

Wie geeignet sind Push-Pull Lüftungsgeräte für eine energieeffiziente Wohnungslüftung?

Einer Untersuchung zur Marktsituation der Wohnungslüftung des BDH und FGK (Abbildung 1) zeigt, dass für die dezentrale Wohnungslüftung mehrheitlich paarweise, alternierend arbeitende Lüftungsgeräte (Pendellüfter oder Push-Pull Lüftungsgeräte) eingesetzt werden. Eine Montage in den Außenwänden ohne Luftleitungsnetz macht diese Lüftungslösung nicht nur für Einfamilienhäuser, sondern auch für den Einsatz in Wohnungen attraktiv. Außenluftvolumenstrom und Wirkungsgrad des Wärmeübertragers sind zudem ausreichend für eine Förderung als energieeffiziente Lüftungsanlage für Wohngebäude nach BEG. Bauartbedingt weisen diese Lüftungsgeräte Axialventilatoren mit einer geringen Förderhöhe auf. Eine Untersuchung an einem bauaufsichtlich zugelassenen Gerätepaar soll zeigen, welchen windinduzierten Drücken diese fassadenseitig montierten Lüftungsgeräte ausgesetzt sein können und ob ein energieeffizienter Betrieb unter diesen Bedingungen gegeben ist.

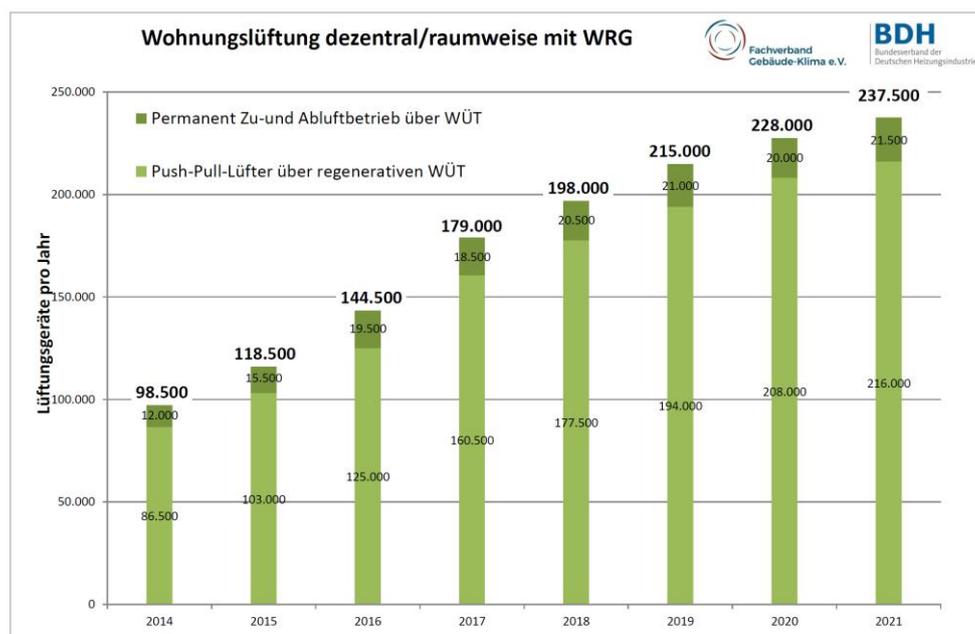


Abbildung 1: Entwicklung des deutschen Markts für dezentrale Wohnungslüftung zwischen 2014 und 2021 (Abb. © FGK/BDH)

Für die Wärmerückgewinnung weisen „Push-Pull“ Lüftungsgeräte einen regenerativen Wärmeübertrager auf, der über die Wärme der aus den Wohnräumen geförderten Abluft erwärmt werden soll. Nach Drehrichtungsumkehr der Ventilatoren des Gerätepaars soll die Wärme vom Wärmeübertrager an die Zuluft abgegeben werden. Für den effizienten Betrieb ist eine Volumenstrombalance der Gerätepaare notwendig, Abbildung 2.

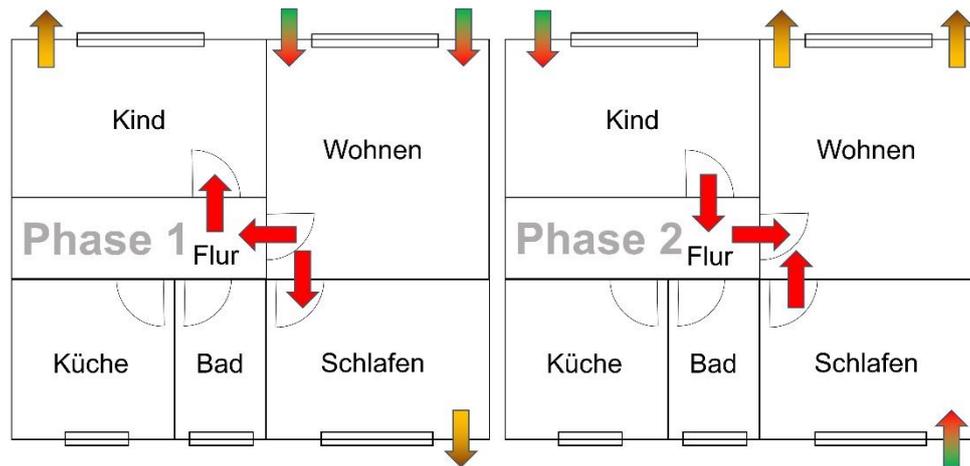


Abbildung 2: Lüftungsphasen von Push-Pull Lüftungsgeräten in einer 3-Zimmer-Wohnung, Lüftung von Küche und Bad über manuell zu öffnende Fenster.

Durch die Montage auf der Fassade sind diese Lüftungsgeräte Windlasten ausgesetzt, weshalb im Rahmen der bauaufsichtlichen Zulassung und der Kennzeichnung dieser Lüftungsgeräte nach der Öko-Designrichtlinie ERP Verordnung 1254/2014 EU¹ eine Prüfung der Windempfindlichkeit erforderlich ist.

Anforderungen an die Windempfindlichkeit

Die Prüfung der Windempfindlichkeit dezentraler Lüftungsgeräte erfolgt nach DIN EN 13141-8² bei einem Prüfdruck von ± 20 Pa. Für eine Klassifizierung darf bei der Prüfung unter diesem Prüfdruck eine maximale Volumenstromabweichung des Zuluftvolumenstroms vom Abluftvolumenstrom in Höhe von 30 % auftreten, Tabelle 1.

Klasse	Maximale Abweichung des Zuluftstroms im Vergleich zum größten Luftstrom in %	
	bei +20 Pa	bei -20 Pa
S1	≤ 10	≤ 10
S2	≤ 20	≤ 20
S3	≤ 30	≤ 30
Nicht klassifiziert	> 30	> 30

Tabelle 1: Klassen der Windempfindlichkeit dezentraler Lüftungsgeräte nach DIN EN 13141-8

Es stellt sich die Frage, wie häufig diese Einsatzvoraussetzungen in der Praxis angetroffen werden bzw. welchen Einfluss Windlasten auf

¹ Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1254/2014 der Kommission vom 11. Juli 2014 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Wohnraumlüftungsgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch, Amtsblatt der Europäischen Union, L337/27

² DIN EN 13141-8:2023-06, Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 8: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten ohne Luftführung (einschließlich Wärmerückgewinnung), Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin



den energieeffizienten Betrieb dieser Lüftungsgeräte haben. Dazu erfolgt 2021 und 2022 eine Untersuchung eines Gerätepaars in einem Prüfaufbau unter realen und simulierten Windlasten.

