Forschungsvorhaben

Pilotstudie zur Untersuchung des Luftwechsels in Innenräumen

für die Erarbeitung von Vorgaben der Publikation „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“

Endbericht Dezember 2006

Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Peter Tappler
Department für Bauen und Umwelt/ Donauuniversität Krems

Bernhard Damberger, Felix Twrdik, Karl Mitterer
IBO-Innenraum Mess- und Beratungsservice (IMB)

Hans-Peter Hutter
Institut für Umwelthygiene/ Medizinische Universität Wien

Titel:
- Pilotstudie zur Untersuchung des Luftwechsels in
- Innenräumen für die Erarbeitung von Vorgaben der Publikation „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“

Auftraggeber:
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
GZ 1.3.4/0008-V/4/2006
A-1012 Wien, Stubenring 1

Durchführung:

Department für Bauen und Umwelt/ Donauuniversität Krems
Dr.-Karl-Dorrek-Straße 30
A-3500 Krems

Dipl. Ing. Peter Tappler
email: p.tappler@innenraumanalytik.at
☎ 0664-300 80 93

IBO-Innenraum Mess- & Beratungsservice
Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH
A-1090 Wien, Alserbachstraße 5/8

Chemisches Laboratorium – Technisches Büro für Physik
Damberger, Tappler & Twrdik OEG
A-1150 Wien, Stutterheimstraße 16-18/2

Dipl. Ing. Bernhard Damberger
Dipl. Ing. Felix Twrdik
Ing. Karl Mitterer
☎ +43-(0)664-300 80 93 ☎ +43-(0)1-983 80 80
Fax: +43-(0)1-983 80 80-15
email: office@innenraumanalytik.at
http://www.innenraumanalytik.at

Institut für Umwelthygiene/ Medizinische Universität Wien
A-1090 Wien, Kinderspitalgasse 15

Dipl. Ing. Dr. Hans-Peter Hutter
☎ +43-(0)1-4277-64701
email: hans-peter.hutter@meduniwien.ac.at

Datum des Endberichtes: 31.12.2006

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG UND ALLGEMEINES 4
1.1 Einleitung 4
1.2 Zielsetzung der Studie 4
1.3 Vorgangsweise, Messstrategie 5
1.4 Beschreibung der untersuchten Innenräume 5
2 METHODISCHE VORGANGSWEISE UND ANALYTIK 8
2.1 Untersuchung des Luftwechsels 8
2.1.1 Vorgangsweise und Methodik zur Untersuchung des Luftwechsels 8
2.2 Messung der Raum- und Außenklimaparameter 9
2.2.1 Methodik der Untersuchung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Windgeschwindigkeit und der Böigkeit 9
2.2.2 Methodik der Untersuchung des Differenzdrucks 9
2.3 Untersuchung von Raumluft auf Formaldehyd 10
2.3.1 Probenahme und Analytik der Formaldehyduntersuchung 10
2.3.2 Ermittlung der korrigierten Formaldehyd-Werte nach Andersen 10
2.4 Untersuchung der Luftdurchlässigkeit der raumumhüllenden Flächen „BlowerDoor-Test“ 13
2.4.1 Messverfahren 13
3 ERGEBNISSE DER MESSUNGEN 14
3.1 Allgemeines 14
3.2 Detailergebnisse der Messungen 14
3.3 Beispiele für Abklingkurven der Tracergaskonzentration 16
3.4 Grafische Darstellung der Stundenmittelwerte der Luftwechselzahl 17
3.5 Korrelationen zwischen Luftwechselzahl und Umgebungsparametern 19
3.5.1 Raum 1 20
3.5.2 Raum 2 22
3.5.3 Raum 3 24
3.6 Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse 26
3.6.1 Zeitliche Variation des Luftwechsels 26
3.6.2 Korrelation des Luftwechsels mit Umgebungsparametern 26
3.6.3 Korrelation des Differenzdrucks mit der Windgeschwindigkeit 27
3.6.4 Abhängigkeit der korrigierten Konzentration an Formaldehyd mit dem Luftwechsel 27
3.6.5 Korrelation des n_{50}-(BlowerDoor) Wertes mit dem Luftwechsel 28
4 DISKUSSION 29
5 AUSBLICK 31
6 DANKSAGUNG 32
7 LITERATUR 33
8 ANHANG 1 – ERGEBNISSE DER KONTINUIERLICHEN MESSUNGEN 34
9 ANHANG 2 – BLOWER DOOR-PRÜFPROTOKOLLE 50

1 EINLEITUNG UND ALLGEMEINES

1.1 Einleitung

Im Rahmen des Arbeitskreises „Innenraumluft“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft werden Richtwerte für bestimmte luftverunreinigende Stoffe erarbeitet. Aufbauend auf der Arbeit des Arbeitskreises wurde eine Publikation im Rahmen der blau-weißen Reihe des Ministeriums als Lose-Blatt Sammlung erstellt. Ein wichtiger Randparameter bei der Untersuchung von Innenraumschadstoffen ist der jeweils bei den Messungen herrschende Luftwechsel, von dem vermutet wird, dass dieser in relevantem Ausmaß auf das Ergebnis der Messung Einfluss nehmen könnte. Bei Prüfkammermessungen wird bei konstanter Quelle ein indirekt proportionales Verhältnis zwischen der Gleichgewichtskonzentration von Schadstoffen im Inneren der Kammer und der Luftwechselzahl angenommen.

Praktische Erfahrungen zur zeitlichen Variation des Luftwechsels in realen Objekten fehlen jedoch weitgehend, eine deutsche Pilotstudie an einem Objekt (Thumulla und Weber 2004) ergab Luftwechselzahlen, die in einem sehr weiten Bereich streuten sowie eine deutliche Abhängigkeit vom Differenzdruck innen-außen.

1.2 Zielsetzung der Studie

Ziel der gegenständlichen Pilotstudie ist die Ermittlung der zeitlichen Variation der Luftwechselzahl in drei repräsentativen Innenräumen sowie weiterer Parameter wie Temperaturen, Luftdruckdifferenz innen-außen (Differenzdruck) und Windgeschwindigkeit. Die ermittelten Ergebnisse sollen miteinander in Beziehung gesetzt werden, es soll festgestellt werden, ob und gegebenenfalls in welcher Form die Luftwechselzahl mit einem oder mehreren der angeführten Parameter korreliert. Es soll in dieser Pilotstudie festgestellt werden, ob die Berechnung eines Standard-Luftwechsels auf Grund der Ermittlung von Klimadaten im Bereich der Möglichkeit liegt. Im positiven Fall könnte diese Standardisierung die Grundlagen für eine Korrektur punktuell ermittelter Innenraumluftkonzentrationen flüchtiger Raumluftinhaltsstoffe liefern.

In diesem Zusammenhang sollen eventuelle Abhängigkeiten der Konzentration des Luftinhaltsstoffes Formaldehyd von der Luftwechselzahl festgestellt werden.

1.3 Vorgangsweise, Messstrategie

Die Untersuchung erfolgte in drei Innenräumen, die sich in unterschiedlichen Objekten befanden (genaue Beschreibung siehe Kap. 1.4).

Die Untersuchungen fanden vom 27.10.2006 bis zum 16.12.2006 statt, wobei versucht wurde, in jedem der Räume in Zeiträumen zu messen, in denen unterschiedliche Außenklimabedingungen herrschten (z.B. hohe – niedrige Außentemperatur, starker – schwacher Wind).

In einem Objekt (Raum 1) wurde während ausgewählter Zeiträume die Konzentration des typischen Innenraum-Luftinhaltsstoffes Formaldehyd untersucht.

1.4 Beschreibung der untersuchten Innenräume

Raum 1 liegt in einem in den 1920er-Jahren erbauten Objekt mit Fenstern an der Ostseite des Gebäudes (siehe Abbildungen auf der folgenden Seite). Das Gebäude wurde 1994-97 renoviert, 1997 wurden neue Fenster eingebaut. Der Raum ist Teil eines größeren Bürobereichs. Im Raum befanden sich keine Einrichtungsgegenstände.

In diesem Raum wurden zusätzlich zur Messung der Luftwechselzahl die Messungen der Raumluftkonzentrationen an Formaldehyd durchgeführt. Zur Einstellung einer signifikanten Raumluftkonzentration wurden Bauteile aus Holzwerkstoffen, die eine relevante Emission an Formaldehyd aufwiesen, im Raum aufgestellt (11 Spanplattenelemente mit einer Gesamt-Oberfläche von 25,8 m²).

Bei Raum 2 handelt es sich um ein Schlafzimmer in einem Einfamilienhaus. Dieses wurde 2001 in Holz-Ständerbau-Konstruktion errichtet. Ein Fenster des Raumes ist nach Süden ausgerichtet, das andere nach Osten. Die Einrichtung im Raum entspricht jener eines herkömmlichen Schlafzimmers. In diesem Raum wurde bei unterschiedlichen Wetterverhältnissen die Luftwechselzahl bestimmt.

Raum 3 befindet sich in einem um 1900 errichteten Altbau. Es handelt sich um einen Büroraum mit entsprechender Einrichtung. Die drei Fenster liegen an der Südseite des Zimmers, an der Ost- und Westseite grenzen weitere Büros an. Auch in diesem Raum wurde bei unterschiedlichen Wetterverhältnissen die Luftwechselzahl bestimmt.

Tabelle 1.4.1: Daten der untersuchten Räume

Parameter	Raum 1	Raum 2	Raum 3
Grundfläche [m²]	16,4	13,2	29,8
Höhe [m]	4,0	2,7	3,6
Raumvolumen [m³]	65,5	36,2	106,6
Anzahl der Fenster	2	2	3
Anzahl der Türen	2	1	2
Einrichtung des Raumes	Keine Einrichtung vorhanden Bis zum 24.11.2006 wurden Spanplatten im Raum aufgestellt	Schlafzimmer-einrichtung	Büro-einrichtung
Art des Objektes	5-stöckiges Industriegebäude	Einfamilienhaus	5-stöckiger Altbau
Baujahr des Objektes	~ 1920	2001	~ 1900
Art der Fenster	Kunststofffenster mit zweischeibigem Isolierglas	Holz-Alu-Fenser mit zweischeibigem Isolierglas	Holzkastenfenster
Art der Fensterdichtungen	einlagige Dichtung	drei Dichtungsebenen	keine
Einbaujahr der Fenster	1997	2001	vor 1945
Orientierung des Raumes	ostseitig	südseitig und ostseitig	südseitig

Innenansicht Raum 1	Außenansicht Westseite des Gebäudes (Raum 1 nicht sichtbar)
Innenansicht Raum 2	Außenansicht Raum 2
Innenansicht Raum 3	Außenansicht Raum 3

2 METHODISCHE VORGANGSWEISE UND ANALYTIK

2.1 Untersuchung des Luftwechsels

2.1.1 Vorgangsweise und Methodik zur Untersuchung des Luftwechsels

Die Untersuchungen der Luftwechselrate wurden unter Zugrundelegung der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 7 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen: Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen“ durchgeführt.

Zur Bestimmung des Luftwechsels wurde der Raumluft ein inertes Tracergas (SF_6) in geeigneter Konzentration beigemischt und mit einem Ventilator gleichmäßig verteilt. Das Dosieren des Indikatorgases für die Einmal-Injektionsmethode erfolgte über eine Gasflasche mit Druckminderer in den Ansaugbereich des Ventilators. Dieser wurde zum Vermischen der Raumluft eingesetzt.

Die Konzentration des Tracergases wurde mit Hilfe eines Detektors mit dem Funktionsprinzip der photoakustischen Infrarotspektroskopie mit selektivem Filter [Bruel & Kjaer Single Gas Monitor] gemessen und aufgezeichnet. Es wurde die Abnahme der Tracergaskonzentration über einen Zeitraum von mehreren Stunden gemessen und aufgezeichnet. Aus der Abnahmekurve wurde die Luftwechselzahl laut der Richtlinie zur Durchführung von Formaldehyd-Messungen in Häusern aus Holz und Holzwerkstoffen rechnerisch ermittelt (Marutzky 1993). Aufgrund des weiten Messbereiches des eingesetzten photoakustischen Detektors war es möglich, mit der Konzentrationsabklingmethode den Luftwechsel und seine zeitlichen Veränderungen über einen langen Zeitraum zu dokumentieren.

Die ersten erzielten Werte unmittelbar nach Aufbau der Messapparatur wurden jeweils verworfen, da erst ab einem bestimmten zeitlichen Abstand zum Zudosierpunkt von einer ausreichenden Vermischung des Tracergases mit der Raumluft ausgegangen werden konnte.

Für die Tracergas-Abklingkurve gilt folgende Exponentialfunktion:

$$y = f(x) = A\, e^{-x\, LW}$$

y Tracergaskonzentration zum Zeitpunkt x [mg/m³]
A Konstante (unterschiedlich in jedem betrachteten Messzeitraum)
x Zeit [h]
LW Luftwechselzahl [h^{-1}]

Die jeweiligen Messreihen (Dauer zwischen drei und zehn Stunden) wurden in zeitliche Abschnitte zu ganzen Stunden unterteilt, und über ein Regressionsverfahren (Minimierung der Abweichungsquadrat-Summe zwischen Messwert und Rechenwert durch Optimierung von A und LW – LSF-Verfahren [1]) die Luftwechselzahl ermittelt. Diese Luftwechselzahlen

[1] Least Square Fit - Verfahren

wurden dann entsprechend den Stundenmittelwerten der Wetterdaten adäquat gegenübergestellt.

Ziel dieser Vorgangsweise war, den Luftwechsel möglichst real und unverfälscht, auch bei sich eventuell während der Beobachtungsperiode ändernden Wetterbedingungen darzustellen. Die Methode wurde auch deshalb gewählt, um Auswirkungen zufälliger Schwankungen des Messwertes der Tracergaskonzentration auf die errechnete Luftwechselzahl hintan zu halten.

Aus der gemessenen Luftwechselzahl kann bei Bedarf das zugeführte Luftvolumen pro Zeiteinheit berechnet werden.

2.2 Messung der Raum- und Außenklimaparameter

2.2.1 Methodik der Untersuchung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Windgeschwindigkeit und der Böigkeit

Der Verlauf von Raumlufttemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit, absolutem Luftdruck, Außentemperatur, Windgeschwindigkeit und Böigkeit wurde mittels einer elektronischen Messstation [Funk-Wetter-Station WS 3600-11 Fa. TFA] über die jeweiligen Messzeiträume dokumentiert. Daten innerhalb des Gebäudes wurden in der Raummitte erfasst. Zur Aufzeichnung des Außenklimas wurden entsprechende Sensoren an der Fassade eingesetzt.

Der Parameter „Böigkeit“ zeigt kurzzeitige Windereignisse an, es wird die in einem Intervall maximal auftretende Windgeschwindigkeit in km/h angezeigt. Die Anzeige von Böen erfolgt erst ab Windgeschwindigkeitsdifferenzen von 10 km/h.

2.2.2 Methodik der Untersuchung des Differenzdrucks

Der Differenzdruck zwischen Innenraum und Außenluft wurde mittels eines Differenzdruckmessgerätes [Blower-Door-Meßsystem DG-700] gemessen. Ein positiver Differenzdruck bedeutet, dass der Außenluftdruck höher als der Luftdruck im Versuchsraum liegt.

2.3 Untersuchung von Raumluft auf Formaldehyd

2.3.1 Probenahme und Analytik der Formaldehyduntersuchung

Der untersuchte Raum wurde mindestens acht Stunden vor der ersten Probenahme verschlossen und anschließend nicht gelüftet. Die Messplanung und Probenahmestrategie gestaltete sich in Anlehnung an VDI 4300 Bl. 1 [2] und VDI 4300 Bl. 3 [3]. Die Probenahme erfolgte in Raummitte in einer Höhe von 1,5 m.

Die Sammlung für die Bestimmung von Formaldehyd erfolgte durch Absorption des Aldehyds in einer wässrigen Lösung, welche Ammoniumacetat enthält, wobei ein definiertes Luftvolumen durch eine Gasprobenahmeapparatur gesaugt wird (Acetylaceton-Methode beschrieben in ÖNORM EN 717-1 [4], VDI 3484 Bl. 2 [5]).

Zur analytischen Bestimmung wurde die Lösung mit Pentan-2,4-dion (Acetylaceton) versetzt, wobei der Formaldehyd mit Pentan-2,4-dion in Anwesenheit von Ammoniumacetat unter Bildung von 3,5-Diacetyl-1,4-dihydrolutinidin reagiert. Die Absorption des gebildeten Farbstoffs, dessen Farbintensität proportional zur Konzentration des Formaldehyds in der Probe ist, wurde mit Hilfe eines Spektralphotometers [Shimadzu UV 1202] gemessen (in Anlehnung an ÖNORM EN 120 [6]). Die Bestimmungsgrenze liegt bei 0,010 ppm Formaldehyd. Die Messunsicherheit wird mit +/- 20% abgeschätzt.

Die Probenahme in einem Messzyklus erfolgte durch hintereinander ausgeführte Einzelbestimmungen, wobei die Probenahmezeit jeweils eine Stunde betrug.

2.3.2 Ermittlung der korrigierten Formaldehyd-Werte nach Andersen

In Spanplatten ist Formaldehyd als Komponente im Kunstharz, dass zur Bindung der Späne benötigt wird, enthalten. Die sich bei der Vernetzung ergebenden Polymere können sich beim Einwirken von Luftfeuchtigkeit unter Freisetzung von Formaldehyd zurückbilden. Mit steigender Temperatur wird der Rückbildungsprozess begünstigt, insbesondere aber unterstützt auch Feuchte diesen Prozess. Die Freisetzung von Formaldehyd aus Klebern und anderen polymeren Materialien steigt also stark mit einer erhöhten Luftfeuchte und auch mit höheren Temperaturen an. Von besonderer Bedeutung ist bei dieser Art der Formaldehydfreisetzung, dass es sich dabei um einen Prozess handelt, der während der gesamten Lebensdauer des Produktes zu beachten ist. So klingt die Anfangsemission neu produzierter Spanplatten zwar rasch ab, nähert sich dann aber einem über lange Zeit nahezu konstantem Wert und selbst nach vielen Jahren gehen von Spanplatten noch Formaldehydkonzentrationen aus. Es sind also zum einen bauphysikalische und raumklimatische

2 VDI 4300 Blatt 1 – Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Meßstrategie – 12/1995

3 VDI 4300 Blatt 3 – Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Meßstrategie für Formaldehyd – 12/1997

4 ÖNORM EN 717-1 Holzwerkstoffe – Bestimmung der Formaldehydabgabe – Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode – 2005 02 01

5 VDI 3484 Blatt 2 – Messen von gasförmigen Immissionen – Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Formaldehydkonzentration nach der Acetylaceton-Methode – 11/2001

6 ÖNORM EN 120 - Holzwerkstoffe – Bestimmung des Formaldehydgehaltes – Extraktionsverfahren, genannt Perforatormethode – 1993 02 01

Bedingungen, die die Formaldehydemission von Werkstoffen bedingen, zum anderen sind es aber die Materialeigenschaften der Produkte selbst. Diese sind durch die Wahl der Einsatzstoffe, durch die Art der Produktion und durch die produktionstechnische Sorgfalt zu beeinflussen (Pluschke 1996).

Sind Sink-Effekte (Adsorption, Bindung oder Abbau von Formaldehyd an Oberflächen) vernachlässigbar, ist der Luftwechsel der Hauptmechanismus zum Abtransport der Emissionen. Modelle, die das Emissionsverhalten von organischen Verbindungen aus Baumaterialien beschreiben sind sehr komplex. Wenn die Emissionsrate der Probe jedoch unabhängig von der Konzentration in der Gasphase ist, kommt es zu einem proportionalen Anstieg/Abfall der Konzentration bei variierendem Luftwechsel, so dass Konzentrationen bei unterschiedlichen Luftwechseln und Raumbeladungen leicht zu vergleichen sind. Der Entwurf DIN EN 13419-1 (2003) zur Bestimmung organischer Emissionen aus Bauprodukten verwendet dieses Modell zur Bestimmung der spezifischen Emissionsrate.

Bei genauer Betrachtung der physikalisch chemischen Zusammenhänge kann der Emissionsvorgang von Formaldehyd aus Kunstharz modellhaft als zusammengesetzter Prozess mit den folgenden Einzelschritten betrachtet werden (Marutzki 1992):

1. Produktion von Formaldehyd aus dem Kunstharz
2. Transport durch die Matrix des Materials
3. Transport durch eventuelle Hindernisse (Barriere)
4. Diffusion in die Raumluft

Die Emissionsrate wird durch viele unterschiedliche Schritte bestimmt. Der langsamste Schritt ist der geschwindigkeitsbestimmende Schritt, der die Stärke und Geschwindigkeit der Emission bestimmt. Viele andere Faktoren (Temperatur, rel. Luftfeuchte, Formaldehydkonzentration in der Raumluft etc.) beeinflussen wiederum die einzelnen Schritte.

