



Schlussbericht
**Reales
Lüftungsverhalten
in Wohnungen**

mit unterschiedlichen Lüftungssystemen

IMPRESSUM

Auftraggeberin:

Stadt Zürich,
Amt für Hochbauten,
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amtshaus III, Lindenhofstrasse 21
8021 Zürich

Bearbeitung:

Ruedi Kriesi, Dr. sc. tech.
Kriesi Energie GmbH, Meierhofrain 42, 8820 Wädenswil
ruedi.kriesi@kriesi-energie.ch

Projektleitung:

Franz Sprecher
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amt für Hochbauten

Projektteam:

Ruedi Kriesi, Kriesi Energie GmbH, 8820 Wädenswil
Jürg Müller, Stadt Zürich, LVZ
Franz Sprecher, Stadt Zürich, AHB

Download als pdf von
www.stadt-zuerich.ch/egt
-> Projekte realisiert

Zürich, Juni 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Bestimmung des Lüftungsverhaltens.....	5
2.1	Ausgangslage und Fragestellung.....	5
2.2	Zielsetzung.....	6
2.3	Vorgehen und Methode.....	7
2.4	Resultate	9
2.5	Diskussion und Kommentare	12
2.6	Hintergründe für das ungünstige Benutzerverhalten in der Siedlung Heuried	15
3	Gesamtbewertung	17
4	Anhang	18
4.1	Literaturverzeichnis.....	18

1 Zusammenfassung

Gebäudehüllen werden heute dicht gebaut, weshalb in etwa 30% aller Neubauten in der Schweiz Komfortlüftungen eingesetzt werden, klar gefördert durch die Marke Minergie. Diesen Bauten wird auch von einigen Fachleuten unterstellt, dass sie das Fensterlüftungsverhalten gegenüber Bauten ohne Lüftungseinrichtungen kaum verändern, der Nutzen der Lüftungsanlagen für Komfort und Energieverbrauch deshalb gering sei. Die Stadt Zürich wollte wissen, in welchem Mass sich der Mehraufwand für den Einbau einer Komfortlüftung energetisch lohnt und hat deshalb die vorliegende Arbeit in Auftrag gegeben. Durch empirische Messungen konnten sehr klare Unterschiede im Lüftungsverhalten je nach Ausrüstung der Bauten nachgewiesen werden, die auch die Angaben der aktuellen schweizerischen Normen in Frage stellen.

Seit Fenster aus Gründen von Schallschutz und Energie besser luftdicht sind, haben Probleme mit Schadstoffen und Schimmelpilz in Innenräumen zugenommen. Insbesondere bei Instandsetzungen lassen sich oft Kältebrücken nicht vermeiden, welche zu einem erhöhten Schimmelpilzrisiko führen. Zur häufig mageren Luftqualität in Innenräumen mit Fensterlüftung, insbesondere in Schulen, bestehen zahlreiche Untersuchungen. Empirische Angaben zum Lüftungsverhalten der Bewohner von Wohnbauten mit unterschiedlicher Ausrüstung mit Lüftungsanlagen und dem daraus resultierenden Luftwechsel bestehen jedoch kaum, obwohl diese für die Abschätzung des Energieverbrauchs der verschiedenen Bautechniken unerlässlich sind.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde mittels Infrarotaufnahmen anhand einer grossen Zahl von Wohnungen in unterschiedlich ausgerüsteten Bauten der Anteil offener Fenster gemessen. Basierend auf bestehenden empirischen Daten wurde mit einfachen Rechenmodellen der resultierende Luftwechsel und der Jahresenergieverbrauch bestimmt. Es zeigten sich sehr deutliche Unterschiede im Anteil offener Fenster für Bauten mit Komfortlüftung, Bauten mit Abluftanlagen und Bauten ganz ohne Lüftungseinrichtungen. Während die Resultate für Bauten ohne Lüftungseinrichtungen die Angaben der deutschen Normen bestätigen, liegen sie um einen Faktor 2 über denen des schweizerischen SIA. Das bedeutet, dass die nach den geltenden SIA-Normen gerechneten Energieverbrauchsangaben für durchschnittliche Bauten ohne mechanische Lüftung um rund $23\text{kWh/m}^2\text{a}$, für solche mit reinen Abluftanlagen um $16\text{kWh/m}^2\text{a}$ zu tief liegen. Planer von Heizungsanlagen sollten dies zur Kenntnis nehmen - insbesondere bei knapp ausgelegten Wärmepumpensystemen.

Bei den Messungen ist eine Siedlung aufgefallen, welche trotz Komfortlüftung einen deutlich über dem Durchschnittswert liegenden Anteil offener Fenster zeigte. Die nähere Untersuchung der Siedlung ergab klar ungenügende Luftmengen in den Wohnungen. Wegen Geräuschproblemen muss in dieser Siedlung die ohnehin knapp dimensionierte Anlage bei reduzierter Leistung gefahren werden, was ein zusätzliches Fensterlüften unumgänglich macht.

2 Bestimmung des Lüftungsverhaltens

2.1 Ausgangslage und Fragestellung

Der energetische Nutzen von Komfortlüftungsanlagen ist ein wichtiger Faktor für deren Förderung und deren Einsatz in städtischen Liegenschaften. Zu dessen Bestimmung wird üblicherweise die vom Lüftungsgerät aus dem geförderten Volumenstrom zurück gewonnene Energie bestimmt. Damit geht verloren, dass die automatische Lüftung zusätzlich ein stark unterschiedliches Benutzerverhalten gegenüber der Fensterlüftung bewirkt. Während die Komfortlüftung durch die Mehrfachnutzung der geförderten Luft eine hohe Lüftungseffizienz erreicht, führt die bei Fensterlüftung häufig beobachtete Dauerlüftung mit schräg gestellten Fenstern zu einem hohen Luftwechsel.