Untersuchte Lüftungsgeräte und Messtechnik

Die untersuchten paarweise, alternierend arbeitenden Lüftungsgeräte weisen laut bauaufsichtlicher Zulassung folgende Spezifikationen auf:

Volumenstrom bei einem statischen Druck $p_{\text{stat}} = 0 \text{ Pa}$:

- Stufe 1: 17 m³/h
- Stufe 2: 21 m³/h
- Stufe 3: 42 m³/h
- Stufe 4: 58 m³/h

Mittlerer Wärmebereitstellungsgrad η_{WRG} bei Betrieb des Gerätepaars im Volumenstrombereich 17 m³/h bis 58 m³/h bei mittleren Windgeschwindigkeiten $\leq 5 \text{ m/s}$ und $p_{\text{stat}} = 0 \text{ Pa}$:

- $\eta_{\text{WRG}} = 0,78$

Laut Produktdatenblatt gemäß der ERP Verordnung 1254/2014 EU weisen die Lüftungsgeräte eine Druckschwankungsempfindlichkeit von 29,4 % auf und entsprechen damit nach DIN EN 13141-8 der Klasse S3.

Folgende Messtechnik wird eingesetzt:

Windgeschwindigkeit

- LeWL, Pro-D Anemometer
- LeWL, Anemometer
- LeWL, Wind Logger

Differenzdruck

- Minneapolis BlowerDoor DG 700
- Datenlogger iTEC 700

Ventilator

- Minneapolis BlowerDoor Ductblaster B

Messaufbau Versuchsreihe 1

Auf einem Gartengrundstück in 14552 Michendorf, OT Langerwisch im Landkreis Potsdam-Mittelmark wird an der westlichen Grundstücksgrenze ein freistehender Messaufbau errichtet, Abbildung 3.

Die Lüftungsgeräte werden in zwei jeweils 1 m³ großen, luftdichten Kisten eingebaut. Die Kisten sind innenseitig über eine scharfkantige Blende mit DN 68 mm verbunden. Sie stehen auf einem ca. 1,5 m hohen Podest, ein Lüftungsgerät ist nach Westen, das andere nach Osten orientiert.

Nach der Einordnung der DIN 1946-6³ gilt der Kreis Potsdam-Mittelmark als windschwaches Windgebiet mit einer mittleren Windgeschwindigkeit während der Heizperiode $\leq 3,3$ m/s. Die Aufstellung des Messaufbaus entspricht einer offenen Lage ohne Abschirmung durch Nachbargebäude.

Eine Messung der Windgeschwindigkeit erfolgt in ca. 3 m und ca. 7 m Höhe.



Abbildung 3: Messaufbau der paarweise arbeitenden Lüftungsgeräte

Die Lüftungsgeräte arbeiten wechselseitig: befindet sich Lüftungsgerät 1 im Zuluftbetrieb, ist Lüftungsgerät 2 im Abluftbetrieb. Nach einem Zeitintervall von ca. 70 Sekunden schalten die Ventilatoren bei der Lüftungsgeräte die Drehrichtung um.

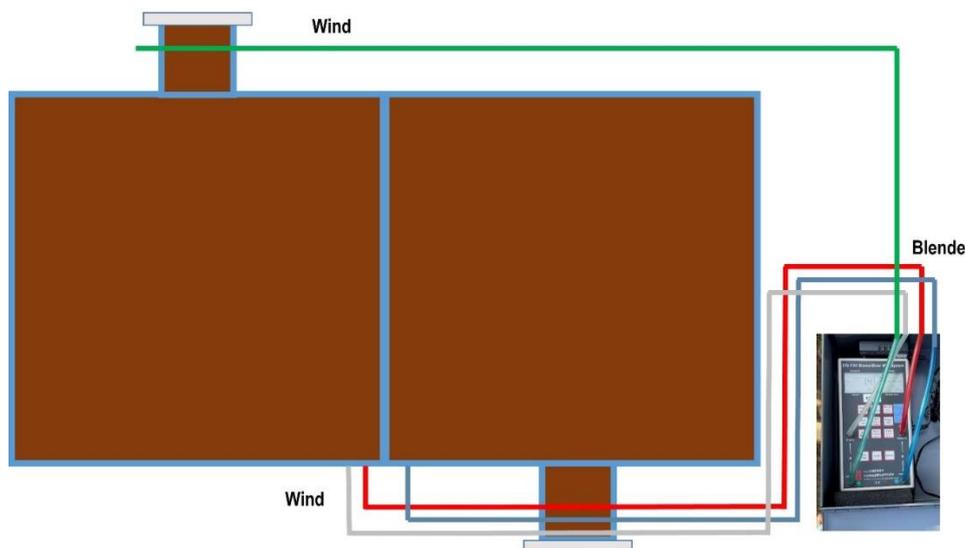


Abbildung 4: Aufnahme der Differenzdrücke, Wind: grün-grau, Messblende: rot-blau

³ DIN 1946-6;2019-12, Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin



Über ein Differenzdruckmessgerät werden der Winddruck auf dem Messaufbau (grüner und grauer Schlauch) und der Differenzdruck über die Blende (roter und blauer Schlauch) gemessen. Eine Umkehr des Vorzeichens des aufgenommenen Drucks über die Messblende zeigt die Strömungsumkehr über die Blende aufgrund der Drehrichtungsänderung der Ventilatoren an. Über folgende Blendengleichung⁴ kann der Volumenstrom über die Messblende bestimmt werden.

$$q_{v,Blende} = 0,36 \cdot (2/\rho)^{0,5} \cdot c_d \cdot A \cdot \Delta p^{0,5}$$

mit

$q_{v,Blende}$	Volumenstrom über die Messblende in m ³ /h
ρ	Rohdichte der Luft
c_d	Luftwiderstandswert 0,61 (scharfkantige Öffnung)
A	Fläche der Öffnung in cm ²
Δp	Differenzdruck über die Blende in Pa

Über die Messblende kann der vom Lüftungsgerätepaar geförderte Volumenstrom gemessen werden. Hierzu werden die Differenzdrücke über die Messblende bei unterschiedlichen Betriebsstufen der Lüftungsgeräte über den Datenlogger im Sekundentakt aufgezeichnet und mit der obigen Gleichung in einen Volumenstrom umgerechnet.

In Abbildung 5 bis Abbildung 8 ist die KW 11 beispielhaft dargestellt, in der die Lüftungsgeräte auf Stufe 4 betrieben werden. Ein positiver Differenzdruck wird als positiver Volumenstrom (Förderrichtung 1, grün) dargestellt, ein negativer Differenzdruck als negativer Volumenstrom (Förderrichtung 2, violett).

Bei den über die Blende ermittelten Volumenströmen muss jedoch beachtet werden, dass der Druckabfall über die Messblende einen Einfluss auf den errechneten Volumenstrom hat, der in dieser ersten Betrachtung nicht herausgerechnet wird. Insbesondere bei hohen Volumenströmen macht sich dieser Druckabfall durch einen verringerten errechneten Volumenstrom bemerkbar.

⁴ Walter, Wilfried, Messung kleiner Volumenströme mit Hilfe von Lochblenden, Seminar Blower Door spe

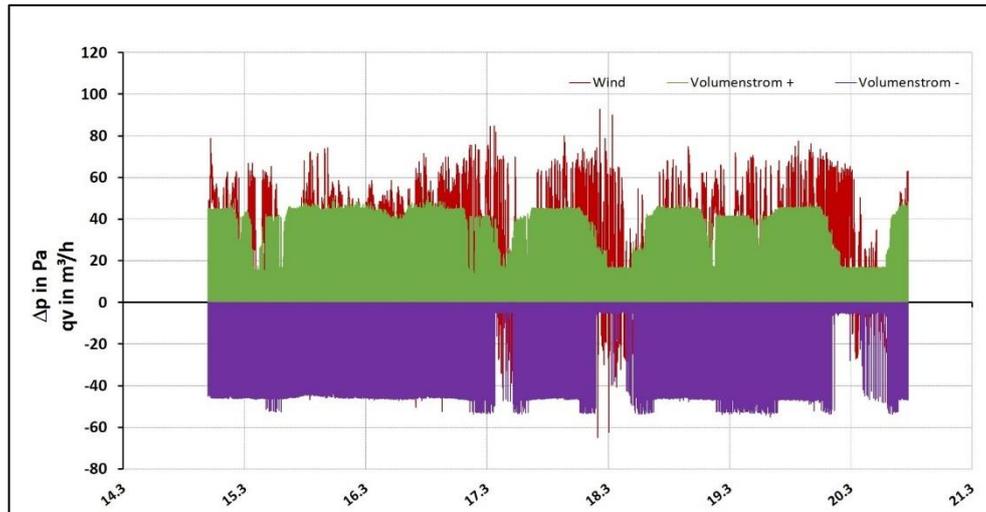


Abbildung 5: Wirksamer Winddruck (rot), über die Blende gemessener Volumenstrom in Förderrichtung 1 (grün) und Förderrichtung 2 (violett) bei der Betriebsstufe 4: 15. bis 20.3.2021

