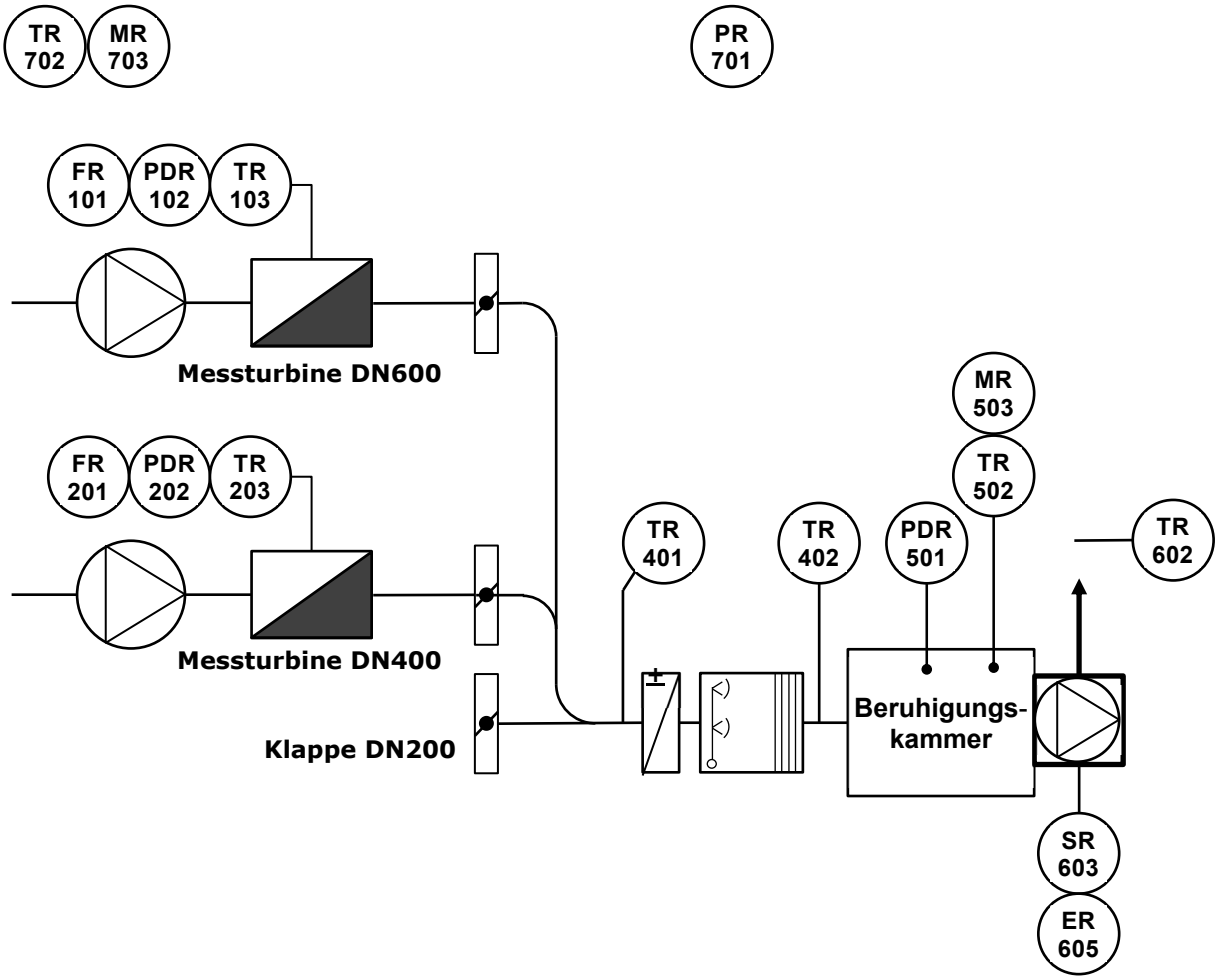

Abbildung 20: Prüfeinrichtung

Tabelle 12: Beschreibung Kürzel der Messstellen

Erstbuchstabe		Folgebuchstabe		Ergänzungsbuchstabe	
T	Temperatur	D	Differenz	R	Registrierung
M	Feuchtigkeit				
P	Druck				
F	Durchfluss				
E	El. Leistung				

9. Anhang 3, Symbole und Formeln

9.1. Gemessene Werte; Beschreibung und Symbole

Die in Tabelle 14 verwendeten Symbole basieren auf SN EN ISO 5801: 2017, Kapitel 4. Die aus den gemessenen Grössen ermittelten (berechneten) Grössen sind im Kapitel 9.2 (Formelzusammenstellung) beschrieben.

