

## 6 Rechnerische Simulationen zur Gebäudedurchströmung mit dezentralen Lüftungseinrichtungen

Unterschiedliche Lüftungssysteme, variierende meteorologische Verhältnisse sowie Nutzereinflüsse führen zu einer Vielzahl möglicher Strömungsverhältnisse in Gebäuden.

Prinzipiell können auch mit meßtechnischen Mitteln im Rahmen von Feldversuchen die Lüftungsverhältnisse bestimmt werden. Es erscheint verständlich, daß die Aussagefähigkeit der Ergebnisse vom Umfang und der Dauer der Messungen abhängt.

Mit Hilfe numerischer Berechnungsmodelle zur Gebäudedurchströmung sind systematische Untersuchungen und umfangreiche Parametervariationen mit deutlich geringeren Aufwendungen möglich. Für die in dieser Arbeit beschriebenen Simulationsrechnungen findet das an der TU Dresden entwickelte Rechenprogramm LUMA [10] Anwendung. Das Strömungsnetz wird durch Knotenpunkte sowie durch die möglichen Verbindungen zwischen diesen Knoten beschrieben. Das Programm beruht auf dem sog. Einzelbilanzverfahren. Für alle Knotenpunkte werden die Massestrombilanzen aufgestellt. Das dabei entstehende nichtlineare Gleichungssystem wird nach dem NEWTON-RAPHSON-Verfahren iterativ gelöst.

Unter der Wirkung verschiedener Einflußgrößen weichen die tatsächlichen Lüftungsverhältnisse von den Auslegungsbedingungen ab. Der Beeinflussungsgrad bzw. die Stabilität des Systems läßt sich mit der Wahl der Lüftungsstrategie, einzelner Komponenten oder der Auslegungsbedingungen verändern. Für die Lüftung mit dezentralen Lüftungseinrichtungen leiten sich daraus u.a. folgende Fragestellungen ab:

- Mit welchen Anlagenkonzeptionen können die notwendigen Lüftungsverhältnisse zeitlich und örtlich stabil eingehalten werden?
- Wie groß ist die stabilisierende Wirkung druck geregelter ALD?
- Welche baulichen Rahmenbedingungen (Anforderungen an die Gebäudedichtheit, Durchlässigkeit von Innen- und Wohnungstüren) müssen erfüllt sein?
- Welche Druckbedingungen sind bei der Auslegung anzustreben?

In den folgenden Ausführungen werden mit dem Programm LUMA am Beispiel des in Anhang 6 vorgestellten Grundrisses die Durchströmungsverhältnisse für unterschiedliche Lüftungslösungen mit dezentralen Lüftungseinrichtungen untersucht. Den üblichen Verhältnissen im Geschosswohnungsbau entsprechend, wird ein an die Wohnungseingangstür angeschlossenes Treppenhaus berücksichtigt.

In den Räumen wird eine konstante Temperatur von 20 °C angenommen. Die Gebäudeundichtheiten sind auf beiden Gebäudeseiten gleichmäßig verteilt angenommen. In diesen Undichtheiten ist die Fugendurchlässigkeit der Fenster enthalten. Auch die Lüftungseinrichtungen sind gleichverteilt auf beiden Gebäudeseiten angeordnet.

Folgende weitere Auslegungsbedingungen liegen den Rechnungen prinzipiell zugrunde:

- wohnungsweiser Nenn-Außenluftvolumenstrom  $\dot{V}_{\text{nenn}} = 75 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- Druckabfall über den ALD  $\Delta p = 4 \text{ Pa}$  (ohne Windeinfluß),
- Innen- und Außentemperatur  $t_{i/a} = 20 \text{ °C}$
- Gebäudedichtheit  $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$ ,
- Datensatz der Winddruckkoeffizienten  $C_p$  für städtische Lage nach [77],
- Wohnungsvolumen:  $V = 150 \text{ m}^3$ ,
- Fugendurchlaßkoeffizient der Wohnungstür  $a_{WT} = 1.0 \text{ m}^3/(\text{h m Pa}^{2/3})$ ,
- Innentüren geöffnet.

Davon abweichende Randbedingungen sind separat ausgewiesen.

## 6.1 Winddruckbeeinflussung

Wind ist ein wesentlicher Bestandteil des Klimas. Er verursacht bei der Umströmung von Gebäuden Druckwirkungen und kann als dynamische Komponente die Lüftungsverhältnisse stark beeinflussen. Das betrifft sowohl die Höhe der Zu- und Abluftvolumenströme (energetisch relevant) als auch die Strömungsverhältnisse bzw. -verteilung innerhalb der Wohnung (raumlufthygienisch relevant).

Unter Verwendung des in Anhang 6 dargestellten Grundrisses wird für gleiche Ausgangsbedingungen die Winddruckstabilität bei unterschiedlichen Lüftungsstrategien bestimmt.

Es ist zu vermuten, daß in unterschiedliche Lüftungskonzeptionen eingebundene dezentrale Lüftungseinrichtungen prinzipbedingt auch einer unterschiedlichen Beeinflussung durch den Wind unterliegen. Von Interesse sind in diesem Zusammenhang jedoch nicht nur die Gesamt-Außenluftvolumenströme, sondern die systembedingt unterschiedlichen Volumenstromverteilungen innerhalb des Gebäudes.