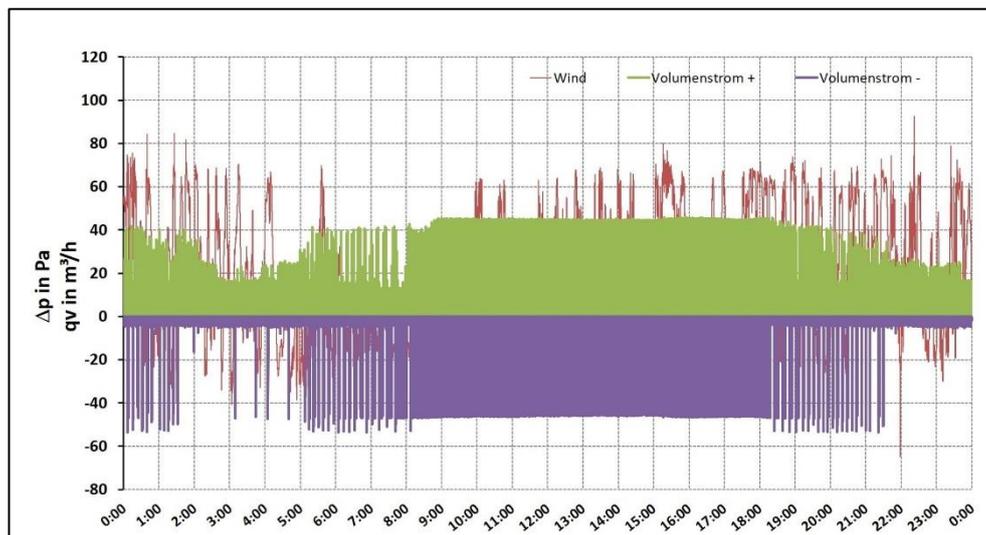


Abbildung 6: Wirksamer Winddruck (rot), über die Blende gemessener Volumenstrom in Förderrichtung 1 (grün) und Förderrichtung 2 (violett) bei der Betriebsstufe 4: 18.3.2021

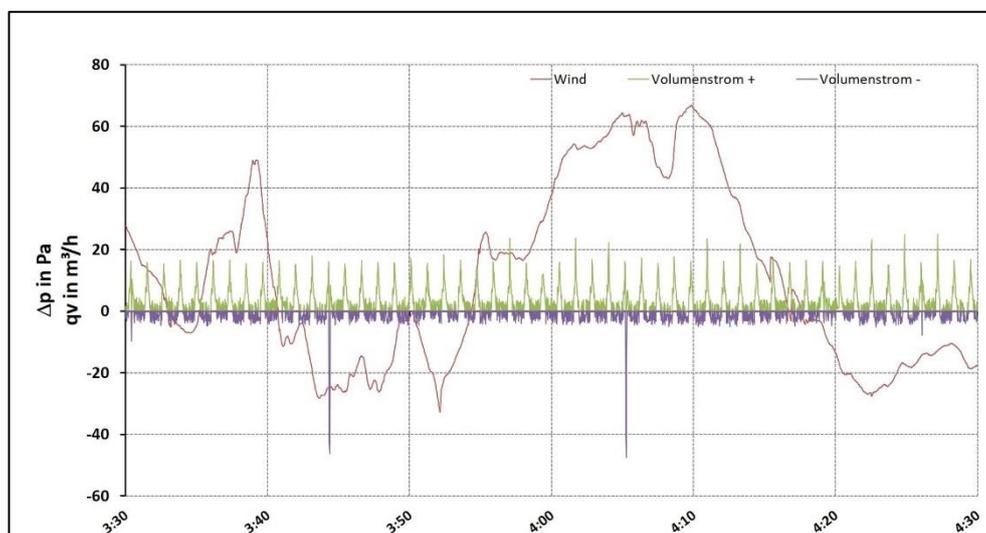


Abbildung 7: Wirksamer Winddruck (rot), über die Blende gemessener Volumenstrom in Förderrichtung 1 (grün) und Förderrichtung 2 (violett) bei der Betriebsstufe 4: 18.3.2021, 3.30 bis 4.30 Uhr

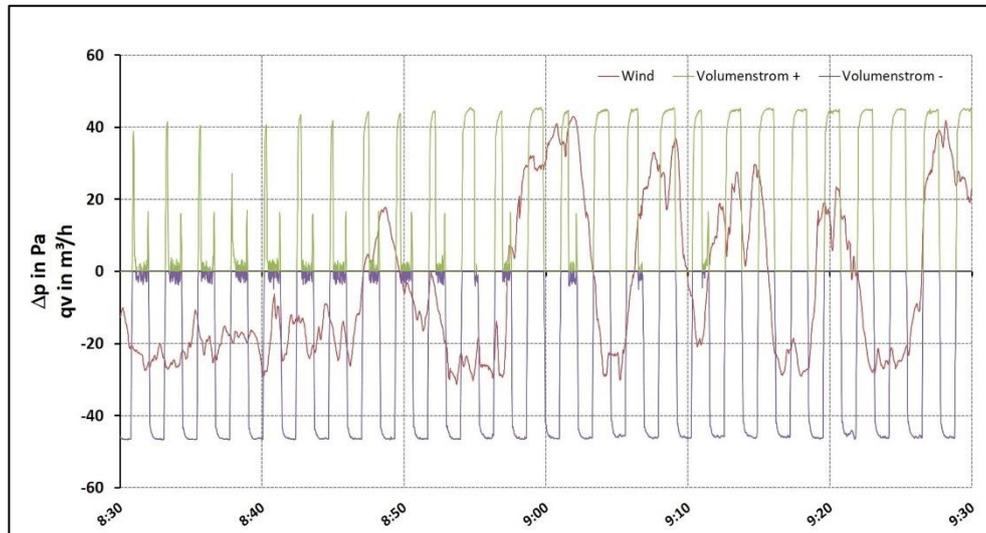


Abbildung 8: Wirksamer Winddruck (rot), über die Blende gemessener Volumenstrom in Förderrichtung 1 (grün) und Förderrichtung 2 (violett) bei der Betriebsstufe 4: 18.3.2021, 8.30 bis 9.30 Uhr

Gut zu sehen ist in Abbildung 5 und Abbildung 6, dass die Förderung des Volumenstroms nicht immer gleichförmig verläuft. Erkennbar ist ein annähernd vollständiger Zusammenbruch der Förderung in beide Förderrichtungen (Abbildung 7) bzw. nur in eine Förderrichtung (Abbildung 8). Ein Zusammenhang mit Winddrücken über 20 Pa ist erkennbar. Die gemessenen windinduzierten Differenzdrücke übersteigen in Spitzen 60 Pa.

Ein Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit, sich daraus ergebendem Druck auf den Messaufbau und den Volumenströmen wird für KW 14 in Abbildung 9 und Abbildung 10 gezeigt. Der Windloggers zeichnet alle 10 Sekunden eine Windgeschwindigkeit auf, bei der der Differenzdruckaufzeichnung wird jede Sekunde ein Mittelwert aufgezeichnet.

Die Lüftungsgeräte werden auf Stufe 3 betrieben.