Für einen Vergleich mit über die Fenster gelüfteten Wohnungen müsste aber deren Luftwechsel bekannt sein. Auskunft dazu gibt die SIA 380/1: Seit 2001 setzt sie mit 0.29h^{-1} ($0.7\text{m}^3/\text{hm}^2$) dafür lediglich den bei idealem Lüftungsverhalten für genügende Luftqualität notwendigen Wert ein, ohne jeden Bezug zum realen Nutzerverhalten. Der Wert ist denn auch deutlich tiefer als in der Ausgabe 1988 mit 0.4h^{-1} für EFH und 0.6h^{-1} für MFH oder gemäss DIN 4108-6 in Deutschland mit 0.7h^{-1} für Gebäude ohne, 0.6h^{-1} für solche mit bestandener Luftdichtigkeitsprüfung.

Es bestehen viele Untersuchungen zur häufig mageren Luftqualität in Innenräumen mit Fensterlüftung, insbesondere im Zusammenhang von Schulen (vgl. [1] und [2] und deren Literaturverzeichnisse). Seit Fenster aus Gründen von Schallschutz und Energie besser luftdicht sind, haben Probleme mit Schadstoffen und Schimmelpilz in Innenräumen zugenommen, weil der Luftwechsel damit viel stärker benutzerabhängig geworden ist. Die mit der Untersuchung „Lüftung in sanierten Mehrfamilienhäusern“ von Basler & Hofmann, HTA (heute HSLU) und AHB vom 14.12.2005 durchgeführte Umfrage bei den Bewohnern von Wohnungen mit und ohne Komfortlüftung (vgl. [3] p. 41 ff) zeigte eine deutlich bessere Luftqualität in den Bauten mit Komfortlüftung. Zum Fensterlüftungsverhalten ergab die Befragung kein konsistentes Bild, weil die Befragten ein ungünstiges Verhalten nur zurückhaltend deklarieren und sich zudem ihres Verhaltens nicht unbedingt genau bewusst sind.

Der Autor der vorliegenden Studie regte deshalb schon damals an, Infrarot-Aufnahmen zur objektiven Erfassung des Lüftungsverhaltens und zur Plausibilisierung der Bewohnerangaben durchzuführen. Der gleichnamige Ergänzungsbericht zu obiger Untersuchung von AHB und AWEL, ca. 2006 [4], fasste das Resultat dieser Messungen an wenigen Bauten wie folgt zusammen: „In Bauten mit Komfortlüftung sind 9% bis 24% der Fenster nachts geöffnet, in Häusern ohne diese Installationen sind 25% bis 40% der Fenster nachts offen.“

Die einzige bekannte empirische Untersuchung zum realen Luftwechsel durch Messung der Fensterstellung stammt aus dem Jahr 2010 [5]. Diese Arbeit des Fraunhofer Instituts für Bauphysik in Stuttgart wurde erst nach Beginn der vorliegenden Arbeiten bekannt. In deren Rahmen wurden 67 Wohnungen mit Fensterkontakten ausgerüstet. Leider wurde die Art der mechanischen Lüftung, ob reine Abluft- oder Zu-/Abluftanlage, nicht unterschieden und auch nicht näher beschrieben. Im Rahmen der Studie wurde festgestellt, dass Wohnungen mit mechanischer Lüftung die Fenster deutlich öfter geschlossen halten als solche mit Fensterlüftung, Einfamilienhäuser öfter als Mehrfamilienhäuser, und dass tiefere Aussen-temperaturen zu häufiger geschlossenen Fenstern führen. Es ist anzunehmen, dass das günstigere Verhalten im Einfamilienhaus Folge des grösseren Raumvolumens pro Person ist, was längere Perioden mit geschlossenen Fenstern bei guter Luftqualität erlaubt. Für die städtischen Liegenschaften mit den relativ hohen Belegungsdichten bedeutet dies, dass ein automatischer Luftaustausch unbedingt notwendig ist.

Der vom Fraunhofer Institut gewählte Weg zur Erfassung des Anteils offener Fenster ist sehr aufwendig und lässt sich deshalb nicht auf eine grosse Zahl von Wohnungen ausdehnen. Als günstigerer Weg steht die grobe Abschätzung durch Infrarot-Aufnahmen im Vordergrund, wie in Kapitel 2.3 im Detail dargestellt. Aus dem Anteil der geöffneten Fenster lässt sich der daraus resultierende Energieverbrauch abschätzen:

Aus empirischen Messungen ist der Luftwechsel durch gekippte Fenster bekannt [6]. Mit der zusätzlichen Annahme der Anzahl m^2 Wohnfläche pro Fenster und der Raumhöhe lässt sich der Luftwechsel bestimmen.

Der Luftwechsel durch das gekippte Fenster ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Raum und Aussenluft. Ist die Raumtüre geschlossen, so wird die Raumtemperatur absinken, abhängig von Raumgrösse und Bedingungen der Heizfläche. Die Abhängigkeit ist aber schwach (bei 10K beträgt er mit $85m^3/h$ 70% des Wertes von 20K), so dass der Einfluss für die angestrebte Genauigkeit von etwa $\pm 30\%$ vernachlässigt werden kann.

Der Luftwechsel ist weiter abhängig von der Fenstergrösse, der Art der Fensteröffnung, also von der Breite der Spalte, ob gekippt oder gedreht, von der Windgeschwindigkeit und der Position des Fensterladens resp. der Storen. Die dominante Art der Dauerlüftung erfolgt aber über Kippfenster und Wind ist im Winter selten, so dass von diesem Normalfall ausgegangen werden kann. Da für die meisten der untersuchten Siedlungen dieselbe Belegungsvorschrift gilt (minimale Belegung = Zimmeranzahl - 1), ist der Einfluss der Belegung der Wohnungen auf das gemessene Lüftungsverhalten klein.

2.2 Zielsetzung

Gewünscht wäre eine präzise Angabe zum mittleren Luftwechsel durch Fensterlüftung in Bauten je mit reiner Fensterlüftung, Abluftanlage und Komfortlüftung. Dessen Auswirkung auf den Energieverbrauch wäre dann einfach zu rechnen. Präzis wird dies nie erreichbar sein, weil viele Parameter den Wert beeinflussen.

