

# IEA Energy in Buildings and Communities (EBC)“ Annex 62: Ventilative Kühlung

Arbeitsperiode 2013 - 2017

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

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

# 41/2017

## **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 Energy in Buildings and Communities (EBC)“ Annex 62: Ventilative Kühlung

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, Daniela Bachner, MSC,  
DI Christoph Lugmeyer, DI (FH) Paul Lampersberger  
e7 Energie Markt Analyse GmbH

Wien, Juli 2017

**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](http://www.nachhaltigwirtschaften.at) gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis

---

## Inhalt

1.	Kurzfassung.....	5
1.1.	Behandelte Problematik und Ausgangssituation .....	5
1.2.	Geplante Ziele und gewählte Methode .....	5
1.3.	Ergebnisse und Erkenntnisse .....	5
2.	Abstract .....	7
2.1.	Background and Justification .....	7
2.2.	Objectives and Methods .....	7
2.3.	Results and Outcomes .....	7
3.	Einleitung.....	9
3.1.	Ausgangssituation .....	9
3.2.	Aufbau des Ergebnisberichts.....	10
4.	Hintergrundinformation zum Projektinhalt.....	10
4.1.	Österreichisches Projektkonsortium .....	11
4.1.1.	Institute of Building Research & Innovation .....	11
4.1.2.	e7 Energie Markt Analyse GmbH.....	12
4.2.	Internationale und nationale Projektziele .....	13
4.3.	Methodik.....	14
5.	Ergebnisse des Projektes .....	14
5.1.	State Of The Art Review (SOTAR) .....	14
5.2.	Technologieprofil und R&D-Roadmap.....	15
5.2.1.	Theoretische Potenzialanalyse .....	15
5.2.2.	Praktische Funktionsanalyse .....	18
5.2.3.	Österreichische R&D Roadmap für Ventilative Cooling.....	26
5.3.	Technologieentwicklung Ventilative Cooling .....	28
5.3.1.	Funktionsevaluierung an Gebäuden .....	28
5.4.	Case Studies und Langzeitmonitoring .....	42
5.4.1.	Fallbeispiel Langzeitmonitoring Universität Innsbruck .....	42
5.4.2.	Fallbeispiel Langzeitmonitoring Windkraft Simonsfeld .....	50
5.5.	Leitfaden für Ventilative Kühlung.....	53
5.5.1.	Aufbau des Leitfadens.....	53

5.5.2.	Prinzipien des ventilativen Kühlens .....	53
5.5.3.	Komponenten .....	56
5.5.4.	Komponenten zur Ermöglichung des Luftvolumenstroms.....	57
6.	Vernetzung und Ergebnistransfer .....	59
6.1.	Internationale Expert Meetings und IEA Vernetzungstreffen.....	59
6.2.	Internationales Ventilative Cooling Symposium Wien .....	59
7.	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen .....	60
8.	Verzeichnisse .....	61
8.1.	Publikationen .....	61
8.2.	Literaturverzeichnis .....	61
8.3.	Abbildungsverzeichnis .....	62
8.4.	Tabellenverzeichnis .....	63

# 1. Kurzfassung

## 1.1. Behandelte Problematik und Ausgangssituation

Die aktuelle Entwicklung hin zu Nahezu Nullenergie Gebäuden (Nearly Zero Energy Buildings NZEBs) stellt die Gebäudeplanung vor neue Herausforderungen. Eine davon ist der steigende Bedarf an Kühlung in den notwendigerweise hochwärmegedämmten und luftdichten Gebäuden.

Ergänzend zu einer Beschränkung innerer und solarer Lasten kann Ventilative Kühlung eine kostengünstige und energieeffiziente Maßnahme zur Begegnung dieses Kühlbedarfs und zur Herstellung eines qualitativvollen Innenraumkomforts sein.

In der österreichischen Bautradition ist das erste Element ventilativer Kühlung, die Speichermassenbewirtschaftung durch Nachtlüftung, gut verankert, stößt in aktuellen Bauweisen und Umgebungssituationen aber oft an seine funktionalen Grenzen. Das zweite Element ventilativer Kühlung, die Anwendung des subjektiven Kühleffekts bewegter Luft, wird hingegen nur in Einzelfällen angewandt.

## 1.2. Geplante Ziele und gewählte Methode

Das vorliegende österreichische Forschungsprojekt zum internationalen Programm EBC Annex 62 – Ventilative Cooling setzt sich die Erforschung und Weiterentwicklung der ventilativen Kühlung zum Ziel; vor dem Hintergrund der spezifischen österreichischen Bautraditionen und Klimabedingungen, für die Anwendung in Sanierung und Neubau, für insbesondere Gebäude im Nahezu Nullenergie Gebäude (NZEB) Standard.

Erstens wurde eine systematische Untersuchung der theoretischen wie baupraktischen Potenziale, Leistungsparameter, Einsatzbereiche und Hemmnisse vorgenommen.

Zweitens wurden im Dialog mit österreichischen Technologieanbietern Beiträge zur Entwicklung neuer bzw. verbesserter Technologien der Ventilativen Kühlung geleistet,

Drittens wurde die reale Performance ventilativer Kühlung an exemplarischen österreichischen Leitprojekten dokumentiert und evaluiert.

## 1.3. Ergebnisse und Erkenntnisse

### Technologieprofil und R&D-Roadmap Ventilative Cooling

Nach Abschluss des State of the Art Reviews (SOTAR) wurden im österreichischen Projekt eine theoretische und eine praktische Potenzialanalyse durchgeführt. Durch Anwendung des „Ventilative Cooling Potential (VCP)“ Tools konnte eine Parameterstudie für die neun Klimastandorte der Landeshauptstädte in Österreich durchgeführt werden. Analysiert wurden Wohn- und Bürobauten sowie drei verschiedene bauphysikalische Gebäudestandards (Bestand, Niedrigenergiehaus und Niedrigstenergiehaus (NZEB)) Die Studie ergab, dass ein substantielles Potenzial für Ventilative Cooling in Österreich, sowohl im Bereich Wohnen als auch im Bereich Büronutzung besteht und, dass Klimawandeleffekte den Bedarf an aktivem Kühlen vergrößern werden, ohne aber den Nutzen ventilativen Kühlens zu schmälern. Im Zuge der praktischen Potenzialanalyse wurden zudem

ExpertInneninterviews sowie Begehungen von Umsetzungen von Ventilative Cooling in Österreich durchgeführt. Daraus wurde eine Stärken-Schwächen Analyse (SWOT) erstellt und eine Gebäudedatenbank für Ventilative Cooling aufgebaut.

Als größte Stärke von Ventilative Cooling wurde genannt, dass es eine sehr simple und ökonomische Methode, wie auch ein passives und effizientes Kühlsystem, das ohne Hilfsenergie auskommt, ist, einem geringen Wartungsaufwand und extrem geringer Endenergie bedarf. Die genannten Schwächen umfassten die Notwendigkeit von Schutzvorkehrungen gegen Einbruch, Insekten, Staub, Lärm und Schlagregen, die Klimaabhängigkeit des Systems und damit verbundene Begrenzung der Wirksamkeit der Methode an vereinzelt Tagen wie auch die Kapazitätsgrenze von Luft als Transport- beziehungsweise Speichermedium. Vereinzelt wurde auch die Benutzerabhängigkeit der Methode erwähnt, was jedoch nur für manuelle Systeme zutrifft. Auf den Ergebnissen aufbauend wurde die R&D Roadmap für Ventilative Cooling verfasst.