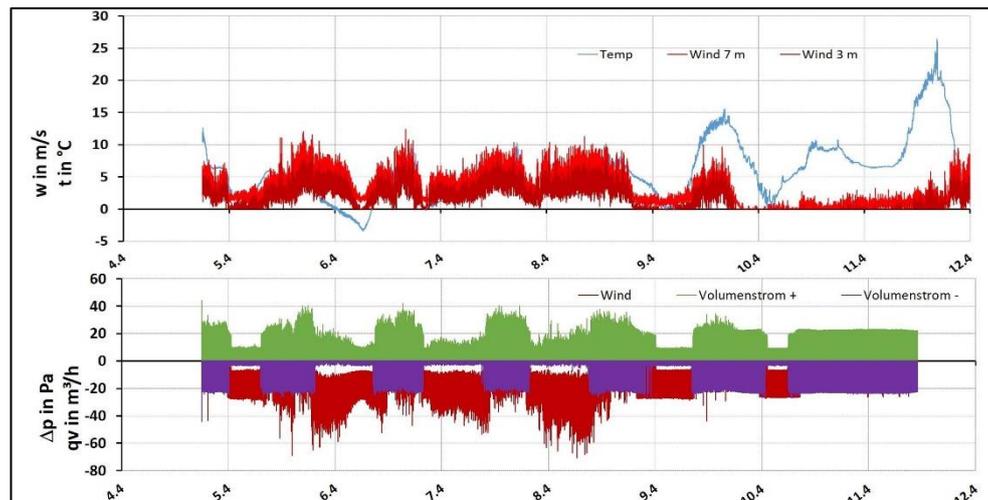


Abbildung 9: Windgeschwindigkeit in 7 m (hellrot) und 3 m (dunkelrot) Höhe, wirksamer Winddruck (rot), über die Blende gemessener Volumenstrom in Förderrichtung 1 (grün) und Förderrichtung 2 (violett) bei der Betriebsstufe 3 vom 5.4.21 bis 12.4.21

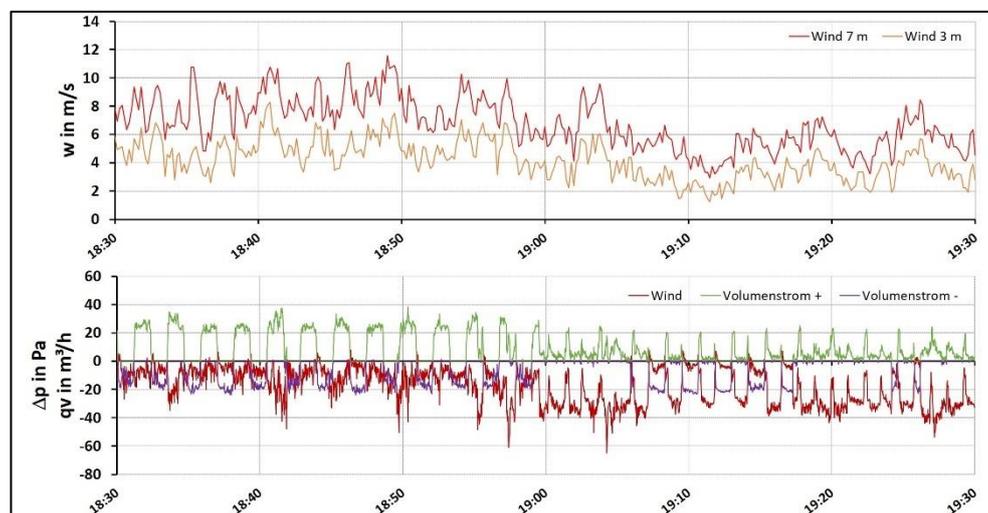


Abbildung 10: Windgeschwindigkeit in 7 m (hellrot) und 3 m (dunkelrot) Höhe, wirksamer Winddruck (rot), über die Blende gemessener Volumenstrom in Förderrichtung 1 (grün) und Förderrichtung 2 (violett) bei der Betriebsstufe 3 vom 5.4.21, 18.30 bis 19.30 Uhr

In Abbildung 9 sind längere Zeiträume sichtbar, in denen ein balancierter Volumenstrom nicht gegeben ist. Zudem ist hier, wie auch in Abbildung 8 erkennbar, dass die Lüftungsgeräte sehr empfindlich und spontan auf Windeinflüsse reagieren. In Abbildung 10 ist erkennbar, dass die gemessenen Volumenströme in beiden Förderrichtungen stark schwanken, in Abhängigkeit der ebenfalls sehr stark schwankenden windinduzierten Differenzdrücke. Dabei übersteigt der Winddruck in Spitzen 60 Pa.

In Abbildung 10 ist ebenfalls erkennbar, dass sich aus dieser Messung kein direkter Zusammenhang zwischen gemessener Windgeschwindigkeit und dem Winddruck auf den Messaufbau bzw. den geförderten Volumenströmen ableiten lässt. Beispielsweise sinkt ab ca. 19.00 Uhr die gemessene Windgeschwindigkeit, der im Messaufbau gemessene Winddruck steigt jedoch. Als Ursache können einerseits

die Unterschiede der Messintervalle und Datenaufzeichnung denkbar sein, andererseits kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass eine zeitliche Verschiebung zwischen den unterschiedlichen Datenloggern für Windgeschwindigkeit und Differenzdruck besteht.

Da das Ziel der Untersuchung eine Aussage zu den geförderten Volumenströmen der Lüftungsgeräte unter Winddruck ist, wird der Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und erzeugtem Differenzdruck nicht weiter betrachtet. Eine Auswertung erfolgt in dieser Untersuchung allein basierend auf dem über dem Messaufbau ermittelten Winddruck.

Um genaue Aussagen zum Einfluss auf die geförderten Volumenströme zu treffen, wird der Messaufbau in der Art erweitert, dass ein steter Winddruck simuliert werden kann.

Häufigkeit der Windlasten

Die windinduzierten Differenzdrücke werden im Zeitraum März 2021 bis Juni 2021 über einen Datenlogger im Sekundentakt gemessen. Je Woche werden rund 600.000 Datensätze aufgezeichnet, Abbildung 11.

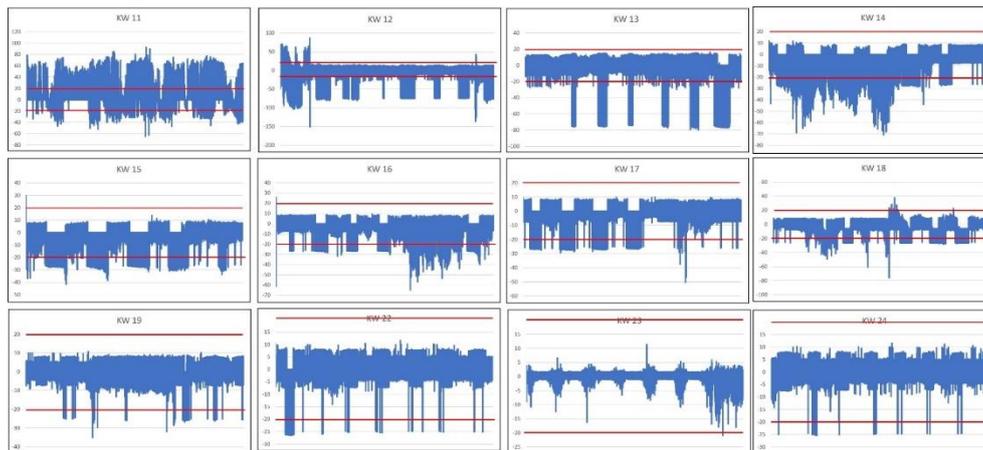


Abbildung 11: Aufzeichnung des Winddrucks von KW 11 bis KW 24 2021 mit Darstellung des +/- 20 Pa-Bereichs

In Abbildung 12 sind die Beträge dieser Differenzdrücke nach ihrer Häufigkeit wochenweise dargestellt.