Da die Unterschiede zwischen den Annahmen der heutigen SIA 380/1 gegenüber der früheren Ausgabe und der DIN 4108-6 aber etwa einen Faktor 2 (0.29 bis $0.7h^{-1}$) ausmachen, sind die Anforderungen an die Genauigkeit des aus dem Prozentsatz offener Fenster abgeleiteten Luftwechsels sehr gering. Wird eine Genauigkeit von $\pm 30\%$ geschätzt, so ist immer noch eine relevante Aussage zu erwarten.

Das Resultat kann dargestellt werden als Energieverlust, der für die drei Lüftungsarten durch geöffnete Fenster über den theoretischen Wert der SIA 380/1 hinaus induziert wird.

2.3 Vorgehen und Methode

Für die Messungen wurden 16 Siedlungen ausgewählt, von denen 13 in der Stadt Zürich liegen, davon 11 im Besitze der Stadt sind, und 3 in Wädenswil im Privateigentum. Von diesen sind 8 mit einer Komfortlüftung ausgerüstet, 5 mit einer reinen Abluftanlage aus Küche und Bad und 3 ganz ohne Lüftungseinrichtungen. Eine 17. Siedlung (Nr. 12) wurde ausgeschlossen, weil deren Fenster von aussen zu schlecht einsehbar sind.

An allen oder einem Teil Wohneinheiten dieser Siedlungen wurden die offenen Fenster zu unterschiedlichen Tageszeiten und bei unterschiedlichen Aussentemperaturen erfasst. Zur Limitierung des Erfassungsaufwands wurden folgende zwei Vereinfachungen gewählt: Schlecht einsehbare Teile und in grossen Siedlungen wiederholende Situationen wurden nicht vollständig erfasst.

Tabelle 1 Liegenschaftsspezifische Angaben der gewählten Siedlungen

		Name	VW ¹	Lage	Preis	WQ ²	Belegung	Heiz ³	Adresse der einbezogenen Bauten
1	Mit Komfortlüftung	Wolfswinkel	ABZ	ruhig	med	WP	Vorschrift	BH	Wolfswinkel 12/12a-16/16a
2		Ruggächern	ABZ	mod	med	G/WP	Vorschrift	BH	Dora Staudingerstr. 1, 7, 9, 15/17
3		Heuried	LV	ruhig	med	G	Vorschrift	Rad	Höfliweg 2-20
4		Heumatt	LV	laut	tief	FW	Vorschrift	Rad	Schwandenholzstr. 24
5		Seefeldstrasse	LV	laut	med	G	Vorschrift	Rad	Seefeldstr. 212
6		W'wil, Lagomio	Tuw	laut	hoch	WP	Tief	BH	Seestrasse 33a/b, 35a/b
7		Riedtli	LV	ruhig laut	hoch	G	Mittel	Rad	Winterthurstr. 27-39, Stolzestr. 16-20, Riedtlistr. 81-85
16		W'wil, Boller	ET	ruhig	hoch	G/H	Tief	BH	Meierhofrain 38-56
11	Abluft WC/ Bad/Küche	Grossacher	LV	ruhig	med	G	Vorschrift	Rad	Grossackerstr. 59-63
13		Glaubten III	LV	mod	tief	FW	Vorschrift	Rad	Glaubtenstr. 94-100, 106/108
14		Paradies	LV	mod	tief	G	Zwischen- nutzung	Rad	Dangelstr. 24-34
15		Utohof	LV	mod	med	G	Vorschrift	NT- Rad	Uetlibergstr. 308-316, Schweighofstr. 1-7
4		Heumatt	LV	laut	tief	FW	Vorschrift	Rad	Schwandenholzstr. 2-8, 14-18
8	Ohne Lüftung	Glatt I	LV	laut	tief	FW	Zwischen- nutzung	Rad	Opfikonstr. 140, 148/150, 160
9		Leimgrübel	LV	mod	med	FW	Vorschrift	DH	Buchholzrain 1-5, 9/11, 15-19, 23/25 Glatttalstr. 99/101
10		W'wil, Zugerstr.	BG	laut	tief	Öl	Hoch	Rad	Zugerstr. ca. 117-129

¹VW : Verwaltung: ABZ : Baugenossenschaft, LV : Liegenschaftenverwaltung der Stadt Zürich, Tuw : Tuwag immobilienverwaltung, BG : Baugenossenschaft Hangenmoos, ET : Eigentümergemeinschaft Boller

²WQ : Wärmequelle: G : Gas, FW : Fernwärme, WP : Wärmepumpe

³Heiz : Heizwärmeverteilung: Rad : Radiatoren, BH : Bodenheizung, DH : Deckenheizung

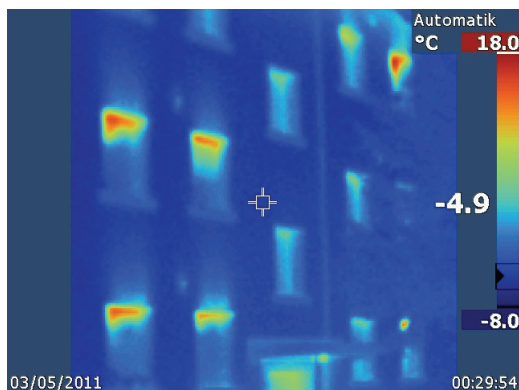
Alle erfassten Fassaden wurden zuerst tags photographiert und alle Fassaden einer Siedlung in einem Dokument dargestellt. Die Erfassung der offenen Fenster erfolgte anschliessend durch manuelles Anzeichnen der betroffenen Fenster in je einem Ausdruck aller Dokumente pro Messung. Offene Fenster wurden von Auge und mit der Infrarotkamera festgestellt. Für die Messungen nachts und für hinter geschlossenen Fensterläden offenstehende Fenster musste allein auf die Infrarotkamera abgestellt werden.