Zur Freisetzung von Formaldehyd wurden in den 1970er-Jahren Versuche durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die Freisetzung von Formaldehyd aus den damals untersuchten Spanplatten hauptsächlich diffusionskontrolliert stattfindet. Dies bedeutet, dass bei einer Zunahme der Luftkonzentration als Folge eines abnehmenden Luftwechsel die Emissionsrate sinkt. Mit abnehmender Luftkonzentration steigt die Emissionsrate. Aufgrund dieser Annahmen beschreiben Hawthorne und Matthews ein Emissionsraten-Modell für Formaldehyd (Hawthorne und Matthews 1997). Aufgrund der Komplexheit des Modells ist dieses in der Praxis jedoch praktisch nicht handhabbar. Deswegen versuchte man durch andere Ansätze, das Problem der Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen statistisch zu beschreiben. Ein Beispiel für diese statistische Herangehensweise ist die Andersen-Gleichung (Andersen et al. 1974, 1979). Diese Gleichung fand Eingang in die Richtlinie zur Durchführung von Formaldehydmessungen in Häusern aus Holz und Holzwerkstoffen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. (Marutzky 1993). In der später eingeführten VDI-Richtlinie 4300 Blatt 3 Messstrategie für Formaldehyd in Innenräumen findet diese Richtlinie jedoch keine Berücksichtigung mehr. Andersen et. al. haben zur Formulierung der Gleichung die Formaldehydabgabe von Spanplatten in Abhängigkeit von Luftwechsel, Temperatur und Luftfeuchtigkeit empirisch ermittelt. Die Andersen-Gleichung ist also in Ihrer publizierten Form nur für den von Andersen et. al. untersuchten Spanplattentyp gültig

(Pluschke 1996). Bei modernen Spanplatten ist deshalb aufgrund der modifizierten chemischen Zusammensetzung des Kunstharzes eine andere Emissionscharakteristik denkbar. Ob bei diesen Platten immer noch die Diffusion der geschwindigkeitsbestimmende Schritt ist, und dementsprechend die Emissionsrate bei steigender Luftkonzentration in dem Maße wie von Andersen postuliert sinkt, ist bisher nicht überprüft worden. In der Formaldehydprüfrichtlinie für Häuser aus Holz und Holzwerkstoffen der Deutsche Gesellschaft für Holzforschung wird die Formel als vorläufige Umrechnungsformel bezeichnet, zumal sie gemäß Andersen et. al. nur bei Luftwechselzahlen über 0,4 h^{-1} gültig ist.

Die umgeformte Andersen-Gleichung lautet:

$$c_B = c_M \cdot \frac{(0{,}143\ H_B + 0{,}048) \cdot (0{,}08\ T_B - 0{,}764) \cdot (1 + 0{,}304\ \frac{n_M}{a_M})}{(0{,}143\ H_M + 0{,}048) \cdot (0{,}08\ T_M - 0{,}764) \cdot (1 + 0{,}304\ \frac{n_B}{a_B})}$$

mit

c_B	=	Formaldehydgehalt der Luft für Bezugswerte (insbes. gemäß GefStoffV; Lufttemperatur 23 °C, relative Luftfeuchtigkeit 45 %, mittlerer Luftwechsel 1 je Std., Raumbeladung 1 m^2/m^3)
c_M	=	Formaldehydgehalt der Luft unter Meßbedingungen
H	=	absolute Luftfeuchte in g H_2O/kg trockener Luft bei Bezugs- (B) bzw. Meßbedingungen (M) im Bereich 5 - 13 g H_2O/kg Luft [2)]
T	=	Temperatur in °C bei Bezugs - (B) bzw. Meßbedingungen (M) im Bereich 18 - 26 °C
n	=	Luftwechsel je Stunde bei Bezugs- (B) bzw. Meßbedingungen (M) im Bereich 0,3 bis 1,5 h^{-1}
a	=	Beladung des Raumes mit Formaldehyd ermittierenden Flächen in m^2/m^3 Rauminhalt bei Bezugs- (B) bzw. Meßbedingungen (M)

Die Beladung des Raumes unter Meßbedingungen (a_M) ist mit 1 m^2/m^3 einzusetzen (gleich Beladung des Raumes unter Bezugsbedingungen (a_B)), sofern ein genauer Wert für a_M nicht ermittelbar ist.

2.4 Untersuchung der Luftdurchlässigkeit der raumumhüllenden Flächen „BlowerDoor-Test“

2.4.1 Messverfahren

Zur Messung der Luftdurchlässigkeit wurde ein stationäres Differenzdruck-Verfahren nach ÖNORM EN 13829 [7] angewendet. Die Kenngröße n_{50} beschreibt die Luftwechselrate pro Stunde bei einem Differenzdruck von 50 Pa und V_{50} der Volumenstrom der bei 50 Pa Differenzdruck pro Stunde gefördert werden muss, um diesen Druck aufrechtzuerhalten. Es wurde ein „Minneapolis BlowerDoor Modell 4“ für die Messung verwendet. Mittels eines Gebläses wurde im Inneren des Gebäudes ein konstanter Überdruck bzw. Unterdruck erzeugt. Gemessen wurde die Gebäudedruckdifferenz und die dabei geförderte Luftmenge. Unter Einbeziehung des Luftvolumens des untersuchten Gebäudes bzw. Gebäudeteils wird die Luftwechselrate pro Stunde bei einem Differenzdruck von 50 Pascal (n_{50}) errechnet. Die Bestimmung nach ÖNORM EN 13829 erfolgt sowohl bei Unterdruck als auch bei Überdruck.

Vor der Überprüfung wurden Schlüssellöcher und andere sichtbare Öffnungen zu anderen Räumen (Kabelkanäle etc.) mit Klebebändern verschlossen. Das Gebläse wurde in eine der beiden Türöffnungen des überprüften Raumes eingebaut.

[7] ÖNORM EN 13829 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert). 2001 05 01

3 ERGEBNISSE DER MESSUNGEN

3.1 Allgemeines

Nach Ablauf des jeweiligen Untersuchungszyklus wurden die Messinstrumente abgebaut, die lokal abgespeicherten Daten ausgelesen, entsprechend formatiert und in die Tabellenkalkulation eingespielt. Diese Daten wurden dann auf Stundenmittelwerte umgerechnet.

Eigenes Augenmerk wurde auf die Betrachtung der Abklingkurve über den jeweils gesamten Beobachtungszeitraum gelegt. Hier wurde folgendes beobachtet:

Die Auswertung der SF_6-Abklingkurven ergab, dass in manchen Fällen die über einen längeren Zeitraum gemittelten errechneten Luftwechselzahlen weitgehend den jeweils über den Teilzeiträumen ermittelten errechneten Luftwechselzahlen entsprachen. In diesen Fällen wies die Abklingkurve keine offensichtlichen Unstetigkeiten auf.

Ebenso gab es Versuchszeiträume, bei denen die Kurven deutliche Unregelmäßigkeiten aufwiesen (und damit einen sich abrupt ändernden Luftwechsel anzeigten).

3.2 Detailergebnisse der Messungen

Die Detailergebnisse der kontinuierlichen Messungen sind im Anhang 1 in tabellarischer Form zusammengestellt, wobei die aus den Rohdaten errechneten Stundenmittelwerte angegeben werden.

Die Rohdaten für die BlowerDoor-Messungen befinden sich im Anhang 2.

Die Bezeichnungen der Spalten im Anhang haben folgende Bedeutung

Bezeichnung	Erläuterung
Raum	Interne Bezeichnung des geprüften Raumes (1, 2 oder 3)
Messung	Interne Nummerierung der ermittelten Stundenmittelwerte einer bestimmten Messung
Datum	Datum der Messungen
Uhrzeit (Beginn)	Uhrzeit des Startzeitpunktes des Stundenmittelwertes
Luftwechsel (LSF)	Stundenmittelwert der Luftwechselzahl, bestimmt mit der Tracergas- und LSF-Methode. Einheit h^{-1} = pro Stunde
Temperatur Innen	Stundenmittelwert der Innenraumtemperatur in °C. Die Aufzeichnung erfolgte in 5-Minuten-Taktung, danach Umrechnung auf Stundenmittelwert aus diesen Rohdaten
Temperatur Aussen	Stundenmittelwert der Außentemperatur in °C. Die Aufzeichnung erfolgte in 5-Minuten-Taktung, danach Umrechnung auf Stundenmittelwert aus diesen Rohdaten
Temp.-diff. Innen-außen	Stundenmittelwert der Temperaturdifferent außen-innen in °C (aus obigen Werten)
Wind-geschwindigkeit	Stundenmittelwert der Windgeschwindigkeit an der Fassade in km/h. Die Aufzeichnung erfolgte in 5-Minuten-Taktung, danach Umrechnung auf Stundenmittelwert aus diesen Rohdaten. Werte ab 0,1 km/h wurden aufgezeichnet
Böigkeit mittel	Über eine Stunde gemittelte Geschwindigkeit von kurzzeitigen Windereignissen in km/h. Wertung von Böen bei Windgeschwindigkeiten ab etwa 10 km/h
Böigkeit max	Höchste in einem Stundenintervall ermittelte Geschwindigkeit von kurzzeitigen Windereignissen in km/h
Diff. druck Innen-außen	Stundenmittelwert der Druckdifferenz in Pa (1 Pascal = 1N/m² = 10^{-5} bar) zwischen innen und außen, die Aufzeichnung erfolgt in Minuten-Taktung, danach Umrechnung auf Stundenmittelwert aus diesen Rohdaten
Konz. Formaldeh. SMW	Stundenmittelwert der Raumluftkonzentration an Formaldehyd in ppm (parts per million = Volumsanteile pro Million Teile)
Konz. Formaldeh. SMW korrigiert	Stundenmittelwert der Raumluftkonzentration an Formaldehyd in ppm, mittels Andersen-Formel rechnerisch umgelegt auf 23°C, 45 % rel. Luftfeuchte, nicht luftwechselkorrigiert

Tabelle 3.2.1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung der Luftdurchlässigkeit der Versuchsräume

	Raum 1	Raum 2	Raum 3
Ergebnisse	n_{50}	n_{50}	n_{50}
	$[h^{-1}]$	$[h^{-1}]$	$[h^{-1}]$
Unterdruck	6,0	4,7	8,0
Überdruck	6,6	4,9	8,6
Mittelwert aus Unter- & Überdruck	**6,3**	**4,8**	**8,3**

3.3 Beispiele für Abklingkurven der Tracergaskonzentration

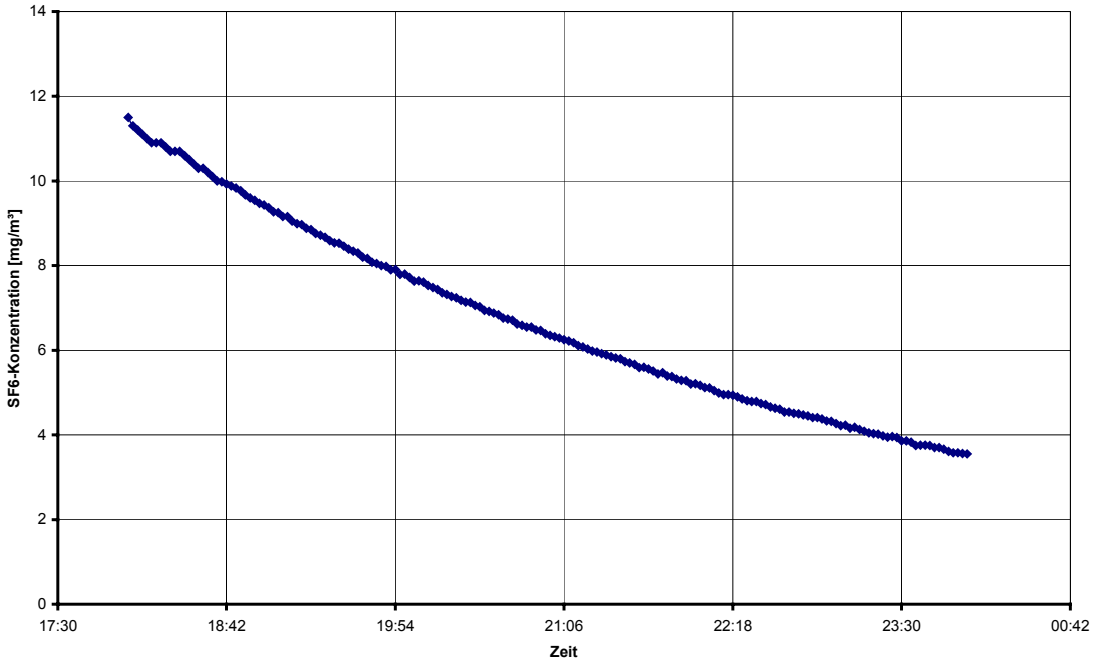


Abbildung 3.3.1: Abklingkurve Raum 1, 14.12.06 – relativ konstante Luftwechselzahl

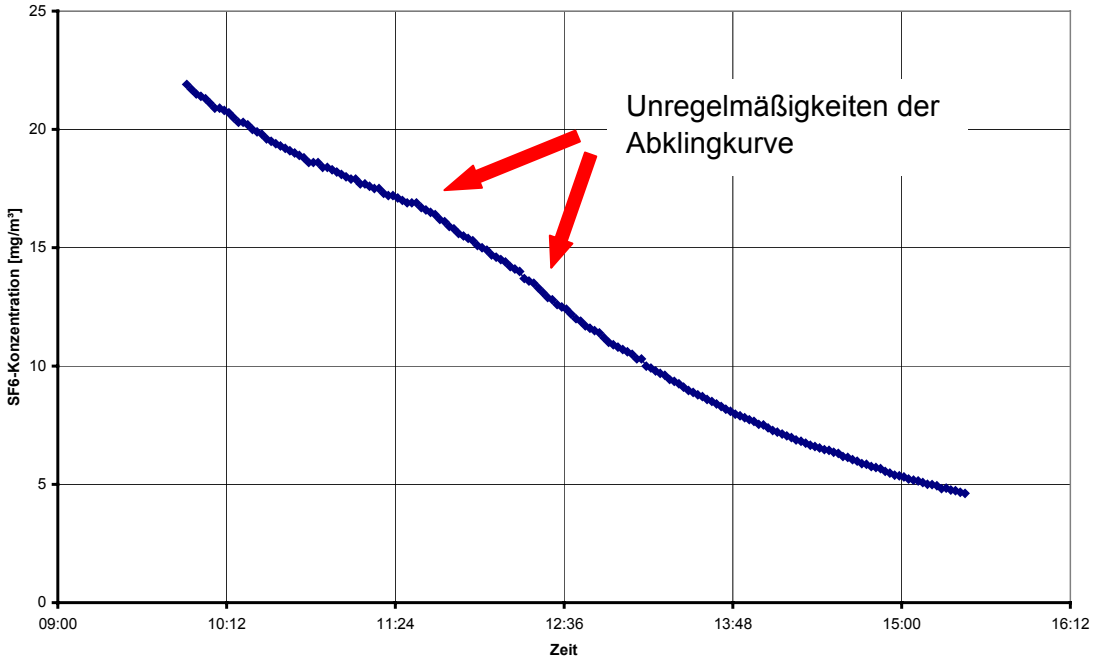


Abbildung 3.3.2: Abklingkurve Raum 1, 23.11.06 – mit sich ändernder Luftwechselzahl

3.4 Grafische Darstellung der Stundenmittelwerte der Luftwechselzahl

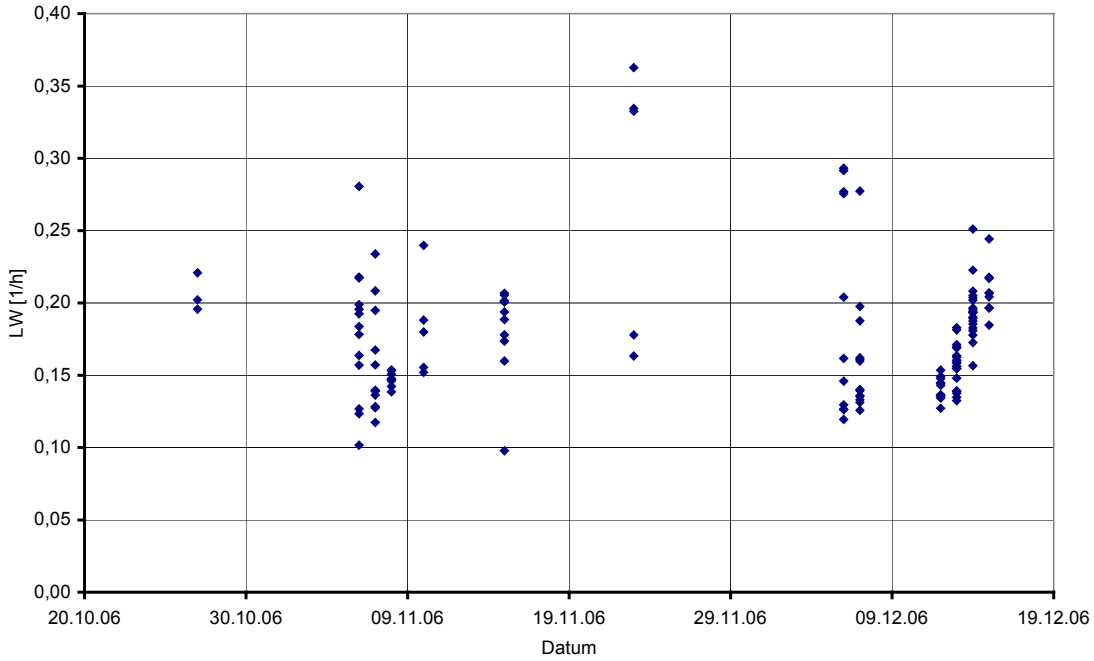


Abbildung 3.4.1: Stundenmittelwerte der Luftwechselzahl in Raum 1

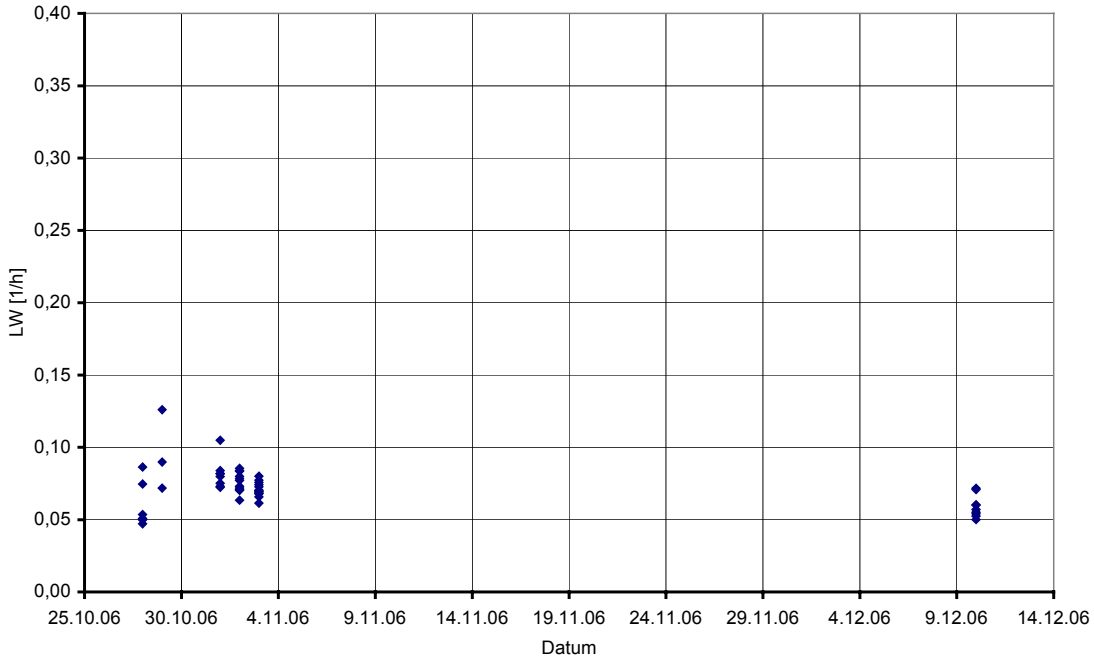


Abbildung 3.4.2: Stundenmittelwerte der Luftwechselzahl in Raum 2

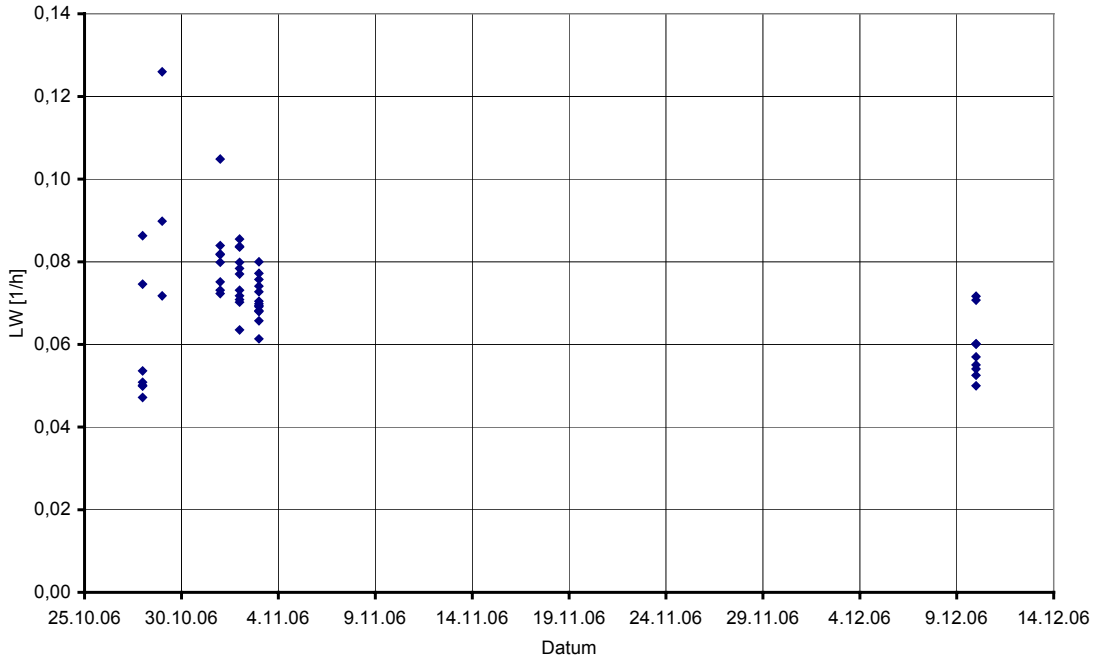


Abbildung 3.4.3: Stundenmittelwerte der Luftwechselzahl in Raum 2, y-Achse in vergrößerter Darstellung