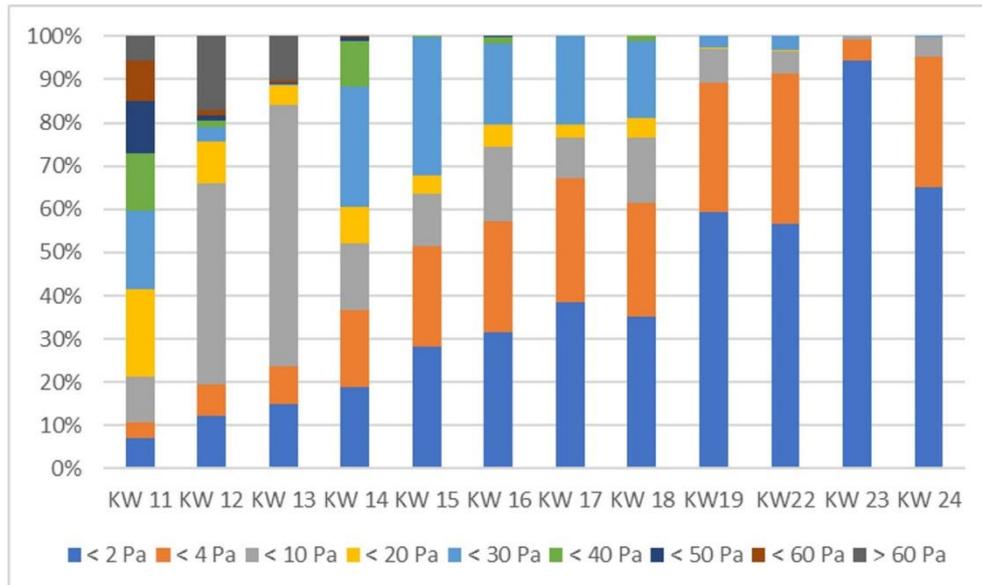


Abbildung 12: Häufigkeit der absoluten windinduzierten Differenzdrücke von KW 11 bis KW 24 2021

Es ist deutlich sichtbar, dass im März eine sehr große Häufigkeit der hohen windinduzierten Differenzdrücke vorliegt, die dann in Richtung der wärmeren Monate abnimmt.

Die Klassifizierung der Empfindlichkeit des Luftvolumenstroms erfolgt nach DIN EN 13141-8 für ± 20 Pa, dieser Winddruck wird in der KW 11 ca. 60 % der Zeit überschritten. In KW 12 sind es ca. 25 %, in KW 13 etwas mehr als 10 % der Zeit. Dann steigt die Häufigkeit in KW 14 wieder auf 40 % an und nimmt dann zum Sommer sehr stark ab.

Auch wenn in dieser Untersuchung nur die Monate März und April in die Heizperiode fallen, kann trotzdem angenommen werden, dass sich die Winddrücke in den übrigen Monaten der Heizperiode ähnlich wie im März verhalten oder der Windeinfluss sogar noch höher ist.

Messaufbau Versuchsreihe 2

Um unterschiedliche Winddrücke über den Messaufbau zu simulieren, wird vor dem westlich orientierten Lüftungsgerät ein Trichter aufgebaut, in dem ein regelbarer Ventilator (Minneapolis Ductblaster) vorgesehen wird, Abbildung 13.

Über den Ventilator wird eine stete Windlast und damit ein steter Winddruck simuliert. Die seitliche Öffnung des Trichters sichert einen Betrieb der Lüftungsgeräte unter der simulierten Windlast.



Abbildung 13: Messaufbau mit Ventilator zur Simulation eines stetigen Winddrucks

Über das Differenzdruckmessgerät wird der durch den Ventilator simulierte Winddruck (Abbildung 14, grüner und grauer Schlauch) und der Differenzdruck über die Blende (Abbildung 14, roter und blauer Schlauch) gemessen.

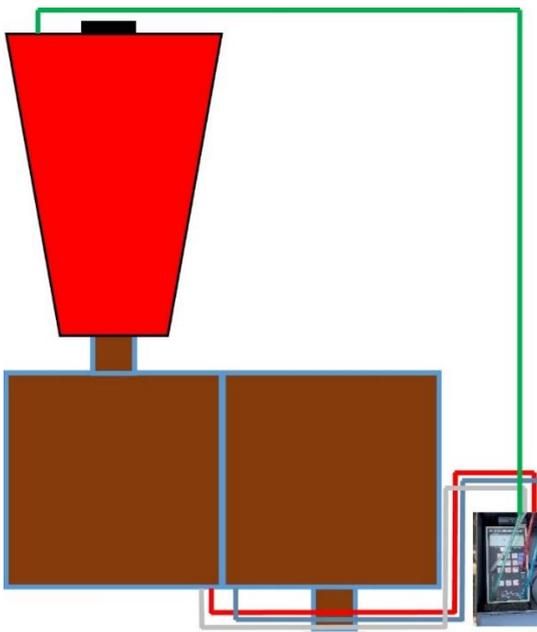


Abbildung 14: Aufnahme der Differenzdrücke mit Simulation des Winddrucks durch den Ventilator

Messablauf

Die Lüftungsgeräte werden jeweils auf die Betriebsstufe 4 bis 1 gebracht. In jeder Betriebsstufe wird der Ventilator so eingeregelt, dass sich ein mittlerer Differenzdruck über den Messaufbau von in etwa 60 Pa ergibt. Die Drehzahl des Ventilators wird dann stufenweise reduziert, sodass der Differenzdruck stetig abnimmt. Da die Lüftungsgeräte in einem Intervall sowohl in Förderrichtung des Ventilators (Windrichtung) arbeiten, als auch entgegen diese Förderrichtung, ergibt sich eine wellenförmige Kennlinie des Winddrucks.

Winddruck und Energieeffizienz

In Abbildung 15 bis Abbildung 18 sind die Aufzeichnungen der 4 Betriebsstufen unter wechselnden Differenzdrücken dargestellt. Es wird ein maximaler Differenzdruck von 60 Pa gewählt, der in Schritten bis ca. 10 Pa (Stufen 4 und 3) bzw. 0 Pa (Stufen 2 und 1) reduziert wird.

Bei der Errechnung des Volumenstroms mit oben genannter Blendinggleichung wird in dieser Betrachtung der gemessene Differenzdruck über die Messblende um den Druckabfall über die Blende korrigiert. Gegenüber der ersten Auswertung sind deshalb die ermittelten Volumenströme höher.

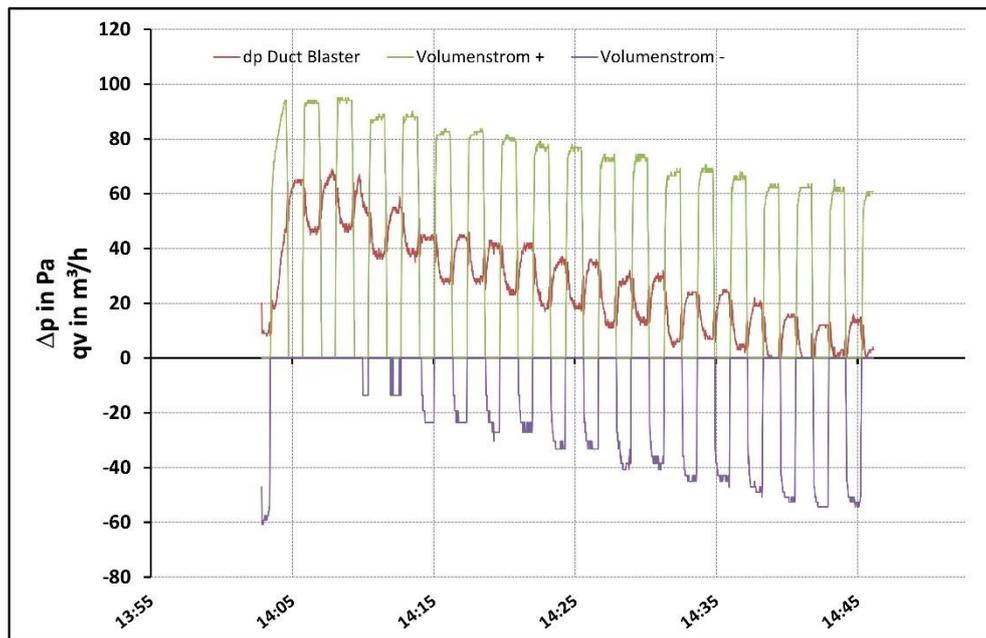


Abbildung 15: Volumenstrom unter simuliertem Winddruck: Stufe 4, $q_{v,soll} = 58 \text{ m}^3/\text{h}$