### **Technologieentwicklung Ventilative Cooling**

Die Weiterentwicklung von Ventilative Cooling Technologien im No-Cost- und Low-Cost-Bereich wurde durch die Ergebnisse von mehreren Kurzzeit-Monitorings in Gebäuden (umfassende Sanierungen und NZEB-Neubauten) getragen. Die Auswertungen verdeutlichten die Notwendigkeit sorgfältiger Auslegung und Bemessung der Ventilative Cooling Systeme, insbesondere bei mechanisch gestützter Nachtlüftung. Die Wirtschaftlichkeit der ventilativen Nachtkühlung ist in diesem Fall in hohem Maße vom Einsatz der elektrischen Energie für die Ventilatoren abhängig. Zudem zeigte sich, dass bei mechanisch gestützter Nachtlüftung die Begrenzung der operativen Phasen auf die Zeiten der größten Wirksamkeit (größter Temperaturunterschied innen zu außen) wichtig ist. Die erlangten Erkenntnisse wurden auch in kurzen Reporten zusammengefasst und den Gebäudebetreibern zur Verfügung gestellt.

### **Österreichischer Leitfaden Ventilative Cooling für NZEBs**

Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Analysen, Kurzzeit-Monitorings und Begehungen wurden für den österreichischen Leitfaden synthetisiert. Dieses kompakte Handbuch enthält praktische Informationen und Handlungsanweisungen für die Planung und Umsetzung von Ventilative Cooling. Mittels einer einfachen Entscheidungsmatrix und den beschriebenen Tools lässt sich die Implementierung von Ventilative Cooling bereits früh projektieren.

### **Fallstudien Ventilative Cooling**

Die Durchführung von Langzeit-Monitorings erfolgte in zwei Gebäuden über den Verlauf von mindestens einem Jahr, in einem NZEB-Neubau und einem umfassend saniertem Gebäude mit NZEB Standard. In beiden Projekten zeigte die Nachtlüftung eine gute Wirksamkeit. In einem der beiden Projekte wurde der Bedarf einer genauen Abstimmung mit den übrigen haustechnischen Anlagen deutlich. Zudem zeigte sich, dass die Überprüfung der voreingestellten Steuerungsparameter der Ventilativen Kühlung durch gezieltes Monitoring von großem Nutzen für die Performance sein kann. Die Ergebnisse wurden in ein international einheitliches Format überführt und werden nach Abschluss des Annex (Ende 2017) gesammelt als „Case Study Brochures“ publiziert.

## **2. Abstract**

### **2.1. Background and Justification**

The current development towards nearly-zero energy buildings (NZEBs) introduces a number of new challenges to design and construction. One of the major new challenges is the increased need for cooling arising in these highly insulated and airtight buildings.

In conjunction with the control of internal and solar loads, Ventilative Cooling offers a cost-effective and energy-efficient way to cope with increased needs for cooling and to support comfortable indoor climate.

Night ventilation, being one aspect of Ventilative Cooling is well known in Austria's building tradition, but it is facing structural limitations under the circumstances of modern building standards and outdoor climate situations. The second element of Ventilative Cooling, increased air speeds, is comparably not well-known in Austria so far.

### **2.2. Objectives and Methods**

The research project at hand is part of the international program EBC Annex 62 – Ventilative Cooling. It aims at research and further development of Ventilative Cooling, against the specific Austrian building tradition and climate situation, for use in both new buildings and refurbishment, with a special focus on Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs).

Firstly a systematic investigation has been conducted to specify the theoretical as well as the practical potentials and limitations of Ventilative Cooling.

Secondly, together with Austrian ventilation companies, strategies for development and improvement of Ventilative Cooling technologies were elaborated, prepared to lead to real industrial R&D.

Finally, the on-site performance of Ventilative Cooling has been investigated, monitored and published in well documented case studies.

### **2.3. Results and Outcomes**

#### **Technology profile and R&D-Roadmap Ventilative Cooling**

Following the State of the Art Review (SOTAR) analysis for the estimation of theoretical and practical potential of ventilative cooling have been carried out. A parameter study for nine locations in Austria have been conducted making use of the „Ventilative Cooling Potential (VCP)“ tool. The investigation took both residential and non-residential buildings as well as three different building standards, existing, low energy buildings and nearly zero energy buildings (NZEB), into account. The results showed the existence of substantial potential for ventilative cooling in Austria for residential as well as non-residential buildings. Furthermore the effects of climate change will raise cooling needs without reducing the benefits of ventilative cooling. The practical potential analysis consisted of interviews with experts and site inspections of built ventilative cooling systems in Austria. From the gathered information a SWOT analysis has been performed and a building database has been set up.

As the strongest assets of ventilative cooling its robust and economic method as well the independence from auxiliary energy and its low need for maintenance have been mentioned the most. The necessity of protection against weather, burglary and insects, the dependence on the outdoor climate as well as the resulting limits of efficiency and the capacitive boundaries of air as a medium of transport and storage have been considered as the weakest characteristics. The method's dependence on the users, which is relevant for manually controlled systems, has been mentioned sporadically too.

Based on the results of the conducted research the R&D Roadmap for Ventilative Cooling has been compiled.

### **Technology development Ventilative Cooling**

The results of several short-term monitorings of residential and non-residential buildings lead to the development of ventilative cooling technologies in the no-cost and low-cost segment. The analysis once again showed the necessity of thoroughly configured and dimensioned ventilative cooling systems, especially when operated with mechanical ventilation. The economic efficiency of the ventilative cooling system is highly dependent on the amount of electrical energy used for the ventilators. Additionally results show that the operational hours for mechanical ventilative cooling systems should be strictly limited to the periods of highest differences of outdoor and indoor temperatures. The outcomes have been documented in short reports and provided for the facility managements.

### **Austrian guideline Ventilative Cooling for NZEBs**

The results and findings of the carried out analysis, short-term monitorings and site inspections have been compiled for the Austrian ventilative cooling guideline. This compact manual contains practical information and instructions for design and implementation of ventilative cooling. A simple matrix and the described tools help to take early stage decisions for the realisation of ventilative cooling.

### **Case studies Ventilative Cooling**

Long-term monitorings have been carried out for two buildings, a NZEB building and a renovated building also with NZEB standard, over the course of a year. Both projects showed well-functioning ventilative cooling systems. The outcomes showed that ventilative cooling always should be coordinated accurately with the other technical building systems. Additionally the revision of preset parameters through a long-term monitoring seems crucial for good building performance. The results have been converted in a format also used by the other international members of the Annex and will be published as case study brochures by the end of 2017 when the project will officially be closed.