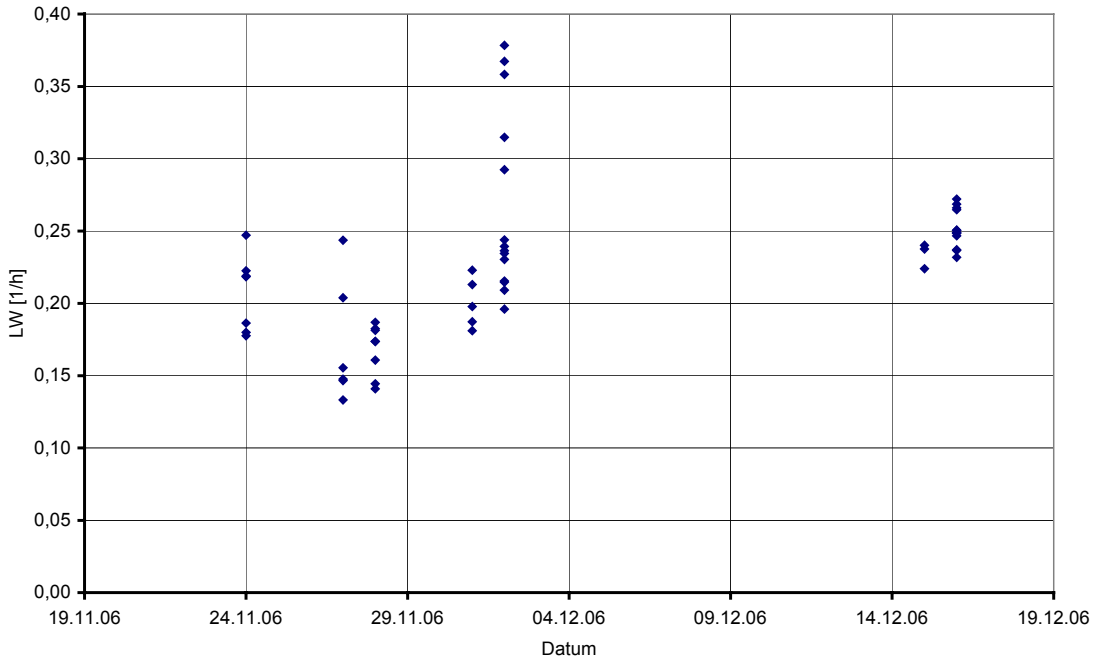


Abbildung 3.4.4: Stundenmittelwerte der Luftwechselzahl in Raum 3

3.5 Korrelationen zwischen Luftwechselzahl und Umgebungsparametern

In den nachstehenden Abbildungen erfolgt für die drei untersuchten Räume die Darstellung der Luftwechselzahl in Abhängigkeit von den erfassten Umgebungsparametern.

Die einzelnen Punkte in den Diagrammen stellen zeitlich korrespondierende Stundenmittelwerte der Messgrößen dar. Soweit möglich wurden die Diagramme mit der resultierenden Trendlinie nach linearer Regression ergänzt und das Bestimmtheitsmaß R^2 der Trendlinie angegeben.

Bei in Klammer angeführtem Bestimmtheitsmaß R^2 ist die Grundmenge der verfügbaren Messpunkte sehr gering, ein Bestimmtheitsmaß ist daher nicht sinnvoll anzugeben.

3.5.1 Raum 1

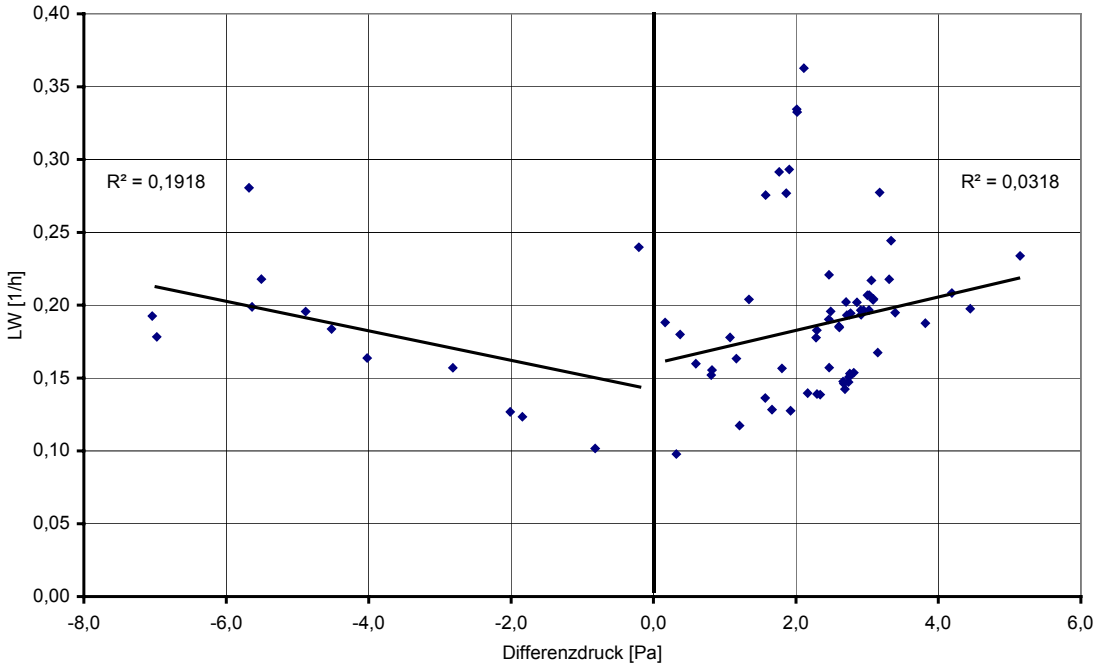


Abbildung 3.5.1: Luftwechselzahl Raum 1 in Abhängigkeit zum Differenzdruck

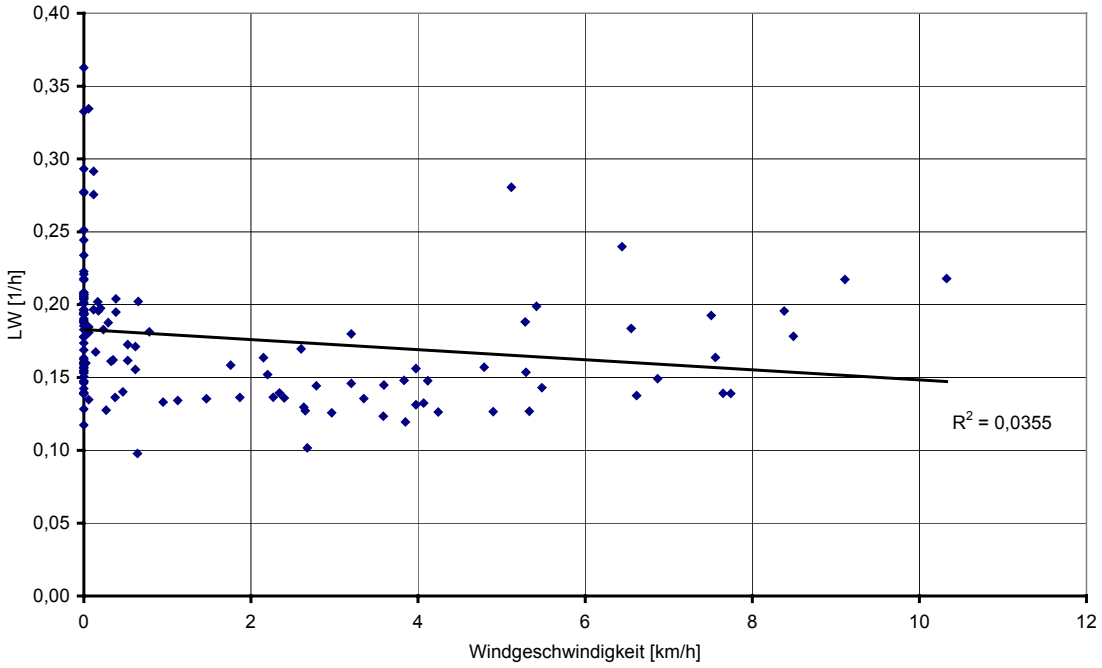


Abbildung 3.5.2: Luftwechselzahl Raum 1 in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit

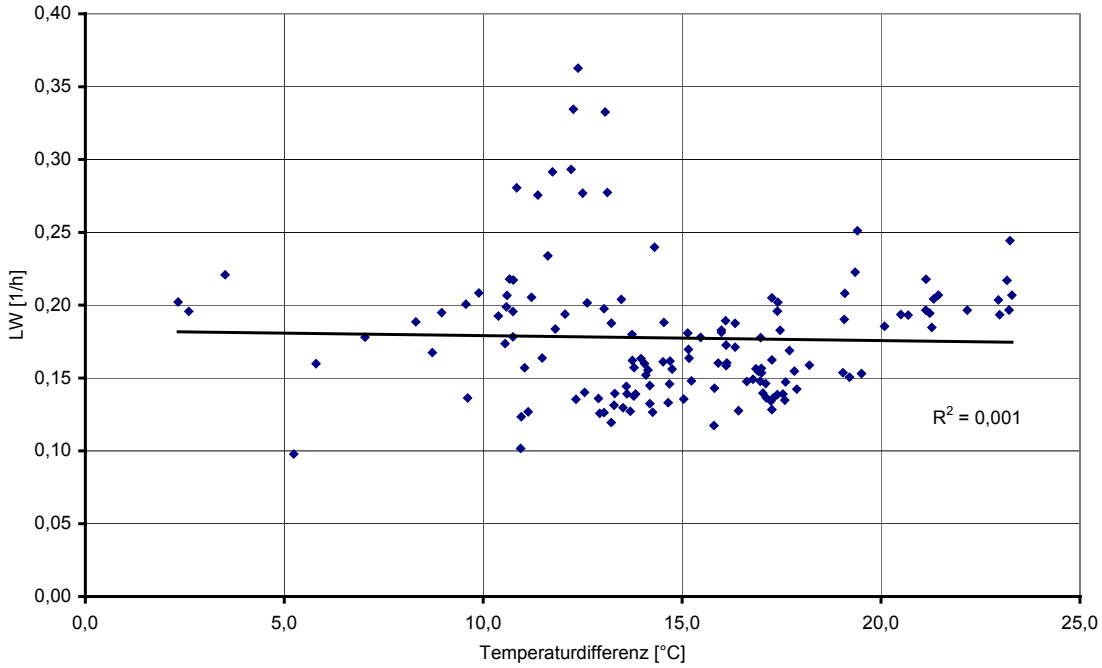


Abbildung 3.5.3: Luftwechselzahl Raum 1 in Abhängigkeit zur Temperaturdifferenz

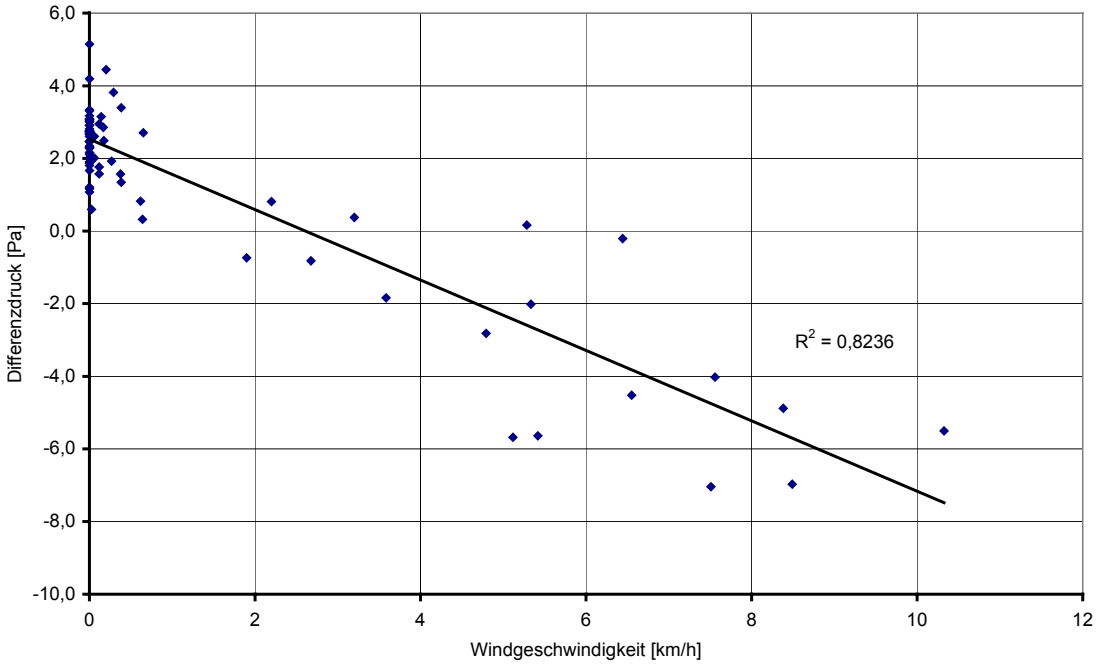


Abbildung 3.5.4: Differenzdruck Raum 1 in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit

3.5.2 Raum 2

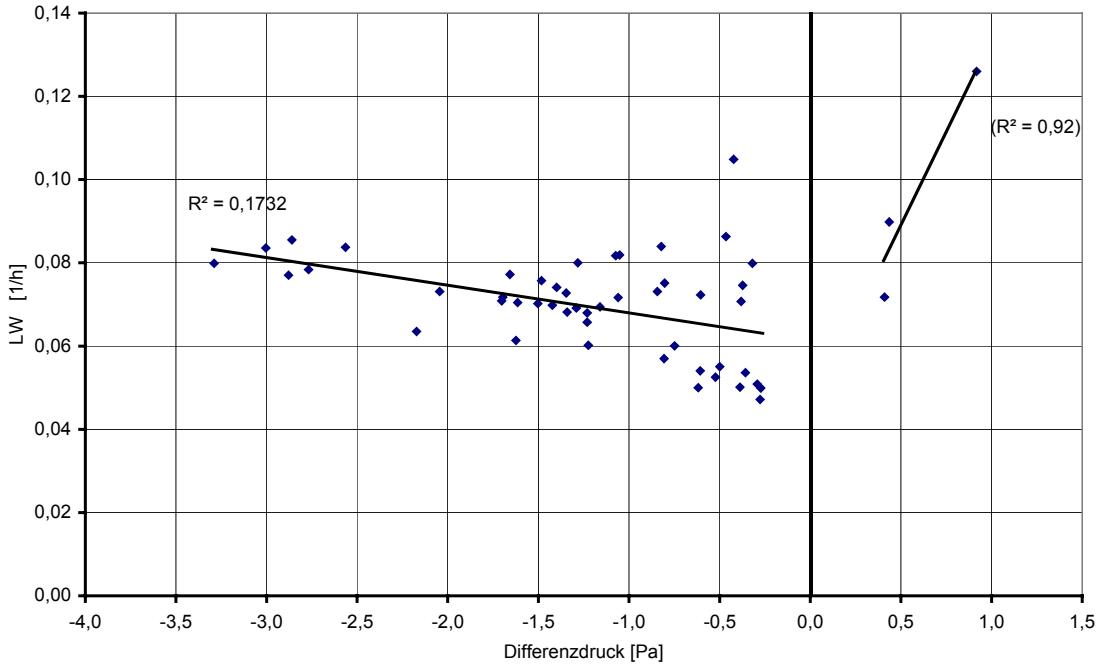


Abbildung 3.5.5: Luftwechselzahl Raum 2 in Abhängigkeit zum Differenzdruck

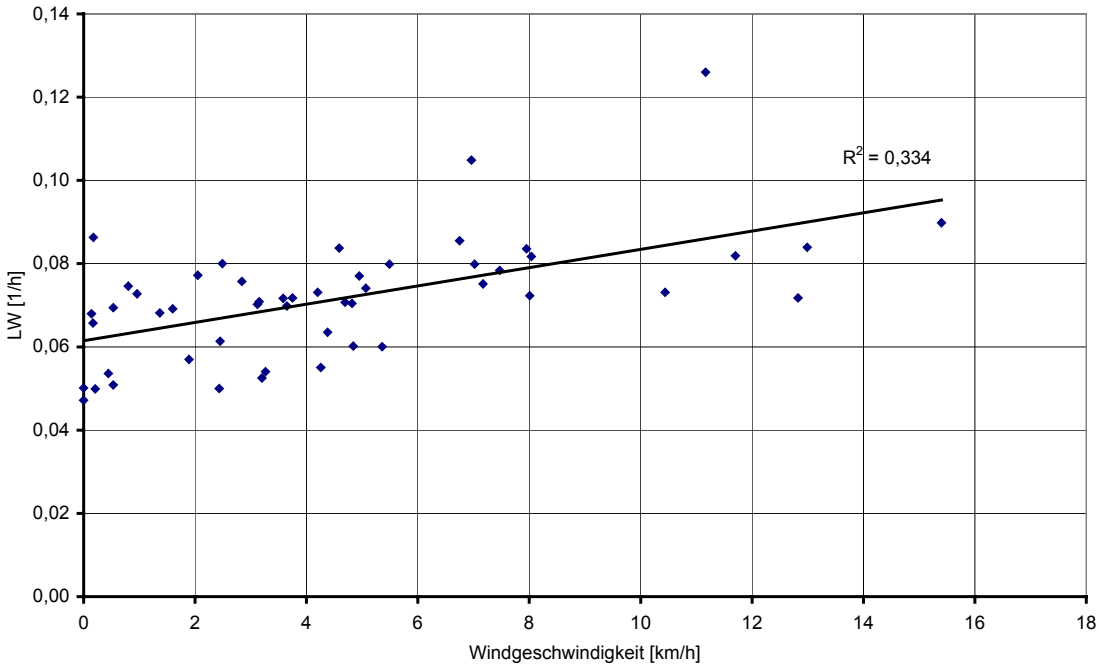


Abbildung 3.5.6: Luftwechselzahl Raum 2 in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit

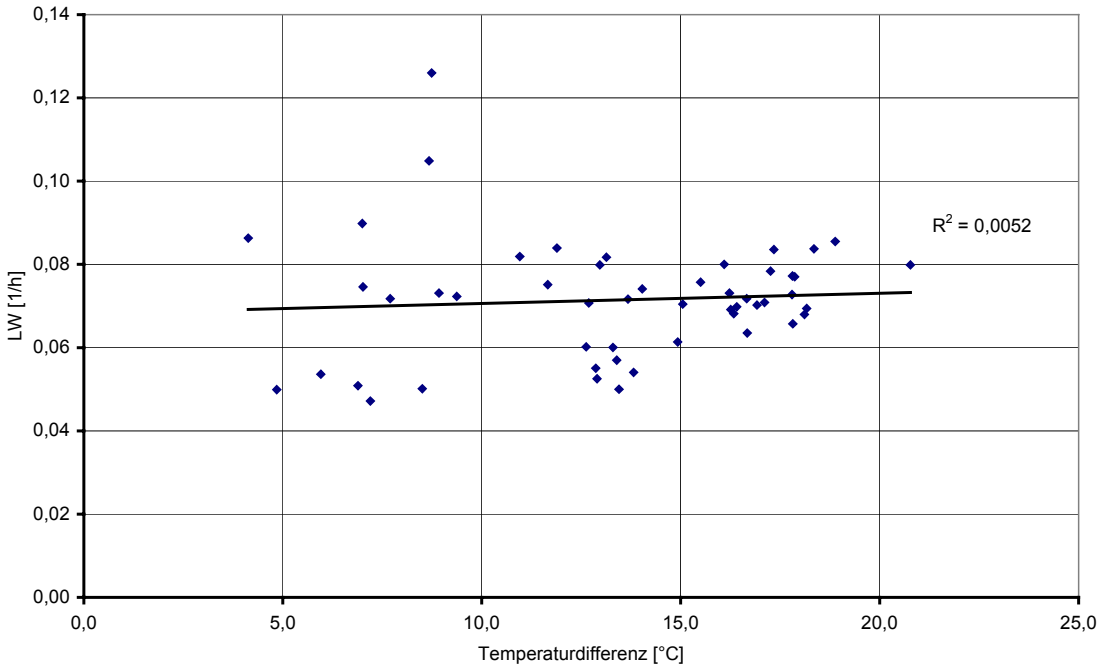


Abbildung 3.5.7: Luftwechselzahl Raum 2 in Abhängigkeit zur Temperaturdifferenz

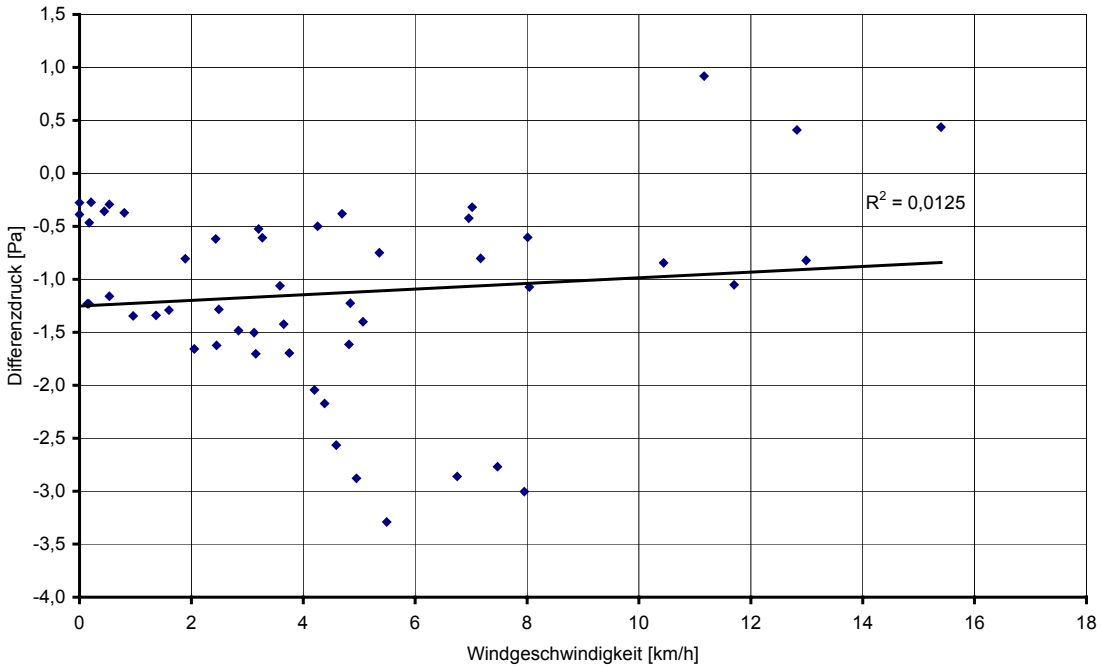


Abbildung 3.5.8: Differenzdruck Raum 2 in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit

3.5.3 Raum 3

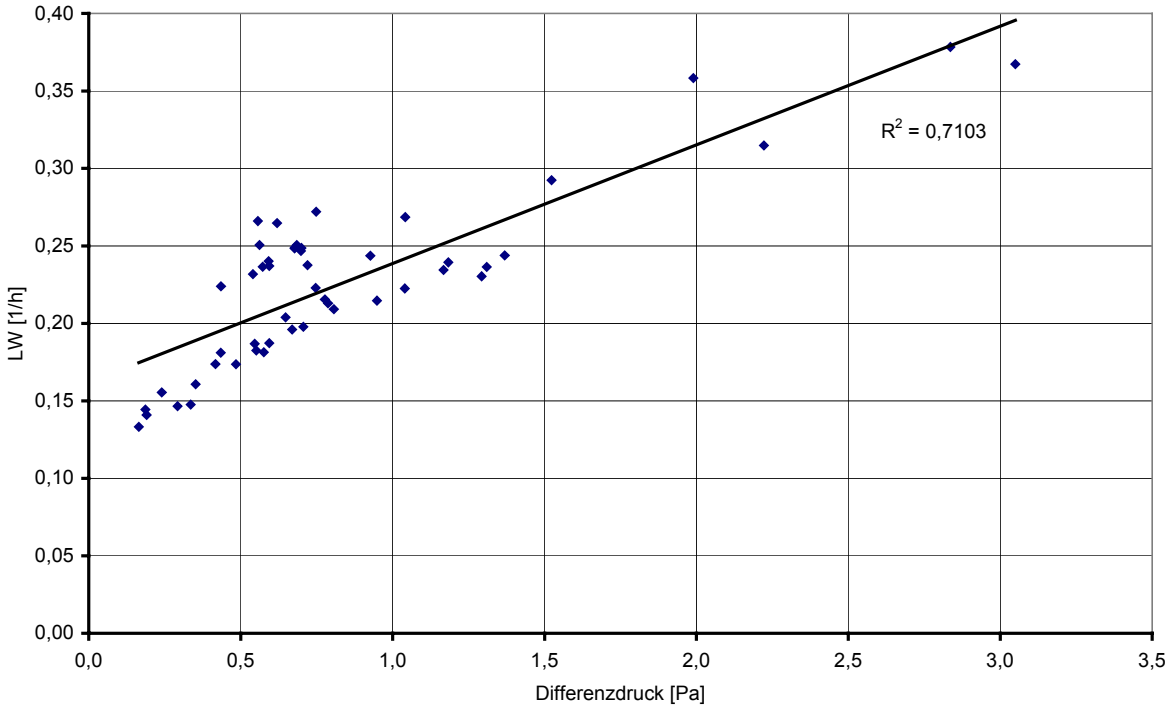


Abbildung 3.5.9: Luftwechselzahl Raum 3 in Abhängigkeit zum Differenzdruck

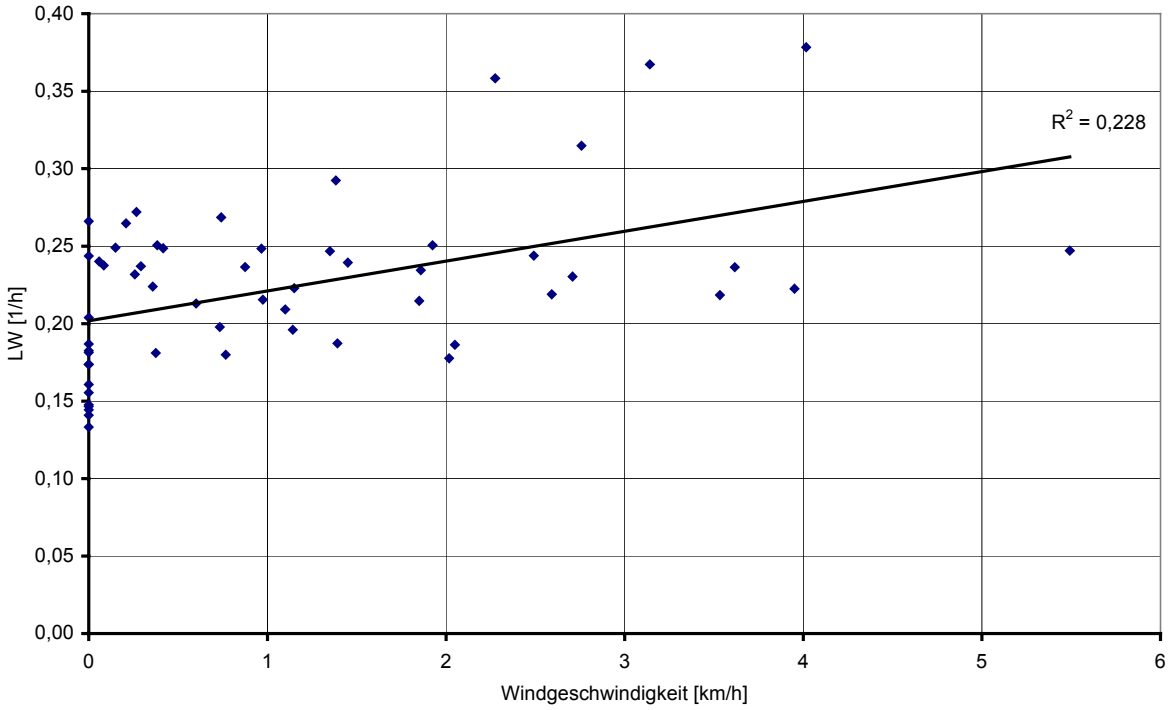


Abbildung 3.5.10: Luftwechselzahl Raum 3 in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit

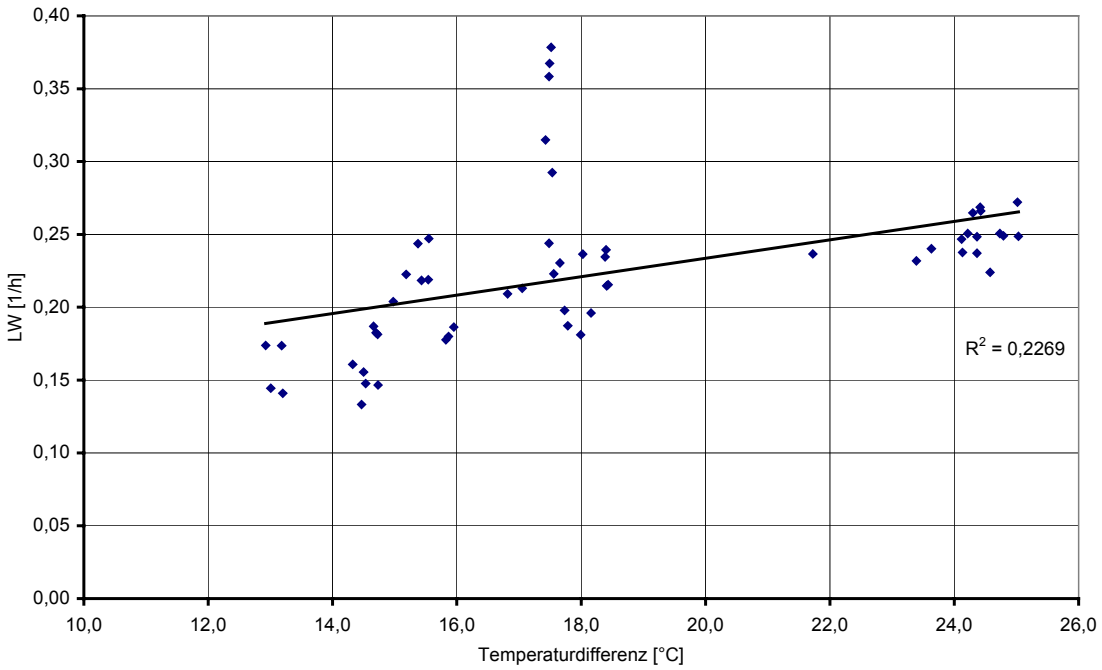


Abbildung 3.5.11: Luftwechselzahl Raum 3 in Abhängigkeit zur Temperaturdifferenz

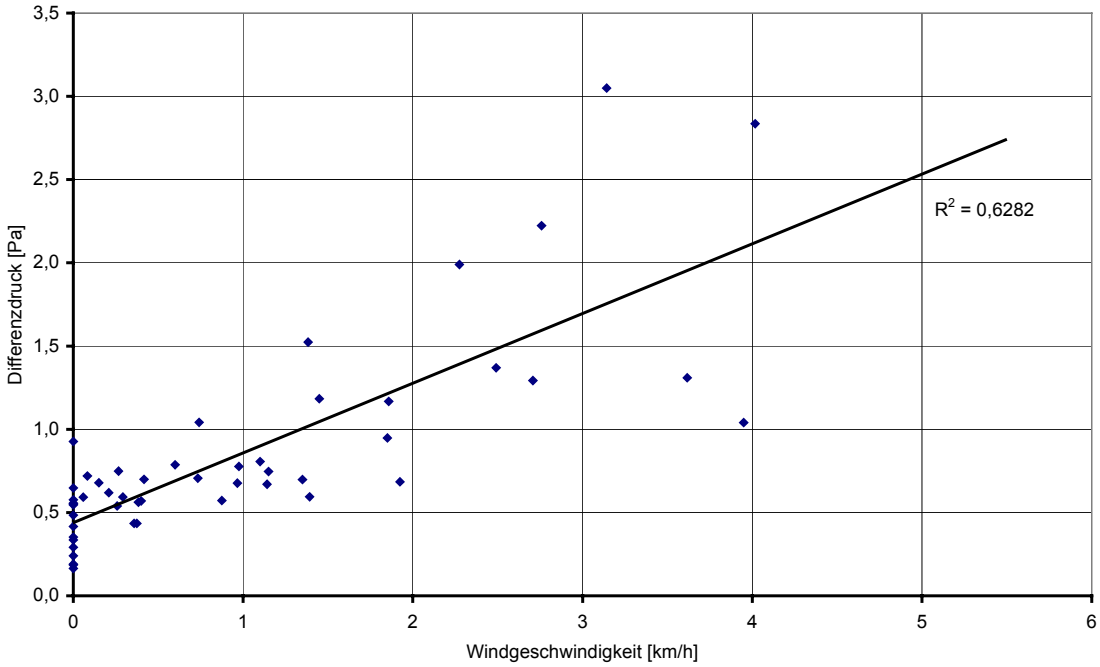


Abbildung 3.5.12: Differenzdruck Raum 3 in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit

3.6 Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse

3.6.1 Zeitliche Variation des Luftwechsels

Tabelle 3.6.1: Zeitliche Variation des Luftwechsels, n_{50} (Blower-Door) Wert

Parameter	Einheit	Raum 1	Raum 2	Raum 3
Anzahl der Messungen	[1]	141	51	56
n_{50} (Blower-Door) Wert	[h^{-1}]	6,3	4,8	8,3
LW – arithm. Mittel	[h^{-1}]	0,18	0,07	0,22
LW – min	[h^{-1}]	0,10	0,05	0,13
LW – max	[h^{-1}]	0,36	0,13	0,38
LW – Differenz min – max	[h^{-1}]	0,26	0,07	0,25
Faktor f	[1]	3,6	2,6	2,8

LW Luftwechselzahl
Faktor f Verhältnis LW-max/LW-min

3.6.2 Korrelation des Luftwechsels mit Umgebungsparametern

Tabelle 3.6.2: Übersicht der Korrelationen des Luftwechsels mit Umgebungsparametern

Korrelation	Bestimmtheitsmaß R^2 bei linearer Regression		
	Raum 1	Raum 2	Raum 3
LW / Differenzdruck negativ	0,19	0,17	-
LW / Differenzdruck positiv	< 0,1	-	0,71
LW / Windgeschwindigkeit	< 0,1	0,33	0,23
LW / Temperaturdifferenz	< 0,1	< 0,1	0,23

LW Luftwechselzahl
- keine bzw. eine zu geringe Anzahl an Messdaten vorhanden

3.6.3 Korrelation des Differenzdrucks mit der Windgeschwindigkeit

Tabelle 3.6.3: Übersicht der Korrelation des Differenzdrucks mit der Windgeschwindigkeit

Korrelation	Bestimmtheitsmaß R² bei linearer Regression		
	Raum 1	Raum 2	Raum 3
Differenzdruck / Windgeschwindigkeit	0,82	< 0,1	0,63

Zahlenwert = Bestimmtheitsmaß R²

3.6.4 Abhängigkeit der korrigierten Konzentration an Formaldehyd mit dem Luftwechsel

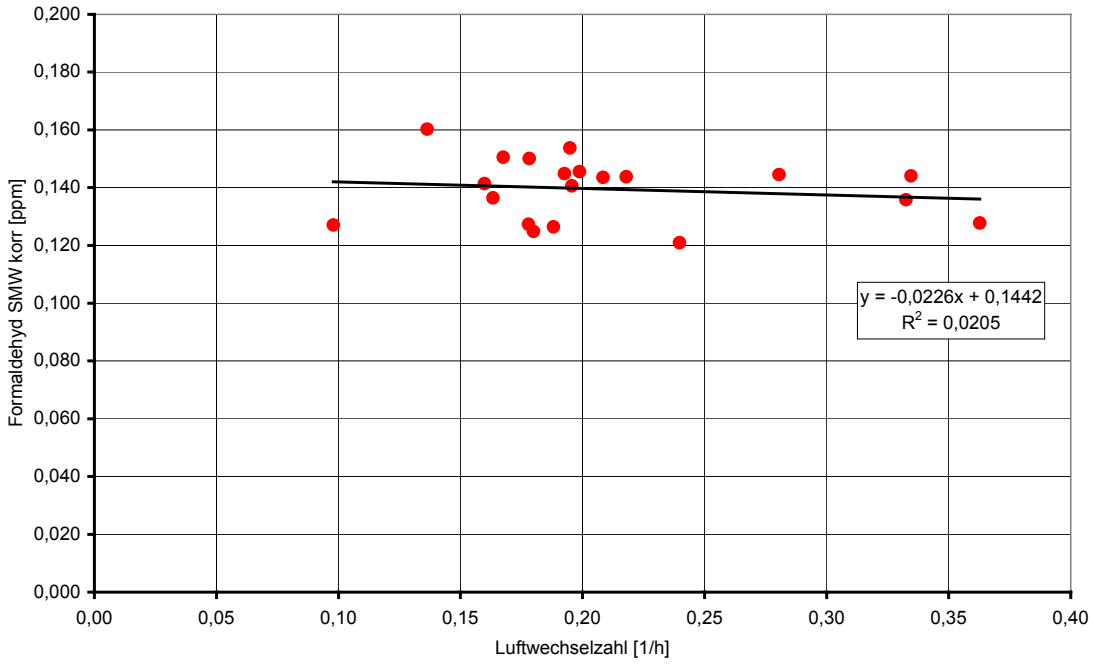


Abbildung 3.6.1: Darstellung der Konzentration an Formaldehyd in Abhängigkeit von der korrespondierenden Luftwechselzahl im Raum 1, Formaldehydmesswerte korrigiert mit der Andersen-Formel ohne Berücksichtigung der Korrekturfaktoren für den Luftwechsel, Raumbeladung berechnet mit 0,4 m²/m³

3.6.5 Korrelation des n_{50}-(BlowerDoor) Wertes mit dem Luftwechsel

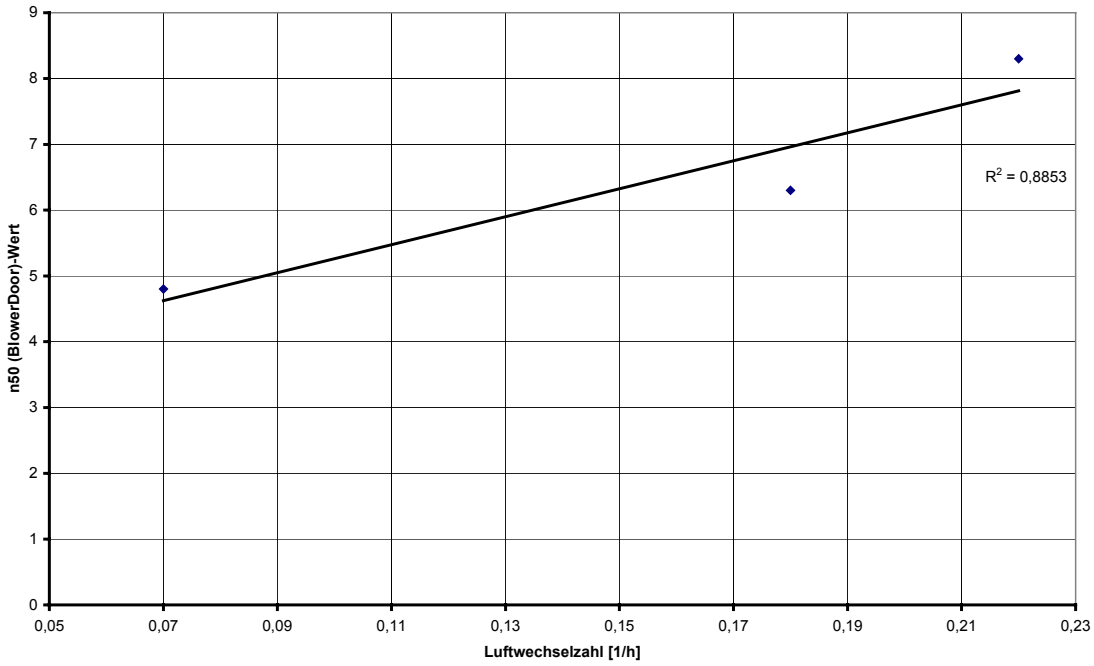


Abbildung 3.6.2: Darstellung des n_{50}-(BlowerDoor) Wertes in Abhängigkeit von der mittleren Luftwechselzahl in den Räumen 1 bis 3, Angabe des Bestimmtheitsmaßes R^2 bei linearer Regression

4 DISKUSSION

Im Rahmen der gegenständlichen Pilotstudie wurden in drei unterschiedlichen Innenräumen kontinuierliche Messungen der Luftwechselzahl und weiterer Parameter wie Temperaturdifferenz innen-außen, Luftdruckdifferenz innen-außen (Differenzdruck) und Windgeschwindigkeit durchgeführt. Die Auswertung der Daten erfolgte auf Basis von Stundenmittelwerten (SMW).

Im vorgegebenen Beobachtungszeitraum Ende Oktober bis Mitte Dezember 2006 war eine der Jahreszeit entsprechende Variation des Außenklimas zu beobachten. Es traten keine extremen Wetterbedingungen auf. Die ausgewählten Räume unterschieden sich in wesentlichen Parametern wie z.B. Baualter, Nutzung, Lage im Gebäude und Dichtheit der Gebäudehülle. Die normierten n_{50}-Werte (BlowerDoor-Test) der drei Testräume lagen bei 6,3 h^{-1} im Raum 1, 4,8 h^{-1} im Raum 2 und 8,3 h^{-1} im Raum 3.