Tabelle 13: Gemessene Werte; Beschreibung und Symbole

Position	Symbol	Einheit	Beschreibung
ER605	P_{ed}	W	El. Leistungsmessung (Eingangsleistung Antrieb*)
ER605	n_e	Hz	Eingestellte Motorfrequenz (von Frequenzumformer)
SR603	N	1/min	Drehzahl Laufrad Ventilator (Messung am Laufrad)
TR602	$T_2 = T_{602}$	°C	Lufttemperatur Ventilatoraustritt
PR701	$p_a = p_{701}$	Pa	Barometerdruck im Prüfraum (Austrittseite)
PDR501	Δp_3	Pa	Statische Druckdifferenz in Prüfkammer (Eintrittsseite)
PDR503	–	Pa	Druckdifferenz an Druckanschluss EBM Ventilator **)
TR502	$T_1 = T_{502}$	°C	Lufttemperatur vor Ventilatoreintritt (in Prüfkammer)
MR503	$h_{rel,\ 503}$	% RF	Rel. Luftfeuchter vor Ventilatoreintritt (in Prüfkammer)
FR101	q_{v101}	m^3/h	Volumenstrom, Messturbine DN 600
FR201	q_{v201}	m^3/h	Volumenstrom, Messturbine DN 400
PDR102	Δp_{102}	Pa	Differenzdruck zu Umgebung bei Messturbine DN 600
PDR202	Δp_{202}	Pa	Differenzdruck zu Umgebung bei Messturbine DN 400
TR103	T_{103}	°C	Lufttemperatur bei Messturbine DN 600
TR203	T_{203}	°C	Lufttemperatur bei Messturbine DN 400
TR702	T_{702}	°C	Lufttemperatur bei Lufteintritt Prüfstand (Hilfsgrösse)
MR703	$h_{rel,\ 703}$	% RF	Rel. Luftfeuchte bei Lufteintritt Prüfstand (Hilfsgrösse)
TR401	T_{401}	°C	Lufttemperatur vor Luftkonditionierung (Hilfsgrösse)
TR402	T_{402}	°C	Lufttemperatur nach Luftkonditionierung (Hilfsgrösse)

*) Inkl. Antriebssteuerung
**) Druckmesswert von Einströmdüse mit Druckentnahmestutzen Prüfling 2 (k-Wert: 348)

9.2. Formelzusammenstellung Berechnete Grössen

Formelzeichen	Einheit	Definition
p_{sg1}	Pa	Gesamtdruck Ventilatoreintritt (Absolutdruck) $p_{sg1} = p_{sg3} = \Delta p_3 + p_a + \frac{\rho_3}{2} \cdot v_3{}^2$ (Geschwindigkeit v_3 ist gering, wird aber für den Gesamtdruck berücksichtigt) $p_{sg1} = p_{tot1}$ (Vereinf. gem. SN EN ISO 5801: 2017, Kap. 15.1.5)
p_{sg2}	Pa	Gesamtdruck Ventilatoraustritt (Absolutdruck) $p_{sg2} = \Delta p_2 + p_a + \frac{\rho_2}{2} \cdot v_2{}^2 = p_a$ (für verwendete Messanordnung mit oTS) $p_{sg2} = p_{tot2}$ (Vereinf. gem. SN EN ISO 5801: 2017, Kap. 15.1.5)
T_{sg1}	°C	Temperatur Ventilatoreintritt (Bezug: Staupunktzustand) $T_{sg1} = T_1$ (Vereinf. gem. SN EN ISO 5801: 2017, Kap. 12.6.3)
T_{sg2}	°C	Temperatur Ventilatoraustritt (Bezug: Staupunktzustand) $T_{sg2} = T_2$ (Vereinf. gem. SN EN ISO 5801: 2017, Kap. 12.6.3)
q_{Vsg1}	m^3/h	Volumenstrom bezogen auf den Ventilatoreintritt (Berechnung aus Volumenstrom, Druck und Temperatur bei den Turbinengaszähler auf den Bezugsdruck (= p_{sg1}) und die Bezugstemperatur ($\Theta_1 = T_1 + 273.15$) beim Ventilatoreintritt)
v_1	m/s	Geschwindigkeit am Ventilatoreintritt $v_1 = \frac{q_{Vsg1}}{3600 \cdot A_1}$
v_2	m/s	Geschwindigkeit am Ventilatoraustritt $v_2 = \frac{q_{V2}}{3600 \cdot A_2}$
v_3	m/s	Geschwindigkeit in Beruhigungskammer (iTC) $v_3 = \frac{q_{V3}}{3600 \cdot A_3} = \frac{q_{Vsg1}}{3600 \cdot A_3}$
ρ_{sg1}	kg/m^3	Dichte bei Ventilatoreintritt (Bezug: Staupunktzustand) $\rho_{sg1} = \frac{p_{sg1}}{(T_{sg1} + 273.15) \cdot R_{wet}} = \frac{p_{sg1} \cdot (1 - \frac{h_{rel1} \cdot p_{sat\,(T502)}}{p_{sg1}} \cdot (1 - \frac{R_{dry}}{R_v}))}{(T_{502} + 273.15 + \frac{v_1{}^2}{2 \cdot c_{pL\,(T_{502})}}) \cdot R_{dry}}$ h_{rel1} bestimmt aus abs. Feuchte $x_1 = x$ in Prüfkammer (aus T_{502}, h_{rel503})
ρ_{sg2}	kg/m^3	Dichte bei Ventilatoraustritt (Bezug: Staupunktzustand) $\rho_{sg2} = \frac{p_{sg2}}{(T_{sg2} + 273.15) \cdot R_{wet}} = \frac{p_2 \cdot (1 - \frac{h_{rel2} \cdot p_{sat\,(T602)}}{p_2} \cdot (1 - \frac{R_{dry}}{R_v}))}{(T_{602} + 273.15 + \frac{v_2{}^2}{2 \cdot c_{pL\,(T_{602})}}) \cdot R_{dry}}$ h_{rel2} aus abs. Feuchte $x_2 = x$ in Prüfkammer (aus T_{502}, h_{rel503}) *Mit* $p_{sg2} = p_2$ (Vereinf. gem. SN EN ISO 5801: 2017, Kap. 15.1.5)
ρ_{sgm}	kg/m^3	mittlere Dichte im Ventilator $\rho_{sgm} = \frac{\rho_{sg1} + \rho_{sg2}}{2}$