### 3. Einleitung

Ventilatives Kühlen ist und war in unterschiedlichsten Ausprägungen weltweit ein Bestandteil klimasensitiver Bautraditionen. Dementsprechend besteht ein umfassendes tradiertes Wissen für historische Bauformen. Mit der Erfindung der Kompressionskältemaschine und ihrer Anwendung in der Konditionierung von Gebäuden wurden die traditionellen Anwendungen des Ventilative Cooling verdrängt. Ihre notwendige Weiterentwicklung zur Bedienung zeitgemäßer Komfortansprüche unterblieb weitgehend.

#### 3.1. Ausgangssituation

Im Zuge der Vorbereitungen zum Annex 62 wurde eine Erhebung des Technology Readiness Level (TRL) von Ventilative Cooling durchgeführt. Mit folgendem Ergebnis:

In vielen beteiligten Ländern liegt die Situation vor, dass ventilative Kühlung nur rudimentär in den Rechenwerkzeugen zur Energieausweiserstellung verankert ist und somit nur ungenügend Berücksichtigung findet. Die Leistungsfähigkeit komplexerer Systeme des ventilativen Kühlens, etwa zur ventilativen Speichermassenbewirtschaftung, können daher vielfach in den behördlichen Nachweisverfahren gar nicht adäquat abgebildet werden.

Für zeitgemäße Wohngebäude wird ein eklatanter Mangel an verfügbaren Technologien und Systemen festgestellt, während für Bürogebäude die erforderlichen Technologien im Sektor der mechanischen Lüftung als weitgehend verfügbar eingeschätzt werden. Dort wird allerdings Entwicklungsbedarf hin zu hybriden (mechanisch und natürlich belüfteten) Systemen festgestellt.

Beide Einschätzungen treffen vollinhaltlich auch auf den Technology Readiness Level in Österreich zu. Zwei spezifisch österreichische Gegebenheiten sind aber zu ergänzen:

Österreich verfügt mit seiner nennenswerten Zahl von Fensterherstellern und Technologieanbietern im Lüftungsbereich über ein erhebliches Potential wirtschaftlicher Verwertung der Weiterentwicklung von Systemen des ventilativen Kühlens.

Österreich befindet sich klimatisch in einer Situation, in der sich bislang zumindest im Wohnbau die Notwendigkeit technischer Kühlung stets durch planerische Maßnahmen und passive Kühltechnologien vermeiden ließ. Es besteht ein weitgehender wissenschaftlicher und politischer Konsens, diese Situation beizubehalten. Mehrere wissenschaftliche Studien jüngerer Datums widmeten sich daher bereits der Fragestellung der Vermeidung von Kühlbedarf bzw. seiner passiven Deckung.

Österreich profitiert durch die Ergebnisse des Annex folgendermaßen:

- Aufgrund seiner klimatischen Lage in einer gemäßigten kontinentalen Klimazone ist die Herstellung thermischer Sommertauglichkeit ohne technische Kühlung bis heute ein wesentliches Element der Bautradition und ist im Falle des Wohnbaus sogar erst jüngst wieder neuerlich normativ verankert worden.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> ÖNORM B 8110-3 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung

Es bestehen daher eine grundsätzlich starke Präsenz und damit ein hoher potenzieller Nutzen österreichischer Unternehmen in relevanten Produkten und Dienstleistungsbereichen, wie Fenstertechnik, Lüftungstechnik, Baustofftechnik, Architektur und TGA-Planung.

Die Technologie des Ventilativen Kühlens ist prädestiniert, im Segment des Gebäudebereichs einen wesentlichen Beitrag in der Entwicklung eines nachhaltigen Energiesystems zu leisten:

- Der Energie- und Investitionsaufwand für Herstellung und Betrieb von Systemen der technischen Kälteerzeugung und -verteilung kann in wesentlichem Umfang vermieden werden.
- Darüber hinaus kann Ventilatives Kühlen häufig als Teil der Gebäudestruktur in individuell steuerbaren Lowtech-Lösungen verwirklicht werden und verzeichnet damit beste Nachhaltigkeits-Performance nicht nur hinsichtlich technischer Effizienz, sondern auch hinsichtlich NutzerInnenakzeptanz, Angemessenheit (Suffizienz) und Robustheit (Resilienz).<sup>2</sup>

### **3.2. Aufbau des Ergebnisberichts**

Der Inhalt des vorliegenden Ergebnisberichts umfasst alle in der Laufzeit des österreichischen Projekts durchgeführten Arbeitspakete. Abgesehen von der Durchführung der Langzeitmonitorings (AP5 Fallstudien Ventilative Cooling) basierten diese jeweils auf dem Vorangegangenen.

Die durchgeführten Vorleistungen beinhalten die Mitwirkung der Definition des internationalen Projekts sowie die Erstellung des State of The Art Reviews (SOTAR) und sind bereits in Kapitel 4 beschrieben. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der weiteren Arbeitspakete auszugsweise dargestellt und in Kapitel 6 die Internationale Vernetzung und der Ergebnistransfer beschrieben. In Kapitel 7 werden die Schlussfolgerungen und Empfehlungen nochmals kompakt zusammengefasst. Kapitel 8 beinhaltet die Verzeichnisse und die aus dem Projekt hervorgegangenen Einzelberichte sind im Anhang (Kapitel 9) angefügt.

## **4. Hintergrundinformation zum Projektinhalt**

Das erklärte Ziel des Annex 62 war die Weiterentwicklung von Technologien und Gebäudekonzepten des ventilativen Kühlens, als effektiver Beitrag zur thermischen Sommertauglichkeit von Gebäuden unter Vermeidung oder wesentlicher Reduktion technischer Kälteerzeugung, unter besonderer Bezugnahme auf die spezifischen Anforderungen des Neubaus und der umfassenden Sanierung im NZEB – Standard. Der Annex gliedert sich in drei Subtasks:

- Subtask A - Methods and Tools
- Subtask B - Solutions
- Subtask C - Case Studies

---

<sup>2</sup> Siehe ÖNORM EN ISO 15321 - Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik, 2007

Subtask A (Methods and Tools): In vielen beteiligten Ländern liegt die Situation vor, dass ventilative Kühlung nur rudimentär in den Rechenwerkzeugen zur Energieausweiserstellung verankert ist und somit nur ungenügend Berücksichtigung findet. Die Leistungsfähigkeit komplexerer Systeme des ventilativen Kühlens, etwa zur ventilativen Speichermassenbewirtschaftung, können daher vielfach in den behördlichen Nachweisverfahren gar nicht adäquat abgebildet werden.

Subtask B (Solutions): Für zeitgemäße Wohngebäude wird ein eklatanter Mangel an verfügbaren Technologien und Systemen festgestellt, während für Bürogebäude die erforderlichen Technologien im Sektor der mechanischen Lüftung als weitgehend verfügbar eingeschätzt werden. Dort wird allerdings ein Entwicklungsbedarf hin zu hybriden Systemen (mechanisch und natürlich belüftet) geortet.

Subtask C (Case Studies) evaluiert und demonstriert die Leistungsfähigkeit von ventilativer Kühlung anhand von ausführlich dokumentierten Fallstudien und ermöglicht den internationalen Vergleich realisierter Projekte.