In den folgenden Abbildungen sind für verschiedene Lüftungsstrategien beispielhaft die auf den Nenn-Außenluftvolumenstrom  $\dot{V}_{\text{nenn}}$  bezogenen Volumenströme (Einheit: %) wiedergegeben:

- bezogener Gesamt-Außenluftvolumenstrom  $\dot{V}_{\text{ges}}$  als Summe der insgesamt in die Wohnung eintretenden Außenluft-Volumenströme über die Lüftungseinrichtungen und Gebäudeundichtheiten
- bezogener Außenluftvolumenstrom  $\dot{V}_{\text{luv}}$  als Summe der auf der windangeströmten Wohnungsfassade (Luvseite) in die Wohnung eintretenden Außenluft-Volumenströme über die Lüftungseinrichtungen und Gebäudeundichtheiten
- bezogener Außenluftvolumenstrom als Summe der auf der windabgewandten Wohnungsfassade  $\dot{V}_{\text{lee}}$  (Leeseite) in die Wohnung eintretenden Außenluft-Volumenströme über die Lüftungseinrichtungen und Gebäudeundichtheiten

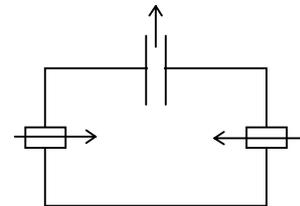
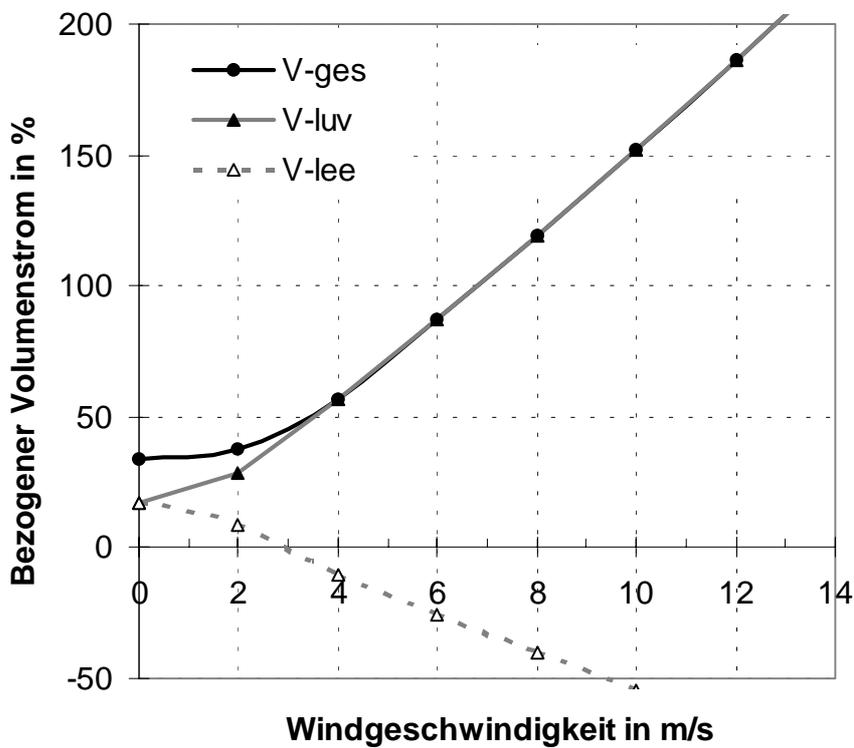
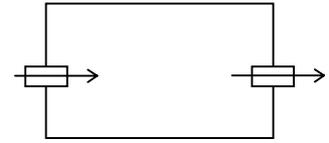
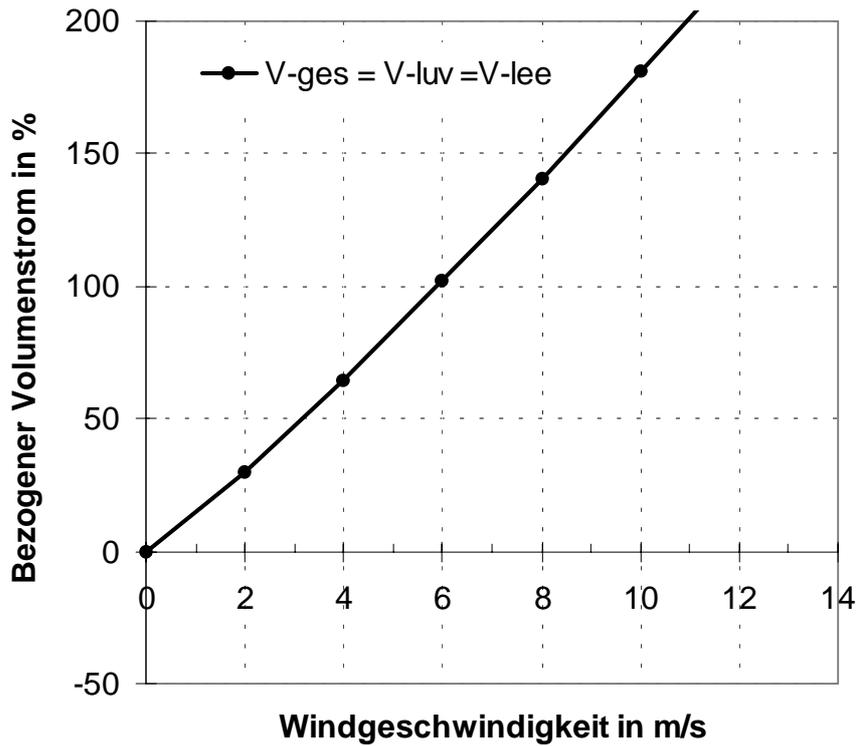