ρ_{sg3}	kg/m³	Luftdichte in Beruhigungskammer (Bezug: Staupunktzustand) $\rho_{sg3} = \frac{p_{sg3}}{(T_{sg3} + 273.15) \cdot R_{wet}} = \frac{p_3 \cdot (1 - \frac{h_{rel503} \cdot p_{sat\,(T502)}}{p_3} \cdot \left(1 - \frac{R_{dry}}{R_v}\right))}{(T_{502} + 273.15 + \frac{v_3{}^2}{2 \cdot c_{pL\,(T_{502})}}) \cdot R_{dry}}$
p_{fs}	Pa	statische Druckerhöhung $p_{fs} = p_2 - p_{sg1}$
p_f	Pa	Gesamtdruckerhöhung $p_f = p_{sg2} - p_{sg1}$
k_p	-	Kompressibilitätsfaktor zur Berechnung von P_u $k_p = \frac{\rho_{sg1}}{\rho_{msg}}$ *)
P_u	W	Luftleistung Ventilator $P_u = q_{Vsg1} \cdot p_f \cdot k_p$
P_{us}	W	statische Luftleistung Ventilator $P_{us} = q_{Vsg1} \cdot p_{fs} \cdot k_p$
η_{ed}	-	Elektrischer Wirkungsgrad Ventilator (inkl. Steuerung) $\eta_{ed} = \frac{P_u}{P_{ed}}$
P_r	W	Laufradleistung Ventilator (nicht gemessen) $P_r = \frac{P_u}{\eta_r} = P_e \cdot \eta_{(Motor + Transmisson + Lagerreibung)}$

*) Berechnung gemäss der in ISO 5801 (2007) beschriebenen Näherungsformel.

10. Anhang 4, Fotos

10.1. Prüfling 1 und Messaufbau Prüfung 1

Abbildung 21: Prüfling 1; Ansicht auf Luftaustritt druckseitig

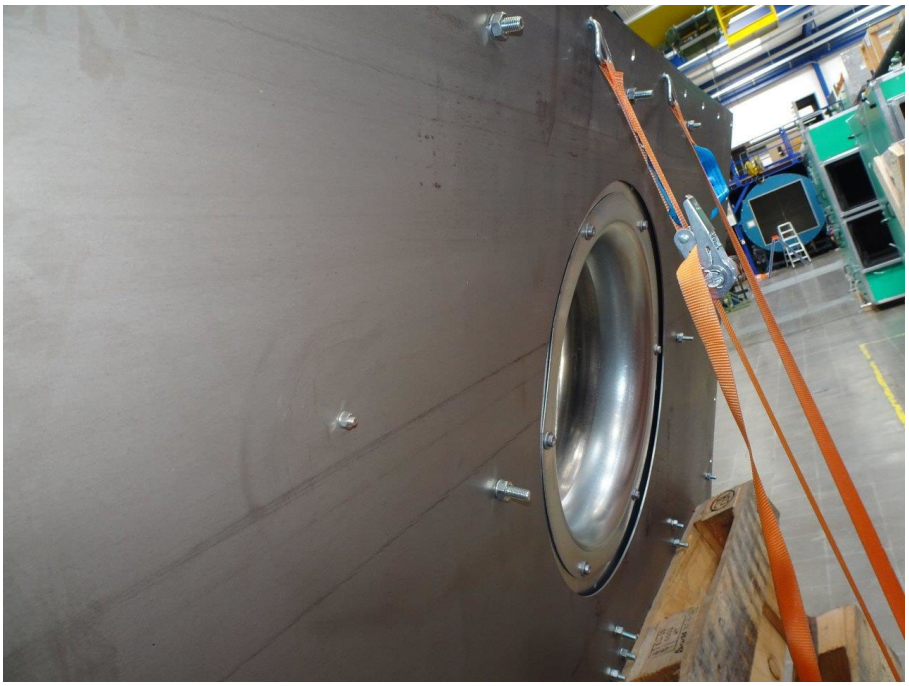

Abbildung 22: Prüfling 1; Ansicht auf Lufteintritt saugseitig (oberer Ventilator)