Am Annex 62 beteiligten sich insgesamt 14 Länder aus Europa, China, Japan und USA. Eine vollständige Liste der Teilnehmer kann abgerufen werden unter:

<http://venticool.eu/annex-62-participants/>

## **4.1. Österreichisches Projektkonsortium**

Das österreichische Projektkonsortium bestand aus zwei Unternehmen, der Institute of Building Research & Innovation ZT GmbH (IBR&I) und der e7 Energie Markt Analyse GmbH. Im internationalen Projekt wurde die Leitung des Subtask B (Solutions) durch Herrn Dr. DI Peter Holzer (IBR&I) übernommen, e7 wirkte verstärkt im Subtask C (Case Studies) mit. Diese Arbeitsteilung bildete sich auch in der Bearbeitung des nationalen Forschungsbeitrags ab. Regelmäßige Arbeitstreffen stellten eine projektgerechte Abstimmung der Zusammenarbeit und eine produktive Kooperation sicher.

### **4.1.1. Institute of Building Research & Innovation**

Das Unternehmen befasst sich seit 2013 mit gebäudebezogener Grundlagenforschung, interdisziplinärer Forschung im Austausch von gebäudebezogenen mit gebäudefremden Wissenschaftsdisziplinen, transversaler und longitudinaler Vergleichsforschung, strategischer Beratung, multidisziplinärer Planungsbegleitung von Bauprojekten, Gebäudemonitoring und ex-post Evaluierungen, integrativer Tageslichtplanung Gesundheit-Ergonomie-Energie, Evaluierung und Entwicklung von Gebäudetypologien und -konzepten.

Die aktuellen Schwerpunkte der Arbeit von IBR&I sind:

- Grundlagenforschung zu langfristig gesunden Innenräumen,
- Entwicklung nachhaltiger Bauprodukte und Gebäudetechniksysteme
- Wissenschaftliche Begleitung von Pilotprojekten auf Gebäude- und Stadtteilebene
- Publikation und Lehre

Die wissenschaftliche Expertise der leitenden und aktiv forschenden Personen, DI Dr. Renate Hammer, MAS (Geschäftsführende Gesellschafterin) und DI Dr. Peter Holzer (Gesellschafter) beruht auf einer in beiden Fällen mehr als fünfzehnjährigen aktiven Teilnahme an inner- wie außeruniversitärer F&E, wissenschaftlicher Publikation und Lehre sowie vielfältiger einschlägiger Gremienarbeit.

Bis unmittelbar vor der Gründung der IBR&I Institute of Building Research & Innovation GmbH war Frau Dr. Renate Hammer Dekanin der Fakultät für Bildung, Kunst und Architektur an der Donau-Universität Krems und war Dr. Peter Holzer Leiter des Departments für Bauen und Umwelt an ebenfalls der Donau-Universität Krems.

#### **4.1.2. e7 Energie Markt Analyse GmbH**

Im Mittelpunkt der Arbeit von e7 stehen konkrete Fragen und Herausforderungen rund um Energieeffizienz, Einsatz erneuerbarer Energieträger und Klimaschutz. Einen der Schwerpunkte bildet Energieeffizienz in Gebäuden, zu dem e7 eine Vielzahl von Forschungs- und Verbreitungsprojekten vorzuweisen hat und hervorragend mit den relevanten Akteuren in Bauwirtschaft und Politik vernetzt ist. Schwerpunkt bei e7 ist die Schaffung von hohem Nutzungskomfort bei gleichzeitig geringem Einsatz von Energie. Dadurch sind Konzepte wie Aktivierung von Speichermasse oder Nachtlüftung wesentlicher Bestandteil von mehreren Forschungsprojekten und werden in der Beratung weitervermittelt. Referenzliste beiliegend.<sup>3</sup>

##### **DI Margot Grim**

Margot Grim ist seit mehr als 10 Jahren Expertin im Bereich energieeffiziente und nachhaltige Gebäude. Sie widmet sich schwerpunktmäßig der Gebädeforschung und der Bauherrnberatung. In der Bauherrenberatung hat sie eine Reihe von Bauherren (Immorent AG, ÖBB, Wien Energie Stromnetz, BIG, Hoerbiger, Post, Landeshochbau Niederösterreich, Wirtschaftsagentur Wien, u.v.m.) beraten, wobei der Beratungsschwerpunkt in den ersten Planungsphasen zum Thema Sicherstellung der thermisch-energetischen Qualität lag.

Im Rahmen der Gebädeforschung entwickelte Sie federführend den Bauträgerleitfaden „Schritt für Schritt zum Nullenergiegebäude“ für die Stadt Wien und die „Leitlinien für nachhaltiges Facility Management in der Betriebs- und Nutzungsphase von Gebäuden“ für klima:aktiv und die Facility Management Austria (FMA).

##### **DI (FH) Gerhard Hofer**

Gerhard Hofer ist langjähriger Experte im Themengebiet energieeffiziente und nachhaltige Gebäude. Der Schwerpunkt liegt bei der thermisch-energetischen Optimierung des Gebäudes und der Lebenszykluskostenanalyse. Gerhard Hofer war Projektleiter im Planungsprozess für die beiden BIGMODERN Demonstrationsprojekte Amtshaus Bruck/Mur und Universität Innsbruck/Fakultät für technische Wissenschaften, die wesentliche Erkenntnisse für das Projekt brachten.

---

<sup>3</sup> Siehe Anhang 9 - e7 Referenzen Juli 2013

## 4.2. Internationale und nationale Projektziele

Das Hauptziel des Annex 62 bestand darin Ventilative Kühlung eine attraktive und energieeffiziente Lösung für die Kühlung von Gebäuden, sowohl für Neubauten als auch Renovierungen, zu machen. Lüftung, bereits gegenwärtig, mechanisch wie auch natürlich, in Gebäuden kann übermäßige interne Wärmelasten abführen und durch erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten den thermischen Bereich für Innenraumkomfort vergrößern.

Folgende Projektziele wurden für die Forschungs- und Entwicklungsarbeit definiert:

- Entwicklung und Evaluierung von geeigneten Designmethoden und Tools für die Vorhersage von induziertem Kühlbedarf, ventilativem Kühlungspotenzial und Überhitzungsrisiko
- Entwicklung von Guidelines für die Reduktion des Überhitzungsrisikos bei gleichzeitiger Steigerung der Energieeffizienz für den Betrieb von Ventilative Cooling in Wohn- und Gewerbebauten
- Entwicklung von Guidelines für die Integration von Ventilative Cooling in Energieausweisberechnungen und gesetzlichen Vorgaben sowie die Spezifizierung und Validierung von „Key Performance Indikatoren (KPI)“
- Entwicklung von Handlungsanweisungen für die Verbesserung der Kapazität von bestehenden Ventilative Cooling Systemen und deren Steuerungsstrategien
- Demonstration der Leistungsfähigkeit von ventilativen Kühlungssystemen durch Analyse und Evaluation von umfassend dokumentierten Fallstudien

Insgesamt zielte der österreichische Beitrag auf die Schaffung von technischen Grundlagen und Tools für die breite Umsetzung von Ventilative Cooling bei NZEBs und damit zur Förderung der Verbreitung von kostenoptimalen NZEBs ab. Folgende Ziele wurden festgelegt und bis Projektende erreicht:

- Eine systematische Erhebung der theoretischen Potenziale und der praktischen Performance des Ventilative Cooling in Österreich und darauf aufbauend die Ableitung der spezifischen Entwicklungserfordernisse und –potenziale für diese Technologie.  
Ergebnis: Technologieprofil und R&D-Roadmap Ventilative Cooling
- Die Weiterentwicklung von Technologien und Gebäudekonzepten des Ventilative Cooling für ihre Anwendung insbesondere in NZEB Neubauten und umfassenden Sanierungen.  
Ergebnis: Technologieentwicklung Ventilative Cooling
- Die Verfassung eines Leitfadens für die adäquate Planung, Implementierung und den Betrieb von Ventilative Cooling, speziell für österreichische AkteurInnen wie ArchitektInnen, FachplanerInnen, Bauträger, TechnologieanbieterInnen, politische und kommunale EntscheidungsträgerInnen sowie AkteurInnen der Forschung und Bildung. Zur Anwendung auf Wohn- und Gewerbeimmobilien, für Neubau und umfassende Renovierung, mit besonderer Berücksichtigung des NZEB-Standards  
Ergebnis: Österreichischer Leitfaden Ventilative Cooling für NZEBs
- Die Ausarbeitung gut dokumentierter Fallstudien zur Darstellung der Leistungsfähigkeit und

auch der „bottlenecks“ von Ventilative Cooling in technischer als auch in organisatorischer und ökonomischer Hinsicht.

Ergebnis: Case Study Broschüren des Subtask C

### **4.3. Methodik**

Im Forschungsvorhaben kamen insgesamt folgende Methoden zur Anwendung.

- Desktop-Research in technischer, architektonischer und physiologischer Fachliteratur
- Quasistationäre thermodynamische Parameterstudien
- Funktionsevaluierung an ausgewählten Gebäuden, mit Lokalausweis, temporären Messungen, Nutzerbefragungen, Auswertung vorhandener technischer und betriebswirtschaftlicher Daten und Durchführung von ExpertInnen-Interviews
- Thermische dynamische Gebäudesimulation und Computerized Fluid Dynamic Simulation zur Validierung der Messergebnisse und Wahrnehmungen an realen Gebäuden.
- LCC-Analysen
- Die angewandte Methodik des wissenschaftlichen Publizierens, unter Nutzung der Ergebnisse aus den drei nationalen Arbeitspaketen, sowie den Ergebnissen des internationalen Annex 62 Projekts.
- Entwicklung eines Monitoringkonzepts auf bestehender wissenschaftlicher Ausarbeitungen und praktischer Erfahrungen der Mitglieder der ARGE.
- Messungen technischer Parameter, insbesondere der Energieströme, der Luftmengen und Luftzustände, somit der physikalischen Parameter des Komforts.
- Aufzeichnung betriebswirtschaftlicher Parameter, insbesondere der Kosten für Energiedienstleistungen, technische Komponenten, Betrieb und Wartung
- Beobachtung und Erhebung operationaler Parameter, wie Nutzerakzeptanz, Nutzerverhalten und Management der Betriebsführung.

## **5. Ergebnisse des Projektes**

### **5.1. State Of The Art Review (SOTAR)**

Zu Beginn des Projekts wurde in Zusammenarbeit mit den TeilnehmerInnen des internationalen Konsortiums ein State Of The Art Review erstellt. Als österreichischer Beitrag wurde das Kapitel 5 „Existing Components and Control Strategies for Ventilative Cooling“ verfasst. (vollständiger Bericht im Anhang).

Ziel war es den aktuellen Stand der Technik zu erheben und strukturiert aufzuarbeiten um alle weiteren Forschungsarbeiten dahingehend koordinieren zu können. Der SOTAR war ein wichtiges Instrument im weiteren Verlauf des Projekts.

## 5.2. Technologieprofil und R&D-Roadmap

Für das österreichische Projekt wurde in weiterer Folge ein Technologieprofil und eine Research & Development Roadmap (R&D Roadmap) erstellt. Dies wurde durch eine theoretische und eine praktische Potenzialanalyse, sowie einer Stärken Schwächen Analyse (SWOT Analyse) bewerkstelligt.

Der vollständige Bericht zu Technologieprofil und R&D-Roadmap findet sich im Anhang.

### 5.2.1. Theoretische Potenzialanalyse

Eine umfangreiche theoretische Potenzialanalyse des Ventilative Cooling, speziell für Österreich und speziell für NZEBs wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit des Fachhochschulstudiums „Green Building“ an der Fachhochschule Campus Wien durchgeführt:

Ecker M., Ventilative Cooling Potential of Nearly Zero Energy Buildings in Austria, Bachelor Thesis, Fachhochschule Campus Wien, 2015. Betreuung: DI Dr. Peter Holzer, IBR&I ZT GmbH

Angewandt wurde das VCP-Tool, entwickelt von Dr. Anna Maria Belleri, EURAC, Bozen. Das Tool analysiert in Stundenschritten das physikalische Ventilative Cooling Potential an einem spezifischen Klimastandort für ein in Flächen, Volumina, bauphysikalischen Qualitäten und Nutzungsbedingungen definiertes Gebäude.

Es wurde eine Parameterstudie ausgeführt für Kombinationen aus

- a) Zwei Nutzungstypologien: Wohnen und Büro
- b) Neun Klimastandorte, entsprechend den neun Österreichischen Landeshauptstädten.
- c) Bauphysikalische Hüllqualitäten entsprechend den drei Gebäudestandards „Bestand“, Niedrigenergiehaus und Niedrigstenergiehaus (NZEB)

Die Kalkulationen vergleichen stündlich die Innenraum-Solltemperatur Heizen und Kühlen mit der Außentemperatur, erhöht um den Temperaturhub aus den inneren und solaren Wärmeeinträgen. Innerhalb dieses Vergleichs werden vier verschiedene Kühllastfälle unterschieden:

Fall 0: Außentemperatur  $T_o$  ist niedriger als die „heating balance point temperature“  $T_o-hbp$ . Heizen ist erforderlich.

Fall 1: Außentemperatur  $T_o$  ist höher als die „heating balance point temperature“  $T_o-hbp$ , aber niedrig genug dass Ventilatives Kühlen mit dem hygienisch erforderlichen Luftwechsel die Überschusswärme vollständig abführt.

Fall 2: Außentemperatur  $T_o$  erreicht ein Niveau, ab dem Ventilatives Kühlen mit erhöhtem Luftwechsel sowohl notwendig als auch möglich ist.

Fall 3: Außentemperatur  $T_o$  steigt bis auf 2K unter die Innenraum-Solltemperatur Kühlen, was als das obere Ende der Möglichkeit des Ventilativen Kühlens angesetzt wird.