Abbildung 57: Windeinflußbedingte Volumenstromstabilität und -verteilung bei natürlicher Lüftung mit Außenluftdurchlässen (Querlüftung-oben; Schachtlüftung-unten [ $\Delta T=15$  K,  $\Delta H=8$  m])

In Abbildung 57 sind die auf den Nenn-Außenluftvolumenstrom bezogenen Außenluftvolumenströme für die natürliche Lüftung mit Außenluftdurchlässen wiedergegeben. Die Außenluftdurchlässe werden unter Berücksichtigung der Gebäude-Undichtheiten so ausgelegt, daß bei einer Druckdifferenz von 4 Pa der Nenn-Außenluftvolumenstrom realisiert wird. Damit beträgt der Volumenstromanteil der dezentralen Lüftungseinrichtungen am Gesamt-Außenluftvolumenstrom ca. 75%.

Die Höhe des Luftaustausches ist erheblich von den Windverhältnissen abhängig. Das äußert sich in einer starken Erhöhung des Luftdurchsatzes mit zunehmender Windgeschwindigkeit. Es ist ersichtlich, daß für die zugrundegelegte städtische Windexponiertheit im Bereich von Windgeschwindigkeiten bis 4.0 m/s die notwendigen Luftströme nur zu ca. 60% erreicht werden. Der besonders bei der Schachtlüftung zu berücksichtigende Temperatureinfluß ermöglicht bei der einbezogenen Schachthöhe von 8 m in Verbindung mit Windstille erst bei Temperaturdifferenzen von weit über 40 Kelvin eine ausreichende Außenluftzufuhr. Dazu kommt, daß bereits bei einer sehr geringen Windgeschwindigkeit von 3 m/s der sogenannte „Querlüftungseffekt“ einsetzt. Hierbei kehrt sich auf der windabgewandten Seite die Strömungsrichtung um und führt folglich zu einer Durchströmung vom Wohnungsinneren nach außen.

In der Abbildung 58 zugrundeliegenden Konstellation wird die Querlüftung durch dezentrale Entlüftungsgeräte, die vorzugsweise in den Ablufträumen (Bad, Küche) installiert werden, unterstützt. Die Zuluft strömt über Außenluftdurchlässe in die Aufenthaltsräume ein.

Im Vergleich mit Abbildung 57 ist eine deutlich geringere Winddruckabhängigkeit festzustellen. Der Einfluß ist dabei von der Lage des Entlüftungsgerätes bezüglich der Windrichtung abhängig. Stimmen Winddruckwirk- und Förderrichtung des Lüftungsgerätes überein (Abbildung 58-oberer Teil), führt der windbedingte Anstieg des luvseitigen Außenluftstromes dazu, daß ab 6 m/s der gesamte Außenluftstrom über die dem Wind zugewandte Fassade einströmt (bei geringeren Windgeschwindigkeiten wird im Gegensatz dazu auch über die Gebäude-Undichtheiten der windabgewandten Fassade Außenluft angesaugt). Arbeitet das Lüftungsgerät gegen den Wind, verringert sich die Außenluftnachströmung auf der windabgewandten Seite stetig bis zum Strömungsumschlag (Querlüftungseffekt) bei 11 m/s, obwohl auf dieser Gebäudeseite eigentlich die Außenluft nachströmen sollte. Die Außenluftnachströmung erfolgt unter diesen Bedingungen ausschließlich über die Gebäude-Undichtheiten der Luvseite.

Insgesamt zeichnet sich diese Lüftungsform durch ein verhältnismäßig stabiles Verhalten bei Winddruckwirkung aus. Bei gut abgedichteten Eingangstüren zu den Geschoßzonen sind thermische Auftriebsdrücke infolge der geschoßweisen Trennung von untergeordneter Bedeutung.