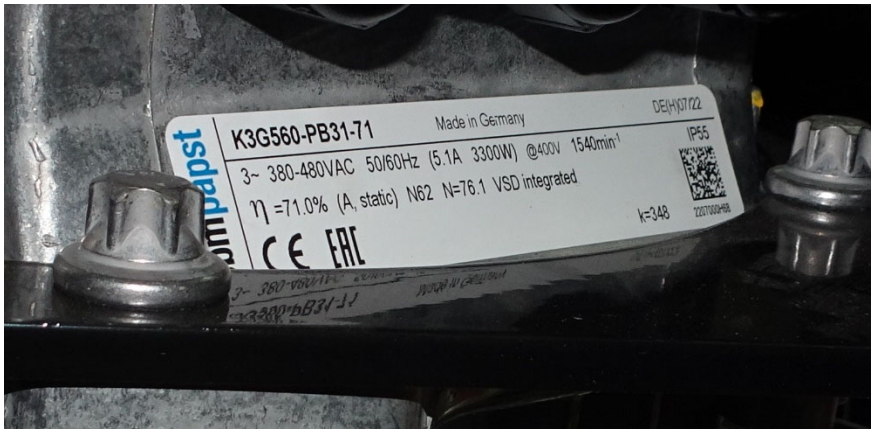

Abbildung 23: Prüfling 1; Typenschild Ventilator

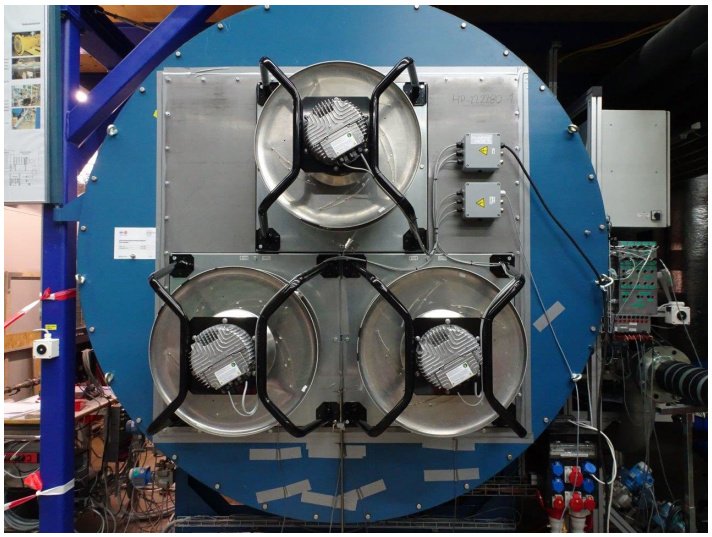

Abbildung 24: Prüfling 1; Aufbau an Prüfstand für Messung 1; Ansicht frontal Austrittsseite

Abbildung 25: Prüfling 1; Aufbau an Prüfstand für Messung 1; Ansicht seitlich + Detail