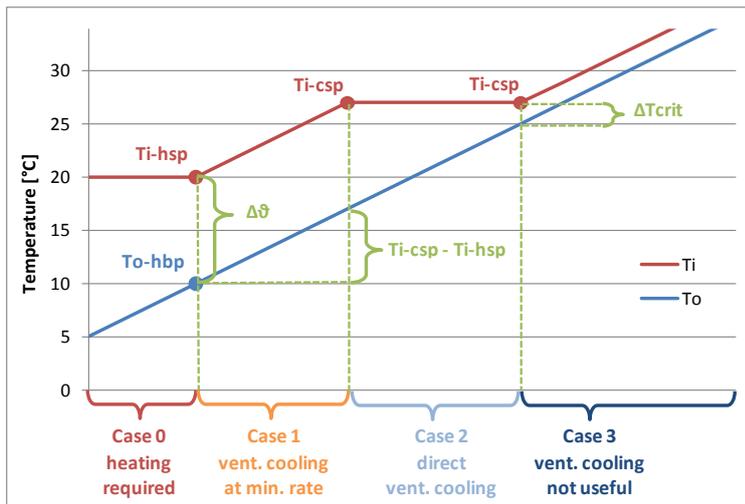


Abbildung 5-1 Ventilative Kühllast Fälle (mit exemplarischen Werten der Temperatur)

In der Parameterstudie wurde die Innenraum-Solltemperatur Heizen mit 20°C und die Innenraum-Solltemperatur Kühlen mit 27°C operativer Temperatur angesetzt. Außerdem wurde eine Obergrenze akzeptabler absoluter Lufttemperatur im Innenraum von 13 g/kg festgelegt, was einer Taupunkttemperatur von 17°C entspricht.

Die Ergebnisse der Berechnungen werden in den folgenden Kennzahlen dargestellt:

**Cooling Case distribution:** Anteilige Zeitspanne, innerhalb derer einer der vier genannten Kühllast Fälle auftreten. Angegeben als dimensionslose Verhältniszahl.

**CCP:** Climate Cooling Potential per Night. Gradstunden zwischen der Innenraum-Solltemperatur Kühlen und der Außentemperatur während einer Nacht, die auf einen Tag folgt, innerhalb dessen der Kühllast Fall 3 (Ventilatives Kühlen nicht anwendbar) zumindest eine Stunde lang eingetreten ist, sofern gleichzeitig  $To < Ti-csp$  und sofern die Außenluftfeuchte unter dem Innenraum Grenzwert liegt. CCP kann gemittelt werden über einen Monat oder über das gesamte Jahr. Angegeben in der Einheit von Kh/Nacht.

**NCP:** Night Time Cooling Potential per night. Spezifische Ventilative Kühlleistung für die Dauer einer Nacht unter den Bedingungen des CCP. NCP kann gemittelt werden über einen Monat oder über das gesamte Jahr. Angegeben in der Einheit von  $W/(m^2 \cdot ACH)$

**DCP:** Direct Cooling Potential per month. Anteil der Stunden in den Kühllast Fällen 1 und 2, relativ zu den Stunden eines Monats, multipliziert mit der den inneren Lasten. Angegeben in der Einheit von  $W/m^2$ .

**CDH:** Cooling Degree Hours per day. Gradstunden zwischen der Innen- und der Außentemperatur während der Kühllast Fälle 1 und 2. CDH kann gemittelt werden über einen Monat oder über das gesamte Jahr. Angegeben in der Einheit von Kh/Tag.

ODH: Overheating Degree Hours. Gradstunden zwischen der Innentemperatur und der Innenraum Überhitzungstemperatur, die üblicherweise gleichgesetzt wird mit der Innenraum-Solltemperatur kühlen. Aufsummiert über ein Monat oder ein Jahr. Angegeben in der Einheit von Kh/Monat oder Kh/Jahr.

Active Cooling Avoided: Zeitspanne innerhalb der Kühllast Fälle 1 und 2, bezogen auf jene mit den Kühllast Fällen 2 und 3. Angegeben in der Einheit von *relatively to period of cooling case 2+3*. Angegeben als dimensionslose Verhältniszahl.

Die Ergebnisse der durchgeführten Parameterstudie, bestehend aus neun unterschiedlichen österreichischen Standorten, zwei verschiedenen Nutzungsprofilen (Wohnen und Büro) und drei verschiedenen Effizienzstandards "Bestand", Niedrigenergiehaus und Niedrigstenergiehaus (NZEB) zeigt:

Es besteht ein substantielles Potenzial für Ventilative Cooling in Österreich, sowohl im Bereich Wohnen als auch im Bereich Büronutzung.

Klimawandeleffekte werden den Bedarf an aktivem Kühlen vergrößern, ohne aber den Nutzen ventilativen Kühlens zu schmälern.

Ein Überblick über die Verteilung der beschriebenen Kühllast Fälle ist dargestellt in den folgenden beiden Abbildungen. Abbildung 2 gilt für den Standort Wien. Abbildung 3 für den Standort Innsbruck. Die hellblauen Balken bezeichnen die Stunden innerhalb eines Jahres, in denen Ventilative Kühlung anwendbar und sinnvoll ist. Die dunkelblauen Balken bezeichnen die Stunden innerhalb eines Jahres, in denen aktive Kühlung erforderlich ist.

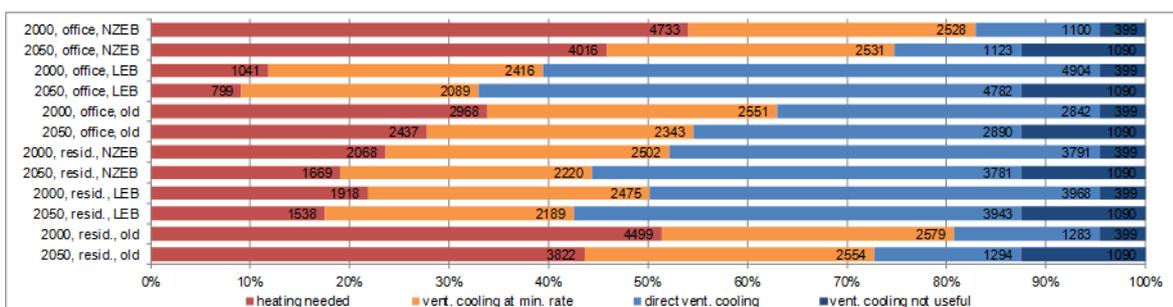


Abbildung 5-2 Kühllastfälle Verteilung am Klimastandort Innsbruck

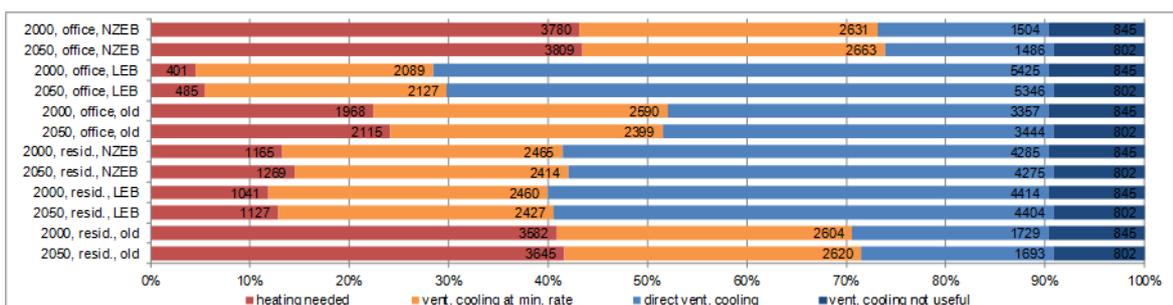


Abbildung 5-3 Kühllastfälle Verteilung am Klimastandort Wien

## 5.2.2. Praktische Funktionsanalyse

### **Gebäude-Datenbank Ventilative Cooling**

Zur systematischen Beschreibung von Gebäuden, die ein oder mehrere Elemente des Ventilative Cooling einsetzen, wurde eine Datenbank aufgebaut. Die inhaltliche Struktur der Datenbank wurde in weitgehender Übereinstimmung mit dem Kapitel 5 Existing Components and Control Strategies for Ventilative Cooling des State of the Art Reports des Internationalen Kooperationsprojektes aufgebaut. Details siehe im folgenden Unterkapitel „Struktur der Datenbank“.