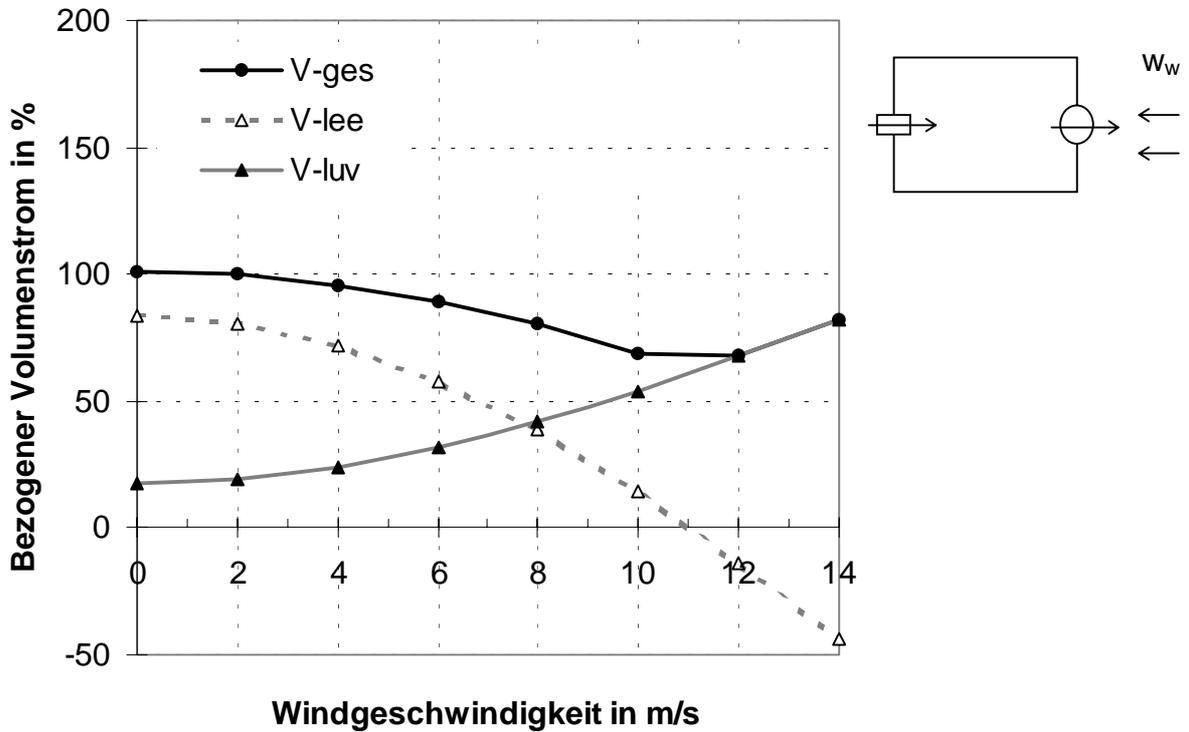
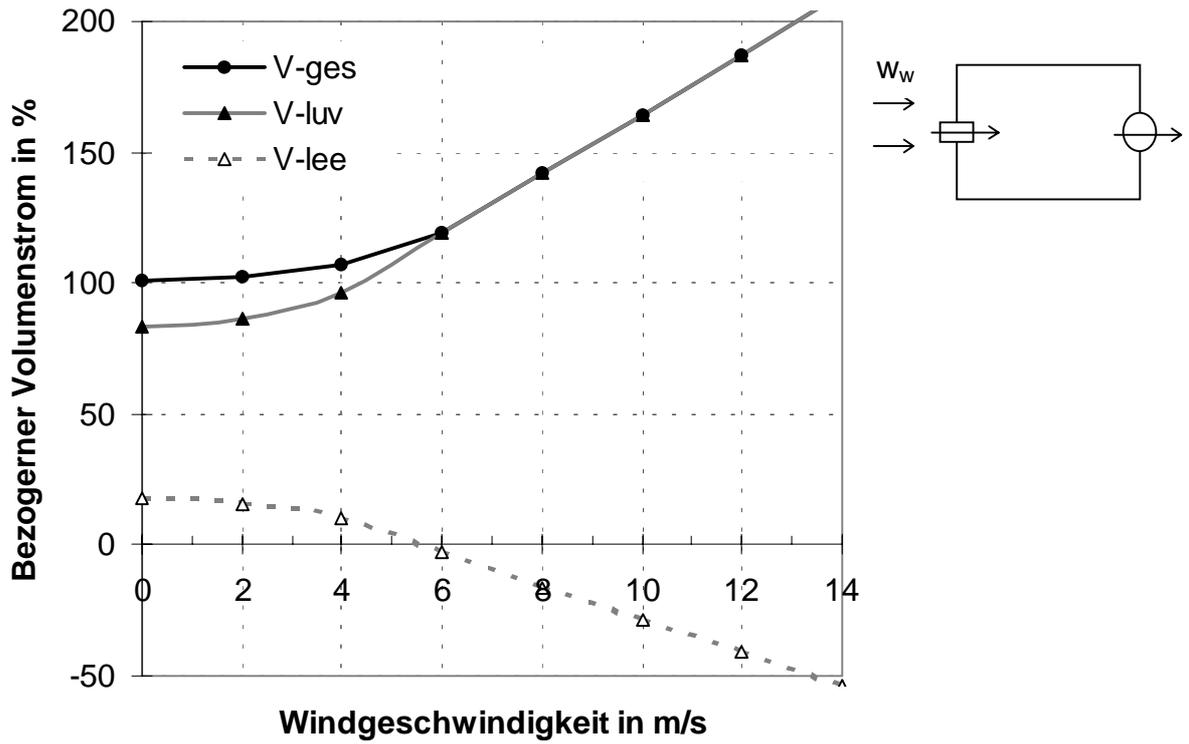


Abbildung 58: Windeinflußbedingte Volumenstromstabilität und -verteilung bei mechanischer Querentlüftung mit dezentralen Lüftungsgeräten