10.2. Prüfling 2 und Messaufbau Prüfung 2

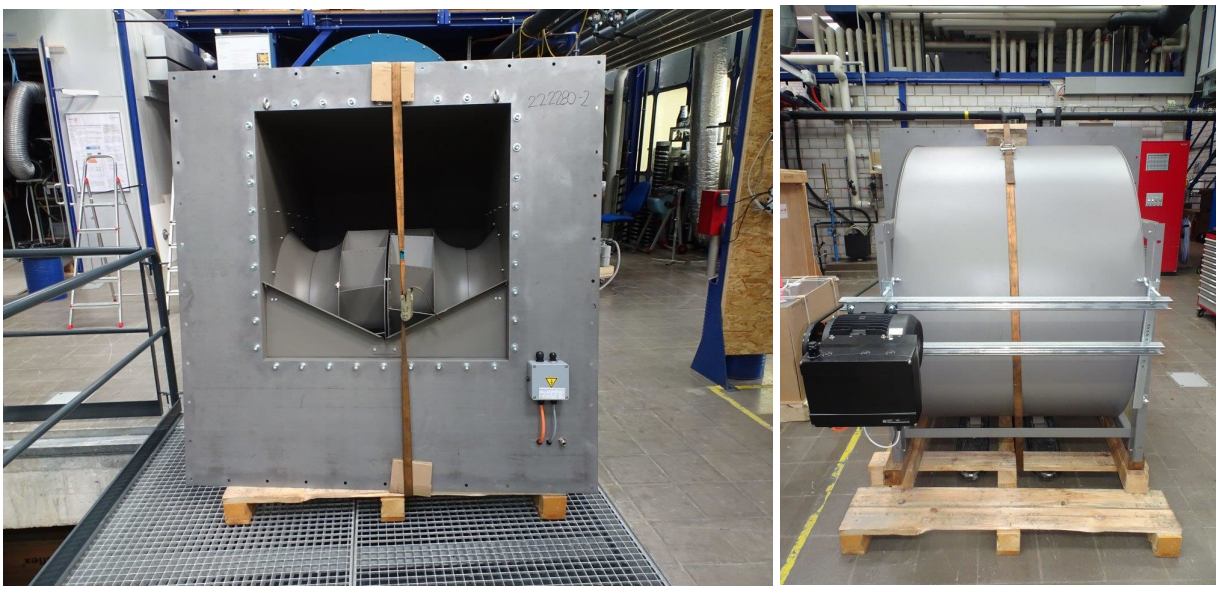

Abbildung 26: Prüfling 2; Ansicht auf Luftaustritt druckseitig und Rückseite

Abbildung 27: Prüfling 2; Ansicht auf Lufteintritte seitlich druckseitig

Abbildung 28: Prüfling 2; Detailansicht Antrieb und Motor

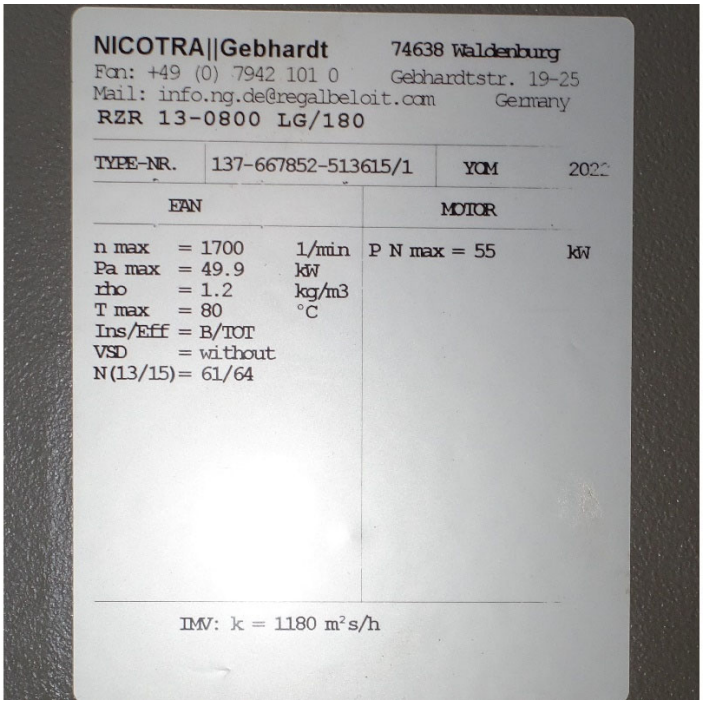

Abbildung 29: Prüfling 2; Typenschild Ventilator

Abbildung 30: Prüfling 2; Typenschild Ventilatormotor

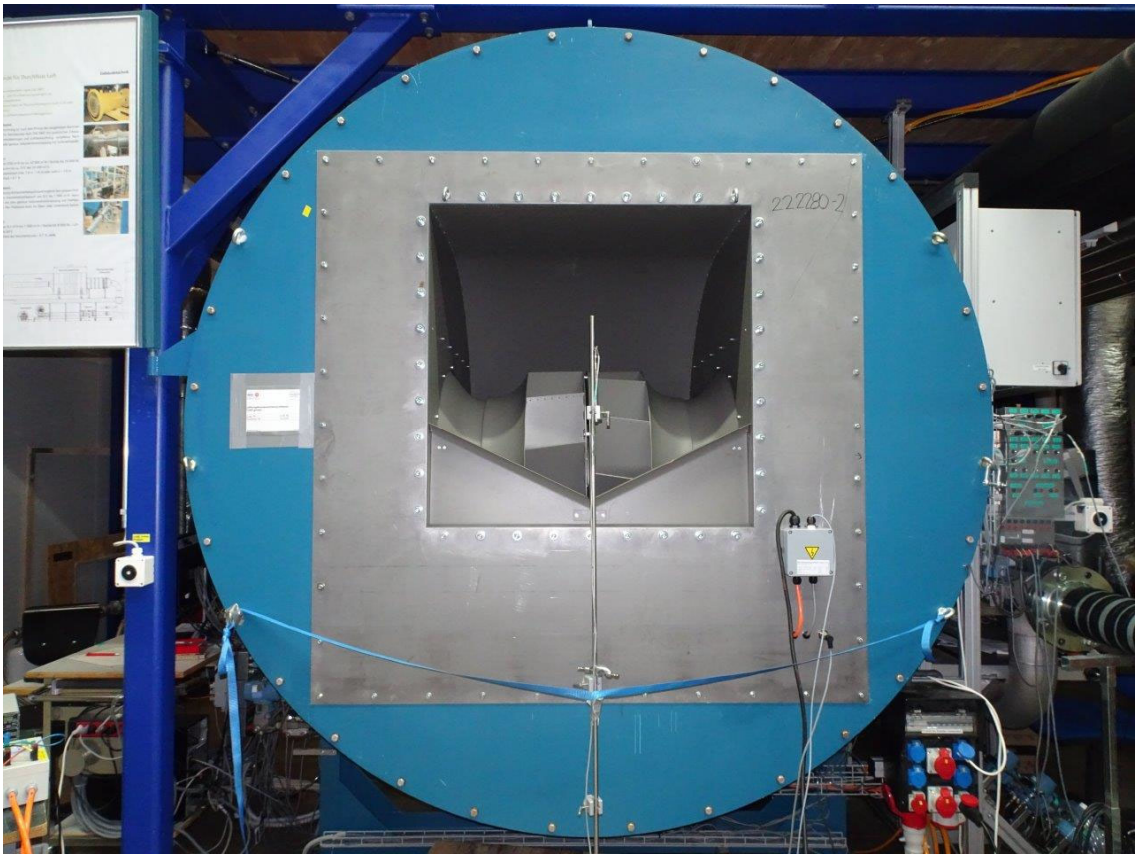

Abbildung 31: Prüfling 2; Aufbau an Prüfstand für Messung 2; Ansicht frontal Austrittsseite