Die anfängliche Absicht, alle Messungen mit Infrarotbildern zu dokumentieren musste fallen gelassen werden, weil die Zahl der Bilder enorm gross geworden wäre und sich deren Zuordnung zu den Aufnahmen der Gesamtfassaden als schwierig erwies.

Die Anzahl der offenen Fenster wurde in Relation zur Gesamtzahl der Fenster gesetzt, unabhängig von deren Grösse und der Öffnungsart, ob gekippt, gedreht oder hinter einem Laden geöffnet. Es gab wenige unklare Grenzfälle, bei denen unklar war, ob das Fenster einen Spalt weit geöffnet oder die Dichtung so schlecht war, die willkürlich entschieden wurden. Nicht erfassbare Fenster, die zu hoch oben und/oder zurückversetzt angeordnet sind, wurden nicht mitgezählt. Kellerfenster wurden nicht erfasst, wohl aber Fenster in Treppenhäusern.

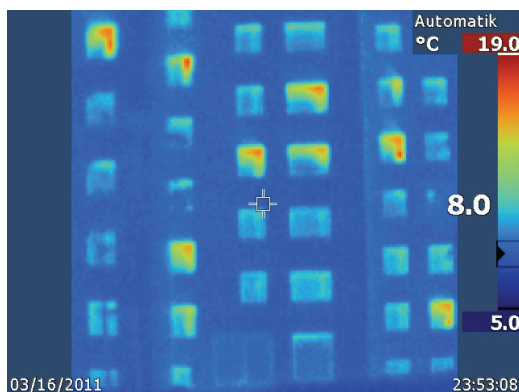
Die beabsichtigten Messungen bei moderater Aussentemperatur konnten nur teilweise durchgeführt werden, weil unerwartet früh im Jahr keine kühlen Tage mehr verfügbar waren.

Figur 1 Infrarot-Aufnahme Siedlung Buchholzrain



Siedlung 9. Buchholzrain,
5.3.2011, 00.29 Uhr, Ta = 0°C

Figur 2 Infrarot-Aufnahme Siedlung Höfliweg



Siedlung 3, Höfliweg,
16.3.2011, 23.53 Uhr, Ta = 10°C

2.4 Resultate

2.4.1 Anzahl Prozent offener Fenster

Tabelle 2 Anzahl Prozent offener Fenster

Tag: 09.00-17.00 Abd: 17:00-22.00 Ncht: 23.00-05.00		Kalt (-3 bis +2°C)				Moderat bedeckt (5 bis 10°C)			Moderat sonnig (5 bis 10°C)		
		Siedlung (Anzahl gesamt.Fenster)	Tag 22/ 24.1.	Tag 2.2.	Abd 31.1./ 3.2.	Ncht 25.2./ 4.3.	Tag	Abd	Ncht 16.3.	Tag	Abd 30.3./ 13./14.4.
1	Wolfswinkel (510)	1	0.4	2.9	2.5					2.2	3.3
2	Ruggächern, Dora Staudingerstr. (411)	2.2	1.9	2.9	3.4					2.7	3.9
3	Heuried, Höfliweg (566)	8.8¹⁾	6.7	8.5	10.6³⁾			12		11	12
4	Heumatt, Schw.holzstr 24 (130)	3	5.4	5.4	7.7					9.2	7.7
5	Seefeldstrasse (54)	3.7	3.7	3.7 ⁴⁾	5.6 ³⁾⁴⁾			5.6 ⁴⁾		1.9	4
6	W'wil, Lagomio (147)	2.8 ¹⁾	1.4	2	6.1			4.1		4.8	5.4
7	Riedtli, Winterthurerstr. (526)	0.8	3.2	1.3	2.3			3.0		2.5	2.7 ²⁾
16	W'wil, Meierhofrain (150)	0	0	0.6	0.6					3.3	4.4
	Durchschnitt	2.8	2.8	3.4	4.8 ³⁾					4.7	5.4
	Durchschnitt ohne Ausreisser:	1.9	2.3	2.7	4.0 ³⁾					3.8	4.5
	Durchschnitt	3.4								5	
	Durchschnitt ohne Ausreisser:	2.7								4.2	
	Verhältnis Nacht/Tag	1.7									
11	Grossacher, Grossacherstr. (141)	10 ¹⁾	2.1	4.3	10 ³⁾			8.5		7.8	12
13	Glaubten III, Glaubtenstr. (648)	2.6¹⁾	3.2	4.8	2.9					6.2	5.7
14	Paradies, Dangelstr. (436)	7.4 ¹⁾	3.5	4.8	3.7 ³⁾			5.3		5.7	5.5
15	Utohof, Uetlibergstr. (579)	7.7 ¹⁾	3.5	6.0	10 ³⁾			12		12	14
4	Heumatt, Schw.holzstr. 2-8/14-18 (332)	7.5	11 ⁵⁾	11.4 ⁵⁾	11.1 ⁵⁾					16	11.4
	Durchschnitt	7	4.7	6.3	7.5					9.5	9.7
	Durchschnitt	6.4								9.6	
	Verhältnis Nacht/Tag	1.3									
8	Glatt I, Opfikonstr. (159)	14	9	9.4	10					20	14
9	Leimgrübel, Buchholzrain (488)	16.3	18	22	22					27	23
10	W'wil, Zugerstr. (309)	19 ¹⁾	19	19	19			21		28	25
	Durchschnitt	16.4	15.3	16.8	17					25	21
	Durchschnitt	16.4								23	
	Verhältnis Nacht/Tag	1.1									

Anmerkung:

Ausreisser nach oben und unten sind in Fett geschrieben

1) Samstag

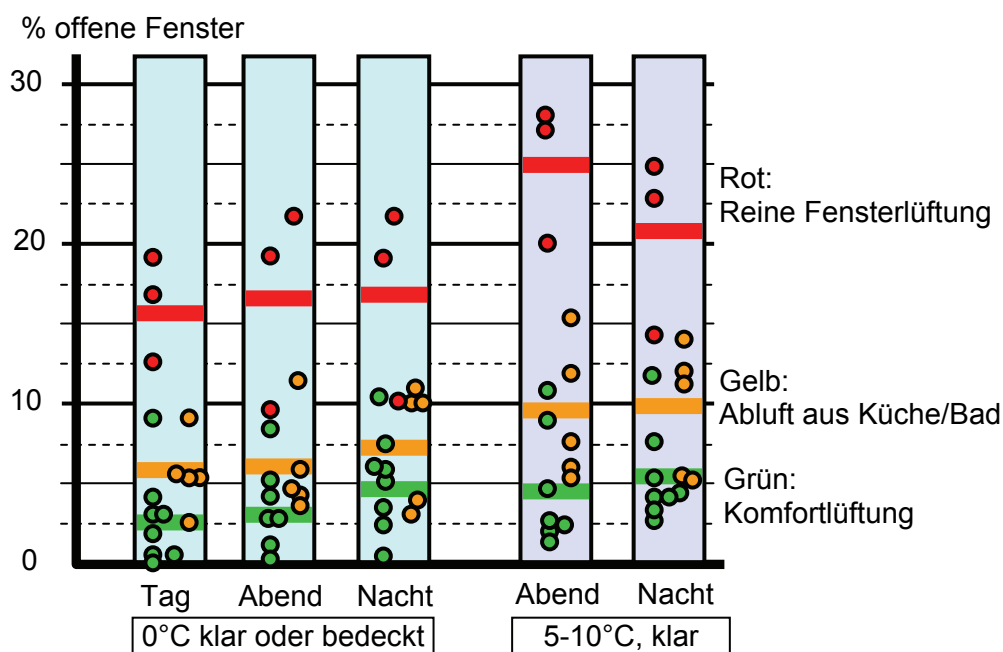
2) 22.15 Uhr

3) Messung bei +4°C, also 2K zu warm

4) Davon 0.9 resp. 1.8% offene Fenster im Treppenhaus neben Eingang

5) Davon 0.6 bis 3.5% offene Fenster im Keller und Gang

Figur 3 Anteil offener Fenster für die auf unterschiedliche Art belüfteten Siedlungen, Einzel- und Mittelwerte



2.4.2 Vergleich mit Werten aus anderen Studien

Die Studie des Fraunhofer Instituts [5] ist die einzige, die das Lüftungsverhalten durch Messung der Fensterstellung präzise erfasst hat, allerdings an einer kleinen Zahl (67) Wohnungen insgesamt und davon weniger als der Hälfte (28) mit mechanischer Lüftung. Im Rahmen der Studie von AWEL und AHB [4] wurde ebenfalls nur an einem kleinen Teil der Wohnungen das reale Verhalten mittels Thermografieaufnahmen objektiv erfasst.

Tabelle 3 Vergleich Anteil offener Fenster von drei unterschiedlichen Studien

Messresultate / Ausrüstung der Wohnungen	Winter		Frühjahr/Herbst		AWEL+AHB 2006 offene Fenster
	Fraunhofer Instituts	AHB 2012	Fraunhofer Instituts	AHB 2012	
	offene Fenster	offene Fenster	offene Fenster	offene Fenster	
Mechanische Lüftung	9 %	3.4 - 6.4 %	17 %	5.1 - 9.7 %	9 - 24 %
Fensterlüftung	16 %	16.4 %	28 %	23 %	25 - 40 %

Der Trend zu besserem Verhalten der Bauten mit mechanischer Lüftung gegenüber solchen ohne ist bei allen drei Arbeiten deutlich sichtbar. Übereinstimmend bei der Untersuchung des Fraunhofer Instituts und der vorliegenden Studie (AHB 2012) ist auch das deutlich bessere Verhalten im Winter gegenüber Frühjahr/Herbst, unabhängig von der Ausrüstung der Bauten.

Während zudem die quantitative Übereinstimmung bei Fensterlüftung in der jetzigen Studie und der Untersuchungen des Fraunhofer Instituts erstaunlich gut ist, sind die Unterschiede bei mechanischer Lüftung grösser. Allerdings ist das Verhältnis von Abluft- und Zu-/Abluftanlagen der Referenz nicht bekannt, ebensowenig wie die Qualität der mechanischen Lüftungen. Nachdem diese Untersuchung einen starken Zusammenhang zur Ausführungsqualität zeigt, können sich durch die lokale Baupraxis grosse Unterschiede ergeben.

2.4.3 Feststellungen

- Der Anteil geöffneter Fenster ist nachts deutlich höher als tags, am stärksten ausgeprägt in den Bauten mit Komfortlüftung. In diesen zeigt sich nachts das von früheren Wohnungen gewohnte Verhalten.
- Bevorzugt werden Fenster von Nebenräumen geöffnet (z.B. Bad, WC). In den Siedlungen ohne Lüftungseinrichtungen bleiben diese in vielen Wohnungen ganztags geöffnet.
- In Treppenhäusern stehen die Fenster verstärkt offen.
- Fenster von Haupträumen sind bei leiser Umgebung eher geöffnet als gegen stark befahrene Strasse.
- Bemerkung zu Siedlung Glaubten: Das erstaunlich gute Verhalten bei tiefer Aussentemperatur nähert sich bei höheren Aussentemperaturen dem Mittelwert der Kategorie der mit Abluftanlagen ausgerüsteten Bauten.

2.5 Diskussion und Kommentare

2.5.1 Auswirkungen auf Luftwechsel und Energieverbrauch

Ein gekipptes Fenster mit 1m Breite, 1.3m Höhe und 14cm Öffnung bewirkt bei Temperaturdifferenzen von 10 bis 22K und Windgeschwindigkeiten unter 0.5m/s einen Luftwechsel von 90-130m³/h ([6] „Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung“, Maas A. 1995). Der Windeinfluss ist deutlich grösser bei kleinen Temperaturdifferenzen.