Zum Aufbau der Datenbank wurden strukturiert aktuelle, publizierte österreichische Gebäude auf deren Nutzung von Ventilative Cooling hin untersucht. Systematisch dahingehend untersucht wurden etwa Projekte mit Auszeichnungen zum Österreichischen Staatspreis für Architektur- und Nachhaltigkeit, Projekte die in Best of Austria publiziert wurden, Gebäude der klimaaktiv Gebäudedatenbank, Mustersanierungen publiziert vom Klima- und Energiefonds und andere mehr. Details siehe im folgenden Unterkapitel „Methodik der Gebäuderecherche“.

Jedes der in dieser Datenbank dokumentierten Gebäude ist in einem einheitlichen Datenblatt beschrieben und abgebildet. Es steht somit erstmals eine konsistente Beschreibung von Gebäuden mit Ventilative Cooling Prinzipien und Technologien zur Verfügung. Zum Zeitpunkt der Berichtslegung wurden 35 österreichische Gebäude dokumentiert. Weitere Einträge in diese Datenbank kamen im Zuge des Internationalen Kooperationsprojektes von den Teilnehmerländern Irland, Dänemark, Italien und anderen. Details siehe im folgenden Unterkapitel „Gebäude-Datenblattsammlung“.

Darüber hinaus ist jedes Gebäude mit einer taxativen Erfassung seiner architektonischen, technischen und funktionalen Merkmale in ein Excel-basiertes Tabellenblatt aufgenommen. Für jedes Gebäude sind darin die, im Sinne des ventilative Cooling, wesentlichen Gebäudequalitäten in einer eindeutigen, statistisch bearbeitbaren Form zugewiesen. Mittels dieser tabellarischen Darstellung wurden Korrelationen von unterschiedlichen Qualitäten und Merkmalen der Gebäude untersucht. Es konnten auf diese Weise wertvolle Informationen über gängige oder seltene Konstellationen etwa von Gebäudegröße, -standort, -nutzung einerseits und Komponenten oder Methoden des Ventilative Cooling andererseits gewonnen werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind Bestandteil der Schlussfolgerungen des Kapitels **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (Details im Anhang.)

### **Beispiel Gebäudedokumentation – Datenblatt**

Stellvertretend für die Sammlung der Gebäudedatenblätter wird nachfolgend jenes des Bürogebäudes der Windkraft Simonsfeld AG in Ernstbrunn in nachfolgender Abbildung dargestellt. Die vollständige Sammlung der Gebäudedatenblätter findet sich im Anhang und auf der offiziellen Webseite des Annex unter:

<http://venticool.eu/annex-62-publications/ventilative-cooling-application-database/>

## AT Ernstbrunn Windkraft Simonsfeld AG

### Image 01:

Exterior view – southwest ©WKS AG



### Image 02:

Exterior view – southeast ©WKS AG



### Image 03:

Exterior view – northeast ©WKS AG



### Building Specifications

<b>Address</b>	<u>Energiewendeplatz 1, 2115 Ernstbrunn, Österreich</u>
<b>Building Category</b>	Office
<b>Year of Construction</b>	2014
<b>Special Qualities</b>	Plus energy house in passive house construction
<b>Location</b>	49° northern latitude, 14° eastern longitude, 293 m above sea level, located at the outskirts of a town with a population of approximately 300 in the lowlands of Lower Austria. It is separated from neighboring buildings by large green spaces and fields.
<b>Climate</b>	<u>Cfb</u> (warm temperate, fully humid, warm summer) monthly mean temperature below 19 °C, at least five months with a monthly mean temperature.

<b>Vent. Cooling Site Design Elements</b> (Solar Site Design and Wind Exposure Design, Evaporative Effects from Plants or Water)
Evaporative effects from a water basin south of the building as well as interior greening improve the micro climate.
<b>Vent. Cooling Architectural Design Elements</b> (Form, Morphology, Envelope, <u>Construction&amp;Material</u> )
<p>Form: The building form is oriented and optimized for passive and active solar use.</p> <p>Morphology: An atria is situated in the south center of the building, enabling the use of the stack effect to drive air through the atria.</p> <p>Envelope: PV-panels are installed over the south-oriented windows to reduce the cooling load.</p> <p>Construction &amp; Material: The partition wall between the atria and the north oriented offices, is a thermal activated concrete wall.</p>
<b>Vent. Cooling Technical Components</b> (Airflow Guiding Components, Airflow Enhancing Components, Passive Cooling Components)
<p>Airflow Guiding Components: Weatherproof ventilation openings in the roof and the south façade of the atria can be opened and closed by automated flaps.</p> <p>Airflow Enhancing Components utilize the effect of the atria.</p>
<b>Actuators, Sensors and Control Strategies</b>
<p>Sensors: In- and exterior temperature sensors are installed</p> <p>Control Strategies: The <u>Ventilative</u> Cooling system is controlled based on the in- and exterior temperature with the possibility to manually override the control system</p>
<b>Building Energy Systems</b> (Heating, Ventilation, Cooling, Electricity)
<p>Heating and Cooling: A heat pump utilizing geothermal energy is used to satisfy the heating demand. Geothermal energy without the use of a heat pump is used to cover the cooling demand. The heat and cold is distributed in the offices by a combined floor heating- and cooling system by the thermally activated concrete partition wall between the atria and the offices.</p> <p>Ventilation: All rooms but the atria are ventilated mechanically.</p> <p>Electricity: A building integrated 50 kWp PV-system is installed. The system produces more electricity in a year than the building consumes in the timeframe.</p>
<b>Building Ownership and Building Facility Management Structures</b>
The building is owned, run and monitored by the <u>Windkraft Simonsfeld AG</u> .
<b><u>Aknowledgements</u></b>
<p>First plus-energy-building in Lower Austria</p> <p>The building is constructed with <i>Smart und Simple</i> as the guiding principle</p> <p><u>klimaaktiv</u> gold certified with 965 of 1000 points</p>

Abbildung 5-4: Exemplarisches Gebäude-Datenblatt des Bürogebäudes Windkraft Simonsfeld AG

### **Statistische Auswertung der Gebäude-Datenbank Ventilative Cooling**

Parallel zur strukturierten Beispielsammlung der Gebäude-Datenbank wurden die spezifischen Qualitäten und Ausstattungsmerkmale der dokumentierten Gebäude in eine statistisch auswertbare Struktur eingepflegt und wurden aus dieser Struktur Korrelationen hinsichtlich der Typologie der Gebäude, bevorzugten Standortqualitäten, häufig verwendeten Systemen und anderen mehr herausgearbeitet.