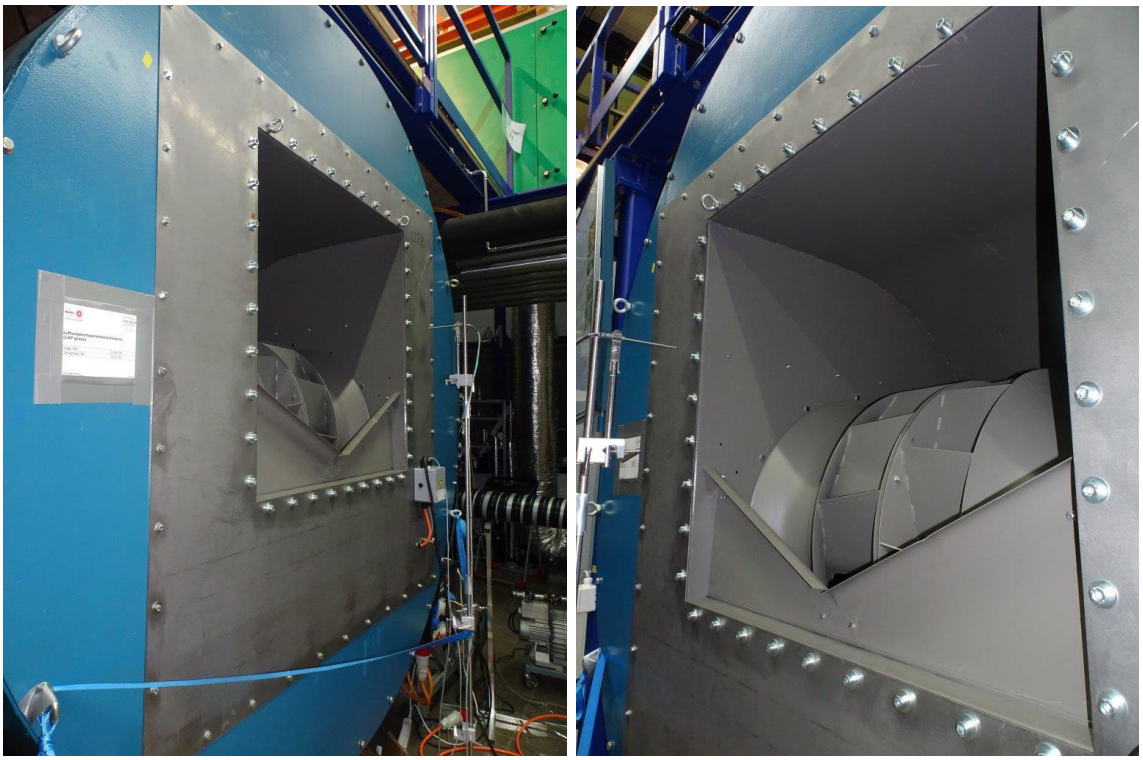

Abbildung 32: Prüfling 2; Aufbau an Prüfstand für Messung 2; Ansicht seitlich + Detail

10.3. Messaufbau Prüfung 3 mit Prüfling 1

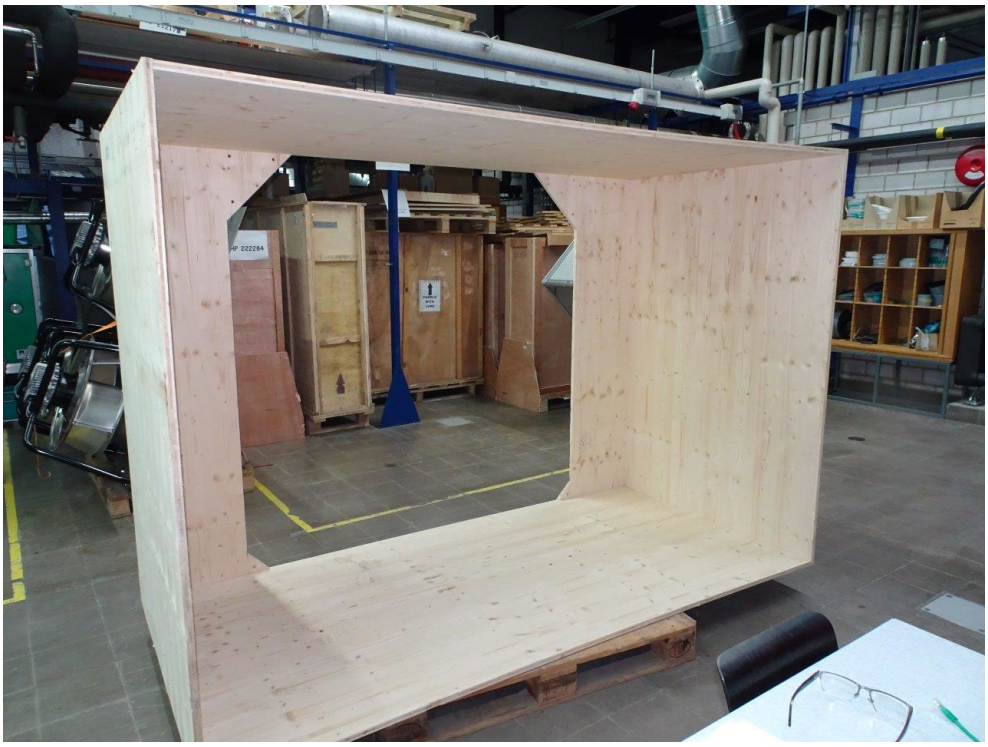

Abbildung 33: Element mit Hilfswänden für Messung 3 an Prüfling 1; Ansicht auf Luftaustritt druckseitig