Die Pilotstudie zeigte in allen Räumen eine auffallend breite zeitliche Variation der Luftwechselzahl, wobei die relativ höchsten Werte jeweils um einen Faktor 2,6 bis 3,6 über den niedrigsten lagen. Es ist anzunehmen, dass bei sehr niedrigen oder sehr hohen Außentemperaturen bzw. bei sehr hohen Windstärken, wie sie im gegenständlichen Beobachtungsintervall jedoch nicht zu beobachten waren, eine noch größere Variationsbreite feststellbar wäre. Qualitativ ähnliche Ergebnisse wurden in einer anderen Untersuchung (Thumulla und Weber 2004) aufgefunden. Die Differenz der Absolutwerte des niedrigsten zum höchsten Wert mit 0,07 h^{-1} war im Raum 2 (Neubau) am niedrigsten, in den anderen Räumen (in Altbauten) mit 0,25 h^{-1} bzw. 0,26 h^{-1} deutlich höher. Das relative Verhältnis zwischen den jeweils niedrigsten und höchsten Werten lag jedoch in allen Räumen in einem ähnlichen Bereich.

Eine statistisch signifikante lineare Korrelation zwischen dem Luftwechsel und dem Differenzdruck zwischen dem Innenraum und der Außenluft konnte nur im Raum 3 (Altbau mit eher undichten Fenstern) festgestellt werden. Speziell im Raum 1 war zu beobachten, dass je nachdem, ob im Innenraum oder in der Außenluft der höhere Druck herrschte, die erzielte Korrelation unterschiedlich ausfiel. Im Raum 1 ergab sich auch eine deutliche Korrelation des Differenzdrucks mit der Windgeschwindigkeit im Außenbereich. Im Raum 2 (Neubau mit eher dichten Fenstern) konnten dagegen keine derartigen klaren Zusammenhänge festgestellt werden.

Eine statistisch signifikante Abhängigkeit des im Innenraum herrschenden mittleren Luftwechsels mit den Umgebungsparametern Temperaturdifferenz innen-außen bzw. Windgeschwindigkeit konnte nur ansatzweise festgestellt werden.

In der vorliegenden Pilotstudie wurde der klassische Innenraum-Schadstoff Formaldehyd, der in praktisch jedem eingerichtetem Innenraum nachweisbar ist (Tappler und Gann 1992; Tappler et al. 1997), ausgewählt, um etwaige Zusammenhänge mit dem Luftwechsel zu untersuchen. Bei den gegenständlichen Versuchen, die auf Basis von Stundenmittelwerten ausgewertet wurden, waren trotz der bereits beschriebenen deutlichen Variation der

Luftwechselzahl keine signifikanten Änderungen der Raumluftkonzentration an Formaldehyd erkennbar.

Bei diesen Auswertungen wurde als Vergleichsparameter die mit der Andersen-Formel korrigierte Konzentration an Formaldehyd (ohne Berücksichtigung der Korrekturfaktoren für den Luftwechsel) herangezogen. Während Luftwechselzahlen zwischen 0,1 h^{-1} und mehr als 0,3 h^{-1} beobachtet wurden, schwankte die gemessene Formaldehyd-Konzentration lediglich geringfügig um den zeitlichen Mittelwert von etwa 0,14 ppm. Jedenfalls war im Rahmen der erhobenen Daten keine statistisch klare Tendenz zu niedrigeren Formaldehyd-Stundenmittelwerten bei höherem Luftwechsel zu erkennen.

Einschränkend muss bemerkt werden, dass diese Aussage auf einer noch relativ geringen Anzahl von Messungen in einem einzelnen ausgewählten Raum beruht und demzufolge eine verallgemeinerte Aussage nicht zulässig ist. Die möglicherweise entscheidende Ursache für den beobachteten Effekt könnte bei der Adsorptionsneigung des Stoffes Formaldehyd liegen, die bewirkt, dass bei stärkerem Luftwechsel und damit stärkerem Abtransport als gegenläufiger Prozess verstärkt Formaldehyd aus Depots in der Wand oder anderen sorptiven Flächen freigesetzt wird, was dann die geringe Schwankung der Formaldehydkonzentration der Raumluft erklären würde. Es würde also eine gewisse Pufferwirkung auftreten, die bewirkt, dass kurzfristige Veränderungen des Luftwechsels nicht zu signifikanten Veränderungen der Raumluftkonzentrationen an Formaldehyd führen. Ähnliche Effekte zeigten sich in einer anderen Studie, bei der sich schneller als erwartet wieder die ursprünglichen Formaldehyd-Konzentrationen der Raumluft nach einem Lüftungsintervall einstellten (Tappler et al. 1997).

Die gegenständliche Studie zeigte weiters eine Tendenz zu steigenden mittleren Luftwechselzahlen bei größeren n_{50}-Werten. Da diese Aussage vorerst auf den Messreihen aus drei untersuchten Räumen beruht, ist die Datenbasis noch zu gering, um verallgemeinernde Aussagen treffen und diese mathematisch formulieren zu können. In der vorliegenden Arbeit wurde im Gegensatz zu klassischen Luftwechsel-Untersuchungen jedoch – wie auch bei Raumluftmessungen üblich – der jeweilige n_{50}-Werte des einzelnen Raumes und nicht des gesamten Gebäudes ermittelt.

Die in einschlägigen Arbeiten (Übersicht z.B. Weithaas 2004) erwähnten Faktoren zwischen dem gebäudespezifischen und daher zeitlich gleich bleibenden n_{50}-Wert und dem mittleren Luftwechsel konnte bei der vorliegenden Pilotstudie nicht überprüft werden, da sich die n_{50}-Werte von Räumen und von gesamten Gebäuden nicht direkt miteinander vergleichen lassen. Es ist zu erwarten, dass die Luftwechselzahlen von einzelnen Räumen in der Regel wesentlich höher liegen als die Luftwechselzahl des gesamten Gebäudes, da von relevanten interzonalen Luftströmungen zwischen Räumen unabhängig von der Dichtigkeit der gesamten Gebäudehülle ausgegangen werden kann.

5 AUSBLICK

Die in der Pilotstudie ermittelte deutliche zeitliche Variation des Luftwechsels schon bei durchschnittlichen Wettersituationen vor allem in den eher undichten Räumen wirft die Frage auf, ob diese Änderungen auch eine Variation der Konzentration an Schadstoffen in Innenräumen unter der Annahme gleicher Quellstärke primärer Quellen zur Folge hat.

In der messtechnischen Praxis stellt vor allem die Überprüfung der Einhaltung von Richtwerten ein bedeutendes Messziel dar. Hierbei handelt es sich um Richtwerte für die Innenraumluft, die in Österreich vom Arbeitskreis Innenraumluft am Umweltministerium gemeinsam mit der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, in Deutschland von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG herausgegeben werden (BMLFUW 2006; Ad-hoc Arbeitsgruppe 1996). In den von diesen Gremien publizierten Richtlinien sowie in den einschlägigen Normen zur Messung und Bewertung von Innenraumschadstoffen (ÖNORMEN-Reihe EN ISO 16000) zur Messung bzw. Bewertung von Innenraumschadstoffen wird bis auf wenige Ausnahmen dem aktuellen Luftwechsel nur wenig Bedeutung zugemessen. Bei der Messung von Innenraumschadstoffen wird der Luftwechsel in der Regel nicht bestimmt, in den Richtlinien wird auch keine Korrektur der messtechnisch ermittelten Werte gefordert.

Im Richtlinienteil „Toluol“ der österreichischen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft findet sich ein Vermerk, dass die Windgeschwindigkeit im Außenbereich die Kategorie 3 nach Beaufort (Bereich 3,6 - 5,4 m/s, entspricht „Schwache Brise“ – Blätter und dünne Zweige bewegen sich) nicht überschreiten sollte (BMLFUW 2006). In einer noch nicht erschienenen deutschen Mitteilung der Ad-hoc Arbeitsgruppe: Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten – „eine Handreichung“ wird voraussichtlich folgender Absatz enthalten sein: `Es sollte dokumentiert werden, wenn die Windgeschwindigkeit im Außenbereich bei natürlich belüfteten Gebäuden im Binnenland die Kategorie Bft 3 nach Beaufort und in der norddeutschen Tiefebene die Kategorie Bft 4 (5,7 bis 8,1 m/s, „mäßige Brise“ – Zweige bewegen sich, Papier wird vom Boden gehoben) überschreitet´ (Ad-hoc Arbeitsgruppe 2006).

Da bei der Beurteilung von Innenraumschadstoffen in der Regel aus Kostengründen nur eine oder wenige Probenahmen stattfinden, wäre eine Abhängigkeit der Raumluft-Konzentration von der aktuell vorliegenden Luftwechselzahl für die Messung und Bewertung dieser Stoffe von entscheidender Bedeutung. Sollte eine derartige Abhängigkeit bestehen, würde dies bei Schadstoffmessungen in vielen Fällen zu nicht repräsentativen Ergebnissen führen. Eine realistische Bewertung der tatsächlichen Belastungssituation bzw. die Auswahl von auf den Ergebnissen aufbauenden Empfehlungen wäre dann nur sehr eingeschränkt möglich.

Ziel weiter Untersuchungen sollte vorrangig eine Verbesserung der Datenbasis zur Erarbeitung verallgemeinerter Aussagen zu Innenraumschadstoffen sein. Hier interessiert vor allem, ob auch in anderen Räumen praktisch keine nennenswerte Veränderung der Raumluftkonzentration an Formaldehyd bei kurzfristig veränderter Luftwechselzahl zu beobachten ist. Die Abhängigkeit der Konzentration weiterer interessierender, in der Innenraumluft vorkommender Inhalts- und Schadstoffe wie z.B. flüchtiger organischer Verbindungen (VOC), die ebenfalls häufig in Innenräumen gemessen werden (z.B. Hutter et al. 2002) sowie von anderen Stoffen wie z.B. Radon wurde im Zuge der vorliegenden Pilotstudie noch nicht erfasst. Es sollten daher in weiteren Messreihen zusätzlich zu Formaldehyd häufig vorkommende VOC und andere interessierende Substanzen untersucht werden. Es empfiehlt sich hier eine kontrollierte konstante Freisetzung dieser Substanzen.

Um allgemein gültige Aussagen zur zeitlichen Variation des Luftwechsels zu treffen, ist die Beobachtung der untersuchten Parameter bei einer breiten Variationen der Klimaparameter erforderlich. Insbesondere sollte die Situation bei sehr kalten Witterungsverhältnissen (Fenster üblicherweise über lange Zeiträume geschlossen) und die Sommersituation erfasst werden.

Weiteres Ziel ist eine genauere Beschreibung der Variationsbreite der Luftwechselzahl bei unterschiedlichen Gebäudetypen und bekanntem n_{50}-Wert. Hier ist es von großem Interesse, ob sich die Tendenz zu steigenden mittleren Luftwechselzahlen bei größeren n_{50}-Werten bestätigt. Sollte dies der Fall sein, kann mittels des BlowerDoor-Wertes und der aktuellen Luftwechselzahl eine Korrektur erfolgen. Zeigt sich nun eine relevante Abhängigkeit der Schadstoffkonzentration vom Luftwechsel, kann der Messwert unter Kenntnis des n_{50}-Wertes und der aktuell gemessenen Luftwechselzahl mit einem Faktor versehen werden, dessen Anwendung zu einer Korrektur der Messwerte führt. Erst ein so ermittelter, als „Beurteilungswert“ bezeichneter errechneter Wert würde sich dann für einen Vergleich mit Richtwerten eignen.

6 DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich bei der zuständigen Abteilung 5/4 Immissions- und Klimaschutz des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft für die Beauftragung.

7 LITERATUR

Ad-hoc Arbeitsgruppe (1996): Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. Bundesgesundheitsblatt 39: 422-426

Ad-hoc Arbeitsgruppe (2006): Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten – eine Handreichung. Konzept der Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (Ad-hoc-AG IRK/AOLG)

Andersen I, Lundquist GR, Molhave L (1974): Formaldehydafspaltning fra spanplader i klimakammer, Ugeskr Laeg 136: 2140-2145, zit. nach Pluschke 1996

Andersen I, Lundqvist GR, Molhave L (1979): Formaldehyd – Formaldehydafgivelse fra spanplader – en matematik model. Ungeskrift for Laeger 136: 2145-2150, zit. nach Marutzky 1992

BMLFUW (2006): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Hrsg: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Akademie der Wissenschaften – Kommission Reinhaltung der Luft. Eigenverlag des BMLFUW, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung)

Hawthorne und Matthews (1987): Modells for estimating organic emissions from building materials: formaldehyde example. Atmospheric Enviroment 21, 321-329, zit. nach Marutzky 1992.

Hutter H-P, Moshammer H, Wallner P, Damberger B, Tappler P, Kundi M (2002): Volatile organic compounds and formaldehyde in bedrooms: results of a survey in Vienna, Austria. Proc. INDOOR AIR '02, 9th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate. 30 June - 05 July 2002, Monterey, USA, Vol. 2: 239-243

Marutzky R (1992): Luftverunreinigende Stoffe in Innenräumen: Ursachen Analytik – Minderung, Vorlesungsmanuskript WKI Wintersemester 1991/92

Marutzky R (1993): Formaldehydprüfrichtlinie für Häuser aus Holz und Holzwerkstoffen, Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München

Pluschke P (1996): Luftschadstoffe in Innenräumen: ein Leitfaden, Springer Berlin, Heidelberg

Tappler P, Gann M (1992): Formaldehydbelastung in österreichischen Innenräumen im Zeitraum 1990-1992. In: Tagungsband der 12. Jahrestagung des IBO "Sick Building Syndrom": 153-160

Tappler P, Sulzner M, Scheidl K, Damberger B, Burtscher I (1997): Formaldehyd und Luftwechsel in österreichischen Fertigteilhäusern. IBO Eigenverlag

Thumulla J, Weber S (2004): Komplexe Luftwechseluntersuchungen am Beispiel der historischen Anna-Amalia-Bibliothek. 7. Fachkongress der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), 04.-05.03 2004, München. 278-290

Weithaas T (2004): Korrelation zwischen den aus Blower-Door und Tracergasmessungen erhaltenen „natürlichen Luftwechsel“. 7. Fachkongress der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), 04.-05.03 2004, München. 256-262

8 ANHANG 1 – ERGEBNISSE DER KONTINUIERLICHEN MESSUNGEN

Tabelle 7.6.1 Ausgewählte Daten der Formaldehyd-Messungen im Raum 1 in Ergänzung zu folgenden Tabellen

Datum	Mittlere relative Luftfeuchte	Luftdruck
	[%]	[hPa]
6.11.06	40	992
7.11.06	39	994
10.11.06	38	1002
15.11.06	39	989
23.11.06	39	976

Tabelle 7.6.2 Raum 1 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel, Temperaturen und Formaldehydkonzentration

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Temperatur Innen [°C]	Temperatur Aussen [°C]	Temp.-diff. innen-außen [°C]	Konz. Formaldeh. SMW [ppm]	Konz. Formaldeh. SMW korr. [ppm]
1	100	27.10.06	13:20	0,22	23,4	19,9	3,5	-	-
1	101	27.10.06	14:20	0,20	23,4	20,8	2,6	-	-
1	102	27.10.06	15:20	0,20	23,4	21,1	2,3	-	-
1	200	06.11.06	9:10	0,28	20,0	9,2	10,8	0,09	0,14
1	201	06.11.06	10:10	0,20	20,3	9,7	10,6	0,09	0,15
1	202	06.11.06	11:10	0,19	20,5	10,1	10,4	0,09	0,15
1	203	06.11.06	12:10	0,22	20,5	9,8	10,7	0,09	0,15
1	204	06.11.06	13:10	0,20	20,5	9,8	10,8	0,09	0,14
1	205	06.11.06	14:10	0,18	20,5	9,8	10,8	0,10	0,15
1	206	06.11.06	15:10	0,22	20,5	9,7	10,8	-	-
1	300	06.11.06	17:50	0,16	20,5	9,5	11,0	-	-
1	301	06.11.06	18:50	0,12	20,4	9,4	11,0	-	-
1	302	06.11.06	19:50	0,10	20,4	9,5	10,9	-	-
1	303	06.11.06	20:50	0,13	20,4	9,3	11,1	-	-
1	304	06.11.06	21:50	0,16	20,4	8,9	11,5	-	-
1	305	06.11.06	22:50	0,18	20,4	8,6	11,8	-	-
1	400	07.11.06	12:20	0,14	20,6	11,0	9,6	0,10	0,16
1	401	07.11.06	13:20	0,19	20,5	11,5	9,0	0,10	0,15
1	402	07.11.06	14:20	0,17	20,5	11,8	8,7	0,09	0,15
1	403	07.11.06	15:20	0,21	20,6	10,7	9,9	0,09	0,15
1	404	07.11.06	16:20	0,23	20,9	9,3	11,6	-	-
1	500A-0	07.11.06	17:05	0,16	22,4	8,6	13,8	-	-
1	500A-1	07.11.06	18:05	0,12	23,0	7,2	15,8	-	-
1	500A-2	07.11.06	19:05	0,14	23,4	6,3	17,0	-	-
1	500A-3	07.11.06	20:05	0,14	23,5	6,0	17,5	-	-
1	500A-4	07.11.06	21:05	0,13	23,5	6,2	17,3	-	-
1	500A-5	07.11.06	22:05	0,13	23,5	7,1	16,4	-	-

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.2 Raum 1 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel, Temperaturen und Formaldehydkonzentration (Forts.)

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Temperatur Innen [°C]	Temperatur Aussen [°C]	Temp.-diff. innen-außen [°C]	Konz. Formaldeh. SMW [ppm]	Konz. Formaldeh. SMW korr. [ppm]
1	500B-0	08.11.06	0:00	0,14	23,5	6,1	17,4	-	-
1	500B-1	08.11.06	1:00	0,14	23,5	5,6	17,9	-	-
1	500B-2	08.11.06	2:00	0,15	21,5	4,9	16,6	-	-
1	500B-3	08.11.06	3:00	0,15	21,6	4,5	17,1	-	-
1	500B-4	08.11.06	4:00	0,15	21,7	4,1	17,6	-	-
1	500B-5	08.11.06	5:00	0,15	23,6	4,4	19,2	-	-
1	500B-6	08.11.06	6:00	0,15	23,5	4,0	19,5	-	-
1	500B-7	08.11.06	7:00	0,15	23,5	4,5	19,0	-	-
1	600	10.11.06	10:20	0,24	23,1	8,8	14,3	0,10	0,12
1	601	10.11.06	11:20	0,19	23,0	8,4	14,5	0,11	0,13
1	602	10.11.06	12:20	0,18	22,9	9,2	13,7	0,11	0,13
1	700	10.11.06	13:35	0,15	23,0	8,9	14,1	-	-
1	701	10.11.06	14:35	0,16	22,8	8,7	14,1	-	-
1	801	15.11.06	13:15	0,10	22,8	17,6	5,2	0,11	0,13
1	802	15.11.06	14:15	0,16	22,8	17,0	5,8	0,12	0,14
1	900	15.11.06	15:30	0,18	22,8	15,8	7,0	-	-
1	901	15.11.06	16:30	0,19	22,8	14,5	8,3	-	-
1	902	15.11.06	17:30	0,20	22,7	13,2	9,6	-	-
1	903	15.11.06	18:30	0,17	22,8	12,2	10,6	-	-
1	904	15.11.06	19:30	0,21	22,7	12,1	10,6	-	-
1	905	15.11.06	20:30	0,21	22,7	11,5	11,2	-	-
1	906	15.11.06	21:30	0,19	22,7	10,6	12,1	-	-
1	907	15.11.06	22:30	0,20	22,5	9,9	12,6	-	-
1	1000	23.11.06	9:55	0,18	23,1	7,6	15,5	0,11	0,13
1	1001	23.11.06	10:55	0,16	22,5	8,5	14,0	0,11	0,13
1	1002	23.11.06	11:55	0,33	22,2	9,2	13,1	0,11	0,14
1	1003	23.11.06	12:55	0,36	22,0	9,7	12,4	0,10	0,13
1	1004	23.11.06	13:55	0,33	22,0	9,7	12,3	0,11	0,15
1	1100	06.12.06	11:40	0,28	21,8	9,3	12,5	-	-
1	1101	06.12.06	12:40	0,29	21,9	9,7	12,2	-	-
1	1102	06.12.06	13:40	0,29	22,0	10,2	11,7	-	-
1	1103	06.12.06	14:40	0,28	21,9	10,6	11,4	-	-
1	1104	06.12.06	15:40	0,20	21,9	8,4	13,5	-	-
1	1200	06.12.06	17:30	0,15	21,9	7,2	14,7	-	-
1	1201	06.12.06	18:30	0,16	22,0	7,3	14,7	-	-
1	1202	06.12.06	19:30	0,13	21,9	7,7	14,3	-	-
1	1203	06.12.06	20:30	0,13	21,9	8,4	13,5	-	-
1	1204	06.12.06	21:30	0,12	21,9	8,7	13,2	-	-
1	1205	06.12.06	22:30	0,13	21,9	8,9	13,0	-	-

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.2 Raum 1 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel, Temperaturen und Formaldehydkonzentration (Forts.)