Dies führt bei 0°C Aussentemperatur zu einem Wärmeverlust von

$$120\text{m}^3/\text{h} \times 1.2 \text{ kJ/m}^3\text{K} \times 20\text{K} = 800\text{W}$$

Steht die Türe von diesem Raum zur Wohnung offen, wird mit dem offenen Fenster die Luft in der ganzen Wohnung erneuert. Der limitierende Faktor für den Wärmeverlust ist der Luftstrom durch das Kippfenster, weil der Wärmenachfluss über alle Heizflächen der Wohnung gross ist und die Temperatur der Raumabluft also hoch.

Ist die Türe zum Raum mit geöffnetem Fenster geschlossen, ist der Luftaustausch in der Wohnung suboptimal und die Luftqualität schlecht. Eine Auskühlung der Wohnung über die Raum-Innenwände findet trotzdem in ähnlicher Höhe statt, weil der Wärmenachfluss durch die Innenwände von etwa 50m² bei einem durchschnittlichen Raum von 12m² Grundfläche bei nur leicht tieferer Raumtemperatur von 15°C in ähnlicher Grössenordnung liegt:

$$50\text{m}^2 \times 2\text{W/m}^2\text{K} \times (22^\circ\text{C}-15^\circ\text{C}) = 700\text{W}$$

Erst, wenn zwei Fenster in der gleichen Wohnung und die Innentüren geöffnet wären, würden Luftwechsel und Wärmeverlust deutlich höher werden. Da in diesem Falle aber die Wohnung rasch kalt würde, wird dieser Fall ganz selten anzutreffen sein.

Wird der Energieverlust durch die offenen Fenster also mit dem zusätzlichen mittleren Luftwechsel von 100m³/h bestimmt, entsprechend einer Temperaturdifferenz von 12K, so passt er als konservativer Wert für die real angetroffenen Fälle.

Wird ein Fenster pro 12m² Wohnfläche bei 2.4m Raumhöhe angenommen, so wird der Standardluftwechsel gemäss SIA 382 und 380/1 von 0.29h⁻¹, wenn das Fenster während etwa

$$12\text{m}^2 \times 2.4\text{m} \times 0.29\text{h}^{-1} / 100\text{m}^3 = 8.3\%$$

der Zeit offen steht, erreicht. Ein höherer Anteil offener Fenster als 8% bedeutet einen erhöhten Luftwechsel.

Die aus den geöffneten Fenstern abgeleiteten Luftwechselzahlen und der Energie-Mehrverbrauch im Vergleich zum Normwert gemäss SIA 380/1 (0.29h⁻¹) lässt sich also gemäss untenstehender Tabelle mit der Formel

$$E = \text{HGT} \times 24\text{h/d} \times \text{LW} \times 2.4\text{m} \times 1.2\text{kJ/m}^3\text{K} / 3'600\text{s/h} = \text{HGT} \times \text{LW} \times 0.02\text{kWh/m}^2\text{a}$$

bestimmen, mit HGT in Kd/a und LW in h⁻¹. Entsprechend lässt sich auch der energetische Wert der Komfortlüftung gegenüber Abluft-System und Fensterlüftung bestimmen. Dazu wird der Antriebsstrom der Ventilatoren (Komfortlüftung 1.5kWh/m²a, Abluftsystem 0.7kWh/m²a), mit Faktor 2 gewichtet, einbezogen.

Tabelle 4 Auswirkungen auf Luftwechsel und Energieverbrauch

Luftwechsel pro gekipptes Fenster, m3/h	100					
Raumfläche pro Fenster, m2	12					
Raumhöhe, m	2.5					
Raumvolumen pro Fenster, m3	30					
Rel. Luftwechsel pro gekipptes Fenster, /h	3.3					
	Komfortlüft.		Abluftventi.		Fensterlüft.	
Aussentemperatur	um 0°C	um 8°C	um 0°C	um 8°C	um 0°C	um 8°C
Heizgradtage/Periode	2160	1275	2160	1275	2160	1275
% offene Fenster	3.4	5	6.4	9.6	16.4	23
Durch off. Fenster result. rel. Luftwechsel, /h	0.11	0.17	0.21	0.32	0.55	0.77
Luftwechsel durch Ventilatoren, /h	0.35	0.35	0.25	0.25	0.00	0.00
Luftwechsel gesamt, Fenster + Komfortlüftung	0.46	0.52	0.46	0.57	0.55	0.77
energiereel. Luftwechsel bei 85% WRG	0.17	0.22	0.46	0.57	0.55	0.77
Differenz Luftwechsel geg. Wert SIA 380/1	-0.12	-0.07	0.17	0.28	0.26	0.48
Mehrverbrauch Wärme/Periode gegenüber SIA, kWh/m2a	-5.36	-1.81	7.49	7.14	11.09	12.16
Mehrverbrauch Wärme/Jahr gegenüber SIA, kWh/m2a	-4.2		16.0		23.2	
Mehrverbrauch Wärme geg. Komfortlüftung, kWh/m2a			20.2		27.4	

Die unterschiedlichen Anteile der offenen Fenster bei tiefer und moderater Aussentemperatur sind darin durch Aufteilung der Heizgradtage entsprechend nachfolgender Tabelle berücksichtigt.

Tabelle 5 Aufteilung Heizgradtage auf tiefe und moderate Aussentemperaturen

Monat	Zürich	Monatsmitteltemperatur, °C	Anteil bei Temp. um 0°C	Anteil bei Temp. um 8°C
Januar	598	0	598	
Februar	517	0	517	
März	430	5		430
April	302	8		302
Mai	107	13		107
Juni	47	16		16
Juli	11	19		11
August	10	19		10
September	80	15		80
Oktober	291	10		291
November	472	4	472	
Dezember	570	1	570	
Jahreswert	3435		2160	1275

Trotz teils erstaunlich ungünstigem Verhalten der Nutzer der Wohnungen mit Komfortlüftung ist der mittlere Energieverbrauch der Wohnungen mit Komfortlüftung aufgrund der groben Abschätzung deutlich besser als derjenige der Wohnungen ohne Lüftungseinrichtung (um 27kWh/m²a) oder mit reiner Abluftanlage (um 20kWh/m²a).