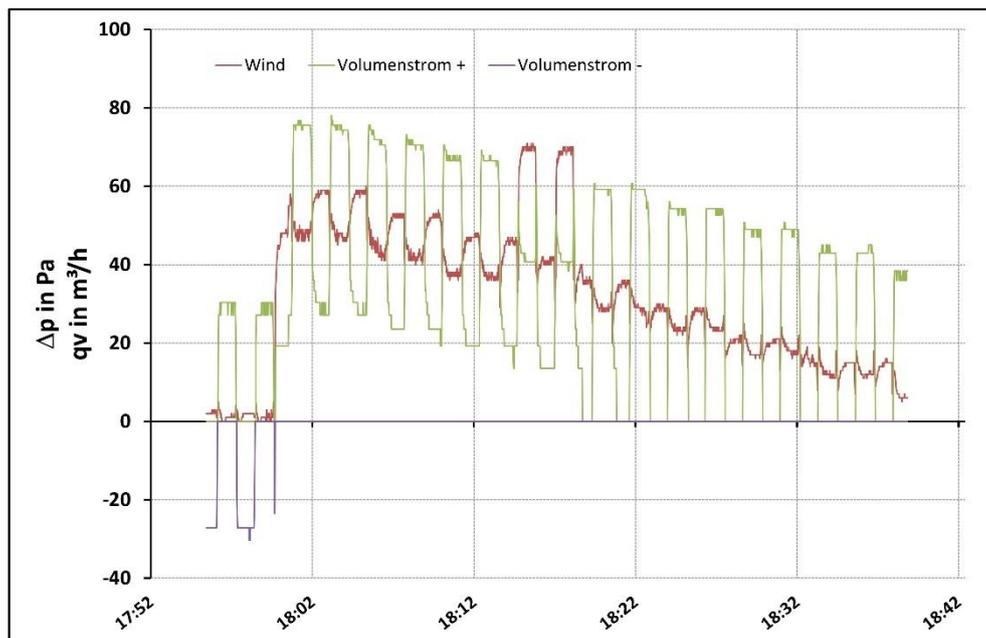


Abbildung 16: Volumenstrom unter simuliertem Winddruck: Stufe 3, $q_{v,soll} = 42 \text{ m}^3/\text{h}$

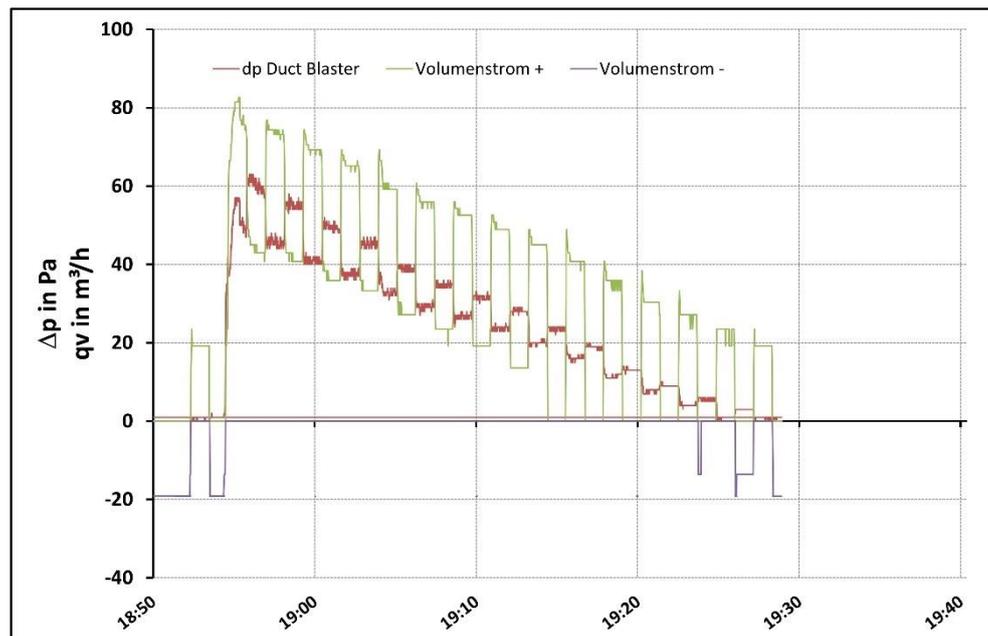


Abbildung 17: Volumenstrom unter simuliertem Winddruck: Stufe 2, $q_{v,soll} = 21 \text{ m}^3/\text{h}$

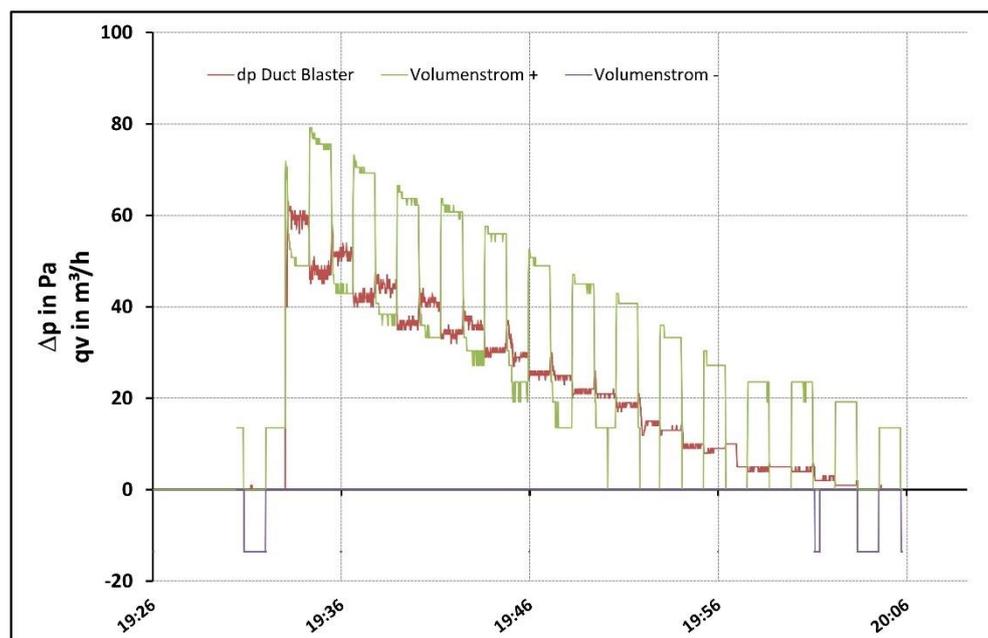


Abbildung 18: Volumenstrom unter simuliertem Winddruck: Stufe 1, $q_{v,soll} = 17 \text{ m}^3/\text{h}$

Der Effekt der Windlast ist deutlich sichtbar. Bei der Betriebsstufe 4 (Abbildung 15) ist bei einem Winddruck (rote Linie) von 60 Pa nur noch ein Volumenstrom in eine Richtung messbar (grüne Linie). Erst mit sinkendem Winddruck kommt es wieder zu einem Volumenstrom in Gegenrichtung (violette Linie). Bei den Betriebsstufen 3 (Abbildung 16), 2 (Abbildung 17) und 1 (Abbildung 18) ist der Einfluss des Winddrucks deutlich höher, erst bei einem Winddruck unter ca. 4 Pa (Stufe 3) bzw. ca. 2 Pa (Stufe 2 und 1) ist wieder ein Volumenstrom in Gegenrichtung messbar (violette Linie).