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Temperatur Innen [°C]	Temperatur Aussen [°C]	Temp.-diff. innen-außen [°C]	Konz. Formaldeh. SMW [ppm]	Konz. Formaldeh. SMW korr. [ppm]
1	1300A-0	07.12.06	0:10	0,13	21,9	8,6	13,3	-	-
1	1300A-1	07.12.06	1:10	0,14	20,1	7,8	12,3	-	-
1	1300A-2	07.12.06	2:10	0,14	20,1	7,6	12,6	-	-
1	1300A-3	07.12.06	3:10	0,13	20,1	7,2	12,9	-	-
1	1300A-4	07.12.06	4:10	0,14	20,1	7,2	12,9	-	-
1	1300B-0	07.12.06	5:30	0,14	20,0	6,7	13,3	-	-
1	1300B-1	07.12.06	6:30	0,13	21,9	7,2	14,7	-	-
1	1300B-2	07.12.06	7:30	0,16	21,8	7,3	14,5	-	-
1	1300B-3	07.12.06	8:30	0,16	21,9	7,9	14,1	-	-
1	1300B-4	07.12.06	9:30	0,16	22,0	8,2	13,8	-	-
1	1400	07.12.06	12:25	0,28	22,3	9,2	13,1	-	-
1	1401	07.12.06	13:25	0,19	22,5	9,3	13,2	-	-
1	1402	07.12.06	14:25	0,20	22,5	9,5	13,0	-	-
1	1500	12.12.06	11:50	0,14	21,5	7,9	13,6	-	-
1	1501	12.12.06	12:50	0,13	21,5	7,8	13,7	-	-
1	1502	12.12.06	13:50	0,14	21,5	7,3	14,2	-	-
1	1503	12.12.06	14:50	0,14	21,6	6,5	15,0	-	-
1	1504	12.12.06	15:50	0,14	21,7	5,9	15,8	-	-
1	1600	12.12.06	17:05	0,15	22,0	5,3	16,8	-	-
1	1601	12.12.06	18:05	0,15	22,0	5,0	17,0	-	-
1	1602	12.12.06	19:05	0,15	22,0	5,0	17,0	-	-
1	1603	12.12.06	20:05	0,13	21,9	4,7	17,2	-	-
1	1604	12.12.06	21:05	0,14	21,8	4,5	17,3	-	-
1	1605	12.12.06	22:05	0,14	21,8	4,7	17,1	-	-
1	1700	13.12.06	0:00	0,15	21,8	4,0	17,8	-	-
1	1701	13.12.06	1:00	0,16	21,8	3,6	18,2	-	-
1	1702	13.12.06	2:00	0,15	20,0	3,1	16,9	-	-
1	1703	13.12.06	3:00	0,16	20,0	2,7	17,3	-	-
1	1704	13.12.06	4:00	0,16	20,0	3,1	16,9	-	-
1	1705	13.12.06	5:00	0,16	19,9	3,8	16,1	-	-
1	1706	13.12.06	6:00	0,16	20,0	4,1	15,9	-	-
1	1707	13.12.06	7:00	0,17	21,8	4,1	17,7	-	-
1	1708	13.12.06	8:00	0,13	21,8	4,2	17,6	-	-
1	1800	13.12.06	11:45	0,14	22,4	8,8	13,6	-	-
1	1801	13.12.06	12:45	0,14	22,7	9,0	13,8	-	-
1	1802	13.12.06	13:45	0,14	22,8	9,0	13,8	-	-
1	1803	13.12.06	14:45	0,13	23,0	8,8	14,2	-	-
1	1804	13.12.06	15:45	0,16	23,0	8,3	14,8	-	-
1	1805	13.12.06	16:45	0,17	23,0	7,8	15,2	-	-

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.2 Raum 1 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel und Temperaturen (Forts.)

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Temperatur Innen [°C]	Temperatur Aussen [°C]	Temp.-diff. innen-außen [°C]	Konz. Formaldeh. SMW [ppm]	Konz. Formaldeh. SMW korr. [ppm]
1	1900	13.12.06	18:00	0,15	23,0	7,8	15,2	-	-
1	1901	13.12.06	19:00	0,16	23,0	7,8	15,2	-	-
1	1902	13.12.06	20:00	0,18	23,0	7,0	16,0	-	-
1	1903	13.12.06	21:00	0,17	23,0	6,7	16,3	-	-
1	1904	13.12.06	22:00	0,16	23,0	6,9	16,1	-	-
1	1905	13.12.06	23:00	0,18	22,9	6,9	16,0	-	-
1	2006	14.12.06	6:05	0,21	22,8	3,7	19,1	-	-
1	2007	14.12.06	7:05	0,25	22,8	3,4	19,4	-	-
1	2008	14.12.06	8:05	0,22	22,9	3,6	19,4	-	-
1	2100	14.12.06	11:45	0,20	22,6	5,2	17,4	-	-
1	2101	14.12.06	12:45	0,16	22,9	5,9	17,0	-	-
1	2102	14.12.06	13:45	0,18	23,0	6,0	17,0	-	-
1	2103	14.12.06	14:45	0,18	23,0	5,5	17,5	-	-
1	2104	14.12.06	15:45	0,19	23,2	4,1	19,1	-	-
1	2105	14.12.06	16:45	0,19	23,1	3,0	20,1	-	-
1	2200	14.12.06	18:00	0,19	23,0	2,5	20,5	-	-
1	2201	14.12.06	19:00	0,19	23,0	2,3	20,7	-	-
1	2202	14.12.06	20:00	0,19	23,0	1,8	21,2	-	-
1	2203	14.12.06	21:00	0,20	22,9	0,8	22,2	-	-
1	2204	14.12.06	22:00	0,19	22,9	-0,1	23,0	-	-
1	2205	14.12.06	23:00	0,20	22,9	-0,1	23,0	-	-
1	2300	15.12.06	0:05	0,20	22,9	-0,3	23,2	-	-
1	2301	15.12.06	1:05	0,18	21,0	-0,3	21,3	-	-
1	2302	15.12.06	2:05	0,20	21,0	-0,2	21,1	-	-
1	2303	15.12.06	3:05	0,22	20,9	-0,2	21,1	-	-
1	2304	15.12.06	4:05	0,20	20,9	-0,4	21,3	-	-
1	2305	15.12.06	5:05	0,21	20,9	-0,5	21,4	-	-
1	2306	15.12.06	6:05	0,21	22,8	-0,5	23,3	-	-
1	2307	15.12.06	7:05	0,24	22,9	-0,3	23,2	-	-
1	2308	15.12.06	8:05	0,22	22,9	-0,3	23,2	-	-

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.3 Raum 1 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel, Wind und Differenzdruck

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Wind-geschw. [km/h]	Böigkeit mittel [km/h]	Böigkeit max [km/h]	Diff. druck innen-außen [Pa]
1	100	27.10.06	13:20	0,22	< 0,1	keine	keine	2,47
1	101	27.10.06	14:20	0,20	0,2	keine	keine	2,49
1	102	27.10.06	15:20	0,20	0,7	keine	keine	2,70
1	200	06.11.06	9:10	0,28	5,1	6,0	17,6	-5,68
1	201	06.11.06	10:10	0,20	5,4	4,8	18,3	-5,64
1	202	06.11.06	11:10	0,19	7,5	12,2	21,5	-7,04
1	203	06.11.06	12:10	0,22	10,3	18,5	23,7	-5,51
1	204	06.11.06	13:10	0,20	8,4	14,4	21,5	-4,88
1	205	06.11.06	14:10	0,18	8,5	11,0	23,0	-6,98
1	206	06.11.06	15:10	0,22	9,1	15,0	25,9	-
1	300	06.11.06	17:50	0,16	4,8	3,5	16,1	-2,82
1	301	06.11.06	18:50	0,12	3,6	1,2	14,0	-1,84
1	302	06.11.06	19:50	0,10	2,7	1,5	18,3	-0,82
1	303	06.11.06	20:50	0,13	5,3	3,4	15,8	-2,01
1	304	06.11.06	21:50	0,16	7,6	8,4	28,4	-4,02
1	305	06.11.06	22:50	0,18	6,6	10,3	19,4	-4,52
1	400	07.11.06	12:20	0,14	0,4	keine	keine	1,57
1	401	07.11.06	13:20	0,19	0,4	keine	keine	3,39
1	402	07.11.06	14:20	0,17	0,1	keine	keine	3,15
1	403	07.11.06	15:20	0,21	< 0,1	keine	keine	4,19
1	404	07.11.06	16:20	0,23	< 0,1	keine	keine	5,15
1	500A-0	07.11.06	17:05	0,16	< 0,1	keine	keine	2,47
1	500A-1	07.11.06	18:05	0,12	< 0,1	keine	keine	1,21
1	500A-2	07.11.06	19:05	0,14	< 0,1	keine	keine	2,16
1	500A-3	07.11.06	20:05	0,14	< 0,1	keine	keine	2,29
1	500A-4	07.11.06	21:05	0,13	< 0,1	keine	keine	1,66
1	500A-5	07.11.06	22:05	0,13	0,3	keine	keine	1,92
1	500B-0	08.11.06	0:00	0,14	< 0,1	keine	keine	2,34
1	500B-1	08.11.06	1:00	0,14	< 0,1	keine	keine	2,69
1	500B-2	08.11.06	2:00	0,15	< 0,1	keine	keine	2,66
1	500B-3	08.11.06	3:00	0,15	< 0,1	keine	keine	2,67
1	500B-4	08.11.06	4:00	0,15	< 0,1	keine	keine	2,74
1	500B-5	08.11.06	5:00	0,15	< 0,1	keine	keine	2,74
1	500B-6	08.11.06	6:00	0,15	< 0,1	keine	keine	2,76
1	500B-7	08.11.06	7:00	0,15	< 0,1	keine	keine	2,81
1	600	10.11.06	10:20	0,24	6,4	7,4	16,5	-0,21
1	601	10.11.06	11:20	0,19	5,3	3,2	16,1	0,16
1	602	10.11.06	12:20	0,18	3,2	keine	keine	0,37
1	700	10.11.06	13:35	0,15	2,2	keine	keine	0,81
1	701	10.11.06	14:35	0,16	0,6	keine	keine	0,82

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.3 Raum 1 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel, Wind und Differenzdruck (Forts.)

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Wind-geschw. [km/h]	Böigkeit mittel [km/h]	Böigkeit max [km/h]	Diff. druck innen-außen [Pa]
1	800	15.11.06	12:15	-	1,9	keine	keine	-0,74
1	801	15.11.06	13:15	0,10	0,6	keine	keine	0,32
1	802	15.11.06	14:15	0,16	< 0,1	keine	keine	0,59
1	900	15.11.06	15:30	0,18	< 0,1	keine	keine	-
1	901	15.11.06	16:30	0,19	< 0,1	keine	keine	-
1	902	15.11.06	17:30	0,20	< 0,1	keine	keine	-
1	903	15.11.06	18:30	0,17	< 0,1	keine	keine	-
1	904	15.11.06	19:30	0,21	< 0,1	keine	keine	-
1	905	15.11.06	20:30	0,21	< 0,1	keine	keine	-
1	906	15.11.06	21:30	0,19	< 0,1	keine	keine	-
1	907	15.11.06	22:30	0,20	< 0,1	keine	keine	-
1	1000	23.11.06	9:55	0,18	< 0,1	keine	keine	1,07
1	1001	23.11.06	10:55	0,16	< 0,1	keine	keine	1,16
1	1002	23.11.06	11:55	0,33	< 0,1	keine	keine	2,02
1	1003	23.11.06	12:55	0,36	< 0,1	keine	keine	2,11
1	1004	23.11.06	13:55	0,33	< 0,1	keine	keine	2,01
1	1100	06.12.06	11:40	0,28	< 0,1	keine	keine	1,86
1	1101	06.12.06	12:40	0,29	< 0,1	keine	keine	1,91
1	1102	06.12.06	13:40	0,29	0,1	keine	keine	1,76
1	1103	06.12.06	14:40	0,28	0,1	keine	keine	1,57
1	1104	06.12.06	15:40	0,20	0,4	keine	keine	1,34
1	1200	06.12.06	17:30	0,15	3,2	1,0	12,5	-
1	1201	06.12.06	18:30	0,16	0,5	keine	keine	-
1	1202	06.12.06	19:30	0,13	4,9	0,9	11,1	-
1	1203	06.12.06	20:30	0,13	2,6	keine	keine	-
1	1204	06.12.06	21:30	0,12	3,9	keine	keine	-
1	1205	06.12.06	22:30	0,13	4,2	keine	keine	-
1	1300A-0	07.12.06	0:10	0,13	4,0	1,9	11,8	-
1	1300A-1	07.12.06	1:10	0,14	1,5	keine	keine	-
1	1300A-2	07.12.06	2:10	0,14	0,5	keine	keine	-
1	1300A-3	07.12.06	3:10	0,13	3,0	keine	keine	-
1	1300A-4	07.12.06	4:10	0,14	2,4	keine	keine	-
1	1300B-0	07.12.06	5:30	0,14	2,3	keine	keine	-
1	1300B-1	07.12.06	6:30	0,13	1,0	keine	keine	-
1	1300B-2	07.12.06	7:30	0,16	0,3	keine	keine	-
1	1300B-3	07.12.06	8:30	0,16	< 0,1	keine	keine	-
1	1300B-4	07.12.06	9:30	0,16	0,4	keine	keine	-
1	1400	07.12.06	12:25	0,28	< 0,1	keine	keine	3,18
1	1401	07.12.06	13:25	0,19	0,3	keine	keine	3,82
1	1402	07.12.06	14:25	0,20	0,2	keine	keine	4,45

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.3 Raum 1 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel, Wind und Differenzdruck (Forts.)

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Wind-geschw. [km/h]	Böigkeit mittel [km/h]	Böigkeit max [km/h]	Diff. druck innen-außen [Pa]
1	1500	12.12.06	11:50	0,14	2,8	1,1	13,3	-
1	1501	12.12.06	12:50	0,13	2,7	1,0	12,2	-
1	1502	12.12.06	13:50	0,14	3,6	6,3	37,0	-
1	1503	12.12.06	14:50	0,14	3,4	7,7	23,7	-
1	1504	12.12.06	15:50	0,14	5,5	10,0	35,2	-
1	1600	12.12.06	17:05	0,15	6,9	15,2	30,9	-
1	1601	12.12.06	18:05	0,15	5,3	13,6	42,1	-
1	1602	12.12.06	19:05	0,15	4,1	12,8	45,3	-
1	1603	12.12.06	20:05	0,13	1,1	keine	keine	-
1	1604	12.12.06	21:05	0,14	1,9	keine	keine	-
1	1605	12.12.06	22:05	0,14	2,3	keine	keine	-
1	1700	13.12.06	0:00	0,15	< 0,1	keine	keine	-
1	1701	13.12.06	1:00	0,16	< 0,1	keine	keine	-
1	1702	13.12.06	2:00	0,15	< 0,1	keine	keine	-
1	1703	13.12.06	3:00	0,16	< 0,1	keine	keine	-
1	1704	13.12.06	4:00	0,16	< 0,1	keine	keine	-
1	1705	13.12.06	5:00	0,16	< 0,1	keine	keine	-
1	1706	13.12.06	6:00	0,16	< 0,1	keine	keine	-
1	1707	13.12.06	7:00	0,17	< 0,1	keine	keine	-
1	1708	13.12.06	8:00	0,13	< 0,1	keine	keine	-
1	1800	13.12.06	11:45	0,14	7,7	15,0	38,1	-
1	1801	13.12.06	12:45	0,14	6,6	13,8	29,5	-
1	1802	13.12.06	13:45	0,14	7,7	20,2	43,9	-
1	1803	13.12.06	14:45	0,13	4,1	5,6	35,2	-
1	1804	13.12.06	15:45	0,16	4,0	5,8	33,8	-
1	1805	13.12.06	16:45	0,17	2,6	2,8	33,1	-
1	1900	13.12.06	18:00	0,15	3,8	1,3	15,8	-
1	1901	13.12.06	19:00	0,16	2,2	5,9	35,2	-
1	1902	13.12.06	20:00	0,18	0,8	keine	keine	-
1	1903	13.12.06	21:00	0,17	0,6	keine	keine	-
1	1904	13.12.06	22:00	0,16	1,8	keine	keine	-
1	1905	13.12.06	23:00	0,18	0,2	keine	keine	-

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.3 Raum 1 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel, Wind und Differenzdruck (Forts.)

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Wind-geschw. [km/h]	Böigkeit mittel [km/h]	Böigkeit max [km/h]	Diff. druck innen-außen [Pa]
1	2000	14.12.06	0:05	0,17	0,5	keine	keine	-
1	2001	14.12.06	1:05	0,18	< 0,1	keine	keine	-
1	2002	14.12.06	2:05	0,19	< 0,1	keine	keine	-
1	2003	14.12.06	3:05	0,19	< 0,1	keine	keine	-
1	2004	14.12.06	4:05	0,21	< 0,1	keine	keine	-
1	2005	14.12.06	5:05	0,20	< 0,1	keine	keine	-
1	2006	14.12.06	6:05	0,21	< 0,1	keine	keine	-
1	2007	14.12.06	7:05	0,25	< 0,1	keine	keine	-
1	2008	14.12.06	8:05	0,22	< 0,1	keine	keine	-
1	2100	14.12.06	11:45	0,20	0,2	keine	keine	2,86
1	2101	14.12.06	12:45	0,16	< 0,1	keine	keine	1,80
1	2102	14.12.06	13:45	0,18	< 0,1	keine	keine	2,28
1	2103	14.12.06	14:45	0,18	< 0,1	keine	keine	2,29
1	2104	14.12.06	15:45	0,19	< 0,1	keine	keine	2,46
1	2105	14.12.06	16:45	0,19	< 0,1	keine	keine	2,60
1	2200	14.12.06	18:00	0,19	< 0,1	keine	keine	2,75
1	2201	14.12.06	19:00	0,19	< 0,1	keine	keine	2,71
1	2202	14.12.06	20:00	0,19	< 0,1	keine	keine	2,77
1	2203	14.12.06	21:00	0,20	< 0,1	keine	keine	2,91
1	2204	14.12.06	22:00	0,19	< 0,1	keine	keine	2,91
1	2205	14.12.06	23:00	0,20	< 0,1	keine	keine	3,08
1	2300	15.12.06	0:05	0,20	< 0,1	keine	keine	3,03
1	2301	15.12.06	1:05	0,18	< 0,1	keine	keine	2,61
1	2302	15.12.06	2:05	0,20	0,1	keine	keine	2,95
1	2303	15.12.06	3:05	0,22	< 0,1	keine	keine	3,31
1	2304	15.12.06	4:05	0,20	< 0,1	keine	keine	3,09
1	2305	15.12.06	5:05	0,21	< 0,1	keine	keine	3,03
1	2306	15.12.06	6:05	0,21	< 0,1	keine	keine	3,00
1	2307	15.12.06	7:05	0,24	< 0,1	keine	keine	3,33
1	2308	15.12.06	8:05	0,22	< 0,1	keine	keine	3,06

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.4 Raum 2 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel und Temperaturen

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Temperatur Innen [°C]	Temperatur Aussen [°C]	Temp.-diff. innen-außen [°C]
2	100	28.10.06	9:00	0,07	23,2	16,2	7,0
2	101	28.10.06	10:00	0,05	23,2	16,3	6,9
2	102	28.10.06	11:00	0,05	23,2	17,3	6,0
2	200	28.10.06	15:15	0,09	23,5	19,4	4,1
2	201	28.10.06	16:15	0,05	23,5	18,7	4,9
2	202	28.10.06	17:15	0,05	23,5	16,3	7,2
2	203	28.10.06	18:15	0,05	23,4	14,9	8,5
2	300	29.10.06	8:00	0,13	23,3	14,6	8,7
2	301	29.10.06	9:00	0,07	23,2	15,5	7,7
2	302	29.10.06	10:00	0,09	23,3	16,3	7,0
2	400	1.11.06	12:20	0,10	19,9	11,2	8,7
2	401	1.11.06	13:20	0,07	20,1	11,1	8,9
2	402	1.11.06	14:20	0,07	20,4	11,1	9,4
2	403	1.11.06	15:20	0,08	20,5	9,5	11,0
2	404	1.11.06	16:20	0,08	20,3	8,6	11,7
2	405	1.11.06	17:20	0,08	20,0	8,1	11,9
2	406	1.11.06	18:20	0,08	20,0	7,0	13,0
2	407	1.11.06	19:20	0,08	19,9	6,8	13,1
2	500	2.11.06	7:45	0,08	19,4	1,1	18,4
2	501	2.11.06	8:45	0,08	19,4	2,1	17,3
2	502	2.11.06	9:45	0,08	19,6	2,3	17,3
2	503	2.11.06	10:45	0,09	21,7	2,8	18,9
2	504	2.11.06	11:45	0,08	23,3	2,5	20,8
2	505	2.11.06	12:45	0,08	20,5	2,7	17,9
2	506	2.11.06	13:45	0,06	19,9	3,2	16,7
2	507	2.11.06	14:45	0,07	19,5	2,8	16,7
2	508	2.11.06	15:45	0,07	19,1	2,9	16,2
2	509	2.11.06	16:45	0,07	18,8	1,9	16,9
2	510	2.11.06	17:45	0,07	18,6	1,5	17,1
2	600	3.11.06	6:35	0,08	17,0	0,9	16,1
2	601	3.11.06	7:35	0,08	17,0	1,5	15,5
2	602	3.11.06	8:35	0,07	17,2	2,2	15,1
2	603	3.11.06	9:35	0,06	17,3	2,4	14,9
2	604	3.11.06	10:35	0,07	17,5	3,5	14,0
2	605	3.11.06	11:35	0,07	17,9	1,5	16,4
2	606	3.11.06	12:35	0,07	18,8	2,6	16,3
2	607	3.11.06	13:35	0,07	18,8	2,5	16,3
2	608	3.11.06	14:35	0,08	18,0	0,2	17,8
2	609	3.11.06	15:35	0,07	17,6	-0,2	17,8
2	610	3.11.06	16:35	0,07	17,3	-0,8	18,1
2	611	3.11.06	17:35	0,07	17,1	-1,1	18,2
2	612	3.11.06	18:35	0,07	17,0	-0,8	17,8

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.4 Raum 2 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel und Temperaturen (Forts.)

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Temperatur Innen [°C]	Temperatur Aussen [°C]	Temp.-diff. innen-außen [°C]
2	700	10.12.06	7:30	0,07	19,5	5,8	13,7
2	701	10.12.06	8:30	0,06	19,4	6,0	13,4
2	702	10.12.06	9:30	0,06	19,7	6,9	12,9
2	703	10.12.06	10:30	0,06	20,5	7,9	12,6
2	800	10.12.06	14:05	0,07	19,8	7,1	12,7
2	801	10.12.06	15:05	0,05	19,5	6,6	12,9
2	802	10.12.06	16:05	0,05	19,4	5,9	13,5
2	803	10.12.06	17:05	0,05	19,2	5,4	13,8
2	804	10.12.06	18:05	0,06	19,2	5,9	13,3

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.5 Raum 2 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel, Wind und Differenzdruck

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Wind-geschw. [km/h]	Böen mittel [km/h]	Böen max [km/h]	Diff. druck innen-außen [Pa]
2	100	28.10.06	9:00	0,07	0,8	keine	keine	-0,37
2	101	28.10.06	10:00	0,05	0,5	keine	keine	-0,29
2	102	28.10.06	11:00	0,05	0,4	keine	keine	-0,36
2	200	28.10.06	15:15	0,09	0,2	keine	keine	-0,47
2	201	28.10.06	16:15	0,05	0,2	keine	keine	-0,27
2	202	28.10.06	17:15	0,05	< 0,1	keine	keine	-0,28
2	203	28.10.06	18:15	0,05	< 0,1	keine	keine	-0,39
2	300	29.10.06	8:00	0,13	11,2	25,6	39,6	0,92
2	301	29.10.06	9:00	0,07	12,8	29,9	47,8	0,41
2	302	29.10.06	10:00	0,09	15,4	34,2	50,7	0,44
2	400	1.11.06	12:20	0,10	7,0	13,8	38,9	-0,42
2	401	1.11.06	13:20	0,07	10,4	20,1	38,9	-0,84
2	402	1.11.06	14:20	0,07	8,0	14,4	36,7	-0,60
2	403	1.11.06	15:20	0,08	11,7	24,4	37,4	-1,05
2	404	1.11.06	16:20	0,08	7,2	12,9	37,4	-0,80
2	405	1.11.06	17:20	0,08	13,0	25,4	39,2	-0,82
2	406	1.11.06	18:20	0,08	7,0	12,0	25,2	-0,32
2	407	1.11.06	19:20	0,08	8,0	11,5	28,8	-1,07
2	500	2.11.06	7:45	0,08	4,6	3,0	24,8	-2,56
2	501	2.11.06	8:45	0,08	8,0	18,1	32,4	-3,00
2	502	2.11.06	9:45	0,08	7,5	12,2	29,9	-2,77
2	503	2.11.06	10:45	0,09	6,8	12,2	25,9	-2,86
2	504	2.11.06	11:45	0,08	5,5	8,4	30,2	-3,29
2	505	2.11.06	12:45	0,08	5,0	2,3	16,2	-2,88
2	506	2.11.06	13:45	0,06	4,4	1,7	20,5	-2,17
2	507	2.11.06	14:45	0,07	3,8	1,1	13,0	-1,70
2	508	2.11.06	15:45	0,07	4,2	2,5	18,7	-2,05
2	509	2.11.06	16:45	0,07	3,1	2,6	18,4	-1,50
2	510	2.11.06	17:45	0,07	3,2	1,3	15,8	-1,70
2	600	3.11.06	6:35	0,08	2,5	1,8	21,5	-1,28
2	601	3.11.06	7:35	0,08	2,8	keine	keine	-1,48
2	602	3.11.06	8:35	0,07	4,8	1,0	12,5	-1,61
2	603	3.11.06	9:35	0,06	2,5	2,3	14,7	-1,62
2	604	3.11.06	10:35	0,07	5,1	4,1	23,4	-1,40
2	605	3.11.06	11:35	0,07	3,7	3,8	26,2	-1,42
2	606	3.11.06	12:35	0,07	1,6	keine	keine	-1,29
2	607	3.11.06	13:35	0,07	1,4	0,9	10,7	-1,34
2	608	3.11.06	14:35	0,08	2,1	1,5	18,3	-1,66
2	609	3.11.06	15:35	0,07	1,0	keine	keine	-1,35
2	610	3.11.06	16:35	0,07	0,1	keine	keine	-1,23

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.5 Raum 2 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel, Wind und Differenzdruck (Forts.)

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Wind-geschw. [km/h]	Böen mittel [km/h]	Böen max [km/h]	Diff. druck innen-außen [Pa]
2	611	3.11.06	17:35	0,07	0,5	keine	keine	-1,16
2	612	3.11.06	18:35	0,07	0,2	keine	keine	-1,23
2	700	10.12.06	7:30	0,07	3,6	4,7	39,6	-1,06
2	701	10.12.06	8:30	0,06	1,9	1,8	21,2	-0,81
2	702	10.12.06	9:30	0,06	4,3	6,4	25,5	-0,50
2	703	10.12.06	10:30	0,06	4,8	9,0	34,9	-1,22
2	800	10.12.06	14:05	0,07	4,7	1,3	15,1	-0,38
2	801	10.12.06	15:05	0,05	3,2	1,2	14,7	-0,52
2	802	10.12.06	16:05	0,05	2,4	2,1	24,8	-0,62
2	803	10.12.06	17:05	0,05	3,3	8,7	27,3	-0,61
2	804	10.12.06	18:05	0,06	5,4	6,6	18,0	-0,75

Tabelle 7.6.6 Raum 3 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel und Temperaturen

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Temperatur Innen [°C]	Temperatur Aussen [°C]	Temp.-diff. innen-außen [°C]
3	100	24.11.06	16:15	0,22	23,2	8,0	15,2
3	101	24.11.06	17:15	0,22	23,6	8,1	15,5
3	102	24.11.06	18:15	0,18	23,8	8,0	15,9
3	103	24.11.06	19:15	0,18	23,9	8,1	15,8
3	104	24.11.06	20:15	0,19	23,9	7,9	16,0
3	105	24.11.06	21:15	0,25	23,8	8,2	15,6
3	106	24.11.06	22:15	0,22	23,6	8,2	15,4
3	200	27.11.06	18:00	0,24	25,3	9,9	15,4
3	201	27.11.06	19:00	0,20	24,7	9,8	15,0
3	202	27.11.06	20:00	0,15	24,4	9,7	14,7
3	203	27.11.06	21:00	0,13	24,2	9,7	14,5
3	204	27.11.06	22:00	0,15	24,0	9,5	14,5
3	205	27.11.06	23:00	0,16	23,9	9,4	14,5
3	300	28.11.06	0:05	0,16	23,8	9,4	14,3
3	301	28.11.06	1:05	0,17	21,6	8,7	12,9
3	302	28.11.06	2:05	0,14	21,5	8,5	13,0
3	303	28.11.06	3:05	0,14	21,5	8,3	13,2
3	304	28.11.06	4:05	0,17	21,4	8,3	13,2
3	305	28.11.06	5:05	0,19	23,2	8,6	14,7
3	306	28.11.06	6:05	0,18	23,2	8,5	14,7
3	307	28.11.06	7:05	0,18	23,0	8,3	14,7
3	400	01.12.06	18:15	0,21	23,9	6,9	17,1
3	401	01.12.06	19:15	0,22	23,9	6,4	17,6
3	402	01.12.06	20:15	0,20	23,8	6,0	17,7
3	403	01.12.06	21:15	0,19	23,5	5,7	17,8
3	404	01.12.06	22:15	0,18	23,5	5,5	18,0
3	500	02.12.06	0:05	0,20	23,2	5,1	18,2
3	501	02.12.06	1:05	0,21	21,4	4,6	16,8
3	502	02.12.06	2:05	0,22	23,4	5,0	18,4
3	503	02.12.06	3:05	0,21	23,5	5,1	18,4
3	504	02.12.06	4:05	0,23	23,5	5,1	18,4
3	505	02.12.06	5:05	0,24	23,5	5,1	18,4
3	506	02.12.06	6:05	0,24	23,5	5,5	18,0
3	507	02.12.06	7:05	0,23	23,5	5,8	17,7
3	508	02.12.06	8:05	0,24	23,6	6,1	17,5
3	600	02.12.06	10:05	0,31	23,7	6,3	17,4
3	601	02.12.06	11:05	0,37	23,7	6,2	17,5
3	602	02.12.06	12:05	0,38	23,7	6,2	17,5
3	603	02.12.06	13:05	0,36	23,7	6,2	17,5
3	604	02.12.06	14:05	0,29	23,7	6,1	17,5

Tabelle 7.6.6 Raum 3 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel und Temperaturen (Forts.)

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Temperatur Innen [°C]	Temperatur Aussen [°C]	Temp.-diff. innen-außen [°C]
3	700	15.12.06	20:30	0,22	23,9	-0,7	24,6
3	701	15.12.06	21:30	0,24	23,5	-0,6	24,1
3	702	15.12.06	22:30	0,24	23,2	-0,5	23,6
3	703	15.12.06	23:30	0,00	23,0	-0,5	23,4
3	800	16.12.06	0:05	0,23	22,8	-0,6	23,4
3	801	16.12.06	1:05	0,24	21,1	-0,6	21,7
3	802	16.12.06	2:05	0,25	23,3	-0,9	24,1
3	803	16.12.06	3:05	0,25	23,4	-0,9	24,4
3	804	16.12.06	4:05	0,27	23,5	-0,9	24,4
3	805	16.12.06	5:05	0,25	23,5	-1,2	24,7
3	900	16.12.06	7:00	0,27	23,8	-1,2	25,0
3	901	16.12.06	8:00	0,25	23,8	-1,2	25,0
3	902	16.12.06	9:00	0,25	23,9	-0,9	24,8
3	903	16.12.06	10:00	0,27	24,0	-0,4	24,4
3	904	16.12.06	11:00	0,26	24,0	-0,3	24,3
3	905	16.12.06	12:00	0,24	24,1	-0,3	24,4
3	906	16.12.06	13:00	0,25	24,1	-0,1	24,2

Tabelle 7.6.7 Raum 3 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel, Wind und Differenzdruck

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Wind-geschw. [km/h]	Böen mittel [km/h]	Böen max [km/h]	Diff. druck innen-außen [Pa]
3	100	24.11.06	16:15	0,22	4,0	1,3	15,8	1,04
3	101	24.11.06	17:15	0,22	2,6	keine	keine	-
3	102	24.11.06	18:15	0,18	0,8	keine	keine	-
3	103	24.11.06	19:15	0,18	2,0	keine	keine	-
3	104	24.11.06	20:15	0,19	2,1	1,4	16,9	-
3	105	24.11.06	21:15	0,25	5,5	2,5	17,2	-
3	106	24.11.06	22:15	0,22	3,5	2,7	11,1	-
3	200	27.11.06	18:00	0,24	< 0,1	keine	keine	0,93
3	201	27.11.06	19:00	0,20	< 0,1	keine	keine	0,65
3	202	27.11.06	20:00	0,15	< 0,1	keine	keine	0,29
3	203	27.11.06	21:00	0,13	< 0,1	keine	keine	0,16
3	204	27.11.06	22:00	0,15	< 0,1	keine	keine	0,34
3	205	27.11.06	23:00	0,16	< 0,1	keine	keine	0,24
3	300	28.11.06	0:05	0,16	< 0,1	keine	keine	0,35
3	301	28.11.06	1:05	0,17	< 0,1	keine	keine	0,42
3	302	28.11.06	2:05	0,14	< 0,1	keine	keine	0,19
3	303	28.11.06	3:05	0,14	< 0,1	keine	keine	0,19
3	304	28.11.06	4:05	0,17	< 0,1	keine	keine	0,48
3	305	28.11.06	5:05	0,19	< 0,1	keine	keine	0,55
3	306	28.11.06	6:05	0,18	< 0,1	keine	keine	0,55
3	307	28.11.06	7:05	0,18	< 0,1	keine	keine	0,58
3	400	01.12.06	18:15	0,21	0,6	keine	keine	0,79
3	401	01.12.06	19:15	0,22	1,2	keine	keine	0,75
3	402	01.12.06	20:15	0,20	0,7	keine	keine	0,71
3	403	01.12.06	21:15	0,19	1,4	keine	keine	0,59
3	404	01.12.06	22:15	0,18	0,4	keine	keine	0,43
3	500	02.12.06	0:05	0,20	1,1	keine	keine	0,67
3	501	02.12.06	1:05	0,21	1,1	keine	keine	0,81
3	502	02.12.06	2:05	0,22	1,0	keine	keine	0,78
3	503	02.12.06	3:05	0,21	1,9	keine	keine	0,95
3	504	02.12.06	4:05	0,23	1,9	keine	keine	1,17
3	505	02.12.06	5:05	0,24	1,5	keine	keine	1,18
3	506	02.12.06	6:05	0,24	3,6	keine	keine	1,31
3	507	02.12.06	7:05	0,23	2,7	keine	keine	1,29
3	508	02.12.06	8:05	0,24	2,5	keine	keine	1,37
3	600	02.12.06	10:05	0,31	2,8	keine	keine	2,22
3	601	02.12.06	11:05	0,37	3,1	2,6	20,5	3,05
3	602	02.12.06	12:05	0,38	4,0	2,3	14,4	2,84
3	603	02.12.06	13:05	0,36	2,3	keine	keine	1,99
3	604	02.12.06	14:05	0,29	1,4	keine	keine	1,52

- Analytische Bestimmung der Messgröße nicht durchgeführt bzw. Rohdatenbasis nicht ausreichend zur Berechnung eines gültigen Stundenmittelwerts

Tabelle 7.6.7 Raum 3 – Stundenmittelwerte – Luftwechsel, Wind und Differenzdruck (Forts.)

Raum	Messung	Datum	Uhrzeit (Beginn)	Luftwechsel (LSF) [1/h]	Wind-geschw. [km/h]	Böen mittel [km/h]	Böen max [km/h]	Diff. druck innen-außen [Pa]
3	700	15.12.06	20:30	0,22	0,4	keine	keine	0,43
3	701	15.12.06	21:30	0,24	< 0,1	keine	keine	0,72
3	702	15.12.06	22:30	0,24	< 0,1	keine	keine	0,59
3	703	15.12.06	23:30	0,00	0,4	keine	keine	0,57
3	800	16.12.06	0:05	0,23	0,3	keine	keine	0,54
3	801	16.12.06	1:05	0,24	0,9	keine	keine	0,57
3	802	16.12.06	2:05	0,25	1,4	keine	keine	0,70
3	803	16.12.06	3:05	0,25	1,0	keine	keine	0,68
3	804	16.12.06	4:05	0,27	0,7	keine	keine	1,04
3	805	16.12.06	5:05	0,25	1,9	keine	keine	0,68
3	900	16.12.06	7:00	0,27	0,3	keine	keine	0,75
3	901	16.12.06	8:00	0,25	0,4	keine	keine	0,70
3	902	16.12.06	9:00	0,25	0,2	keine	keine	0,68
3	903	16.12.06	10:00	0,27	< 0,1	keine	keine	0,56
3	904	16.12.06	11:00	0,26	0,2	keine	keine	0,62
3	905	16.12.06	12:00	0,24	0,3	keine	keine	0,59
3	906	16.12.06	13:00	0,25	0,4	keine	keine	0,56

9 ANHANG 2 – BLOWER DOOR-PRÜFPROTOKOLLE

BlowerDoor-Prüfprotokoll

Verfahren A
Gebäudedaten und MessSystem

Gebäude

Objekt:	Raum 1
Adresse:	
Baujahr:	
Messdatum:	22.12.06

Auftraggeber

Name:	LW-Projekt
Adresse:	
Telefon:	
Fax:	

Auftragnehmer

Name:	Technisches Büro	Prüfer/in:	DI Damberger
	Damberger, Tappler & Twrdik OEG	Telefon:	01-983 80 80-12
Adresse:	Stutterheimstraße 16-18/2/2	Fax:	01-983 80 80-15
	1150 Wien		

Prüfverfahren

Verfahren:	A	Prüfung des Gebäudes im Nutzungszustand
Norm:	EN 13829	
Bemerkung:		

Prüfobjekt

Messgegenstand:	es wurde ein einzelner Raum gemessen. Die BlowerDoor wurde in die Tür eingebaut.			
Innenvolumen V:	65 m³	Fehler:	10 %	Bezugsgrößenberechnung:
Nettogrundfläche $A_{F:}$				anhand der Naturmaße
Hüllfläche $A_{E:}$				
Lüftungsanlage:	Nein			
Heizungsanlage:				
Klimaanlage:				

Messgeräte

MessSystem:	Minneapolis BlowerDoor Modell 4, DG-700				
Gerätenummern:	Gebläse:	CE 233	Druckmessgerät:	1796-103-700E	kalibriert: 15.04.2006
Sonstige Geräte:	Thermoanemometer				

BlowerDoor-Prüfprotokoll

Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.1.3.0

Objekt :	Raum 1	Prüfer/in:	DI Damberger
		Datum:	22.12.06

Klimadaten

Innentemperatur:	22 °C			Referenzdruckmessstellen:	1
Außentemperatur:	5 °C	Windstärke:	0	Gebäudestandort:	C
Luftdruck (Standard):	101325 Pa			Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind:	**0 %**

Unterdruck

Natürliche	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
Druckdiff.	-	-1,0 Pa	-	-0,8 Pa

Überdruck

Natürliche	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
Druckdiff.	-	-1,1 Pa	-	-1,3 Pa

Messreihen

Reduzierblende	Gebäudedruck	Gebläsedruck	Volumenstrom V_r	Abweichung
O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
Δp_{01}	-1,0	———	———	———
B	-62	34	471	0,80
B	-56	30	447	1,95
B	-51	27	424	3,97
C	-46	292	362	-4,62
C	-41	255	338	-3,29
C	-36	222	315	-1,75
C	-31	186	288	0,28
C	-26	151	259	2,99
Δp_{02}	-0,8	———	———	———

Korrelationskoef. r:		*0,990*	Vertrauensintervall	
C_{env}	[m³/(h Pa^n)]	26	max. 37	min. 18
C_L	[m³/(h Pa^n)]	26	max. 38	min. 18
n	[-]	0,69	max. 0,79	min. 0,59

Reduzierblende	Gebäudedruck	Gebläsedruck	Volumenstrom V_r	Abweichung
O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
Δp_{01}	-1,1	———	———	———
B	58	33	467	0,14
B	55	30	449	0,09
B	49	26	419	-0,24
B	44	23	395	-0,09
B	39	21	372	-0,19
B	34	18	343	0,20
B	29	15	315	0,24
B	24	12	277	-0,15
Δp_{02}	-1,3	———	———	———

Korrelationskoef. r:		*1,000*	Vertrauensintervall	
C_{env}	[m³/(h Pa^n)]	43	max. 44	min. 42
C_L	[m³/(h Pa^n)]	43	max. 44	min. 42
n	[-]	0,59	max. 0,60	min. 0,58

Ergebnis, Kenngrößen

V =	65 m³	A_F =		A_E =	

	V_{50}	Unsicherheit	n_{50}	Unsicherheit	w_{50}	Unsicherheit	q_{50}	Unsicherheit
	m³/h	%	h^{-1}	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	**392**	+/- 7 %	6,0	+/- 12 %				
Überdruck	**434**	+/- 7 %	6,6	+/- 12 %				
Mittelwert	**413**	+/- 7 %	**6,3**	+/- 12 %				
Anforderungen nach:			***		***		***	

Bemerkung: Das Messergebnis schließt (verdeckte) Mängel in der Konstruktion nicht aus.

Auftragnehmer : DI Damberger

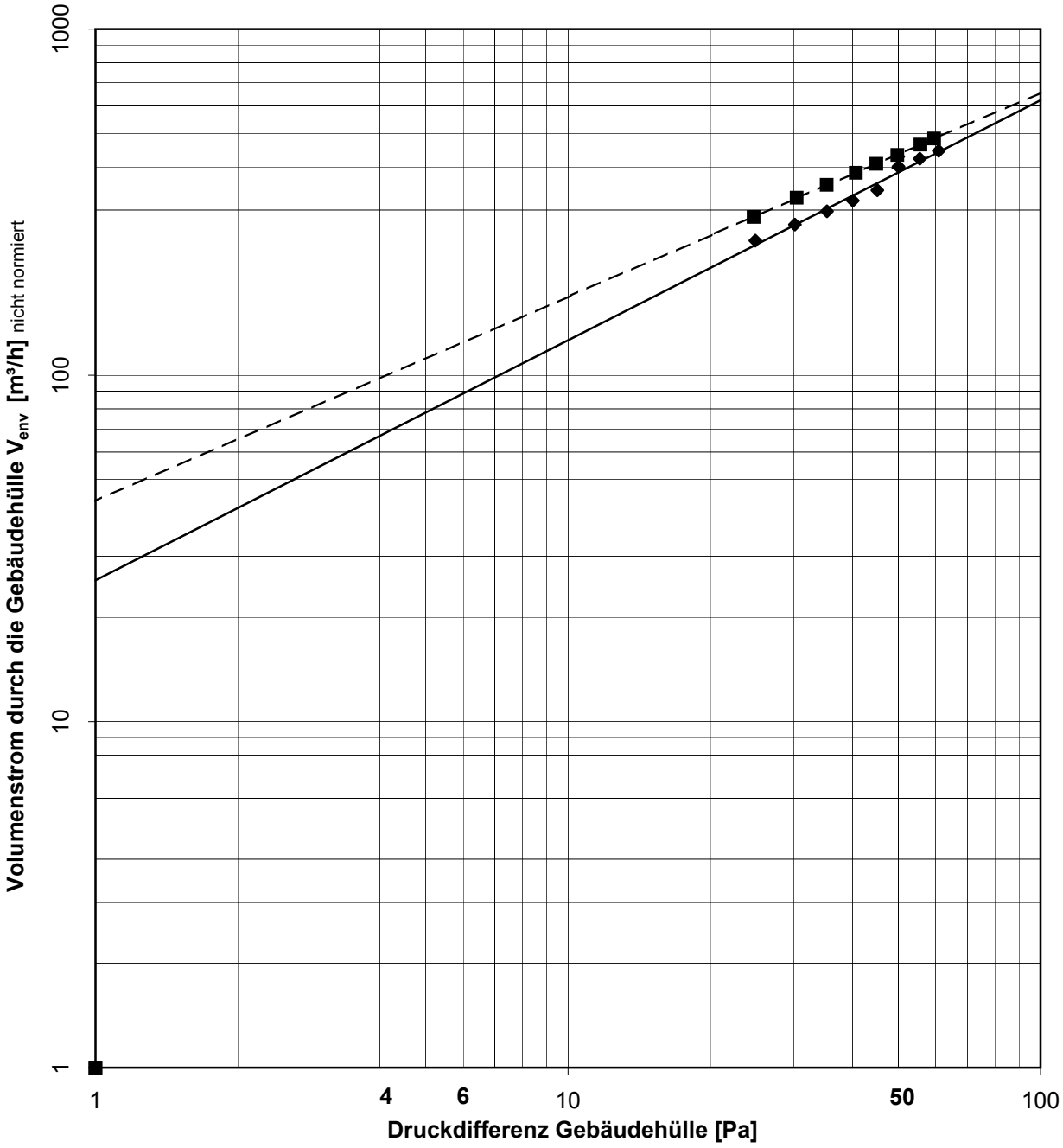
Technisches Büro Damberger, Tappler & Twrdik OEG

1150 Wien

Datum, Unterschrift

Stempel

BlowerDoor-Leckagekurve
Objekt: Raum 1



◆ Volumenstrom Unterdruck [m³/h]

■ Volumenstrom Überdruck [m³/h]

——— Regressionsgerade Unterdruck [m³/h]

– – – Regressionsgerade Überdruck [m³/h]

✱ Volumenstrom (gemittelt) bei 50 Pa [m³/h]

BlowerDoor-Prüfprotokoll

Verfahren A
Gebäudedaten und MessSystem

Gebäude

Objekt:	Raum 2
Adresse:	
Baujahr:	
Messdatum:	27.12.06

Auftraggeber

Name:	LW-Projekt
Adresse:	
Telefon:	
Fax:	

Auftragnehmer

Name:	Technisches Büro	Prüfer/in:	DI Damberger
	Damberger, Tappler & Twrdik OEG	Telefon:	01-983 80 80-12
Adresse:	Stutterheimstraße 16-18/2/2	Fax:	01-983 80 80-15
	1150 Wien		

Prüfverfahren

Verfahren:	A	Prüfung des Gebäudes im Nutzungszustand
Norm:	EN 13829	
Bemerkung:		

Prüfobjekt

Messgegenstand:	es wurde ein einzelner Raum gemessen. Die BlowerDoor wurde in die Tür eingebaut.			
Innenvolumen V:	36 m³	Fehler:	10 %	Bezugsgrößenberechnung:
Nettogrundfläche $A_{F:}$	13 m²			anhand der Naturmaße
Hüllfläche $A_{E:}$				
Lüftungsanlage:	Nein			
Heizungsanlage:				
Klimaanlage:				

Messgeräte

MessSystem:	Minneapolis BlowerDoor Modell 4, DG-700				
Gerätenummern:	Gebläse:	CE 233	Druckmessgerät:	1796-103-700E	kalibriert: 15.04.2006
Sonstige Geräte:	Thermoanemometer				

BlowerDoor-Prüfprotokoll

Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.1.3.0

Objekt :	Raum 2	Prüfer/in:	DI Damberger
		Datum:	27.12.06

Klimadaten

Innentemperatur:	20 °C			Referenzdruckmessstellen:	1
Außentemperatur:	2 °C	Windstärke:	1	Gebäudestandort:	C
Luftdruck (Standard):	101325 Pa			Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind:	**0 %**

Unterdruck

Natürliche	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
Druckdiff.	-	-0,2 Pa	-	-0,3 Pa

Überdruck

Natürliche	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
Druckdiff.	-	-0,3 Pa	-	-0,3 Pa

Messreihen

Reduzier-blende	Gebäude-druck	Gebläse-druck	Volumen-strom V_r	Abwei-chung
O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
Δp_{01}	-0,2	———	———	———
C	-60	88	196	-0,05
C	-56	81	189	-0,28
C	-51	71	177	-0,10
C	-45	63	165	0,75
C	-41	55	155	-0,16
C	-35	46	141	-0,19
C	-30	38	129	0,33
C	-26	31	115	-0,28
Δp_{02}	-0,3	———	———	———

Korrelationskoef. r:		*1,000*	Vertrauensintervall	
C_{env}	[m³/(h Pa^n)]	15	max. 15	min. 14
C_L	[m³/(h Pa^n)]	15	max. 16	min. 14
n	[-]	0,62	max. 0,63	min. 0,61

Reduzier-blende	Gebäude-druck	Gebläse-druck	Volumen-strom V_r	Abwei-chung
O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
Δp_{01}	-0,3	———	———	———
C	59	82	190	-0,13
C	54	74	181	-0,12
C	50	67	172	0,04
C	44	58	160	0,14
C	39	51	150	0,40
C	35	44	138	-0,10
C	30	37	126	-0,25
C	25	29	112	0,03
Δp_{02}	-0,3	———	———	———

Korrelationskoef. r:		*1,000*	Vertrauensintervall	
C_{env}	[m³/(h Pa^n)]	16	max. 17	min. 16
C_L	[m³/(h Pa^n)]	16	max. 17	min. 16
n	[-]	0,61	max. 0,62	min. 0,60

Ergebnis, Kenngrößen

V =	36 m³	A_F =	13 m²	A_E =	

	V_{50}	Unsicher-heit	n_{50}	Unsicher-heit	w_{50}	Unsicher-heit	q_{50}	Unsicher-heit
	m³/h	%	h^{-1}	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	**169**	+/- 7 %	4,7	+/- 12 %	12,8	+/- 12 %		
Überdruck	**177**	+/- 7 %	4,9	+/- 12 %	13,4	+/- 12 %		
Mittelwert	**173**	+/- 7 %	**4,8**	+/- 12 %	**13,1**	+/- 12 %		
Anforderungen nach:			***		***		***	

Bemerkung: Das Messergebnis schließt (verdeckte) Mängel in der Konstruktion nicht aus.

Auftragnehmer : DI Damberger

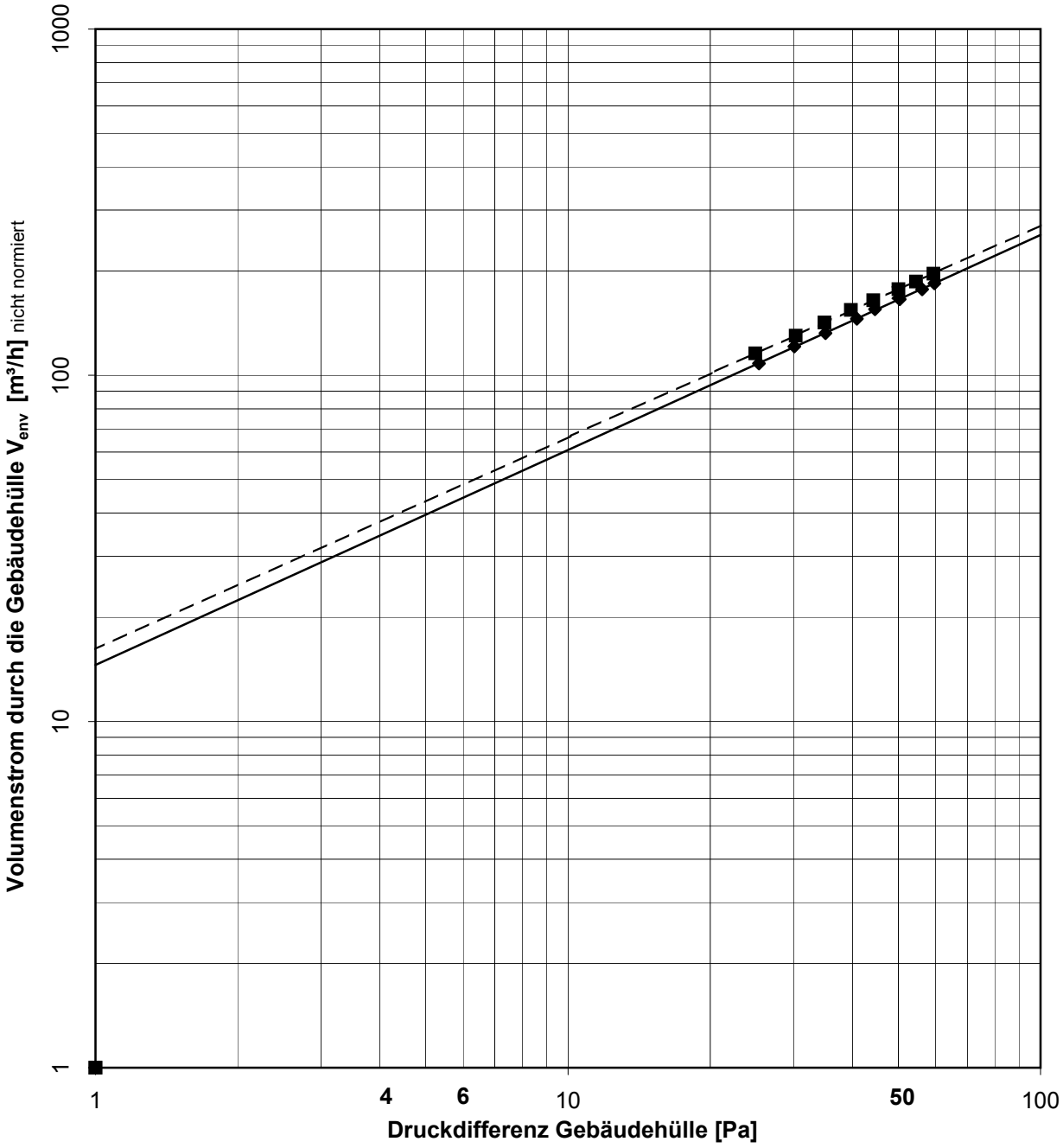
Technisches Büro Damberger, Tappler & Twrdik OEG

1150 Wien

Datum, Unterschrift

Stempel

BlowerDoor-Leckagekurve
Objekt: Raum 2



◆ Volumenstrom Unterdruck [m³/h]

■ Volumenstrom Überdruck [m³/h]

——— Regressionsgerade Unterdruck [m³/h]

– – – Regressionsgerade Überdruck [m³/h]

✱ Volumenstrom (gemittelt) bei 50 Pa [m³/h]

BlowerDoor-Prüfprotokoll

Verfahren A
Gebäudedaten und MessSystem

Gebäude

Objekt:	Raum 3
Adresse:	
Baujahr:	
Messdatum:	9.1.07

Auftraggeber

Name:	LW-Projekt
Adresse:	
Telefon:	
Fax:	

Auftragnehmer

Name:	Technisches Büro	Prüfer/in:	DI Damberger
	Damberger, Tappler & Twrdik OEG	Telefon:	01-983 80 80-12
Adresse:	Stutterheimstraße 16-18/2/2	Fax:	01-983 80 80-15
	1150 Wien		

Prüfverfahren

Verfahren:	A	Prüfung des Gebäudes im Nutzungszustand
Norm:	EN 13829	
Bemerkung:		

Prüfobjekt

Messgegenstand:	es wurde ein einzelner Raum gemessen. Die BlowerDoor wurde in die Tür eingebaut.			
Innenvolumen V:	107 m³	Fehler:	10 %	Bezugsgrößenberechnung:
Nettogrundfläche $A_{F:}$	30 m²			anhand der Naturmaße
Hüllfläche $A_{E:}$				
Lüftungsanlage:	Nein			
Heizungsanlage:				
Klimaanlage:				

Messgeräte

MessSystem:	Minneapolis BlowerDoor Modell 4, DG-700				
Gerätenummern:	Gebläse:	CE 233	Druckmessgerät:	1796-103-700E	kalibriert: 15.04.2006
Sonstige Geräte:	Thermoanemometer				

BlowerDoor-Prüfprotokoll

Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.1.3.0

Objekt :	Raum 3	Prüfer/in:	DI Damberger
		Datum:	9.1.07

Klimadaten

Innentemperatur:	22 °C			Referenzdruckmessstellen:	1
Außentemperatur:	6 °C	Windstärke:	1	Gebäudestandort:	B
Luftdruck (Standard):	101325 Pa			Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind:	**0 %**

Unterdruck

Natürliche	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
Druckdiff.	0,0 Pa	-0,0 Pa	-	-0,1 Pa

Überdruck

Natürliche	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
Druckdiff.	0,0 Pa	-0,1 Pa	0,1 Pa	-0,2 Pa

Messreihen

Reduzier-blende	Gebäude-druck	Gebläse-druck	Volumen-strom V_r	Abwei-chung	Reduzier-blende	Gebäude-druck	Gebläse-druck	Volumen-strom V_r	Abwei-chung
O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
Δp_{01}	0,0	———	———	———	Δp_{01}	-0,1	———	———	———
B	-60	149	987	-0,06	B	60	152	998	0,18
B	-55	133	933	0,05	B	55	136	945	0,08
B	-50	119	884	0,14	B	49	120	886	0,06
B	-44	104	826	-0,10	B	44	105	829	-0,29
B	-39	90	770	-0,12	B	39	91	773	-0,20
B	-35	80	724	0,12	B	36	81	732	0,04
B	-30	66	657	-0,08	B	30	66	657	-0,12
B	-25	54	598	0,04	B	25	53	591	0,25
Δp_{02}	-0,1	———	———	———	Δp_{02}	-0,2	———	———	———

Korrelationskoef. r:		*1,000*	Vertrauensintervall	
C_{env}	[m³/(h Pa^n)]	87	max. 88	min. 86
C_L	[m³/(h Pa^n)]	89	max. 90	min. 88
n	[-]	0,58	max. 0,58	min. 0,58

Korrelationskoef. r:		*1,000*	Vertrauensintervall	
C_{env}	[m³/(h Pa^n)]	86	max. 89	min. 84
C_L	[m³/(h Pa^n)]	86	max. 88	min. 84
n	[-]	0,60	max. 0,61	min. 0,60

Ergebnis, Kenngrößen

V =	107 m³	A_F =	30 m²	A_E =	

	V_{50}	Unsicher-heit	n_{50}	Unsicher-heit	w_{50}	Unsicher-heit	q_{50}	Unsicher-heit
	m³/h	%	h^{-1}	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	**858**	+/- 7 %	8,0	+/- 12 %	28,8	+/- 12 %		
Überdruck	**918**	+/- 7 %	8,6	+/- 12 %	30,8	+/- 12 %		
Mittelwert	**888**	+/- 7 %	**8,3**	+/- 12 %	**29,8**	+/- 12 %		
Anforderungen nach:			***		***		***	

Bemerkung: Das Messergebnis schließt (verdeckte) Mängel in der Konstruktion nicht aus.

Auftragnehmer : DI Damberger

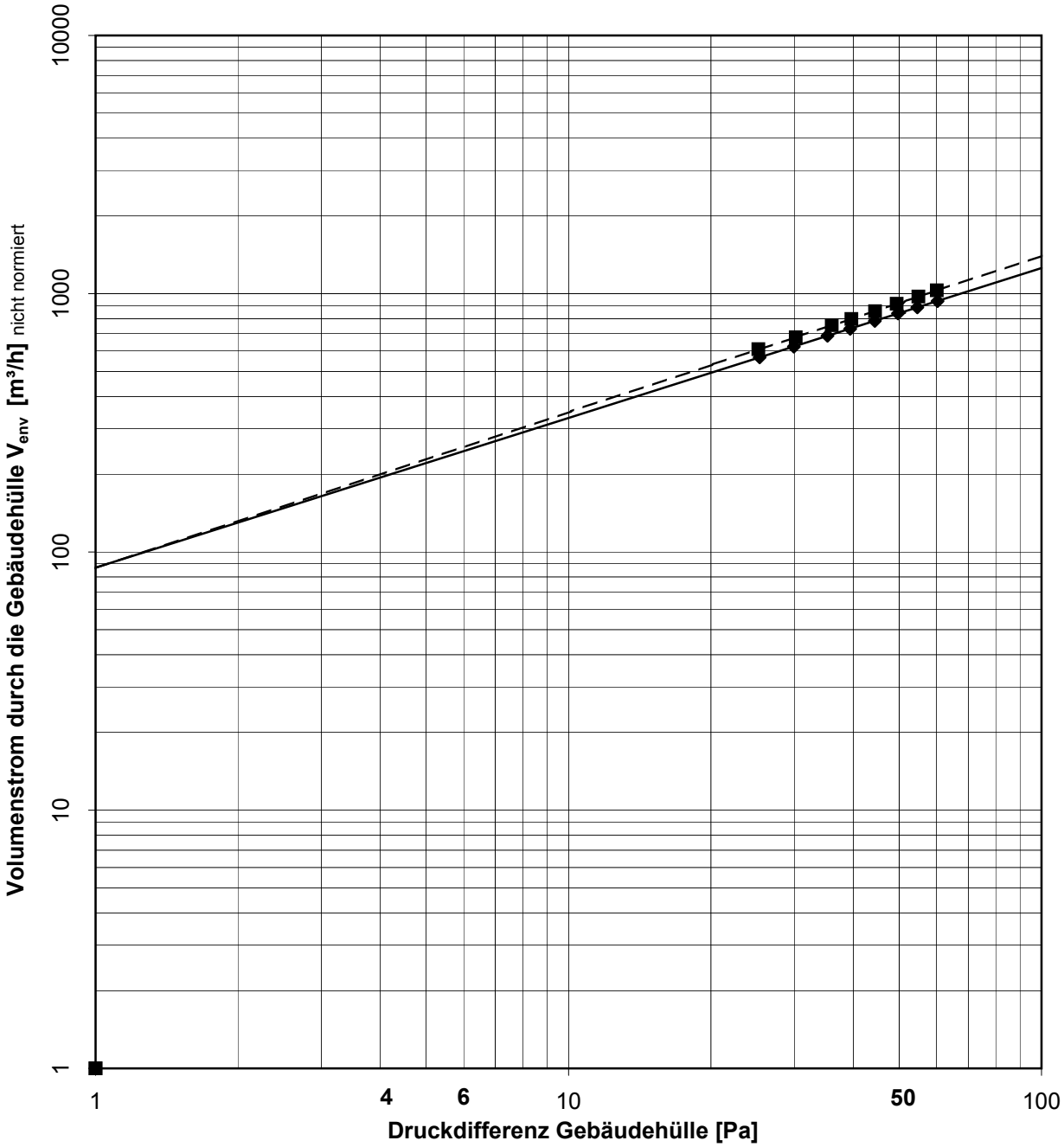
Technisches Büro Damberger, Tappler & Twrdik OEG

1150 Wien

Datum, Unterschrift

Stempel

BlowerDoor-Leckagekurve
Objekt: Raum 3



◆ Volumenstrom Unterdruck [m³/h]

■ Volumenstrom Überdruck [m³/h]

——— Regressionsgerade Unterdruck [m³/h]

– – – Regressionsgerade Überdruck [m³/h]

✱ Volumenstrom (gemittelt) bei 50 Pa [m³/h]