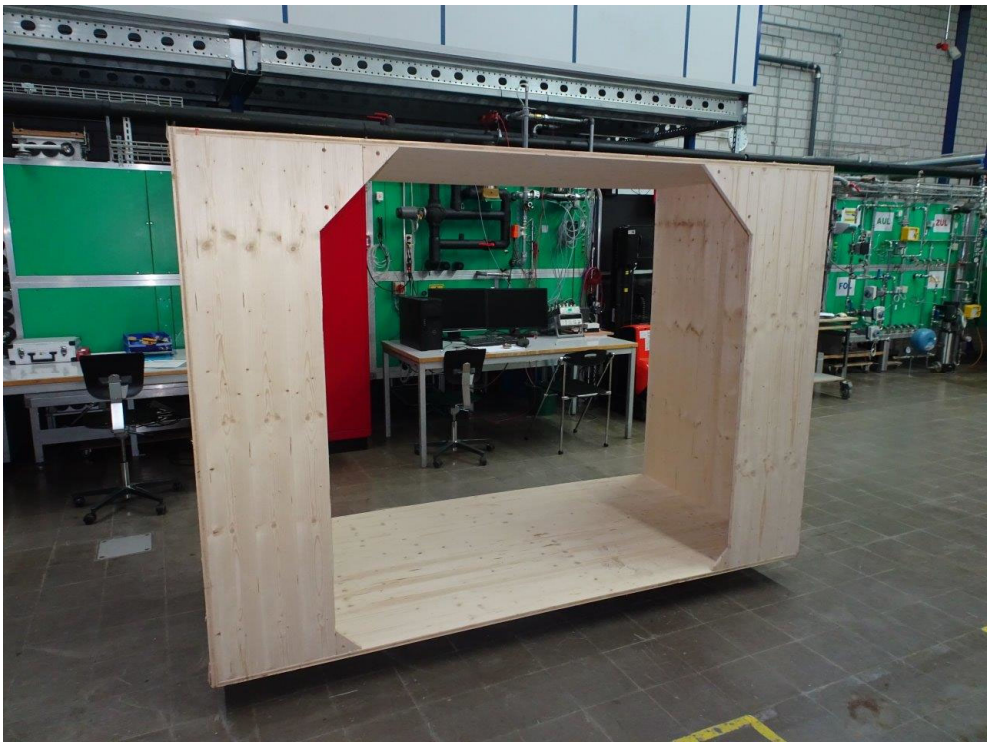

Abbildung 34: Element mit Hilfswänden für Messung 3 an Prüfling 1; Ansicht auf Rückseite

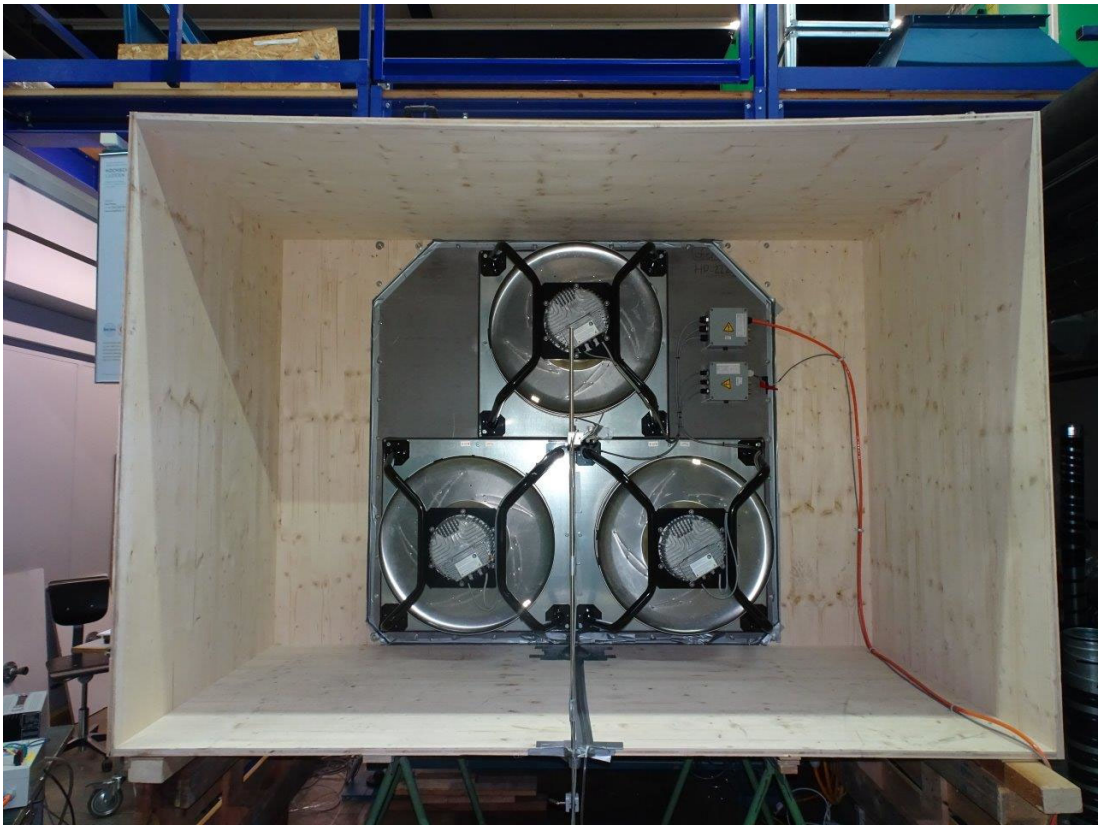

Abbildung 35: Aufbau Messung 3 mit Prüfling 1 und Hilfswänden; Ansicht frontal Austrittsseite

Abbildung 36: Aufbau Messung 3 mit Prüfling 1 und Hilfswänden; Ansicht seitlich + Detail

11. Anhang 5, Spezifikation Messgeräte

Die erweiterte Messunsicherheiten beziehen sich auf Vertrauensniveau von 95 % bei einem Erweiterungsfaktor von k=2.