2.5.2 Weitere Konsequenzen

- Der nachts höhere Anteil geöffneter Fenster in den Bauten mit Komfortlüftung ist primär Folge ungenügender Luftmengen oder zu hoher Temperaturen.
- Die oft ganztags offen stehenden Fenster in Nebenräumen in Siedlungen ohne Lüftungseinrichtungen sind Ausdruck von Nachlässigkeit, aber auch der unbefriedigenden Lösung. Die Lüfterneuerung in der Wohnung findet trotzdem nicht statt, weil er auf den Nebenraum beschränkt bleibt. Der hohe Energieverlust wird nicht wahrgenommen, weil der Wärmenachfluss durch Wände, Decken und Böden auch bei im Raum abgedrehter Heizung die Temperatur nicht weit absinken lässt. Deshalb bemüht sich in vielen Wohnungen niemand, die Fenster nach Benützung der Räume wieder zu schliessen.
- In Treppenhäusern stehen die Fenster auch in Bauten mit Komfortlüftung verstärkt offen, weil hier Lüftungseinrichtungen systematisch fehlen. Küchengerüche können aber sehr unangenehm sein. Hier sind dringend neue Planungsgrundlagen anzubieten.
- Das erstaunlich gute Verhalten bei tiefen Temperaturen in der Siedlung Glaubten wird durch die knappe Heiztemperatur mit zusätzlicher Nachtabenkung gefördert. Offene Fenster führen unweigerlich zu kalten Zimmern. Ursache sind nicht etwa undichte Fenster. Manuelles Lüften ist nötig, da die Fenster (Ersatz im Jahr 2000) gut dicht sind und deshalb in Wohnungen, in denen klar zu wenig gelüftet wird, Schimmelprobleme entstehen. Die Abschwächung des guten Verhaltens bei höherer Ausstemperatur ist eine Folge der dann eher genügenden Heizwärme.

2.6 Hintergründe für das ungünstige Benutzerverhalten in der Siedlung Heuried

2.6.1 Auswirkung des ungünstigen Verhaltens

Die Siedlung Heuried zeigt im Vergleich zum Durchschnitt der Siedlungen mit Komfortlüftung ein deutlich ungünstigeres Nutzerverhalten. Aufgrund einer Besprechung mit dem Hauswart, Herr M. Burkhard, am 19.4.11 konnten klare Ursachen für das abweichende Verhalten festgestellt werden. Diese sind von grossem Interesse nicht nur für die Stadt als grosse Immobilienbesitzerin, aber auch für die weitere Entwicklung von MINERGIE und die Komfortlüftungsbranche, führt dies doch zu einem deutlich höheren Energieverbrauch und einem Komfortangebot unter den Erwartungen der Investoren und Nutzer.

Die Wirkung gegenüber einem durchschnittlichen Verhalten auf den Energieverbrauch ergibt sich anhand der gleichen Rechnung mit folgender Tabelle:

Tabelle 6 Auswirkungen auf Luftwechsel und Energieverbrauch Siedlung Heuried

Periode	um 0°	um 8°	Jahr
Heizgradtage	2160	1275	3435
Heuried:			
Luftwechsel durch Komfortlüftung, /h	0.35	0.35	
% offene Fenster	9	11	
Durch off. Fenster result. rel. Luftwechsel, /h	0.30	0.37	
Luftw. ges., Fenster + Komfortlüft. Heuried	0.65	0.72	
energiereel. Luftwechsel gesamt Heuried	0.35	0.42	
Durchschnitt mit Komfortlüftung (ohne Heuried):			
Luftwechsel durch Komfortlüftung, /h	0.35	0.35	
% offene Fenster	2.6	4.2	
Durch off. Fenster result. rel. Luftwechsel, /h	0.09	0.14	
Luftw. ges., Fenster + Komfortlüft. Durchschnitt	0.44	0.49	
energiereel. Luftwechsel gesamt Durchschnitt	0.14	0.19	
Differenz energiereel. Luftw. Heuried-Ø	0.21	0.23	
Mehrverbrauch Wärme Heuried geg. Ø, kWh/m ² a	9.2	5.8	15.0

Dieser Mehrverbrauch an Heizwärme von 15 kWh/m² durch ungünstiges Lüftungsverhalten entspricht einem beachtlichen Mehrverbrauch an Gas von jährlich ca. 1.7m³/m².

2.6.2 Angaben zur Komfortlüftung der Siedlung Heuried

- Es sind 11 Dachgeräte installiert, 1 bis 2 pro Haus.
- Die Luftmenge beträgt max. 6900m³/h für die 145 Wohnungen, pro Wohnung also 48m³/h auf der hohen Stufe und ca. 34m³/h auf der niederen. Bei einer gesamten Bruttofläche von ca. 10'150m² entspricht dies Luftwechseln von 0.28 und 0.20, ist also sehr gering.
Für das Haus Höfliweg 4 mit 630m³/h auf Stufe 2, für 12 Wohnungen mit 870m² Nettofläche und 42 Zuluftgittern beträgt die Luftmenge pro Zulufttraum auf Stufe 2 durchschnittlich 15m³/h, auf der Stufe 1 11m³/h (mit Luftwechsel von 0.29 resp. 0.21/h), ist also sehr knapp, insbesondere für einen mit zwei Personen belegten Raum (gegenüber 40m³/h gem. SIA 2023). Da das Wohnzimmer ebenfalls direkt mit Zuluft versorgt statt in den Überströmbereich zwischen Schlafzimmern und

Bad/Küche angeordnet ist, ergeben sich die extrem tiefen Luftmengen pro Zulufttraum.