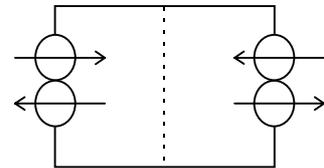
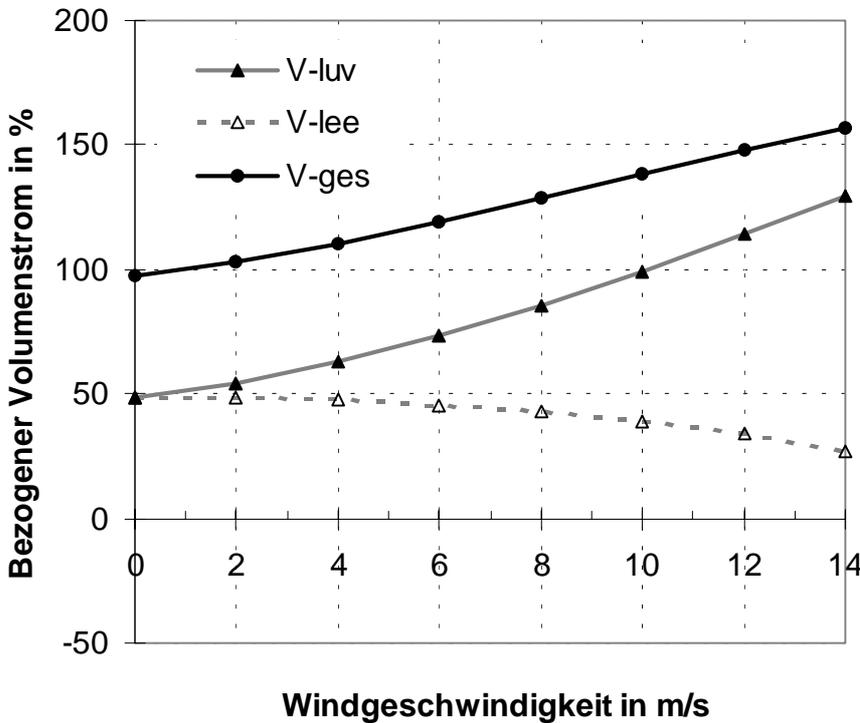
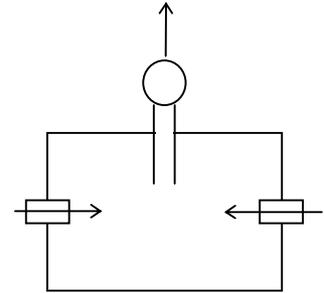
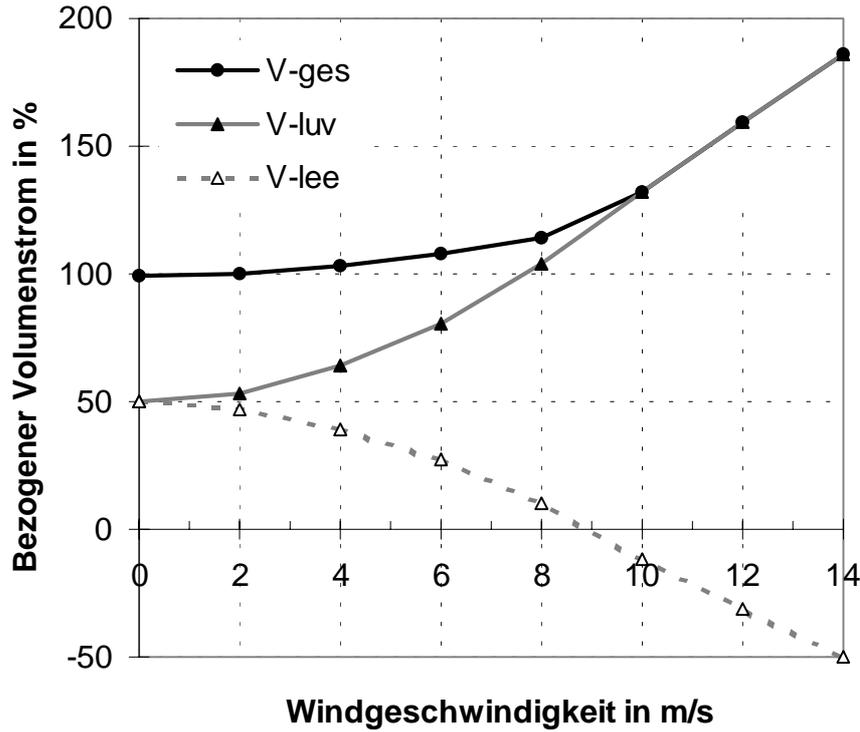


Abbildung 59: Windeinflußbedingte Volumenstromstabilität und -verteilung bei mechanischer Lüftung mit dezentralen Lüftungseinrichtungen (Nachströmung über ALD-oben; raumweise Be- und Entlüftungsgeräte-unten)

In Abbildung 59 sind die Berechnungsergebnisse für Abluftanlagen mit Außenluftdurchlässen sowie raumweise installierten Be- und Entlüftungsgeräten wiedergegeben.

Für den Fall der Abluftanlage werden die ALD auf die Fassadenseiten gleichverteilt. Die Wirkung des Windes verursacht eine lokale Verschiebung der Außenluftanteile. In deren Folge wird bei 9 m/s die Druckwirkung des Ventilators auf die Leeseite aufgehoben, und es setzt der Querlüftungseffekt ein. Da bis zur beginnenden Querlüftung die fassadenweisen Außenluftvolumenströme fast gleichmäßig zu- bzw. abnehmen, ändert sich der Gesamtaußenluftvolumenstrom nur unwesentlich. Auf Möglichkeiten der Verbesserung des Stabilitätsverhaltens wird später ausführlicher eingegangen.

Während bei den zuvor beschriebenen Systemen immer mehrere Zonen in das Lüftungskonzept einbezogen sind, kann ein zonenweiser autarker Betrieb mit dezentralen Be- und Entlüftungsgeräten erreicht werden.

Abbildung 59 (unterer Teil) weist für dieses Konzept eine geringe Winddruckbeeinflussung aus. Dieses günstige Verhalten wird dadurch erreicht, da bei geringer Gebäudeluftdurchlässigkeit ( $n_{50}=1 \text{ h}^{-1}$ ) die Außenluftströme zum größten Teil von den Be- und Entlüftungsgeräten bereitgestellt werden und letztere im Regelfall eine durch den Verlauf der Ventilator Kennlinie hervorgerufene Eigenstabilität gegenüber Stördrücken aufweisen.

## 6.2 Stabilisierender Einfluß von druckgeregelten Außenluftdurchlässen

Die rechnerische Umsetzung der Kennliniencharakteristik ist nicht problemlos, da der zur Kennzeichnung von Strömungswiderständen übliche Potenzfunktionen-Ansatz zur Beschreibung dieses Regelprinzips nicht brauchbar ist. Deshalb wird eine Funktion bestimmt, die es ermöglicht, selbst komplizierte Funktionsverläufe nachzubilden. Der verwendete Zusammenhang von Volumenstrom und Differenzdruck lautet:

$$\dot{V} = \frac{A \cdot \Delta p}{B + \Delta p} + \frac{C \cdot \Delta p}{D + \Delta p} + E \cdot \Delta p \quad (17)$$

Die Wirksamkeit von druckgeregelten Lüftungselementen ist abhängig davon, bei welcher Druckdifferenz der Regelmechanismus einsetzt und eine deutliche Begrenzung des Luftdurchsatzes erfolgt. Dieser Differenzdruck wird als Regel-Druckdifferenz ( $\Delta p_{\text{reg}}$ ) bezeichnet.

In Abbildung 60 sind die auf den Auslegungszustand ( $w_w=0 \text{ m/s}$ ) bezogenen Außenluftvolumenströme durch die druckgeregelten Außenluftdurchlässe für die windzu- und windabgewandte Fassade am Beispiel der mechanischen Abluftanlage aufgetragen.

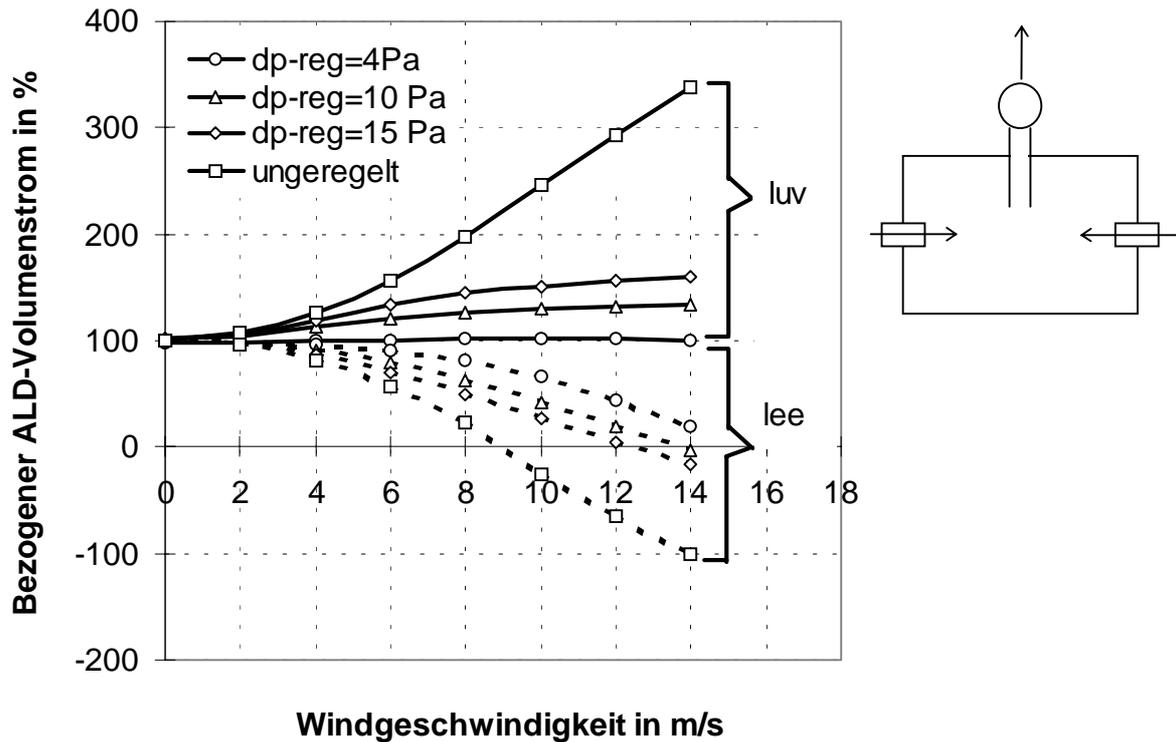


Abbildung 60: Einfluß druck geregelter ALD mit unterschiedlichen Regel-Druckdifferenzen  $\Delta p_{reg}$  (4, 10, 15 Pa) auf die zonale Volumenstromverteilung bei mechanischen Abluftanlagen im Vergleich zu unregelten ALD

Die Volumenstromstabilität ist am größten, wenn der Druck-Regelmechanismus bereits bei geringen Druckdifferenzen einsetzt. Sehr günstig sind ALD, die ihren Regelmechanismus bereits bei der der Auslegung zugrundeliegenden Druckdifferenz entfalten. Die technische Realisierung von ALD mit kleinen Regel-Druckdifferenzen (z.B. 4 bis 10 Pa) erweist sich jedoch als schwierig und ist aufgrund der geringen wirkenden Kräfte bei gegenwärtigen Elementen mit einem erheblichen Platzbedarf verbunden (siehe Abschnitt 5.1). Aus Abbildung 60 geht auch hervor, daß jedoch selbst eine höhere Regel-Druckdifferenz von 15 Pa immer noch deutliche Vorteile gegenüber unregelten ALD besitzt.

Abbildung 61 macht deutlich, daß sich diese Tendenz für Gebäude in windexponierter Lage verstärkt.

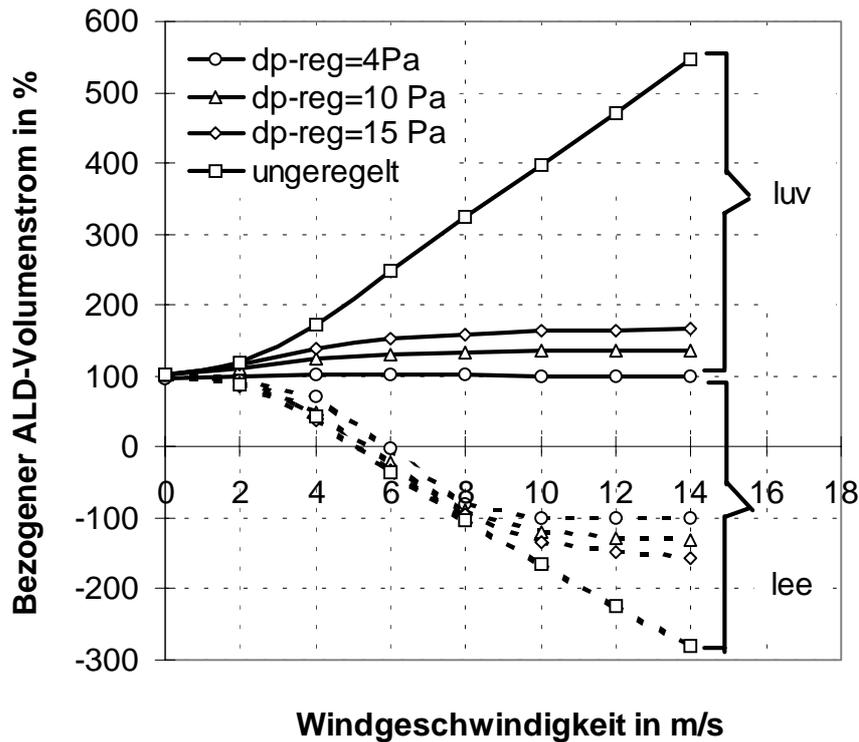


Abbildung 61: Einfluß druck geregelter ALD mit unterschiedlichen Regel-Druckdifferenzen  $\Delta p_{reg}$  (4, 10, 15 Pa) auf die zonale Volumenstromverteilung bei mechanischen Abluftanlagen im Vergleich zu unregulierten ALD für windexponierte Standorte (freie Lage)

### 6.3 Auslegungsdruckdifferenz von Außenluftdurchlässen

Im Zusammenhang mit der Dimensionierung der Zuluftversorgung muß die erforderliche Anzahl der Lüftungseinrichtungen ermittelt werden.

Bei mechanischen Lüftungsgeräten vereinfacht sich die Planung insofern, da die Förderleistung der Geräte mit dem integrierten Ventilator festgelegt und damit der planerische Freiheitsgrad beschränkt ist.

Demgegenüber ist der Luftdurchsatz durch Außenluftdurchlässe aufgrund ihres hydraulischen Verhaltens von der anliegenden Druckdifferenz abhängig. Je nach Förderleistung des Ventilators unterliegt diese Druckdifferenz bei der mechanischen Lüftung einem großen Freiheitsgrad.

Diese bei der Bestimmung des Nenn-Außenluftvolumenstromes durch die ALD festzulegende Druckdifferenz wird als Auslegungsdruckdifferenz  $\Delta p_{dim}$  bezeichnet.

Da der erforderliche Außenluftvolumenstrom für eine zu versorgende Zone unter Berücksichtigung der konkreten Randbedingungen ein letztlich fixer Wert ist, verringert sich mit zunehmender Auslegungsdruckdifferenz die Anzahl der einzusetzenden Außenluftdurchlässe. Nach oben sind dieser Druckdifferenz durch die damit verbundene Zunahme des Luftstromanteiles über Gebäude-Undichtheiten am Gesamt-Außenluftstrom, durch das ansteigende zu erwartende Zugluftrisikos sowie durch eventuelle Strömungsgeräusche allerdings Grenzen gesetzt.

In Abbildung 62 sind die auf den Auslegungszustand ( $w_w=0$  m/s) bezogenen fassadenweisen Außenluftvolumenströme durch die Außenluftdurchlässe und Gebäude-Undichtheiten für das Beispiel der mechanischen Abluftanlage aufgetragen. Die Auslegungsdruckdifferenz  $\Delta p_{dim}$  bildet den Parameter.

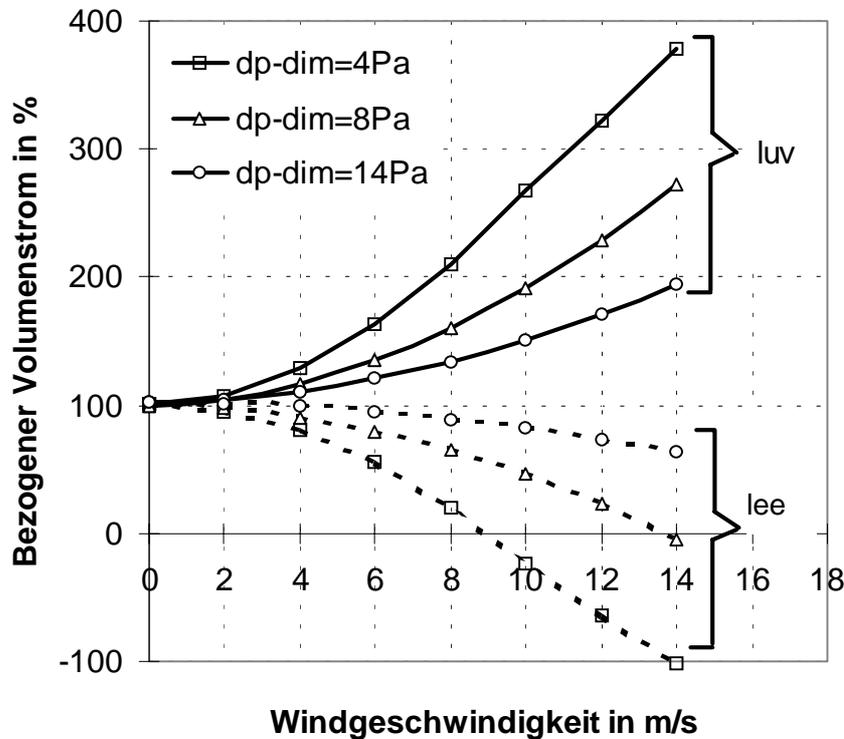


Abbildung 62: Einfluß der Auslegungsdruckdifferenz unregelter ALD mit unterschiedlichen Auslegungsdruckdifferenzen  $\Delta p_{dim}$  (4, 8, 14 Pa) auf die zonale Volumenstromverteilung bei mechanischen Abluftanlagen

Die aus Abbildung 62 mit steigender Auslegungsdruckdifferenz erkennbare Stabilitätszunahme geht allerdings zu Lasten des Luftstromanteils über die Lüftungseinrichtungen, da mit zunehmendem Unterdruck der Luftstrom über Gebäude-Undichtheiten ansteigt.

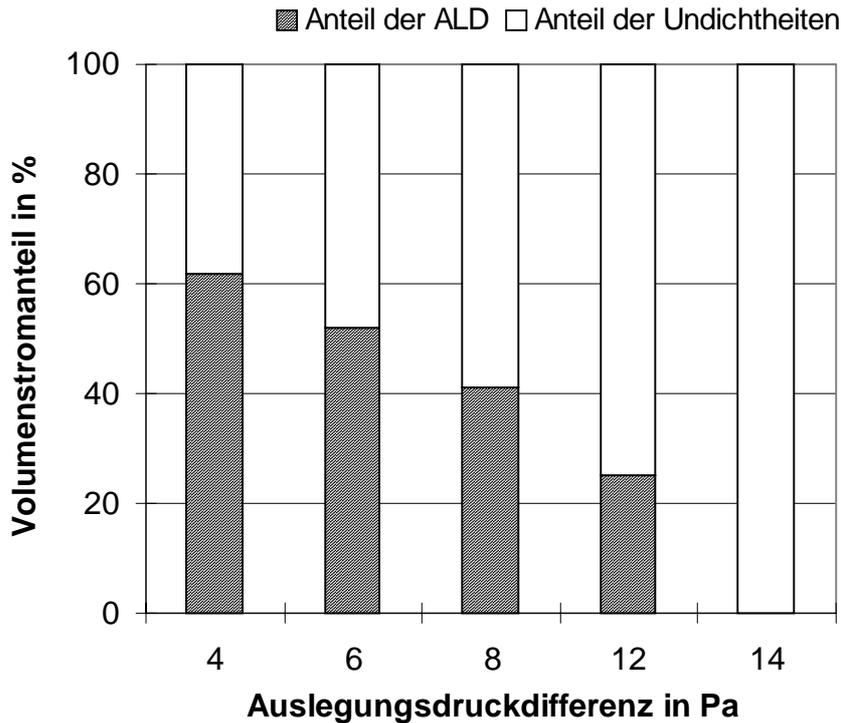


Abbildung 63: Abhängigkeit der Außenluftvolumenstromanteile von ALD und Gebäude-Undichtheiten am Gesamt-Außenluftvolumenstrom bei unterschiedlichen Auslegungsdruckdifferenzen ( $n_{50}=1.0 \text{ h}^{-1}$ )

Selbst für die der Simulation zugrundeliegende geringe Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle von  $n_{50}=1.0 \text{ h}^{-1}$  beträgt der Außenluftvolumenstromanteil der Lüftungseinrichtungen bei einem Auslegungsdifferenzdruck von 4 Pa nur ca. 65%. Dieser Anteil reduziert sich mit zunehmender Auslegungsdruckdifferenz.

Die gemeinsame Auswertung von Abbildung 62 und Abbildung 63 zeigt die gegeneinander gerichteten Effekte, daß mit ansteigender Auslegungsdruckdifferenz zum einen die Winddruckstabilität zunimmt, andererseits jedoch die Volumenstromautorität der Lüftungseinrichtungen verringert wird.

Bezüglich der Dimensionierung von Außenluftdurchlässen in Verbindung mit mechanischen Lüftungsanlagen wird deshalb für prinzipbedingt sehr fugendichte Gebäude (z.B. Wohnungen des Mehrfamilienhaus-Geschoßwohnungsbaus, die moderne Fensterkonstruktionen aufweisen) eine Auslegungsdruckdifferenz von 8 bis 10 Pa vorgeschlagen. In Gebäuden mit höherer Luftdurchlässigkeit sollte für die Dimensionierung der Lüftungseinrichtungen eine Auslegungsdruckdifferenz von 4 bis 6 Pa zugrundegelegt werden.