Eine Abschätzung der Energieeffizienz der Lüftungsgeräte unter Windlast erfolgt bei der Betriebsstufe 4. Dazu werden in bestimmten Zeitabschnitten die mittleren positiven und negativen Volumenströme (Zuluft- und Abluftvolumenstrom) ausgewertet, Abbildung 19.

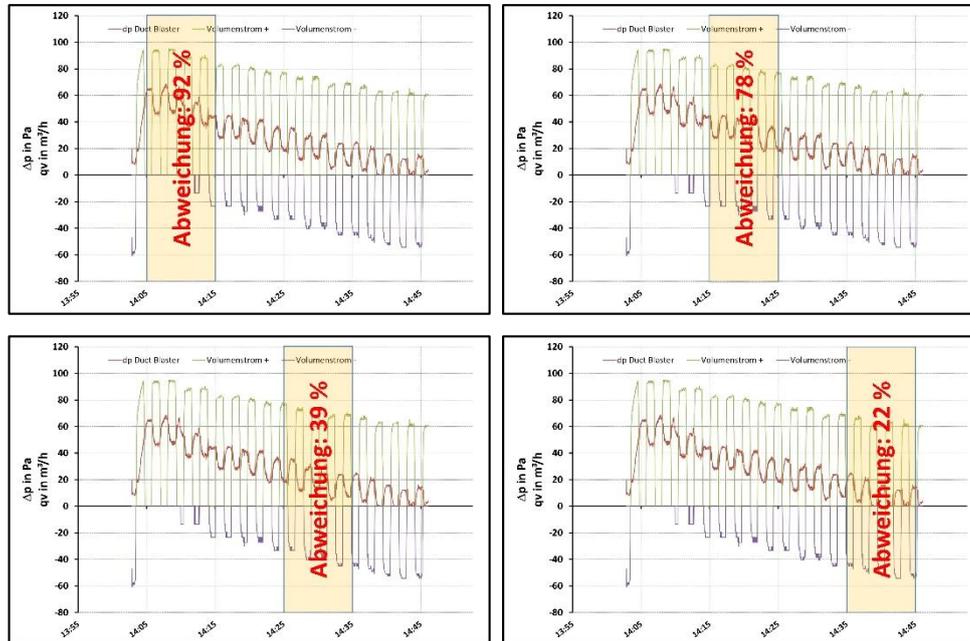


Abbildung 19: In Druckbändern zusammengefasste prozentuale Abweichung des Zuluftvolumenstroms (grün) vom Abluftvolumenstrom (violett) bei unterschiedlichen simulierten Winddrücken (rot) bei Betriebsstufe 4

Aus der prozentualen Abweichung des Zuluftvolumenstroms vom Abluftvolumenstrom wird ein näherungsweise Reduktionsfaktor für den Wirkungsgrad des Wärmeübertragers abgeleitet, Tabelle 2Tabelle 2: Resultierender, näherungsweise Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung in Abhängigkeit des Druckbandes.. Dabei werden die Druckbänder in bestimmten Bereichen zusammengefasst. Für diese näherungsweise Betrachtung wird von einem linearen Verhältnis zwischen Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung und Disbalance von Zu- und Abluftvolumenstrom ausgegangen.

Bei der Betrachtung der Energieeffizienz der Lüftungsgeräte bleibt der erhöhte Außenluftvolumenstrom aufgrund des Winddrucks unberücksichtigt.

Ausgehend von einem Wirkungsgrad des Lüftungsgeräts bei balanciertem Betrieb laut bauaufsichtlicher Zulassung von 78 % ($\eta = 0,78$) ergeben sich bei den Druckbändern folgende Wirkungsgrade:

0 bis 4 Pa	4 bis 20 Pa	20 bis 30 Pa	30 bis 40 Pa	40 bis > 60 Pa
Abweichung 0 %	Abweichung 22 %	Abweichung 39 %	Abweichung 78 %	Abweichung 92 %
$\eta = 0,78$	$\eta_{\text{res}} = \eta \times 0,78$ $\eta_{\text{res}} = 0,61$	$\eta_{\text{res}} = \eta \times 0,61$ $\eta_{\text{res}} = 0,48$	$\eta_{\text{res}} = \eta \times 0,22$ $\eta_{\text{res}} = 0,17$	$\eta_{\text{res}} = \eta \times 0,08$ $\eta_{\text{res}} = 0,06$

Tabelle 2: Resultierender, näherungsweise Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung in Abhängigkeit des Druckbandes.

Aus der Häufigkeitsverteilung (Abbildung 20; Tabelle 3) ergibt sich dann ein resultierender, näherungsweise Wirkungsgrad für die Druckbänder in dem entsprechenden Zeitraum, der die windinduzierten Drücke und deren Häufigkeit berücksichtigt.

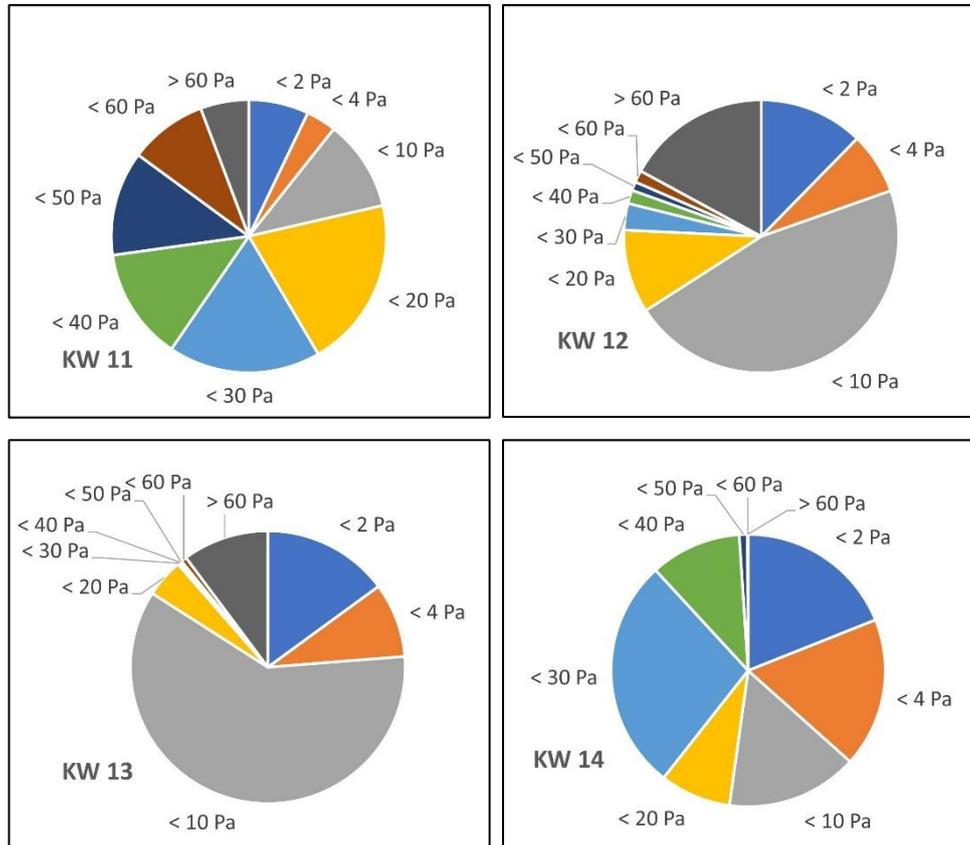


Abbildung 20: Häufigkeit der windinduzierten Differenzdrücke in der KW 11, KW 12, KW 13 und KW 14

Prozentuale Häufigkeit n der Druckbänder					
	0 bis 4 Pa	4 bis 20 Pa	20 bis 30 Pa	30 bis 40 Pa	40 bis > 60 Pa
KW 11	11 %	31 %	18 %	13 %	27 %
KW 12	20 %	56 %	3 %	2 %	20 %
KW 13	24 %	65 %	0 %	14 %	11 %
KW 14	37 %	24 %	28 %	11 %	1 %