- In einer besichtigten Wohnung wurde ein zufälliges Gitter geöffnet. Im Auslass steckte ein Soundpack im Doppelwand-Wellrohr mit $d_a/d_i=75/62$ mm. Hier ist die Luftmenge gegenüber dem Durchschnitt also zusätzlich reduziert.
- Während die Anlage ursprünglich fast immer auf Stufe 2 lief, wurde dieser Betrieb wegen Zugs- und Geräuschproblemen (>30 dBa im Raum) auf die Spitzenzeiten limitiert (Sa/So 9-12.30 und 17-19.30, Mo-Fr 6.30-10 und 17.30-19.30). In den übrigen Zeiten laufen die Geräte mit Stufe 1. Damit konnten die Reklamationen reduziert werden.
- Anfänglich ergaben sich zudem Zugerscheinungen, weil die Zuluft mit 14°C mit grosser Geschwindigkeit eingeblasen wurde. Inzwischen wird die Zuluft elektrisch (!) auf 18 bis 20°C vorgewärmt (Jahresstromverbrauch der Geräte inkl. Vorwärmung 2010 von $57'000\text{kWh}$, entsprechend 5.6kWh/m^2 ; bei 145 Wohnungen à $70\text{m}^2 = 10'150\text{m}^2$) und die Anlage reduziert betrieben, was die Klagen ebenfalls verkleinert hat.
- Mit $10'150\text{m}^2$ pro 566 Fenster = $18\text{m}^2/\text{Fenster}$ liegt hier die Fläche pro Fenster über den angenommenen 12m^2 , die Wirkung pro Fenster auf den Wärmeverlust bei geschlossener Raumtüre wäre entsprechend grösser, die Wirkung für den Luftwechsel bei offener Innentüre kleiner.

2.6.3 Folgerungen

Die klar zu geringe Luftmenge und die resultierende ungenügende Luftqualität zwingen die Nutzer, zeitweise über die Fenster zu lüften. Da die Vorlauftemperaturen der Gasheizung eher knapp eingestellt sind, entfällt Überheizen als weitere mögliche Ursache für die offenen Fenster. Auch die ruhige Wohnlage ist in diesem Falle nicht die Erklärung für die offenen Fenster, weil in anderen Siedlungen an ruhiger Lage die Fenster gut geschlossen sind.

2.6.4 Wünsche der Hauswartung an künftige Anlagen

- Der Mieter muss eine Einstellmöglichkeit für die Luftmenge erhalten. Bei Geruchsproblemen im Freien muss er auch ganz abstellen können.
- Die Treppenhäuser müssen ebenfalls belüftet werden, weil Kochgerüche häufig sind.
- Abluftfilter, die vom Mieter einfach wechselbar sind, sind unumgänglich zum Schutz der Abluftrohre.
- Eine Analyse der Ursache der Geräuschprobleme in dieser Lüftungsanlage könnte für neue Ausschreibungen helfen. (Es ist unklar, ob die Ursache für die zu geringen Luftmengen und Geräuschprobleme bei den Ventilatoren oder den Verteilrohren liegt. Mit 15 resp. $11\text{m}^3/\text{h}$ pro Zuluftrohr ist deren Kapazität bei weitem nicht erreicht. Eine eventuelle Verengung, die die Geräusche erzeugt, müsste allenfalls anderswo im System liegen.)
- Trockenräume müssen belüftet werden, weil deren Fenster sonst immer offen stehen.

3 Gesamtbewertung

Viele Energiefachleute haben den Eindruck, nach neuen kantonalen Vorschriften erstellte Bauten seien vergleichbar mit MINERGIE, allein weil sie rechnerisch ein ähnliches Verbrauchsniveau erreichen. Dass sie aber tatsächlich einen schlechten Komfort bieten und ohne Lüftungseinrichtungen trotz guter Dämmung ein grosses Schimmelrisiko bedeuten, ist ihnen nicht bewusst, obwohl MINERGIE die Komfortvorteile der automatischen Lüftung systematisch in den Vordergrund stellt.

Die vorliegende Arbeit zeigt nun, dass zusätzlich auch die Differenz des Energieverbrauchs zwischen der Realität und dem Rechenwert nach SIA 380/1 mit $16\text{kWh/m}^2\text{a}$ für Häuser mit Abluftanlagen und $23\text{kWh/m}^2\text{a}$ für Häuser ohne Lüftungseinrichtungen sehr gross ist. Das erhöht den durch verschiedene Kantone propagierten Verbrauch von nach der MuKE n erstellten Bauten von $48\text{kWh/m}^2\text{a}$ auf 64 resp. $71\text{kWh/m}^2\text{a}$ und vergrössert die Differenz zwischen MuKE n und MINERGIE-Basis-Standard von $10\text{kWh/m}^2\text{a}$ auf 26 bis $33\text{kWh/m}^2\text{a}$ um einen Faktor 2.5 bis 3.

Für die Planung der Heizleistung für Bauten ohne Komfortlüftung erscheint das Resultat weniger wichtig. Obwohl Wärmepumpen-Anlagen richtigerweise meist knapp ausgelegt werden, dürften keine Leistungsengpässe entstehen, da bei tiefen Aussentemperaturen der Anteil offener Fenster deutlich abnimmt und in Siedlungen mit knapp eingestellter Vorlauftemperatur sogar vorbildlich wird.

4 Anhang

4.1 Literaturverzeichnis

- [1] Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 11, 2008
www.umweltbundesamt.de > Gesundheit > Publikationen
- [2] Luftqualität und Schadstoffe in Innenräumen, Dr. Volker Neitzert, Dr. Martin Gülzow, TÜV Süddeutschland, 7-2000
- [3] Lüftung in sanierten Mehrfamilienhäusern, Basler & Hofmann, Hochschule für Technik und Architektur, Amt für Hochbauten, Zürich, 14.12.2005
- [4] Lüftung in sanierten Mehrfamilienhäusern, Ergänzungsbericht, Amt für Abfall, Wasser Energie und Luft des Kantons Zürich, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zürich, 2006
- [5] Lüftungsverhalten in Wohnungen, Hans Erhorn, Johann Reiß, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart, 2010
- [6] Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung, Dissertation, Anton Maas, Universität Gesamthochschule Kassel 1995