Tabelle 14: Eingesetzten Messgeräte und Messunsicherheiten

Messunsicherheiten Messgeräte LKP

Messgrösse	Position	Log Nr.	Messunsicher-heit für P=95%	Einheit	Datum der Kalibration	Messgerät Bezeichnung	Bemerkung
		116HP111				Datalogger HP 34970A, 6 1/2 digit	
q_{V101}	FR101	1.01HP020	0.362	% vom MW	10.04.2018	Instromet SM-RI-X-G 16000/600	Q_{meas} < 5000 m3/h
			0.283	% vom MW			Q_{meas} 5000 - 25000 m3/h
q_{V201}	FR201	1.01HP021	0.399	% vom MW	16.04.2018	Instromet SM-RI-X-G 65500/400	Q_{meas} < 2000 m3/h
			0.212	% vom MW			Q_{meas} 2000 - 10000 m3/h
T_{704}	TR704	1.16HP111-K101	0.04	K	25.11.2020	Moser, PT100, 4 Leiter	
T_{203}	TR203	1.16HP111-K102	0.04	K	25.11.2020	Moser, PT100, 4 Leiter	
T_{103}	TR103	1.16HP111-K103	0.04	K	25.11.2020	Moser, PT100, 4 Leiter	
T_{401}	TR401	1.16HP111-K104	0.04	K	25.11.2020	Moser, PT100, 4 Leiter	
T_{402}	TR402	1.16HP111-K105	0.04	K	25.11.2020	Moser, PT100, 4 Leiter	
T_{502}	TR502	1.09HP053	0.09	K	17.12.2020	Rotronic Hygroclip	5-40°C, mit Korrekturtherm
$T_{502, unten}$	TR502u	1.16HP111-K107	0.04	K	25.11.2020	Moser, PT100, 4 Leiter	in Beruhigungskammer unten
$T_{502, obenen}$	TR502o	1.16HP111-K109	0.04	K	25.11.2020	Moser, PT100, 4 Leiter	in Beruhigungskammer oben
T_{602}	TR602	1.16HP111-K110	0.04	K	25.11.2020	Moser, PT100, 4 Leiter	
T_{702}	TR702	1.09HP052	0.09	K	17.12.2020	Rotronic Hygroclip	5-40°C, mit Korrekturtherm
$p_{701} = p_a$	PR701	1.07HP175	12.1	Pa	04.05.2018	Rosemount 3051 CA1A22	für Bereich 0.9...1.1 bar
$h_{rel,703}$	MR703	1.09HP052	2.5	%r.F.	17.12.2020	Rotronic Hygroclip	für Bereich 20...40°C, 20-80%RF
$h_{rel,503}$	MR503	1.09HP053	1.7	%r.F.	17.12.2020	Rotronic Hygroclip	für Bereich 20...40°C, 20-80%RF
Δp_{202}	PDR202	1.07HP245	1.5 Pa + 0.041% v. MW.		23.08.2019	Endress + Hauser, Deltabar S PMD 230	bis 10000 Pa
Δp_{102}	PDR102	1.07HP246	1.5 Pa + 0.043% v. MW.		23.08.2019	Endress + Hauser, Deltabar S PMD 230	bis 10000 Pa
Δp_{501}	PDR501	1.07HP228	0.7	Pa	10.10.2022	Rosemount 3051S	bis 1000 Pa
Δp_{503}	PDR503	1.07HP086	0.6 Pa + 0.086% v. MW.		24.05.2019	Endress + Hauser, Deltabar S PMD 230	bis 2500 Pa

Messunsicherheiten Messgeräte zusätzlich zu LKP

Messgrösse	Position	Log Nr.	Messunsicher-heit für P=95%	Einheit	Datum der Kalibration	Messgerät Bezeichnung	Bemerkung
P_e	ER605	1.13 HP 123	0.20	% MW	26.01.2021	Infratec 106 A, 3 / 0.1	
N	SR603	1.01 HP 037	1.8	U/min	11.09.2020	Testo 465	Validierung mit 1.12 HP 005
Dimensionen		1.04 HP 017	0.002	m	11.05.2011	Leica DISTO D2	Validiert mit Messband Kl. 2

Feste Messunsicherheiten

Messgrösse	Position		Messunsicher-heit für P=95%	Einheit			Bemerkung
Temperatur			1.15	K			Temperaturschichtung Umgebung
Temperatur			0.58	K			Temperaturschichtung andere
Idea-Formeln			0.046%	vom Wert			Siehe Beschreibung IDEA
kp			0.002	-		Unsicherheit Näherungsberechnung kp	gem. ISO 5801: 2007; 3.46, Note 2

12. Anhang 6, Literaturhinweise

SN EN ISO 5801 (2017): Ventilatoren - Leistungsmessung auf genormten Prüfständen (ISO 5801:2017)

SN ISO 13349 (2010): Ventilatoren - Terminologie und Klassifizierung

SN EN 13053 (2019): Lüftung von Gebäuden - Zentrale raumlufttechnische Geräte - Leistungskenndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten