

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät für Maschinenwesen

Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung

Bestimmung des realen Luftwechsels bei Fensterlüftung aus energetischer und bauphysikalischer Sicht

- Kurzfassung -

”Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert. (Aktenzeichen: Z 6 - 5.4-01.14 / II 13 - 80 01 01 14)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor”.

Projektleiter : Prof. Dr.-Ing. habil. W. Richter

Bearbeiter: Dipl.-Ing. J. Seifert

Dr.-Ing. R. Gritzki

Dr.-Ing. M. Rösler

Dresden, den 22. Mai 2003

1 Ziel der Forschungsaufgabe

Auch wenn die Luftwechselzahl aus anlagentechnischer Sicht eine nur unzulängliche Größe zur Beschreibung der Raumlüftung darstellt, so wird sie doch in der täglichen Praxis umfassend und ohne kritische Hinterfragung genutzt.

Kritikpunkt an der Luftwechselzahl ist neben dem problematischen Bezug auf das Raumvolumen die fehlende Aussage zur Lüftungseffektivität. Insbesondere bei der Fensterlüftung gibt es eine breite Streuung von Luftwechselangaben, die damit im Widerspruch zu den heutigen Bemühungen zur Energieeinsparung stehen. Genau Angaben wären in diesem Zusammenhang hilfreich, auch in Hinblick auf die Diskussion zur Minderung der Schimmelpilzbildung in Folge von Sanierungsmaßnahmen. Ein weiterer Grund für die Notwendigkeit eingehender Untersuchungen besteht im Problem der sommerlichen (freien) Gebäudekühlung durch eine nächtliche Fensterlüftung. Der hiermit erzielbare Luftwechsel entscheidet vielfach über den Einsatz von Klimaanlage oder alternativen Kühlsystemen und bildet somit eine wichtige Komponente nicht nur zur Energieeinsparung bzw. Investkostensenkung sondern auch in Hinblick auf die thermische Behaglichkeit.

Das Ziel der vorliegenden Studie besteht folgerichtig in der Ableitung von Luftwechselzahlen für verschiedene Fensteranordnungen und Öffnungswinkel der Fensterflügel. Über die bisherige Handhabung hinaus werden die unterschiedlichen Luftwechselarten definiert, die in geeigneter Weise die spezifischen Belange der Energieeinsparung und Hygiene berücksichtigen sollen.

2 Durchführung der Forschungsaufgabe

Die Untersuchungen basieren auf einer rechnerischen, gekoppelten Simulationsmethode, die eigenständig an der TU Dresden entwickelt wurde. Um die Akzeptanz der berechneten Ergebnisse zu erhöhen, wurden im Rahmen der Studie ausführliche Untersuchungen zur Validierung des Programmes auf Basis messtechnischer Untersuchungen durchgeführt. Weiterhin erfolgte eine systematische Darstellung aller für Lüftungsvorgänge charakteristischen Bewertungskriterien, die um eigene neuartige Kriterien ergänzt wurden.

Zur Bewertung von Fensterlüftungsvorgängen kommen zweckmäßigerweise drei Bewertungskriterien zur Anwendung. Es handelt sich hierbei um die Größen

- globaler Luftwechsel λ ,
- hygienischer Luftwechsel λ_{hyg} und
- energetischer Luftwechsel λ_{ener} .

Unter dem **globalen Luftwechsel** λ versteht man das Verhältnis vom Volumenstrom, der über die (Fenster-) Öffnungen ausgetauscht wird, zum Volumen des Raumes. Den Bilanz-

rahmen bilden also die (Fenster-) Öffnungsflächen

$$\lambda = \frac{\dot{V}_{Fenster}}{V_{Raum}}. \quad (2.1)$$

Rückschlüsse auf die Lüftungseffektivität aus hygienischer oder energetischer Sicht lassen sich hiermit nicht ziehen.

Der **hygienische Luftwechsel** λ_{hyg} stellt das Verhältnis des im Raum wirksam werdenden Teils des Volumenstromes zum Volumen des Raumes dar. Die Berechnung erfolgt durch Multiplikation des globalen Luftwechsels λ mit dem hygienischen Luftaustauschwirkungsgrad $\varepsilon_{t,h}^a$ ¹

$$\lambda_{hyg} = \lambda \cdot \varepsilon_{t,h}^a. \quad (2.2)$$

Der **energetische Luftwechsel** λ_{ener} wird ermittelt, indem man den globalen Luftwechsel mit einem energetischen Luftaustauschwirkungsgrad ε_{ener} ² multipliziert.

$$\lambda_{ener} = \lambda \cdot \varepsilon_{ener}. \quad (2.3)$$

Der energetische Luftwechsel zeigt an, wie die Strömung im Raum zur Entwärmung (im Kühlfall) oder Erwärmung (im Heizfall) beiträgt. Erfahrungsgemäß muss beim Lüften zwischen zwei Grundvorgängen unterschieden werden.

a Stoßlüftung:

Der Lüftungsvorgang erstreckt sich nur über eine relativ kurze Zeitdistanz (im Minutenbereich), bei dem sich die Temperaturverhältnisse der Umfassungsflächen nur geringfügig ändern und man daher näherungsweise von stationären Randbedingungen ausgehen kann. Maßgebend ist hier die Temperaturdifferenz von mittlerer Raumlufttemperatur und Umgebungstemperatur ³.

¹Der hygienische Luftaustauschwirkungsgrad $\varepsilon_{t,h}^a$ zeigt an, wie die im Raum entstandene Strömung im Vergleich zur idealen Verdrängungsströmung zu bewerten ist. Sind die Werte nahe 1.0, trägt der größte Teil der Strömung zum Luftaustausch bei. Je kleiner die Werte werden, desto höher ist der Anteil an Strömung, die keinen echten Luftaustausch bewirkt (z. B. Kurzschlussströmung oder innere Rezirkulation). Für viele der berechneten Varianten ergibt sich ein Luftaustauschwirkungsgrad von ca. 0.5, d.h. die Situation ist ähnlich der idealen Durchmischung. Es treten jedoch auch wesentlich niedrigere oder höhere Werte auf, z.B. bei den Varianten mit übereinander angeordneten Fenstern.

²Den energetischen Luftaustauschwirkungsgrad ε_{ener} erhält man durch einen Vergleich des austretenden Enthalpiestromes mit dem maximal möglichen Enthalpiestrom unter den gegebenen Randbedingungen. Als Bezugssituation kann man faktisch wiederum eine ideale Verdrängungsströmung ansehen, bei der Ein- und Austrittstemperatur die maximale Temperaturspreizung erreichen.

³Bei der Stoßlüftung ändert sich die Wandtemperatur ϑ_w geringfügig, die maßgebende Temperaturdifferenz von mittlerer Raumlufttemperatur und Umgebungstemperatur, $\Delta\vartheta_m = \vartheta_m - \vartheta_u$, nimmt ab. Bei der Dauerlüftung ist die Wandtemperatur nicht konstant. Die treibende Kraft für den Luftwechsel stellt hier die Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Wandtemperatur und Umgebungstemperatur $\Delta\vartheta_w = \vartheta_w - \vartheta_u$ dar.

b Dauerlüftung:

Der Dauerlüftungsvorgang erstreckt sich nur über eine längere Zeitdistanz, bei der die thermische Rückkopplung mit der Umfassungskonstruktion bzw. den Einbauten berücksichtigt werden muss³.

Dementsprechend beziehen sich die nachfolgend angegebenen Luftwechsel einerseits auf die Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und innerer, mittlerer Raumlufthtemperatur ($\Delta\vartheta_m$) und andererseits auf die Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und innerer, mittlerer Wandtemperatur ($\Delta\vartheta_w$). Sie sind damit repräsentativ für die jeweilige Lüftungsphase, wobei der Bezug auf die mittlere Raumlufthtemperatur für eine "kurzzeitige Lüftungsphase = Stoßlüftung" und der Bezug auf die Wandtemperatur für eine "längere Lüftungsphase = Dauerlüftung" steht. Für die Stoßlüftung wird ein Näherungswert für die gesamte Lüftungsphase angegeben, für die Dauerlüftung ein Momentanwert, der sich auf das gegenwärtige mittlere Temperaturniveau der Umfassungskonstruktion bezieht.

Die im Folgenden angegebenen Werte für den hygienischen und energetischen Luftwechsel beziehen sich auf eine Temperaturdifferenz und gelten somit für winterliche wie auch für sommerliche Verhältnisse.

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Abbildungen 3.1 bis 3.7 zeigen den hygienischen und energetischen Luftwechsel bzw. Volumenstrom für ausgewählte geometrische Konfigurationen unter den Bedingungen der Stoßlüftung und Dauerlüftung⁴. Der Einfluss der wirksamen Temperaturdifferenz zwischen Umgebungs- und Raumlufth $\Delta\vartheta_m$ (Stoßlüftung) bzw. Umgebungsluft und Umfassungswänden $\Delta\vartheta_w$ (Dauerlüftung) wird über eine "Balkendarstellung" berücksichtigt. Die unter Begrenzung bezieht sich auf $\Delta\vartheta = 5K$, die ober auf $\Delta\vartheta = 20K$.

Die Bestimmung des gesuchten Luftwechsels (bzw. Volumenstroms) erfolgt durch Vorgabe der geometrischen Konstellation (d.h. Öffnungswinkel der Fensterflügel) und der gegebenen (abgeschätzten) wirksamen Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_m$ bzw. $\Delta\vartheta_w$. Nicht angegebene Zwischenwerte sind zu interpolieren. Weisen zwei (oder mehr) Fenster unterschiedliche Öffnungsstellung auf, so erfolgt näherungsweise eine Addition der jeweiligen Luftwechselwerte für die entsprechenden Einzelfenster.

⁴Die hier dargestellten Varianten stellen lediglich einen kleinen Teil der untersuchten geometrischen Konfigurationen dar. Umfassend sind alle Varianten im Abschlussbericht dargestellt.

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

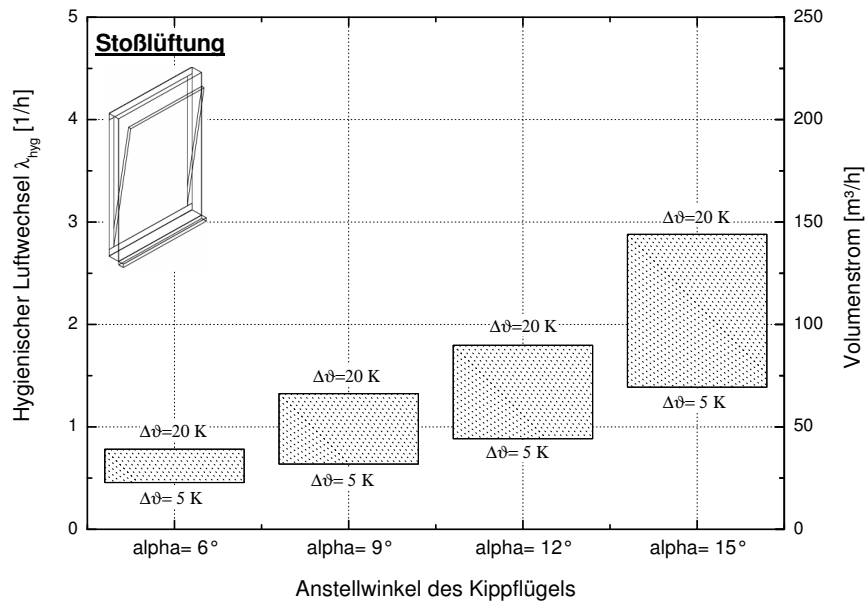


Abb. 3.1: Hygienischer Luftwechsel λ_{hyg} sowie Volumenstrom für das Kippfenster (Stoßlüftung)

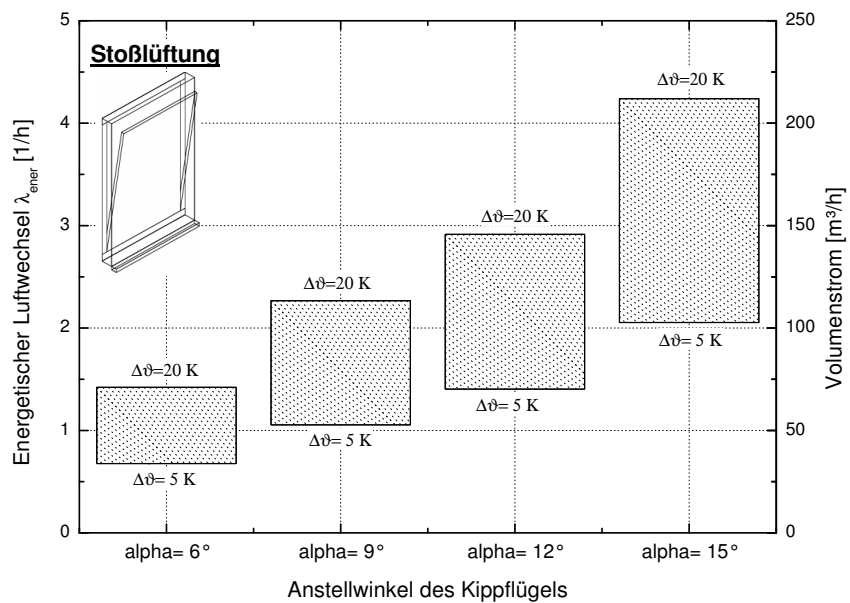


Abb. 3.2: Energetischer Luftwechsel λ_{ener} sowie Volumenstrom für das Kippfenster (Stoßlüftung)

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

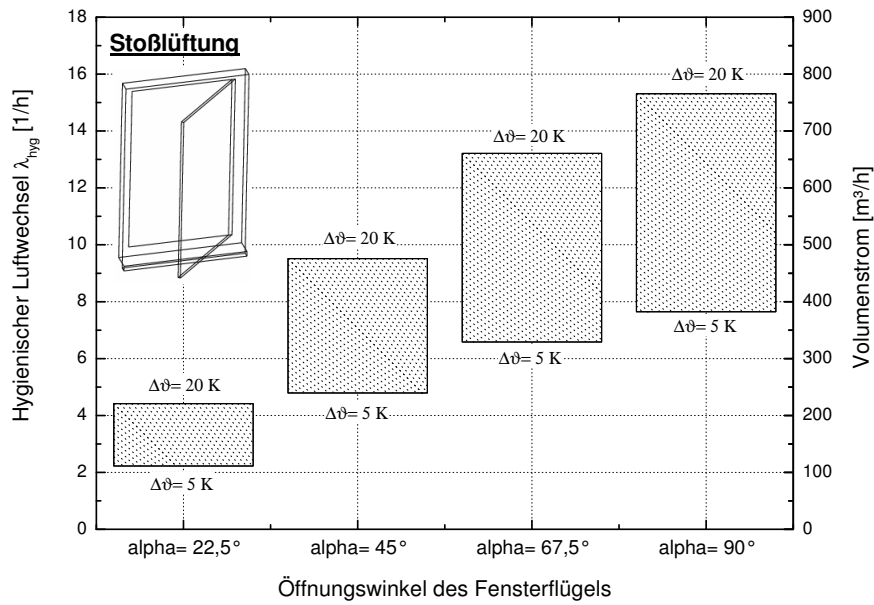


Abb. 3.3: Hygienischer Luftwechsel λ_{hyg} sowie Volumenstrom für das geschwenkte Fenster (Stoßlüftung)

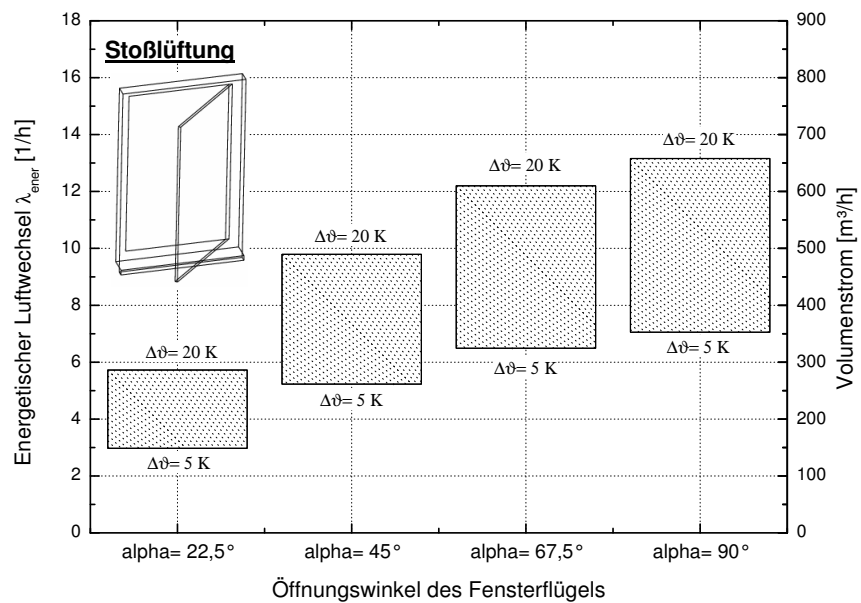


Abb. 3.4: Energetischer Luftwechsel λ_{ener} sowie Volumenstrom für das geschwenkte Fenster (Stoßlüftung)

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

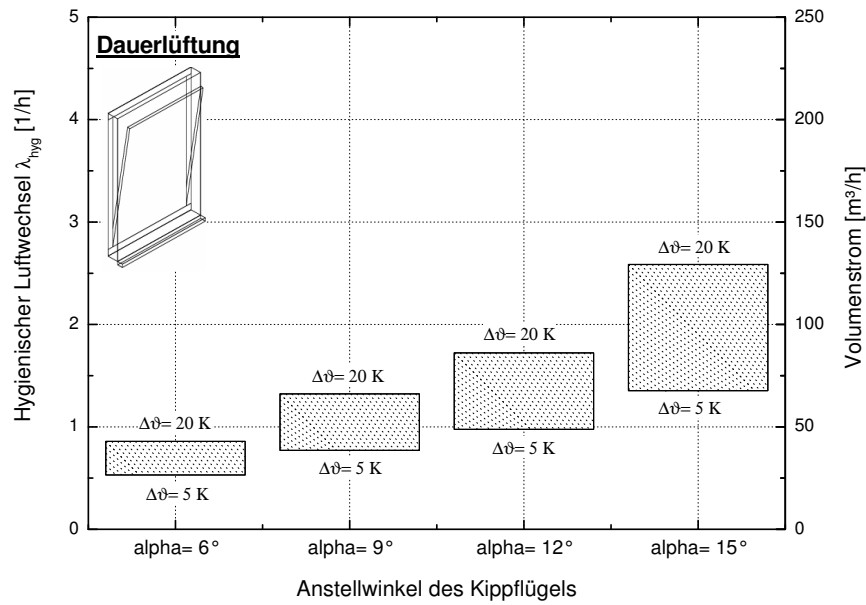


Abb. 3.5: Hygienischer Luftwechsel λ_{hyg} sowie Volumenstrom für das Kippfenster (Dauerlüftung)

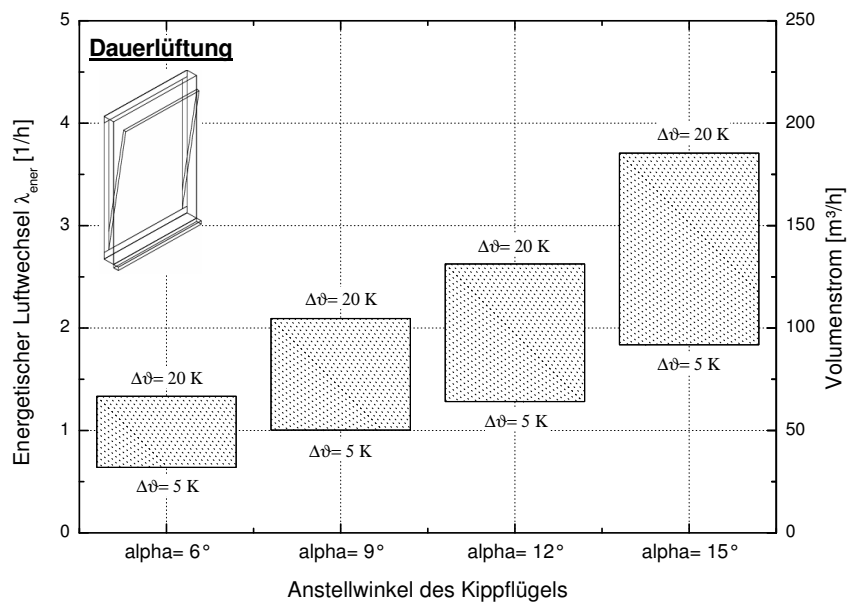


Abb. 3.6: Energetischer Luftwechsel λ_{ener} sowie Volumenstrom für das Kippfenster (Dauerlüftung)

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

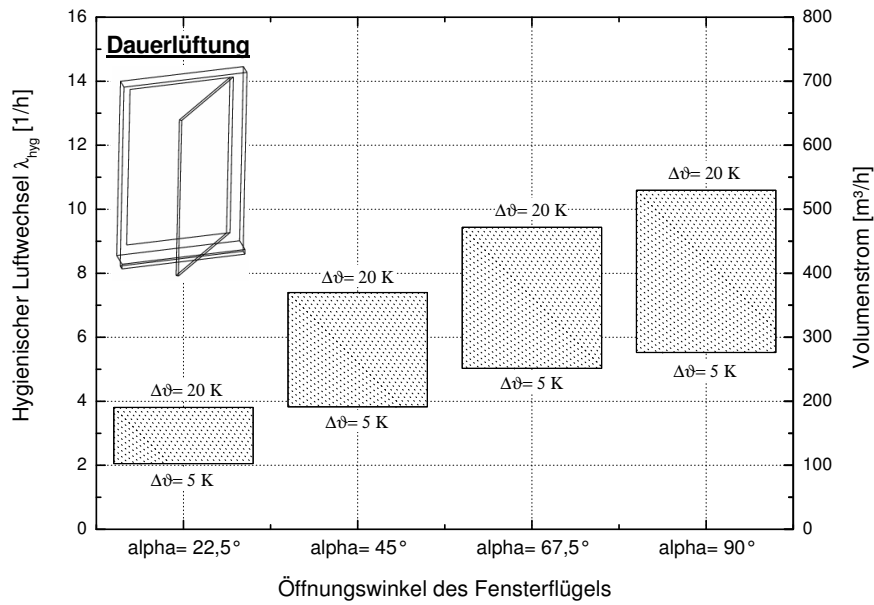


Abb. 3.7: Hygienischer Luftwechsel λ_{hyg} sowie Volumenstrom für das geschwenkte Fenster (Dauerlüftung)

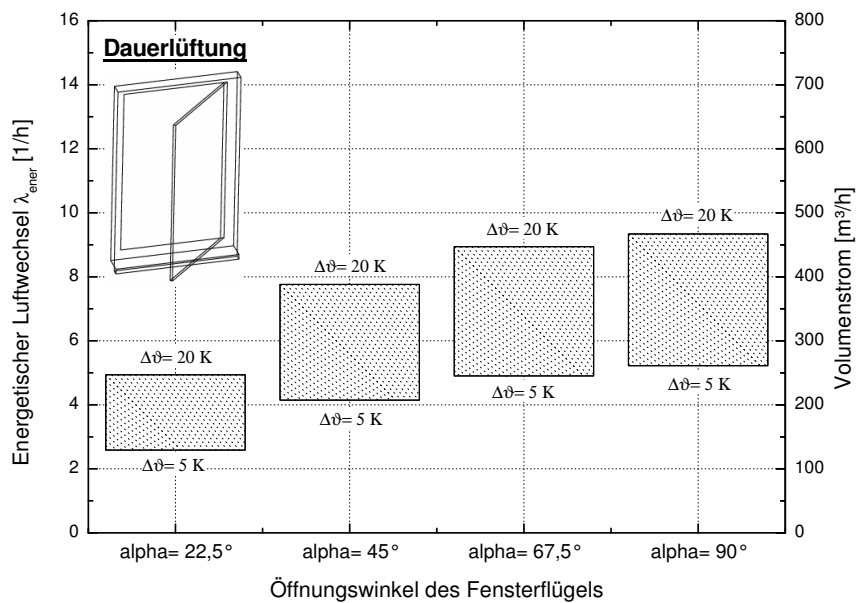


Abb. 3.8: Energetischer Luftwechsel λ_{ener} sowie Volumenstrom für das geschwenkte Fenster (Dauerlüftung)

Die vorliegende Studie bietet erstmalig die Möglichkeit, einzelne signifikante Parameter für den Luftwechsel getrennt voneinander zu bewerten. Besonders bedeutend ist hierbei die Unterscheidung in energetische und hygienische Luftwechsel/Volumenströme sowie die Kopplung dieser Werte an die Dauer der Lüftungsphase. Mit den eingeführten Kriterien ist es weiterhin möglich, die Lücke zwischen empirischen Berechnungsgleichungen, die zum großen Teil globale Luftwechsel/Volumenströme beschreiben, und messtechnisch ermittelten Daten, die nahezu ausschließlich den hygienisch wirksamen Luftwechsel quantifizieren, zu schließen. Auf der Basis von weit über 200 berechneten Varianten lassen sich folgende Tendenzen feststellen:

- Grundsätzlich sollte in Zukunft neben dem (üblichen) Luftwechsel auch die Lüftungseffektivität in Betracht gezogen werden.
- Die Lüftungseffektivität ist mit von der Fensterstellung abhängig, also dem sich einstellenden Strömungsmuster.
- Der erreichbare Luftwechsel ist dagegen von der Temperaturdifferenz und von der Fensterstellung abhängig. Allerdings haben der Anschlag des Fensterflügels sowie die Anordnung der Fenster in der Fassade nur geringen Einfluss. Eine Ausnahme bilden übereinander angeordnete Fenster.
- Mit einem angekippten Fenster lassen sich nur etwa 10% des Luftwechsels gegenüber dem voll geöffneten Fensters erreichen.
- Windeinfluss dominiert den Luftwechsel ab Anströmgeschwindigkeiten von ungefähr 0,5m/s.
- Die bereits übliche Unterteilung der Lüftungsform in "Stoßlüftung" und "Dauerlüftung" erweist sich als sehr sinnvoll.
- Bei kurzzeitigem kräftigem Lüften (Stoßlüftung) ist die Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Raumluffttemperatur und Umgebungstemperatur $\vartheta_m - \vartheta_u$ die entscheidende thermische Antriebsgröße. Eine spürbare Entwärmung der Umfassungsflächen findet unter diesen Bedingungen nicht statt.
- Bei Dauerlüftungsvorgängen hingegen stellt die Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Wandtemperatur und Umgebungstemperatur $\vartheta_w - \vartheta_u$ die entscheidende thermische Antriebsgröße dar. Unter diesen Bedingungen findet eine spürbare Entwärmung der Umfassungsflächen statt.
- Grundsätzlich ist die Erfahrung richtig, dass aus energetischer Sicht (minimaler Energieverlust) ein kurzes kräftiges Lüften gegenüber längerem, verhaltenen Lüftungsvorgängen vorteilhaft ist.