Tabelle 3: In Druckbändern zusammengefasste prozentuale Häufigkeiten der windinduzierten Differenzdrücke der KW 11 bis KW 14, 2021

Werden die Wirkungsgrade $\eta_{\Delta p}$ mit der jeweiligen Häufigkeit $n_{\Delta p}$ berücksichtigt, kann daraus ein resultierender mittlerer Wirkungsgrad für diese KW abgeleitet werden. Für die Betriebsstufe 4 ergibt sich dann folgender resultierender Wirkungsgrad für die KW 11:

$$\eta_{res} = \frac{\sum(\eta_{\Delta p} \cdot n_{\Delta p})}{100}$$

$$\eta_{res, KW11, Stufe 4} = \frac{0,78 \cdot 11 + 0,61 \cdot 31 + 0,48 \cdot 18 + 0,17 \cdot 13 + 0,06 \cdot 27}{100}$$



$$\eta_{res,KW11,Stufe\ 4} = 0,4$$

In den KW 12, 13 und 14 ergeben sich etwas bessere Wirkungsgrade, da der Anteil geringerer windinduzierter Differenzdrücke höher ist.

$$KW\ 12: \eta_{res,KW12,Stufe\ 4} = 0,53$$

$$KW\ 13: \eta_{res,KW13,Stufe\ 4} = 0,61$$

$$KW\ 14: \eta_{res,KW14,Stufe\ 4} = 0,59$$

Werden die Lüftungsgeräte in den Betriebsstufen 3, 2 und 1 betrieben, ist der Einfluss des Winddrucks deutlich stärker, sodass hier nur Zeiten mit Windlasten < 4 Pa (Stufe 3) mit einer Häufigkeit von 11 % in der KW 11 bzw. < 2 Pa (Stufen 2 und 1) mit einer Häufigkeit von 7 % in der KW 11 im Wirkungsgrad des Wärmeübertragers berücksichtigt werden können. Daraus ergeben sich für die KW 11 folgende Wirkungsgrade:

$$\eta_{res} = \frac{\sum \eta_{\Delta p} \cdot n_{\Delta p}}{100}$$

$$\eta_{res,Stufe\ 3} = \frac{0,78 \cdot 11 + 0 \cdot 89}{100}$$

$$\eta_{res,Stufe\ 3} = 0,09$$

$$\eta_{res,Stufen\ 2/1} = \frac{0,78 \cdot 7 + 0 \cdot 93}{100}$$

$$\eta_{res,Stufen\ 2/1} = 0,05$$

In der KW 11 kann mit diesen Lüftungsgeräten bei der Betriebsstufe 3 nur ein näherungsweise Gesamtwirkungsgrad der Wärmerückgewinnung von 0,09 und bei den Betriebsstufen 2 und 1 von 0,05 erzielt werden. Der Wirkungsgrad vergrößert sich in den KW 12 bis 14 aufgrund der höheren Anteile geringerer windinduzierter Differenzdrücke bei Stufe 3 auf bis zu 0,29 bzw. bei den Stufen 2 und 1 auf bis zu 0,15.

Schallemission von „Push-Pull“-Lüftungsgeräten

Laut Produktdatenblatt gemäß ERP Verordnung 1254/2014 EU beträgt der Schalleistungspegel dieses Lüftungsgeräts bei Bezugsluftvolumenstrom (Stufe 3) 35 dB(A). Die Schallemission erfolgt bauartbedingt direkt in die Aufenthaltsräume.

Die Mindestanforderung an den Schalldruckpegel von Lüftungsgeräten, die im eigenen Wohnraum und bestimmungsgemäß bei Nutzung des Wohnraums nicht abgeschaltet werden, beträgt nach DIN 4109⁵ 30 dB(A). Zulässig ist eine Überschreitung um 5 dB, wenn es sich um Dauergeräusche ohne auffällige Einzeltöne handelt.

⁵ DIN 4109-1:2018-01 Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin



Erhöhte Anforderungen werden in der DIN 4109-5⁶ definiert. Hier wird ein maximaler Norm-Schalldruckpegel von 27 dB(A) gefordert, der ohne auffällige Einzeltöne max. um 3 dB überschritten werden darf. Diese Anforderung gilt nachts bei dem erforderlichen Luftvolumenstrom für den bestimmungsgemäßen Betrieb der jeweiligen Lüftungstechnischen Maßnahme.

In den Produktinformationen der untersuchten Lüftungsgeräte wird ohne Angabe des bei der Schallmessung vorgesehenen Abstands im Volumenstrombereich von 17 m³/h bis 58 m³/h ein Schalldruckpegel von 16 bis 36 dB(A) angegeben.

Um in einem Schlafzimmer die Mindestanforderungen an den Außenluftvolumenstrom nach DIN 1946-6 oder DIN EN 16798-1⁷ von 15 m³/h je Person einzuhalten, ist bei einer Belegung mit 2 Personen ein Zuluftvolumenstrom von 30 m³/h notwendig. Da „Push-Pull“ Lüftungsgeräte alle 70 Sekunden die Förderrichtung umkehren, wird nur in der Hälfte der Zeit Außenluft in das Schlafzimmer gefördert. Um die Anforderung der DIN 1946-6 einhalten zu können, muss dieses Lüftungsgerät deshalb auf Stufe 4 betrieben werden.

Es kann aufgrund der Schallemission jedoch angenommen werden, dass ein Betrieb dieser Lüftungsgeräte auf den Stufen 4 oder 3 nachts im Schlafzimmer nicht stattfinden wird, sondern sie in der Praxis eher mit einem geringeren Volumenstrom auf den reduzierten Betriebsstufen 2 oder 1 betrieben werden.

Zusammenfassung

Paarweise, alternierend arbeitende Lüftungsgeräte (Pendellüfter oder Push-Pull Lüftungsgeräte) sind sehr windempfindlich. Für die Betriebsstufe 4 kann bis zu einem windinduzierten Differenzdruck von 20 Pa eine Volumenstromabweichung von weniger als 30 % des Zu- vom Abluftvolumenstrom ermittelt werden. Bei höherem Winddruck steigt die Windempfindlichkeit, so wird bei einem Differenzdruck von 60 Pa eine Windempfindlichkeit von 100 % erreicht.

Diese Aussage gilt jedoch nur für die höchste Betriebsstufe. In der Praxis werden diese Lüftungsgeräte aufgrund der Schallemission in den Wohnbereich eher auf Stufe 2 oder 1 betrieben werden.

Bei diesen reduzierten Betriebsstufen ist die Windempfindlichkeit deutlich höher. Hier kann nur bei Differenzdrücken von weniger als 2 Pa ein ausreichend balancierter Betrieb gewährleistet werden.

⁶ DIN 4109-5:2020-08 Schallschutz im Hochbau – Teil 5: Erhöhte Anforderungen, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

⁷ DIN EN 16798-1:2022-03 Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden –

Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6



Aufgrund der Windempfindlichkeit sinkt der Wirkungsgrad des Wärmeübertragers. In den windstärkeren Wintermonaten wird der in der bauaufsichtlichen Zulassung gegebene Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung auch auf der Stufe 4 deutlich unterschritten. Nachgewiesen werden konnte bei der Betriebsstufe 4 für den März 2021 ein näherungsweise Wirkungsgrad von 0,4 bis 0,61 statt der Angabe der bauaufsichtlichen Zulassung von 0,78.

Bei reduzierten Betriebsstufen ist die Wärmerückgewinnung bei Winddrücken über 2 Pa annähernd wirkungslos.

Aufgrund der hohen Windempfindlichkeit und dem direkten Schalleintrag in den Wohnraum ist ein bestimmungsgemäßer Betrieb dieser Lüftungsgeräte, wie er für die Berechnung des Energiebedarfs vorausgesetzt wird, in der Praxis sehr fraglich.