

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 62: Ventilative Kühlung

Teilbericht:

AP3 Technologieentwicklung
Ventilative Cooling

P. Holzer,
R. Hammer,
P. Moherndl,
G. Hofer,
K. Leutgöb,
M. Grim,

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

41c/2017

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 62: Ventilative Kühlung

Teilbericht:
AP3 Technologieentwicklung Ventilative Cooling

DI Dr. Peter Holzer, Arch. DI Dr. Renate Hammer MAS,
DI Philipp Moherndl
IBR&I Institute of Building Research & Innovation ZT-GmbH

DI Gerhard Hofer, DI Margot Grim, Mag. Klemens Leutgöb,
e7 Energie Markt Analyse GmbH

Wien, Dezember 2015

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	ERGEBNISSE DES PROJEKTS	5
1.1	AP3 Technologieentwicklung	5
1.1.1	Ziele	5
1.1.2	Beschreibung der Inhalte:	5
1.1.3	Methode	5
1.1.4	Meilensteine, Ergebnisse und Deliverables:	6
1.2	Ziele AP3 Technologieentwicklung Ventilative Cooling	7
2	Funktionsevaluierung an Gebäuden	8
2.1	Umfassende Sanierungen.....	8
2.1.1	Allgemeine Sonderschule 4, Teistlergutstraße, Linz	8
2.1.1.1	Ventilative Cooling Elemente	8
2.1.1.2	Betriebserfahrungen.....	9
2.2	Ventilative Cooling in NZEB – Neubauten	10
2.2.1	Kindergarten - Krabbelstube Wallenbergstraße, Linz.....	10
2.2.1.1	Ventilative Cooling Elemente	10
2.2.1.2	Betriebserfahrungen.....	11
2.2.2	Kindergarten Weikerlseestraße Solarcity, Linz	11
2.2.2.1	Ventilative Cooling Elemente	12
2.2.2.2	Betriebserfahrungen.....	13
2.2.3	Niedrigenergiewohnhaus Lorenz Reiter Straße, Wien	13
2.2.3.1	Messungen und Berechnungen	15
2.2.3.2	Diskussion und Ausblick.....	21
2.2.3.3	Low Cost – No Cost Optimierungsmöglichkeiten	21
2.2.4	Büroeinheit in einem Wiener Wohn- und Bürohaus	21
2.2.4.1	Messungen und Berechnungen	24
2.2.4.2	Diskussion und Ausblick.....	28
2.2.4.3	Low Cost – No Cost Optimierungsmöglichkeiten	28
	Anhang - Experimentelle Entwicklung technischer Ventilative Cooling Komponenten	29
2.3	Adiabatischer Tischventilator mit Quellluftauslass	29
2.3.1	Vorversuch 01	29
2.3.1.1	Hypothese/Frage.....	29
2.3.1.2	Versuchsaufbau	29
2.3.1.3	Messmethode	30

2.3.1.4	Ergebnisse	31
2.3.1.5	Schlussfolgerungen.....	32
2.3.2	Vorversuch 02	32
2.3.2.1	Hypothese/Frage.....	32
2.3.2.2	Versuchsaufbau	32
2.3.2.3	Messmethode	33
2.3.2.4	Ergebnisse	33
2.3.2.5	Ergebnisse/Schlussfolgerungen	34
2.3.3	Vorversuch 03	34
2.3.3.1	Hypothese/Frage.....	34
2.3.3.2	Versuchsaufbau	34
2.3.3.3	Messmethode	35
2.3.3.4	Ergebnisse	35
3	VERZEICHNISSE	36
3.1	Literaturverzeichnis.....	36
3.2	Abbildungsverzeichnis	36
3.3	Tabellenverzeichnis	37
4	Anhang zum Bericht Technologieentwicklung.....	38

1 ERGEBNISSE DES PROJEKTS

1.1 AP3 Technologieentwicklung

1.1.1 Ziele

Die Zielsetzungen des AP3 Technologieentwicklung waren:

- Weiterentwicklung von Technologien und Gebäudekonzepten des Ventilative Cooling insbesondere für NZEB Neubauten und umfassenden Sanierungen
- Systematische Erarbeitung von Planungs- und Gestaltungsregeln für Gebäudekonzepte des Ventilative Cooling

1.1.2 Beschreibung der Inhalte:

- Betriebsweise- und Nutzungsoptimierung
- Optimierung der Gebäudegestaltung und -konzeption
- Gebäudetechnische Weiterentwicklung

1.1.3 Methode

- Quasistationäre thermodynamische Parameterstudien
- Life-Cycle-Costing -Analysen
- Funktionsevaluierung an drei ausgewählten Gebäuden, mit Lokalaugenschein, temporären Messungen, Nutzerbefragungen, Auswertung vorhandener technischer und betriebswirtschaftlicher Daten und Durchführung ExpertInnen-Interviews
- Thermische dynamische Gebäudesimulation und Computerized Fluid Dynamic Simulation zur Wirkungsanalyse möglicher Optimierungen
- Expertengespräche mit österreichischen Technologieanbietern
- Gegebenenfalls Unterstützung österreichischer Technologieanbieter bei der Weiterentwicklung von Produkten.

1.1.4 Meilensteine, Ergebnisse und Deliverables:

- Meilenstein 7: Erarbeitung von Maßnahmenpaketen zur Betriebsweise, zur optimierten Gebäudegestaltung sowie zur Weiterentwicklung technischer Komponenten
Abgeschlossen, Beiliegend als Anhang AP3.1 – Bericht Technologieentwicklung Teil 1
- Meilenstein 8: Experimentelle Anwendung ausgewählter Maßnahmenpakete aus dem Lowcost- und Nocost-Segment an realen Objekten
Abgeschlossen, Beiliegend als Anhang AP3.2 – Bericht Technologieentwicklung Teil 2
- Meilenstein 9: Experimentelle Entwicklung technischer Komponenten in Kooperation mit österreichischen Technologieanbietern.
Abgeschlossen, Beiliegend als Anhang AP 3.3 – Anhang zum Bericht Technologieentwicklung

1.2 Ziele AP3 Technologieentwicklung Ventilative Cooling

Ziel des gegenständlichen Arbeitspakets ist die Weiterentwicklung von Technologien und Gebäudekonzepten des Ventilative Cooling für insbesondere ihre Anwendung in NZEB Neubauten und umfassenden Sanierungen, aufbauend auf den Ergebnissen des AP1 - Technologieprofil und R&D Roadmap Ventilative Cooling.

Im Rahmen des beantragten Arbeitspakets garantiert werden kann die systematische Erarbeitung von Planungs- und Gestaltungsregeln für Gebäudekonzepte des Ventilative Cooling, für deren die optimierte Betriebsführung und Nutzung sowie für die Weiterentwicklung gebäudetechnischer Komponenten.

Die tatsächliche Weiterentwicklung technischer Komponenten wird als weiterführendes Projektziel angestrebt, kann aber nicht garantiert werden, da es nur in Kooperation mit einschlägigen Herstellern und somit vorbehaltlich deren Markteinschätzung und strategischen Entwicklungszielen umgesetzt werden kann.

2 Funktionsevaluierung an Gebäuden

2.1 Umfassende Sanierungen

2.1.1 Allgemeine Sonderschule 4, Teistlergutstraße, Linz

Datum Gebäudebegehung: 22. April 2016

Das Gebäude wurde im Jahr 2010 von Grund auf renoviert und aufgestockt. Es beherbergt eine Sonderschule und ist über eine Brücke an die ältere Volksschule angeschlossen.

2.1.1.1 Ventilative Cooling Elemente

Das Gebäude verfügt über keine aktive Kühlung. Es wurde eine ventilative Nachtkühlung in Kombination mit dem außenliegenden Sonnenschutz (mit Tageslichtnutzung in oberster Zone) zum Schutz vor sommerlicher Überwärmung projektiert und umgesetzt.



Abbildung 2-1: Ansicht Südostfassade mit offenbarem Flügel Teistlergutstraße

In Jedem Raum gibt es neben den großzügigen fix verglasten Fensterflächen einen großen Schwingflügel, welcher manuell bedient werden kann. Diese werden zum Zwecke der Nachtlüftung vom Schulwart während der warmen Jahreszeit abends manuelle geöffnet und morgens geschlossen.



Abbildung 2-2: Innenansicht öffentlicher Schwingflügel mit außenliegendem Wetterschutz

Die Überströmung zwischen den Klassenräumen und dem Gangbereich wird über die Öffnung der Klassentüren hergestellt. Hierzu wurde ein Zusatzschloss an der Außenseite der Tür angebracht, welches ein Versperren dieser mit offenem Spalt ermöglicht. Laut Angaben der NutzerInnen wird jedoch die Tür vom Schulwart immer völlig geöffnet. Die Oberlichtkuppeln im offenen Stiegenhaus, welche auch zur Brandrauchentlüftung dienen, dienen als Abluftöffnungen.

2.1.1.2 Betriebserfahrungen

Der Betrieb der Nachtlüftung zeigt nach Aussagen der Leiterin eine verminderte Funktion, da die südostseitigen Räume im Sommer sehr stark überhitzen. Die Leiterin ging auch davon aus, dass die Schule zusätzlich über eine aktive Kühlung („Klimaanlage“) verfüge, diese jedoch aufgrund der Betriebskosten nicht entsprechend wirksam betrieben würde.

Die großen Fensterbänke vor den Lüftungsflügel laden zum Ablegen von Gegenständen ein und erschweren somit deren vollständige Öffnung zum Zwecke der Lüftung und Nachtlüftung.

Zudem klagten die NutzerInnen über laute Abluftgeräusche, sowie Zugerscheinungen in den Klassenzimmern. Diese sind höchstwahrscheinlich auf eine falsche Einstellung der Lüftungsanlage sowie falsch justierte Abluftöffnungen zurückzuführen. Die Regelung der Lüftungsanlage obliegt dem Schulwart, der nicht ausreichend geschult scheint das System eigenständig, optimal einzustellen.

Klagen über schlechte Luftqualität sind wahrscheinlich auf die großzügige Verwendung von unversiegelten Holzwerkstoffen auf Klebstoffbasis von Harnstoff-Formaldehyd-Harzen im Möbelbau zurückzuführen. Die Möbelstücke sondern nach wie vor starke Gerüche ab obwohl das Gebäude bereits vor etwa drei Jahren bezogen wurde. Diese Umstände beeinträchtigen die Luftqualität in den

Innenräumen erheblich.

2.2 Ventilative Cooling in NZEB – Neubauten

2.2.1 Kindergarten - Krabbelstube Wallenbergstraße, Linz

Datum Gebäudebegehung: 22.April 2016

Das Gebäude beherbergt im EG einen Pfarrkindergarten der Caritas Linz – St. Peter und im OG eine Krabbelstube, die über ein gemeinsames Stiegenhaus erschlossen werden.

In der Krabbelstube sind drei Gruppen mit insgesamt 33 Plätzen untergebracht.

2.2.1.1 Ventilative Cooling Elemente

Das Gebäude verfügt über keine aktive Kühlung. Die Ventilative Nachtkühlung in Kombination mit dem außenliegenden Sonnenschutz gewährleistet Schutz vor sommerlicher Überwärmung.



Abbildung 2-3: Außenansicht aus Südwest Wallenbergstraße

In Jedem Raum sind neben den fix verglasten Fensterflächen kleine Kippflügel in etwa 2 m Höhe angebracht, welche über einen Kettenantrieb zeitgesteuert (im Sommerhalbjahr und Tageszeitabhängig) betrieben werden.



Abbildung 2-4: Innenansicht Fixverglasung mit Kippflügel

Die Überströmung zwischen den Räumen wird über Schlitze in den Zwischendecken hergestellt, ist jedoch kein Kernelement der Nachtlüftung, da es keine Ablufführung über Dachöffnungen gibt. Die Ventilative Kühlung erfolgt demnach nur raumweise.

2.2.1.2 Betriebserfahrungen

Der Betrieb der Nachtlüftung zeigt nach Aussagen der Leiterin eine gute Funktion. Auch die Möglichkeit, die elektrisch betriebenen Kippflügel über einen manuellen Taster zu bedienen wurde positiv genannt.

Die innenliegenden Gangflächen profitieren von der Nachtlüftung durch die Überströmöffnungen zu den Gruppenräumen. Die Luftqualität in den Gängen wird jedoch als verbesserungswürdig bezeichnet, was eventuell an einer bewussten Sparmaßnahme liegt. Bei der Begutachtung der Lüftungsanlage fällt auf, dass die Anlage mit schwacher Leistung läuft.

2.2.2 Kindergarten Weikerlseestraße Solarcity, Linz

Datum Gebäudebegehung: 22. April 2016

Das Gebäude befindet sich in der Solarcity Linz und beherbergt einen öffentlichen Kindergarten der Stadt. Über einen zentralen „Marktplatz“ werden die Gruppenräume erschlossen. Dieser wird über Lichtkuppeln mit Tageslicht versorgt.



Abbildung 2-5: Außenansicht aus Südwest Orionstraße



Abbildung 2-6: Innenansicht Notausgang mit Kippflügel

2.2.2.1 Ventilative Cooling Elemente

Das Gebäude verfügt über keine aktive Kühlung. Die ventilative Nachtkühlung in Kombination mit einem großen Dachüberhang und außenliegendem Sonnenschutz (dort wo der Dachvorsprung geringer ausfällt) gewährleistet Schutz vor sommerlicher Überwärmung.

In Jedem Raum sind in den fix verglasten Fensterflächen kleine Kippflügel in etwa 2 m Höhe angebracht, welche über einen Kettenantrieb zeitgesteuert (im Sommerhalbjahr und Tageszeitabhängig) betrieben werden.

Die Überströmung zwischen den Räumen wird über Schlitze in den Zwischendecken hergestellt.

Kontakt Planer. Technisches Büro Ing. Grillenberger GmbH, Naarnerstraße 64, 4320 Perg

2.2.2.2 Betriebserfahrungen

Der Betrieb der Nachtlüftung zeigt nach Aussagen der Leiterin eine gute Funktion. Es gibt jedoch keine Möglichkeit die elektrisch betriebenen Kippflügel über einen manuellen Taster zu bedienen, was das Lüften während des Tages vereinfachen würde. Zudem wurde über mangelnde Luftqualität in einem von einem größeren Gruppenraum abgeteilten, kleineren Spielbereich geklagt. Bei näherer Begutachtung stellt sich heraus, dass ein später hinzugefügtes Einbaumöbel die Einbringung der Zuluft behindert und sich deshalb der Luftaustausch des Raumes nicht wie geplant vollzieht.

2.2.3 Niedrigenergiewohnhaus Lorenz Reiter Straße, Wien

Die Wohnanlage Lorenz Reiterstraße, Bauplatz 3 in Wien Simmering wurde vom gemeinnützigen Wiener Bauträger Heimbau errichtet und im zweiten Quartal 2016 bezogen. Die Anlage umfasst zwei siebengeschosige Gebäude mit insgesamt 137 Mietwohnungen von 43 m² bis 130 m² Nutzfläche.

Die Wohnanlage wurde mit Mitteln der Wiener Wohnbauförderung als Niedrigenergiehaus errichtet.

Der Heizwärmebedarf beträgt gemäß Energieausweis 17,1 kWh/m²a für Haus 1 und 18,5 kWh/m²a für Haus 2. Die Wärmeversorgung für Raumheizung und Warmwasser erfolgt mit Fernwärme.



Abbildung 2-7: WHA Lorenz Reiterstraße Bauplatz 1

Die thermische Sommertauglichkeit der Wohnungen ist nach ÖNORM B 8110-3 nachgewiesen. Aus der Konstruktion als Stahlbetongebäude ergeben sich ausreichende thermische Speichermassen. Beweglicher Sonnenschutz ist generell in Form von innenliegenden Jalousien umgesetzt, außer in

den betreuten Wohneinheiten, hier ist dieser außenliegend. Es ist keine aktive Kühlung installiert.

Die Gebäude sind zweihüftig ausgebildet und werden über je drei Stiegenhäuser vertikal erschlossen. Aus dieser Anordnung von Mittelgängen zwischen fassadenseitigen Stiegenhäusern wurde das System des Ventilative Cooling abgeleitet:

- In einem der Stiegenhäuser wurde je Geschöß eines der Stiegenhausfenster als motorisch angetriebener, oben angeschlagener Ausstellflügel ausgeführt. Diese Fenster bilden die Zuluftöffnungen.
- Als Überströmöffnungen vom Stiegenhaus in die Gänge fungieren die Brandschutztüren, die mit Halbmagneten offengehalten werden und nur im Alarmfall zufallen.
- Der Luftvolumenstrom des Ventilative Cooling wird von Abluftventilatoren hergestellt, welche die Abluft aus dem zweiten Stiegenhaus über Dach ausblasen. Im Haus 1 sind zwei, im Haus 2 einer dieser Ventilatoren verbaut. Der Luftvolumenstrom wird je Ventilator auf 11.000 m³/h eingestellt. Die Fortluft wird über Dach ausgeblasen.
- Die Regelung des Ventilative Cooling ist wie folgt eingestellt: VC erfolgt zwischen zehn Uhr abends und sechs Uhr morgens, wenn die Temperatur im Gang > 22°C beträgt und wenn gleichzeitig die Temperatur im Gang um 2 K über der Außentemperatur liegt.



Abbildung 2-8: Komponenten der Nachtlüftung (v.l.n.r.): ZUL-Fenster, ABL-Anlage mit FOL-Gitter

Die folgende Tabelle fasst die Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung zusammen.

	Haus 1	Haus 2
Anzahl der Zuluftfenster	6	6
Geometrischer Öffnungsquerschnitt je Zuluftfenster	0,8 m ²	0,8 m ²
Luftvolumenstrom des VC	22.000 m ³ /h	11.000 m ³ /h
Von VC bewirtschaftete Nutzfläche	996 m ²	750 m ²
ZUL Öffnungsquerschnitt, bezogen auf die von VC bewirtschaftete NF	0,5 %	0,6 %
Raumhöhe	2,6 m	2,6 m
Luftwechsel, bezogen auf die von VC bewirtschaftete NF	8,5 h ⁻¹	5,6 h ⁻¹

Tabelle 1: Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung Lorenz-Reiter Straße

2.2.3.1 Messungen und Berechnungen

Gemessen wurden während einer spätsommerlichen Hitzeperiode die zeitlichen Verläufe der Außentemperatur, der Gangtemperaturen und der Ablufttemperatur in beiden Häusern. Die Messungen erfolgten in den drei aufeinanderfolgenden Nächten von 2. bis 4. August 2016.

Gemessen wurde außerdem die elektrische Leistungsaufnahme eines der insgesamt drei Abluftventilatoren.

Berechnet und mit den Messergebnissen abgeglichen wurde der Jahresverlauf der Gangtemperaturen.

Unter Berücksichtigung eines langjährig charakteristischen Klimadatensatz des Standorts Wien werden daraus die Ergebniskennzahlen der Kühlenergie und der Kühlleistung sowie des Wirkverhältnisses zwischen Kühlenergie und elektrischem Energieaufwand abgeleitet.

Die folgenden Diagramme dokumentieren die Messergebnisse der Temperaturen bei Nachtlüftung.

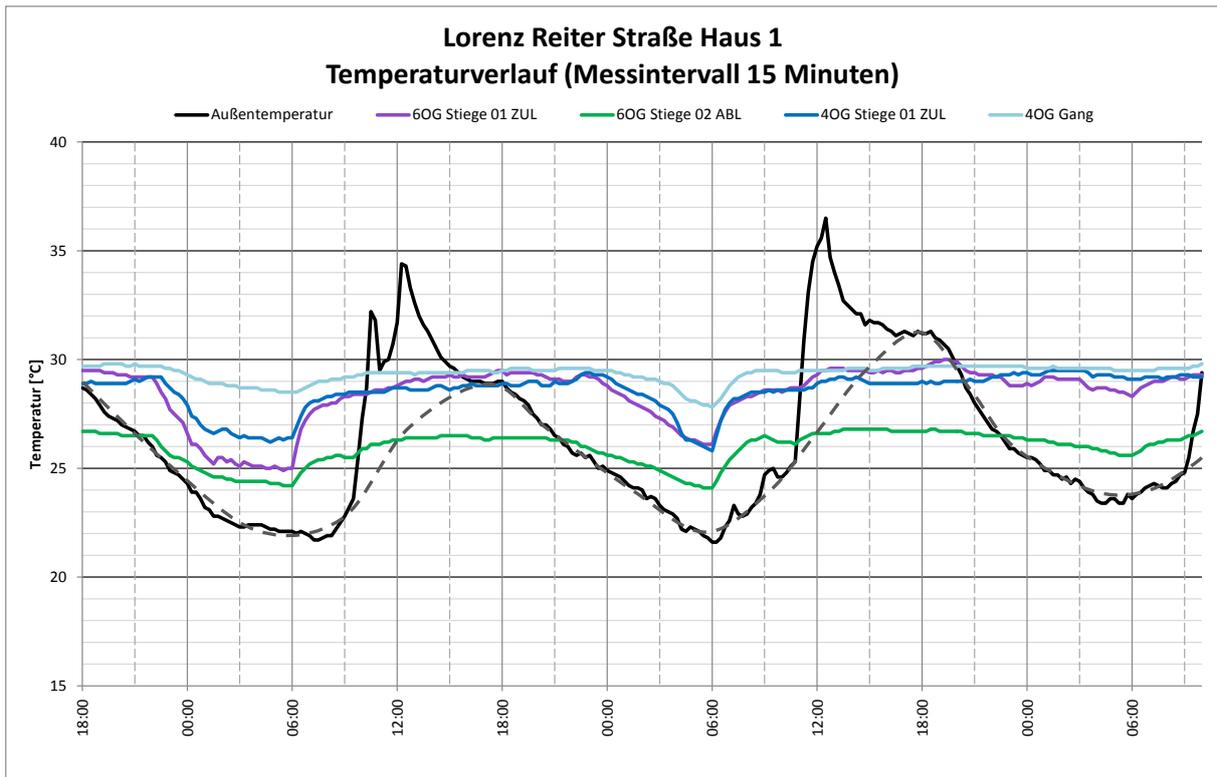


Abbildung 2-9: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung in Haus 1

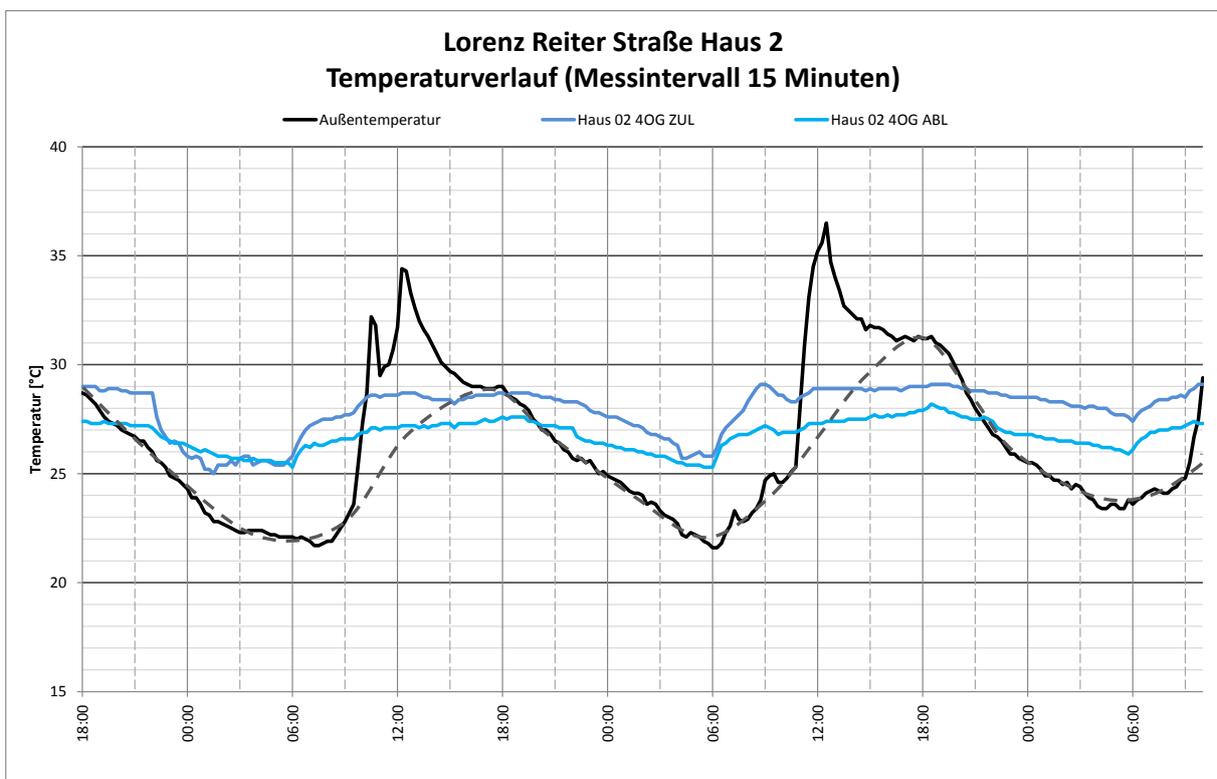


Abbildung 2-10: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung in Haus 2

Deutlich erkennbar ist, dass die Gangtemperaturen bei Außentemperaturen unter 30°C bereits selbst Werte von nur knapp unter 30°C einnehmen.

Erkennbar ist auch der Effekt der Nachtlüftung, wonach die Gangtemperaturen während der Nachtlüftung um 3 bis 5 K gesenkt werden, sich aber danach auch wieder binnen weniger Stunden auf ein Niveau von nur mehr 1 bis 2 K unter jenem zu Beginn der Nachtlüftung einstellen.

Erkennbar ist auch, dass der derzeitige Einschaltzeitpunkt von 22:00 gut gewählt ist, dass aber der derzeitige Ausschaltzeitpunkt von 06:00 noch auf zumindest 07:00 erweitert werden kann, um das Potenzial der Nachtkühlung noch weiter auszuschöpfen.

Für die Ableitung von Jahreskühlenergien wird ein charakteristischer Klimadatensatz von Wien herangezogen und werden charakteristische Gangtemperaturen während der Nachtkühlung nach dem folgenden Algorithmus abgeleitet:

Aus dem Verlauf der Außentemperatur wird der gleitende Mittelwert der Außentemperatur im Sinne von EN 15251 (2007) gebildet. Es wird darauf aufbauend angenommen, dass die Gangtemperatur bis zu einem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur von 19°C eine Temperatur von konstant 20°C einnimmt und dass sie bei Überschreitungen der gleitenden Mittelwerte der Außentemperatur über diese 19°C um dieselbe Differenz nach oben verschiebt.

Aus dieser Festsetzung ergibt sich das nachfolgend dargestellte Zusammenspiel von Außentemperatur und Gangtemperatur.

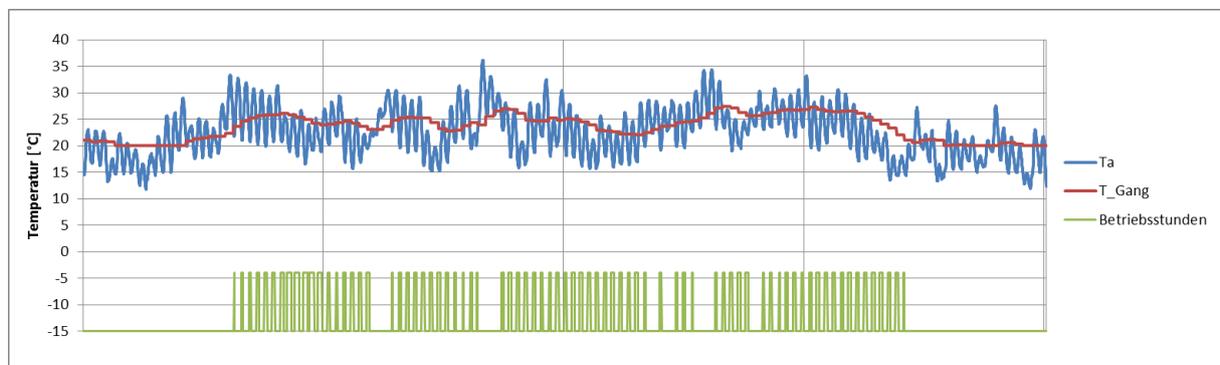


Abbildung 2-11: Verlauf von Außen- und Gangtemperatur Juni-Sept für Jahresberechnungen

Erkennbar ist, dass die so angenommene Innenlufttemperatur gut mit den gemessenen mittleren Temperaturen während der Messperiode korreliert.

Aus dieser Festsetzung der Temperaturverläufe und mit Berücksichtigung der eingestellten Regelparameter wird die jährlich abgeführte Wärmemenge wie folgt errechnet:

$$Q_c = \sum_{\text{Einschaltstunden}} (\dot{V} \cdot c_p \cdot \Delta T)$$

Q_c ... Jährliche Kühlenergie

V ... Luftvolumenstrom der Nachtkühlung

c_p ... spezifische Wärmekapazität der Luft

ΔT ... Temperaturdifferenz zwischen Gang- und Außentemperatur.

Mit dem konstanten Luftvolumenstrom jedes der drei Abluftventilatoren von 11.000 m³/h und mit der spezifischen Wärmekapazität von Luft von 0,34 Wh/m³K ergibt sich für jeden Ventilator eine jährliche abgeführte Kühlenergie von 11,6 MWh/a bei einer jährlichen Betriebszeit von 600 Stunden und somit einer mittleren Wärmeentzugsleistung von 19 kW.

Bezogen auf die bewirtschaftete Nutzfläche der Gänge aller sieben Geschosse ergibt sich im Haus 1 eine nutzflächenspezifische Kühlenergie von 23,3 kWh/m²NFa und im Haus 2 eine solche von 15,5 kWh/m²NFa.

Der abgeführten Kühlenergie ist die Antriebsenergie der Ventilatoren gegenüberzustellen. Sie wurde in einer Messung vor Ort an einem der drei Ventilatoren ermittelt. Die vom Ventilator aufgenommene elektrische Wirkleistung beträgt 520 W.

Der angegebene Luftvolumenstrom von 11.000 m³/h wurde mit Netzmessungen der Strömungsgeschwindigkeit im Fortluftkanal verifiziert und konnte im Rahmen der möglichen Messgenauigkeit bestätigt werden.

Es liegt also eine spezifische Leistungsaufnahme von nur 0,05 W/(m³h⁻¹) vor.

Dieser erfreulich niedrige Wert begründet sich aus den großen Strömungsquerschnitten der Zuluftöffnungen, Stiegenhäuser und Gänge sowie aus der direkten, Ausblasung über Dach, mit nur dem einzigen strömungshemmenden Einbau eines Schalldämpfers. Das überraschend positive Ergebnis wurde abgesichert durch begleitende Berechnungen: Bei einem angenommenen Ventilatorwirkungsgrad von 60% ergibt sich eine korrelierender Gesamtpressung von 102 Pa, was für die vorliegende Konstellation der freien Strömung in den Gängen realistisch ist.

Mit dem ermittelten Wert von 600 jährlichen Betriebsstunden der Nachtlüftung ergibt sich ein jährlicher Antriebsenergiebedarf jedes Ventilators von 312 kWh.

Nicht berücksichtigt ist dabei der Energieverbrauch der Regelung und Fensterautomatisierung. Er wird vorsichtig je Ventilator mit einem Aufschlag einer Dauerleistung von 20 W über das gesamte Jahr berücksichtigt. Es ergibt sich daraus ein zusätzlicher Strombedarf von 175 kWh/a.

Der Wirkungsgrad der Nachtlüftung erreicht somit den sehr guten Wert von 24, errechnet aus $11.600 \text{ kWh}_{\text{Kühlenergie}} / (312 \text{ kWh}_{\text{Antriebsenergie Ventilator}} + 175 \text{ kWh}_{\text{Antriebsenergie Regelung und Fenster}})$.

Die Abfuhr an thermischer Energie ist demnach 24-mal größer als die Zufuhr elektrischer Energie.

Sehr gute Kältemaschinen erreichen unter günstigsten Betriebsbedingungen für die reine Kälteerzeugung Werte des vergleichbaren Kennwerts der EER (Energy Efficiency Ratio) von 10, worin Ventilatorleistungen zur Luftförderung noch nicht enthalten sind.

Eine Darstellung der Verläufe der Außentemperatur, der Gangtemperatur und der Einschaltzeiten der Nachtlüftung zeigt die folgende Abbildung, eingegrenzt auf die Monate Mai bis Oktober.

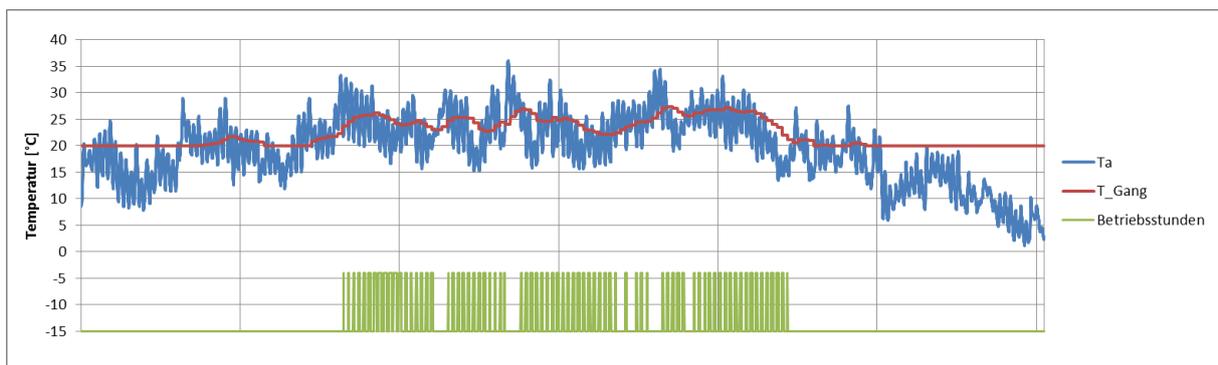


Abbildung 2-12: Temperaturverhältnisse und Einschaltzeiten des VC im Zeitraum Mai bis Oktober

Erkennbar ist der plausibel angenommene Verlauf der Gangtemperatur (rote Linie) über dem Verlauf der stündlichen Außentemperatur (blaue Linie).

In grün dargestellt sind die Stunden mit Betrieb der Nachtlüftung. Es zeigt sich völlig plausibel ein häufiger Betrieb in den Nächten zwischen Mitte Juni und Mitte September, mit zwei auffälligen Perioden im Juli und einzelnen Nächten auch im August, in denen die Nachtlüftung nicht in Betrieb geht, weil entweder die nächtlichen Außentemperaturen zu hoch oder die gleitende Außentemperatur zu niedrig sind.

Die folgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse:

	Haus 1	Haus 2
Luftvolumenstrom des Ventilative Cooling (lt. Herstellerangabe und lt. Kontrollmessung)	22.000 m ³ /h	11.000 m ³ /h
Leistungsaufnahme der Ventilatoren (lt. Messung an einem Ventilator)	1.040 W	520 W
Betriebssunden der Ventilatoren (lt. Berechnung)	601 h/a	601 h/a
Abgeführte Kühlenergie	23,2 MWh/a	11,6 MWh/a
Nutzflächenbezogene abgeführte Kühlenergie bezogen auf die direkt konditionierten Gangflächen	23,3 kWh/m ² _{NFA}	15,5 kWh/m ² _{NFA}
Nutzflächenbezogene abgeführte Kühlenergie bezogen auf die indirekt konditionierten Wohnflächen	2,6 kWh/m ² _{NFA}	1,8 kWh/m ² _{NFA}
Elektrischer Energiebedarf der Ventilatoren	624 kWh/a	312 kWh/a
Elektrischer Energiebedarf der Regelung und Fensterantriebe	350 kWh/a	175 kWh/a
Elektrisches Wirkverhältnis (analog EER einer Kältemaschine)	24	24

Tabelle 2: Ergebniskennzahlen der Nachtlüftung Lorenz-Reiter Straße

2.2.3.2 Diskussion und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse, die auf einer Kombination von Messungen und simulationsgestützten Extrapolationen der Messergebnisse beruhen, weisen eine gute Funktion der Nachtlüftung zur thermischen Entladung der Gebäudekerne aus:

- Die Temperatur der Gänge wird spürbar, um mehrere Grade, gesenkt.
- Es werden im Jahresverlauf Wärmemengen in der Größenordnung von insgesamt 15,8 MWh/a abgeführt. Bezogen auf die Nutzfläche der direkt konditionierten Gänge ergibt sich daraus eine jährliche nutzflächenbezogene Kühlenergie von 16 bis 23 kWh/m²_{NFA} (Haus 2 und Haus 1). Bezogen auf die indirekt konditionierte Nutzfläche der Wohnungen reduziert sich diese jährliche nutzflächenbezogene Kühlenergie auf 1,8 bis 2,6 kWh/m²_{NFA}.)
- Als besonders erfreuliches Ergebnis bestätigt sich die Planungsabsicht, wonach der Strombedarf der elektrischen Komponenten (Ventilator, Regelung und Stellantriebe) nur anteilig einen kleinen Teil der Kühlenergie ausmachen. Konkret wird das elektrische Wirkverhältnis zwischen Kühlenergie und elektrischem Energieaufwand mit dem hervorragenden Wert von 24 abgeschätzt.

Das System der mechanisch unterstützten Nachtlüftung von innenliegenden Erschließungsgängen kann daher für die Anwendung bei Nachfolgeprojekten uneingeschränkt empfohlen werden.

Erfolgsfaktoren der Anlage, die auch bei Nachfolgelösungen beizubehalten sind, sind

- die Ausführung ausreichend großer Zuluftöffnungen,
- die Ausführung ausreichend großer Überströmöffnungen und
- das bestmögliche Vermeiden langer Kanalstrecken und druckverlustbehafteter Einbauten.

2.2.3.3 Low Cost – No Cost Optimierungsmöglichkeiten

Für die bestehende Anlage bestehen folgende Optimierungsmöglichkeiten mit geringem beziehungsweise, ohne zusätzlichen Kostenaufwand

- Erweiterung der Freigabezeit der Nachtlüftung bis 07:00.
- Vollständige Stilllegung der Nachtlüftung in den Monaten Oktober bis April.

2.2.4 Büroeinheit in einem Wiener Wohn- und Bürohaus

Bei dem untersuchten Objekt handelt es sich um Büroräumlichkeiten in einem mehrgeschoßigen Gebäude mit gemischter Büro- und Wohnnutzung. Das Gebäude wurde im Jahr 1971 errichtet. Es wurde als Betonhohlstein- und Durisolgebäude mit Vollwärmeschutz von 16 cm Dicke errichtet. Der Fensteranteil der Fassade beträgt ca. 30%.

Die untersuchten Räumlichkeiten wurden im Herbst 2010 für Büronutzung adaptiert. Das Büro besteht aus drei, in einem Großraum zusammenhängend angeordneten Gruppenbüros, einem davon separiertem Besprechungsraum, sowie WC Anlage und Teeküche auf insgesamt etwa 150 m² Nutzfläche.

Es wurde eine mechanische Wohnraumlüftung mit Zu- und Abluft und mit Wärmerückgewinnung sowie zusätzlich eine mechanische Lüftungsanlage für die Ventilative Nachtkühlung eingebaut.

Die Wohnraumlüftung ist außerdem auch mit einer technischen Kälteerzeugung aus einer außenaufgestellten Luft-Wasser-Kältemaschine ergänzt, welche die mechanisch eingebrachte Zuluft in Hitzeperioden über einen Wasser-Luft-Wärmetauscher kühlt.



Abbildung 2-13: Gebäude Lassallestraße 2, Quelle: Prater Apartments ¹

Die Anlage zur Nachtlüftung weist eine AUL-Ansaugung aus der Außenwand, ZUL-Ventilator und ZUL-Einblasung über drei ZUL-Gitter sowie ABL-Absaugung über zwei ABL-Gitter, ABL-Ventilator und Ausblasung der FOL über die Außenwand auf.

- AUL-Ansaugung: Jalousieklappe 40x40 cm, Schalldämpfer
- AUL-Luftführung: Eckiger Luftkanal, 40x40 cm, Länge $l_{AUL} = 4$ m, 2 Stück 90°-Bögen
- ZUL-Ventilator: Wechselstrommotor, Leistungsaufnahme $P_{el} = 300$ W, Luftvolumenstrom $V = 1.800$ m³/h
- ZUL-Luftführung: Runder Luftkanal, $d = 40$ cm, Mittlere Länge $l_{AUL} = 4$ m, zwei 90°-Bögen
- ZUL-Einblasung: Gitter über Rohrstutzen Durchmesser 31,5 cm
- ABL-Ansaugung: Gitter über Rohrstutzen Durchmesser 31,5 cm

¹ Quelle: <http://www.praterapartments.com/> (11.10.2016)

- ABL-Luftführung: Runder Luftkanal, $d = 40 \text{ cm}$, Mittlere Länge $l_{\text{AUL}} = 2 \text{ m}$, ein 90° -Bögen,
ABL-Ventilator: Wechselstrommotor, Leistungsaufnahme $P_{\text{el}} = 290 \text{ W}$,
Luftvolumenstrom nicht gemessen, Annahme von $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$
FOL-Luftführung: Eckiger Luftkanal, $40 \times 40 \text{ cm}$, Länge $l_{\text{AUL}} = 3 \text{ m}$, ein 90° -Bogen, 2 Schalldämpfer
FOL-Ausblasung: Wetterschutzgitter, $40 \times 40 \text{ cm}$

Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Luft in dem $D = 40 \text{ cm}$ ZUL-Kanal wurde messtechnisch mit $3,8 \text{ m/s}$ ermittelt. Der Volumenstrom der Nachtlüftung ergibt sich daraus zu $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$.

Die Regelung des Ventilative Cooling ist wie folgt eingestellt: Ventilative Cooling erfolgt zwischen elf Uhr abends und sechs Uhr morgens, wenn die Temperatur im Büro $> 22^\circ\text{C}$ beträgt und wenn gleichzeitig die Temperatur im Büro um zumindest 2 K über der Außentemperatur liegt.



Abbildung 2-14: Komponenten der Nachtlüftung (v.l.n.r.): AUL-Ansaugung, ZUL-Gitter

Die folgende Tabelle fasst die Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung zusammen.

Geometrischer Öffnungsquerschnitt der Zuluft	0,16 m ²
Luftvolumenstrom des Ventilative Cooling	1.800 m ³ /h
Von VC bewirtschaftete Nutzfläche	150 m ²
ZUL Öffnungsquerschnitt, bezogen auf die belüftete Nutzfläche	0,1 %
Raumhöhe	2,8 m
Luftwechsel, bezogen auf die von VC bewirtschaftete Nutzfläche	4,3 h ⁻¹

Tabelle 3: Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung Lassallestraße

2.2.4.1 Messungen und Berechnungen

Gemessen wurden während einer spätsommerlichen Warmperiode die zeitlichen Verläufe der Außentemperatur und der Innenlufttemperatur nahe dem Abluftgitter. Die Messungen erfolgten in den drei aufeinanderfolgenden Nächten von 19. bis 22. August 2016.

Gemessen wurde außerdem die elektrische Leistungsaufnahme beider Ventilatoren.

Berechnet und mit den Messergebnissen abgeglichen wurde der Jahresverlauf der Innenlufttemperaturen. Es wurde berücksichtigt, dass das Büro auch mechanisch gekühlt wird und erfahrungsgemäß Innentemperaturen von 26°C nie überschreitet.

Unter Berücksichtigung eines langjährig charakteristischen Klimadatensatz des Standorts Wien werden daraus die Ergebniskennzahlen der Kühlenergie und der Kühlleistung sowie des Wirkverhältnisses zwischen Kühlenergie und elektrischem Energieaufwand abgeleitet.

Die folgenden Diagramme dokumentieren die Messergebnisse der Temperaturen bei Nachtlüftung.

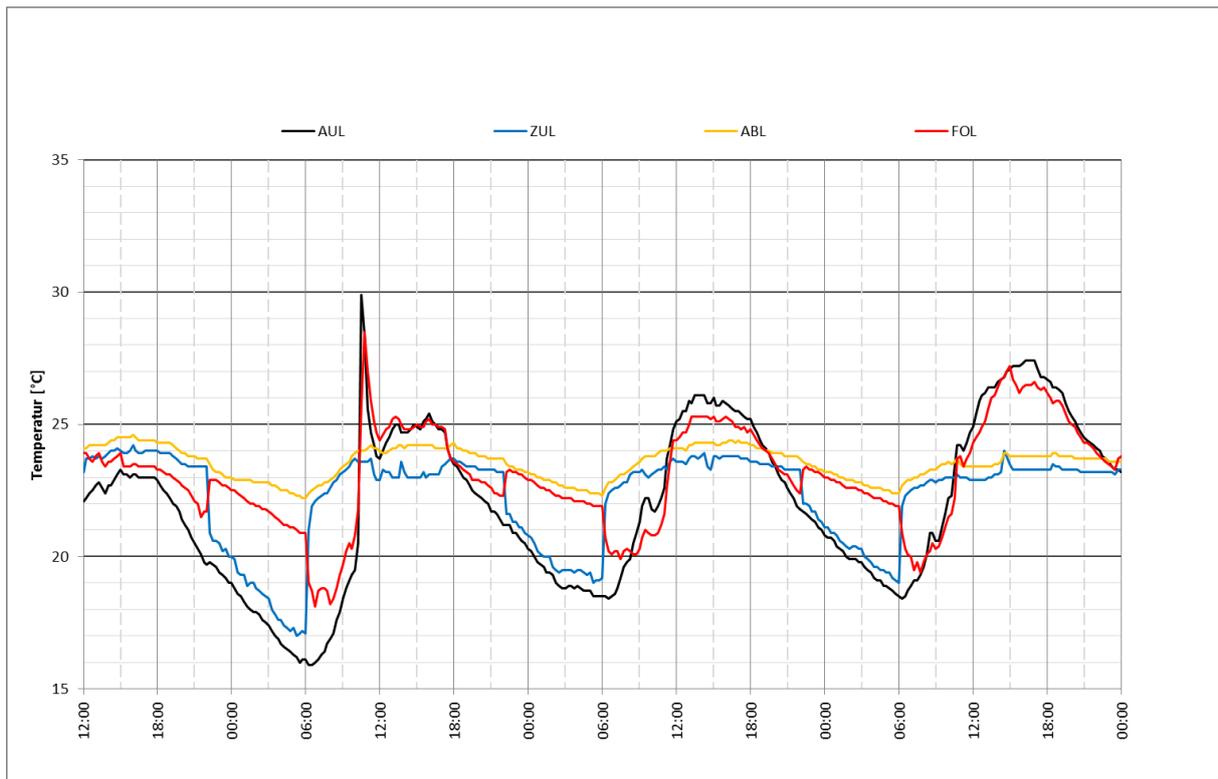


Abbildung 2-15: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung

Erkennbar ist der Effekt der Nachtlüftung, wonach die Innenraumtemperatur, gemessen in der Nähe des Abluftgitters, während der Nachtlüftung um ca. 1 K gesenkt wird. In Hochsommerphasen, also bei einer höheren Ausgangstemperatur des Innenraums, ist ein stärkerer Effekt zu erwarten und wird von den NutzerInnen des Büros auch berichtet.

Erkennbar ist auch, dass der Einschaltzeitpunkt mit 22:00 und der Ausschaltzeitpunkt 06:00 gut gewählt sind.

Für die Ableitung von Jahreskühlenergien wird ein charakteristischer Klimadatensatz von Wien herangezogen und werden charakteristische Innenlufttemperaturen während der Nachtkühlung nach dem folgenden Algorithmus abgeleitet:

Aus dem Verlauf der Außentemperatur wird der gleitende Mittelwert der Außentemperatur im Sinne von EN 15251 (2007) gebildet. Es wird darauf aufbauend angenommen, dass die Innenlufttemperatur bis zu einem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur von 19°C eine Temperatur von konstant 20°C einnimmt und dass sie bei Überschreitungen der gleitenden Mittelwerte der Außentemperatur über diese 19°C um diese Differenz, abgemindert um einen Faktor 0,75 nach oben verschiebt. Mit diesem Faktor wird die mittlere Abkühlung während der Nachtlüftung berücksichtigt.

Als Obergrenze der Innenlufttemperatur wird die Kühlgrenztemperatur von 26°C berücksichtigt, die mit der aktiven Kühlung sichergestellt wird.

Aus dieser Festsetzung ergibt sich das nachfolgend dargestellte Zusammenspiel von Außentemperatur und Innenlufttemperatur.

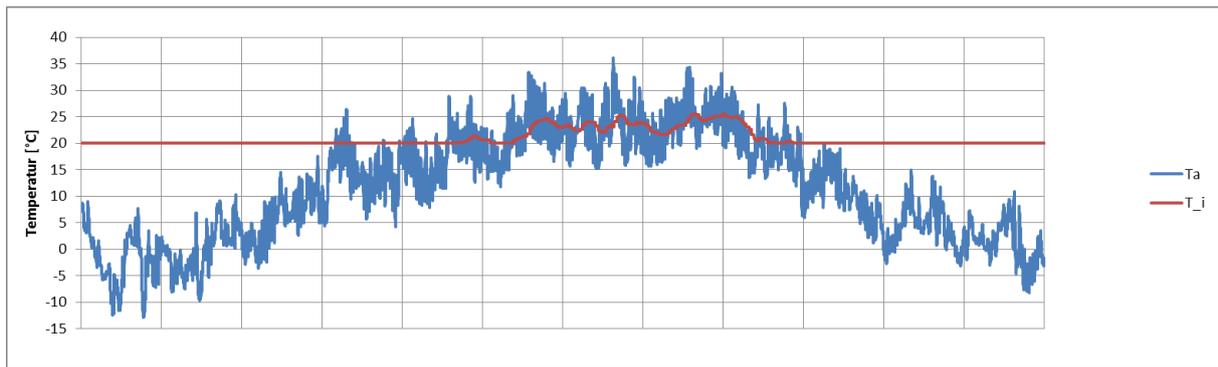


Abbildung 2-16: Verlauf von Außen- und Gangtemperatur für Jahresberechnungen

Erkennbar ist, dass die so angenommene Innenlufttemperatur gut mit den gemessenen Temperaturen während der Messperiode korreliert.

Aus dieser Festsetzung der Temperaturverläufe und mit Berücksichtigung der eingestellten Regelparameter wird die jährlich abgeführte Wärmemenge wie folgt errechnet:

$$Q_c = \sum_{\text{Einschaltstunden}} (\dot{V} \cdot c_p \cdot \Delta T)$$

Q_c ... Jährliche Kühlenergie

V ... Luftvolumenstrom der Nachtkühlung

C_p ... spezifische Wärmekapazität der Luft

ΔT ... Temperaturdifferenz zwischen Gang- und Außentemperatur.

Mit dem konstanten Luftvolumenstrom des Abluftventilators von 1.800 m³/h und mit der spezifischen Wärmekapazität von Luft von 0,34 Wh/m³K ergibt sich für den Ventilator eine jährlich abgeführte Kühlenergie von 1,2 MWh/a bei einer jährlichen Betriebszeit von 428 Stunden und somit einer mittleren Wärmeentzugsleistung von 2,8 kW.

Bezogen auf die bewirtschaftete Nutzfläche von 150 m² ergibt sich eine nutzflächenspezifische Kühlenergie von 8 kWh/m²_{NFA}.

Der abgeführten Kühlenergie wird die Antriebsenergie der Ventilatoren gegenüber gestellt. Sie wurde in einer Vorortmessung an beiden Ventilatoren (ZUL und ABL) ermittelt. Die vom ZUL-Ventilator aufgenommene elektrische Wirkleistung beträgt 300 W. Die vom ABL-Ventilator aufgenommene Wirkleistung beträgt 290 W.

Es liegt also eine spezifische Leistungsaufnahme von 0,33 W/(m³h⁻¹) vor.

Bei einem angenommenen Ventilatorwirkungsgrad von 60% ergäbe sich eine korrelierende Gesamtspannung des Systems von 1.180 Pa, was nicht realistisch erscheint und was daher auf deutlich schlechtere Ventilatorwirkungsgrade deutet.

Mit dem ermittelten Wert von 428 jährlichen Betriebsstunden der Nachtlüftung ergibt sich ein jährlicher Antriebsenergiebedarf von 253 kWh je Ventilator.

Nicht berücksichtigt ist dabei der Energieverbrauch der Regelung. Er wird vorsichtig je Ventilator mit einem Aufschlag einer Dauerleistung von 3 W über das gesamte Jahr berücksichtigt. Es ergibt sich daraus ein zusätzlicher Strombedarf von 26 kWh/a.

Der Jahresnutzungsgrad der Nachtlüftung erreicht somit den Wert von 4,3 errechnet aus $1.208 \text{ kWh}_{\text{Kühlenergie}} / (253 \text{ kWh}_{\text{Antriebsenergie Ventilator}} + 26 \text{ kWh}_{\text{Antriebsenergie Regelung}})$.

Die Abfuhr an thermischer Energie ist demnach 4,3-mal größer als die Zufuhr elektrischer Energie.

Sehr gute Kältemaschinen erreichen unter günstigsten Betriebsbedingungen für die reine Kälteerzeugung Werte des vergleichbaren Kennwerts der EER (Energy Efficiency Ratio) von 10, worin Ventilatorleistungen zur Luftförderung noch nicht enthalten sind.

Der erzielte Wert des Jahresnutzungsgrades der Nachtlüftung von 4,3 ist unerwartet niedrig. Zielwerte liegen in der Größenordnung von 15 und darüber.

Eine Darstellung der Verläufe der Außentemperatur, der Gangtemperatur und der Einschaltzeiten der Nachtlüftung zeigt die folgende Abbildung, eingegrenzt auf die Monate Mai bis Oktober.

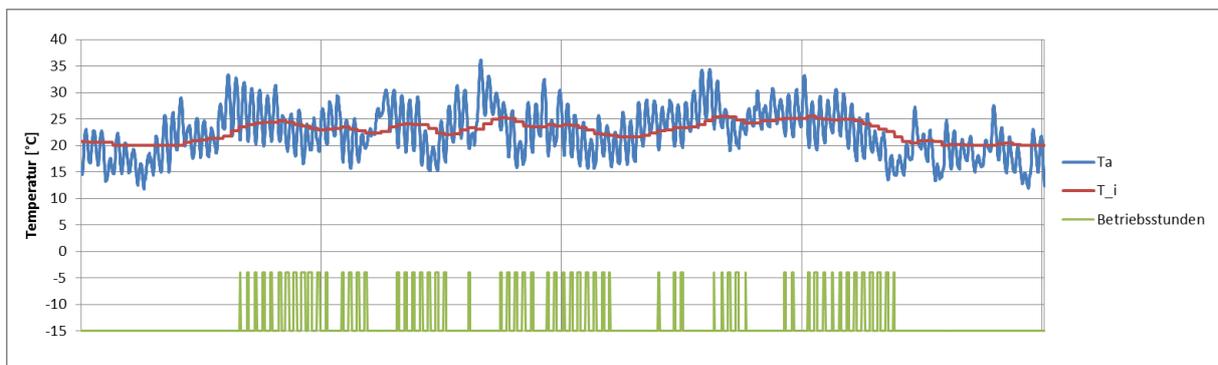


Abbildung 2-17: Temperaturverhältnisse und Einschaltzeiten des VC im Zeitraum Mai bis Oktober

Erkennbar ist der plausibel angenommene Verlauf der Gangtemperatur (rote Linie) über dem Verlauf der stündlichen Außentemperatur (blaue Linie).

In grün dargestellt sind die Stunden mit Betrieb der Nachtlüftung. Es zeigt sich plausibel ein häufiger Betrieb in den Nächten zwischen Mitte Juni und Mitte September, mit zwei auffälligen Perioden im Juli und August, in denen die Nachtlüftung nicht in Betrieb geht, weil die nächtlichen Außentemperaturen im Vergleich zu den Innenraumtemperaturen zu hoch sind.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der diskutierten Kennzahlen:

Luftvolumenstrom des Ventilative Cooling (lt. Messung)	1.800 m ³ /h
Leistungsaufnahme der Ventilatoren (lt. Messung)	590 W
Betriebsstunden der Ventilatoren (lt. Berechnung)	428 h/a
Abgeführte Kühlenergie	1,2 MWh/a
Nutzflächenbezogene abgeführte Kühlenergie	8 kWh/m ² _{NF} a
Elektrischer Energiebedarf der Ventilatoren	253 kWh/a
Elektrischer Energiebedarf der Regelung und Fensterantriebe	26 kWh/a
Elektrisches Wirkverhältnis (analog EER einer Kältemaschine)	4,3

Tabelle 4: Ergebniskennzahlen der Nachtlüftung Lassallestraße

2.2.4.2 Diskussion und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse, die auf einer Kombination von Messungen und simulationsgestützten Extrapolationen der Messergebnisse beruhen, weisen mit einer nutzflächenbezogenen jährlichen Kühlwärmeabfuhr von 8 kWh/m²_{NF}a eine gute thermische Wirkung auf, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Nachtlüftung nur ergänzend zur mechanischen Kühlung eingesetzt werden kann.

Der elektrische Energieverbrauch für Ventilatorantrieb und Regelung fällt mit 369 kWh/a aber unerwartet hoch aus, woraus das niedrige elektrische Wirkverhältnis von 4,9 abzuleiten ist.

2.2.4.3 Low Cost – No Cost Optimierungsmöglichkeiten

Es wurde aufgrund des ungünstigen Wirkungsverhältnisses beschlossen, den Ursachen dieser unerwartet hohen elektrischen Leistungsaufnahme auf den Grund zu gehen und diese zu beheben.

- Erstens soll die Bestimmung der elektrischen Wirkleistung der Ventilatoren mit einer direkten Wirkleistungsmessung, also einer Strom- und Spannungsmessung im Zeitverlauf, überprüft werden.
- Zweitens soll die Druckerhöhung an beiden Ventilatoren gemessen werden. Daraus kann die Frage geklärt werden, ob die Leistungsaufnahme unerwartet hohen Strömungswiderständen im Luftkanalsystem geschuldet ist, oder ob die Ventilatereinheit einen ungewöhnlich niedrigen Wirkungsgrad aufweist.
- Es werden Überlegungen angestellt, das System der Nachtlüftung in seiner Effizienz auch strukturell zu verbessern. Denkbar ist insbesondere, den ZUL-Ventilator samt aller Kanaleinbauten mit Ausnahme der Jalousieklappe auszubauen und die ZUL frei nachströmen zu lassen.

Anhang - Experimentelle Entwicklung

technischer Ventilative Cooling Komponenten

2.3 Adiabatischer Tischventilator mit Quellluftauslass

Die Steigerung der individuellen thermischen Behaglichkeit von NutzerInnen, im Sinne des „Adaptive Comfort Models“, mit dem globalen Ziel Energie zur Gebäudekonditionierung einzusparen, bildet die Grundlage der vorliegenden Technologieentwicklung. Dabei kommt ein Tischventilator zum Einsatz, der behaglichkeitssteigernd auf eine, an einem Tisch sitzend, tätigen Person wirken soll.

Aus dem Stand der Technik sind beispielsweise Tischventilatoren bekannt geworden, die sich das Prinzip der ventilativen Kühlung zu Nutze machen. Ventilative Kühlung bezeichnet das, durch bewegte Luft hervorgerufene, Phänomen der erhöhten Wärmeabfuhr von der Hautoberfläche. Um diesen Effekt zu verstärken wird die Luft adiabatisch vorgekühlt.

Um dieses Prinzip, dessen Anwendung in der Gebäudetechnik vielfach eingesetzt wird, in kleinerem Maßstab zu erproben wurden Vorversuche durchgeführt.

2.3.1 Vorversuch 01

Um die angestrebte Temperaturabsenkung der Zuluft von 2,5 K durch adiabatische Kühlung zu erreichen, muss diese um etwa 9 g pro kg Luft und Stunde befeuchtet werden. Um dies mit geringem technischem Aufwand zu bewerkstelligen wurden unterschiedliche Versuchsanordnungen untersucht.

2.3.1.1 Hypothese/Frage

Wie viel Wasser verdunstet durch ein Tongefäß im Verlauf eines Arbeitstages (8 Stunden)?

Annahme: bis 5 g/h

2.3.1.2 Versuchsaufbau

Zwei mit Wasser gefüllte Terrakotta Tongefäße werden als Verdunstungsgefäße eingesetzt. Die Verdunstung an der Außenseite soll durch den Einsatz eines handelsüblichen PC Ventilators maximiert werden. Das zweite Gefäß dient als Referenzobjekt und wird nicht zusätzlich belüftet.

- Terrakottatöpfe: Oberer Durchmesser = 11.5cm
- Ventilator: Thermaltake Luna12 (Fan speed 1200 R.P.M; max. air flow 1.32mm-H2O)
- Gleichstromtransformator: 230 V → 2-14V; 1A
- Abdeckung für Gefäße: handelsübliche PE-Folie mit Gummiringen befestigt



Abbildung 2-18: Versuchsaufbau 01



Abbildung 2-19: Offenes Terrakottagefäß mit Ventilator

2.3.1.3 Messmethode

Die Menge des verdunsteten Wassers wird durch regelmäßiges wägen des Tongefäßes ermittelt und festgehalten. Ein Temperaturlogger zeichnet den Verlauf der Umgebungstemperatur auf.

Verwendete Messinstrumente:

- Wage: MAUL alpha (1g)
- Thermometer: Testo 174T (0.1K)



Abbildung 2-20: Messinstrumente

2.3.1.4 Ergebnisse

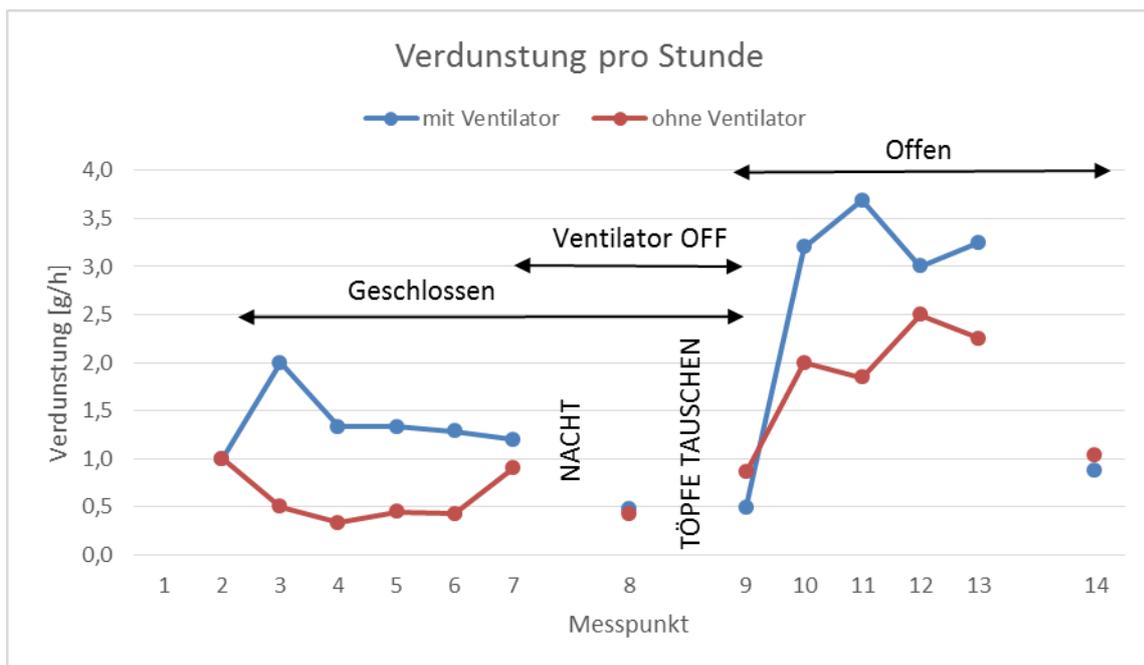


Abbildung 2-21: Diagramm Verdunstungsleistung Vorversuch 01

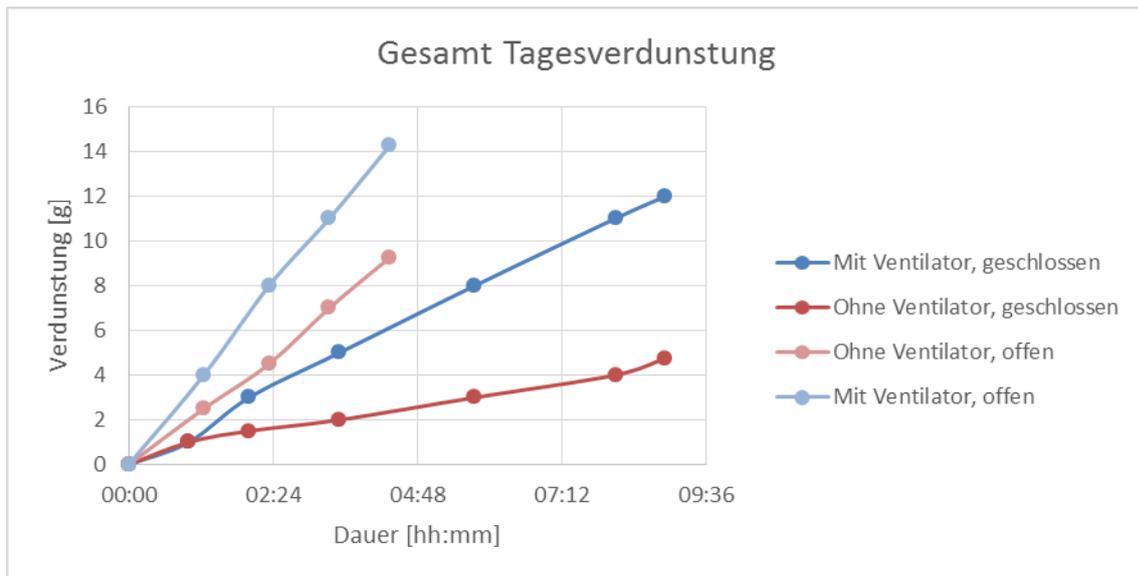


Abbildung 2-22: Diagramm Tagesverdunstung gesamt

2.3.1.5 Schlussfolgerungen

Verdunstungsmenge:

- mit Ventilator:
 - abgedeckt 1(0) g/h
 - geöffnet 3(1) g/h
- ohne Ventilator
 - abgedeckt 1(0) g/h
 - geöffnet 2(1) g/h

Die Verdunstungsmenge ist deutlich kleiner als erwartet und die Gewichtsmessungen sind für diese geringen Mengen wahrscheinlich zu ungenau.

Um die Verdunstungsleistung zu erhöhen muss die Versuchsanordnung oder das Material des Verdunstungsbehälters geändert werden. Denkbar sind weitere Versuche mit Tongefäßen, die eine größere Permeabilität aufweisen.

2.3.2 Vorversuch 02

2.3.2.1 Hypothese/Frage

Wie viel Wasser verdunstet durch ein Tongefäß im Verlauf eines Arbeitstages?

Annahme: mehr als 3 g/h

2.3.2.2 Versuchsaufbau

Ventilator: Thermaltake Luna12 (Fan speed 1200 R.P.M; max. air flow 1.32mm-H2O)

Transformator: 230 V → 2-14V; 1A

Terrakottatöpfe: Oberer Durchmesser = 11.5cm

Ventilator über den Gefäß angeordnet, keine Abdeckung

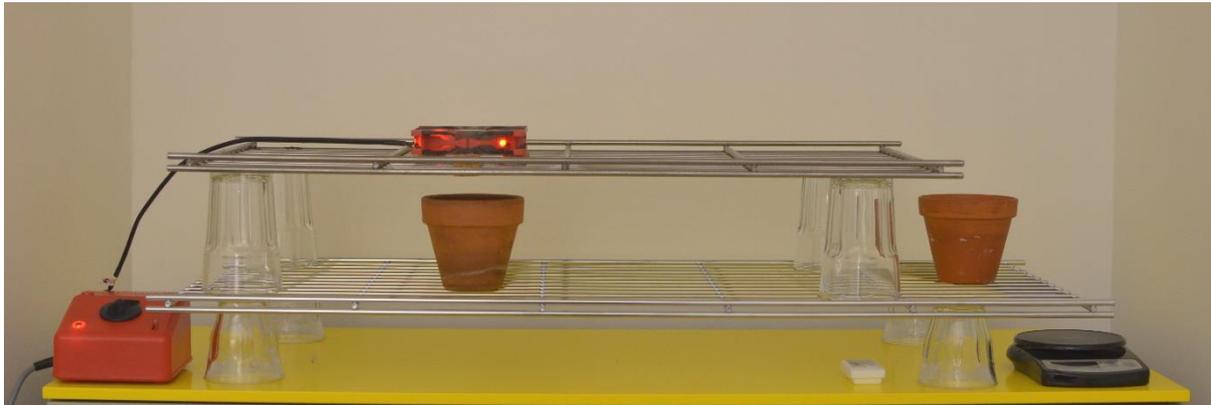


Abbildung 2-23: Versuchsaufbau 02

2.3.2.3 Messmethode

Die Menge des verdunsteten Wassers wird durch regelmäßiges wägen des Tongefäßes ermittelt und festgehalten. Ein Temperaturlogger zeichnet den Verlauf der Umgebungstemperatur auf.

Verwendete Messinstrumente:

- Wage: MAUL alpha (1g)
- Thermometer: Testo 174T (0.1K)

2.3.2.4 Ergebnisse

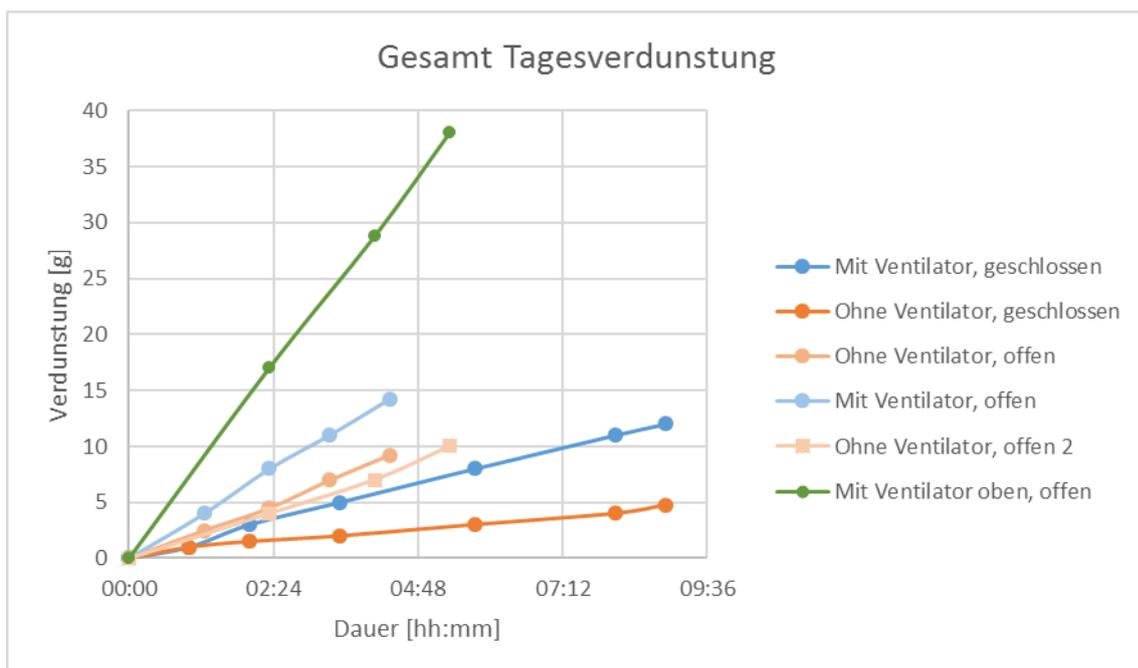


Abbildung 2-24: Tagesverdunstung gesamt

2.3.2.5 Ergebnisse/Schlussfolgerungen

Verdunstung: 7 g/h

Die Verdunstungsleistung ist deutlich höher als bei Vorversuch 01 (mit Ventilator unter dem Gefäß).

Nachfolgende Versuche werden mit dieser Konfiguration durchgeführt.

2.3.3 Vorversuch 03

2.3.3.1 Hypothese/Frage

Reicht die verdunstete Wassermenge um die erwünschte Temperaturreduktion von 2 K zu bewerkstelligen?

2.3.3.2 Versuchsaufbau

Ventilator: Thermaltake Luna12 (Fan speed 1200 R.P.M; max. air flow 1.32mm-H₂O)

Transformator: 230 V → 2-14V; 1A

Luftkanal: PVC-Rohr mit Luftauslassöffnung (A = 20 cm²)

Terrakottatopf: Oberer Durchmesser = 11.5cm

Ventilator auf dem Rohr, über dem Terrakottagefäß positioniert, keine Abdeckung

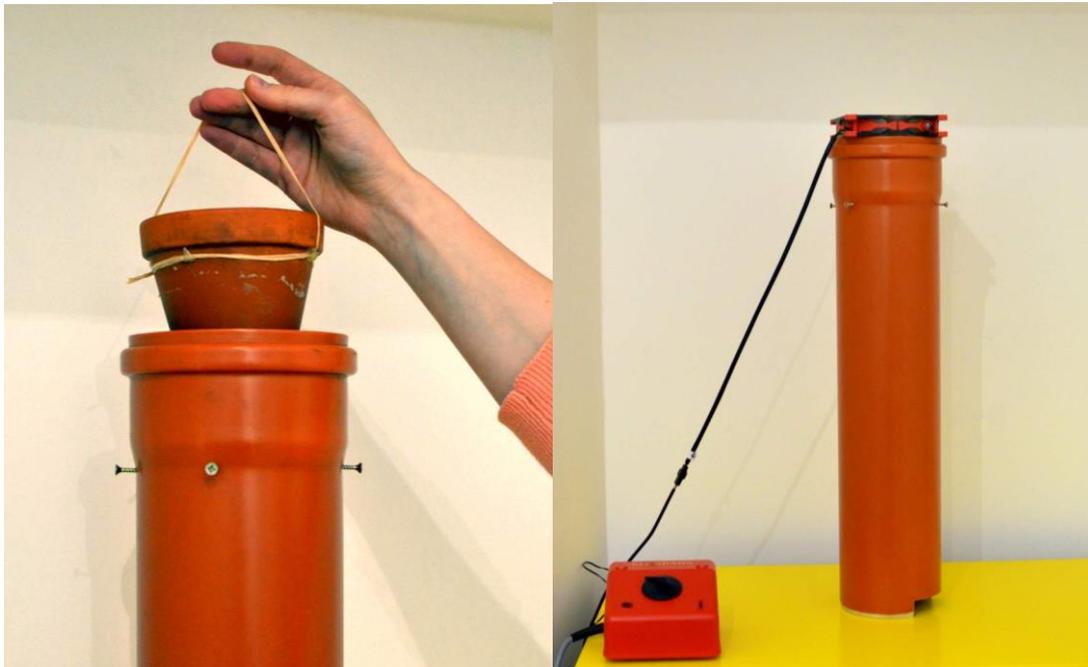


Abbildung 2-25: Versuchsaufbau



Abbildung 2-26: Messungen in Abhängigkeit der Distanz zur Ausblasöffnung

2.3.3.3 Messmethode

Die Menge des verdunsteten Wassers wird durch Messung des absoluten Feuchtegrades der ausströmenden Luft ermittelt und protokolliert. Es wird darauf geachtet die Luftgeschwindigkeit von etwa 1 m/s in 15 cm Entfernung, von der Ausblasöffnung gemessen, nicht zu überschreiten. Ein Temperaturlogger zeichnet den Verlauf der Umgebungstemperatur auf.

Verwendete Messinstrumente:

- Testo Hitzedrahtsonde
- Testo 480
- Testo 174T (0.1 K)

2.3.3.4 Ergebnisse

Im Verlauf des Experiments wurden mehrere Konfigurationen, wie etwa die Vergrößerung der verdunstungswirksamen Oberfläche, ausprobiert um die Verdunstungsmenge weiter zu maximieren. Die angestrebte Menge konnte jedoch in keinem Fall erreicht werden. Demnach fällt bei einer Verdunstung von 7,3 g Wasser pro Stunde die maximal erreichte, effektive Temperaturabsenkung mit -0,8 K auch weit unter dem errechneten Sollwert aus.

Die Herausforderung der Entwicklung eines Verdunstungskörpers, der technisch einfach hergestellt werden kann, die erforderliche Verdunstung ermöglicht und auch den sonstigen Anforderungen (wie etwa Hygiene) entspricht, bleibt bestehen und konnte in diesem Versuch nicht ausreichend erforscht werden.

3 VERZEICHNISSE

3.1 Literaturverzeichnis

D. Springer, B. Dakin, A. German, Alliance for Residential Building Innovation; "Measure Guideline: Ventilation Cooling"; US Department of Energy; 2012

3.2 Abbildungsverzeichnis

Falls nicht anders angegeben wurden die Abbildungen eigens angefertigt.

Abbildung 2-1: Ansicht Südostfassade mit offenbarem Flügel Teistlergutstraße.....	8
Abbildung 2-2: Innenansicht offenbarer Schwingflügel mit außenliegendem Wetterschutz	9
Abbildung 2-3: Außenansicht aus Südwest Wallenbergstraße	10
Abbildung 2-4: Innenansicht Fixverglasung mit Kippflügel.....	11
Abbildung 2-5: Außenansicht aus Südwest Orionstraße	12
Abbildung 2-6: Innenansicht Notausgang mit Kippflügel	12
Abbildung 2-7: WHA Lorenz Reiterstraße Bauplatz 1	13
Abbildung 2-8: Komponenten der Nachtlüftung (v.l.n.r.): ZUL-Fenster, ABL-Anlage mit FOL-Gitter	14
Abbildung 2-9: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung in Haus 1	16
Abbildung 2-10: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung in Haus 2	16
Abbildung 2-11: Verlauf von Außen- und Gangtemperatur Juni-Sept für Jahresberechnungen.....	17
Abbildung 2-12: Temperaturverhältnisse und Einschaltzeiten des VC im Zeitraum Mai bis Oktober ...	19
Abbildung 2-13: Gebäude Lassallestraße 2, Quelle: Prater Apartments	22
Abbildung 2-14: Komponenten der Nachtlüftung (v.l.n.r.): AUL-Ansaugung, ZUL-Gitter	23
Abbildung 2-15: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung	25
Abbildung 2-16: Verlauf von Außen- und Gangtemperatur für Jahresberechnungen	26
Abbildung 2-17: Temperaturverhältnisse und Einschaltzeiten des VC im Zeitraum Mai bis Oktober ...	27
Abbildung 3-1: Versuchsaufbau 01.....	30
Abbildung 3-2: Offenes Terrakottagefäß mit Ventilator.....	30
Abbildung 3-3: Messinstrumente	31
Abbildung 3-4: Diagramm Verdunstungsleistung Vorversuch 01	31
Abbildung 3-5: Diagramm Tagesverdunstung gesamt	32
Abbildung 3-6: Versuchsaufbau 02.....	33
Abbildung 3-7: Tagesverdunstung gesamt	33
Abbildung 3-8: Versuchsaufbau.....	34
Abbildung 3-9: Messungen in Abhängigkeit der Distanz zur Ausblasöffnung.....	35

3.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung Lorenz-Reiter Straße	15
Tabelle 2: Ergebniskennzahlen der Nachtlüftung Lorenz-Reiter Straße.....	20
Tabelle 3: Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung Lassallestraße	24
Tabelle 4: Ergebniskennzahlen der Nachtlüftung Lassallestraße	28

4 Anhang zum Bericht Technologieentwicklung

Anhang AP3 1-2	Besichtigungsprotokoll Bildungscampus Sonnwendviertel
Anhang AP 3 1-3	Besichtigungsprotokoll Linzer Projekte