### **Aufbau des statistisch auswertbaren building-spreadsheets**

Zum Zweck der späteren statistischen Auswertung wurde ein building-spreadsheet entwickelt, in dem relevante Informationen über das Gebäude und die darin angewandten Komponenten des Ventilative Cooling strukturiert und auswertbar eingetragen wurden.

Die Struktur des building-spreadsheets korreliert mit jener der building-datasheets und mit jener des Kapitel 5 des internationalen SOTAR (State-Of-The-Art-Report).

Wie auch der Aufbau der Gebäude-Datenbank wurde auch die statistische Auswertung als concerted Action im internationalen Annex 62 etabliert.

### **Ergebnisse der statistischen Auswertung der building- spreadsheets**

Das allgemeinste, übergeordnete Ergebnis der statistischen Auswertung ist jenes, dass Ventilative Cooling in der gegenwärtigen österreichischen Baukultur ein selten angewandtes Prinzip ist.

Aus der umfangreichen Recherche konnten nur 30 Gebäude herausgefiltert werden, welche in nennenswertem Umfang Ventilative Cooling einsetzen.

Hinsichtlich der Nutzung verteilen sich die 30 Gebäude folgendermaßen:

<b>Nutzung</b>	<b>Anzahl</b>
Wohnen	5
Büro	14
Bildung	7
Sonstiges	4
<b>Kontrollsumme</b>	<b>30</b>

**Tabelle 5-1: Verteilung der Nutzungstypen unter den österr. Objekten der VC-Gebäudedatenbank**

Zusammenfassend können folgende dominierende Merkmale aus der Auswertung der 30 Gebäude festgehalten werden:

- Ventilative Cooling, sofern es als über das bloße manuelle Bedienen von Fenstern hinausgehend betrachtet wird, ist in Österreich eine Technologie mit nur geringer Verbreitung. Selbst eine umfangreich durchgeführte Recherche hat nicht mehr als 30 Projekte ergeben.
- Unter jenen 30 österreichischen Projekten mit Elementen von Ventilative Cooling, die als Ergebnis der umfangreichen Recherche gefunden wurden, dominieren mit 21 Projekten insgesamt die Büro- und Bildungsbauten plus weitere zwei gewerbliche Zweckbauten, erwartungsgemäß also jene Bauten, welche mit ihrer auf die Tagesstunden beschränkten Nutzung strukturell gute Voraussetzungen für ventilative Cooling aufweisen.
- Das weitaus überwiegend eingesetzte Maßnahmenpaket ist die Nachtlüftung von Atrien, Stiegenhauskernen, innenliegenden Gängen oder sonstigen zusammenhängenden Lufträumen, mit hoch angeordneten Abluftöffnungen und tief angeordneten

Zuluftöffnungen, in Verbindung mit exponierten thermischen Speichermassen aus Beton oder Massivholz. Nur in Büro- oder Schulbauten (nie in Wohnbauten), wird bisweilen zusätzlich (in ca. der Hälfte der untersuchten Gebäude) auch eine lufttechnische Anbindung der angrenzenden Büro- oder Unterrichtsräume umgesetzt.

### **Qualifizierte ExpertInneninterviews**

#### **Vorgehensweise**

Im Rahmen der praktischen Funktionsanalyse wurden ausgehend von der bereits erfolgten Gebäuderecherche potentielle ExpertInnen für die Durchführung von Interviews identifiziert. Die Auswahl der ExpertInnen erfolgte aufgrund der, teils in der Gebäuderecherche auffälligen, teils in der Fachliteratur ausgewiesenen, speziellen beruflichen und fachlichen Kompetenzen und Erfahrungen im Zusammenhang mit ventilativer Gebäudekühlung. Dabei wurde darauf geachtet, ein in der beruflich, fachlichen Qualifikation sowie in der praktischen Tätigkeit möglichst ausdifferenziertes Sample an ExpertInnen zusammen zu stellen. Entsprechend wurden facheinschlägige ExpertInnen aus den Fachbereichen Architektur, Bauphysik und Klima-Engineering, Haustechnik sowie aus dem Bereich der Baukomponentenherstellung und den Tätigkeitsfeldern Beratung, Planung und Entwicklung sowie Betrieb als potentielle Interviewpartner selektiert.

### **Ergebnisse**

#### **Erfahrungen**

Bei den umfangreichen Erfahrungen mit ventilativer Kühlung der ExpertInnen, wurden mehrmalig zwei Komponenten als Hauptkomponenten und zentrale Bestandteile der ventilativen Kühlung in der Planung und/oder Planungsbegleitung angegeben:

- die Nachtlüftung über Fensterlüftung
- die Bereitstellung willentlich herbeigeführter oder zugelassener Luftbewegung zur Senkung der persönlichen Empfindungstemperatur

Als wesentliche Randbedingungen, um optimale Effekte der Nachtkühlung zu erzielen, wurde wiederholt von den ExpertInnen genannt:

- ausreichende kühle Nächte
- ausreichender Einbruch- Insekten- und Schlagregenschutz
- ausreichende thermische Speichermasse im Gebäude, die in der Nacht gekühlt werden und tagsüber die vorhandene Wärme aufnehmen kann, um einen Temperaturanstieg im Innenraum zu dämpfen und eine sommerlichen Komfortsteigerung zu erzielen.
- ausreichend hoher nächtlicher Luftwechsel in Größenordnungen mit Zielwerten von 3 – 5 1/h

#### **Stärken**

Von den ExpertInnen am häufigsten genannt wurden folgende Vorteile des ventilativen Kühlens:

- sehr simple und ökonomische Methode
- passives und effizientes Kühlsystem, das ohne Hilfsenergie auskommt

- geringer Wartungsaufwand
- extrem geringer Endenergiebedarf

Vereinzelt positiv genannt wurden folgende Faktoren:

- Eine hohe Ausfallsicherheitsquote
- Der Effekt der Senkung der CO<sub>2</sub> Konzentration in der Innenraumluft.
- Ein möglichst geringer Einfluss auf das vorhandene Mikroklima.
- Möglichkeit eines absoluten Feuchteabgleichs bei Vorhandensein entsprechender Sensoren

### **Schwächen**

Von den ExpertInnen am häufigsten genannt wurden folgende Nachteile des ventilativen Kühlens:

- Schutzvorkehrungen gegen Einbruch, Insekten, Staub, Lärm und Schlagregen
- (Lüftungsklappen, Insektenschutzgitter, Wettersensoren ...) sind notwendig

Wiederholt genannt wurden folgende Faktoren:

- die Klimaabhängigkeit des Systems und damit verbundene Begrenzung der Wirksamkeit der Methode an vereinzelt Tagen
- die Kapazitätsgrenze von Luft als Transport- beziehungsweise Speichermedium

Fallweise genannt wurden folgende Faktoren:

- die Benutzerabhängigkeit der Methode
- der Einfluss auf die architektonische Wirkung durch die Positionierung von Fensteröffnungen bzw. der teilweisen Einschränkung der Fensteranordnung
- Notwendigkeit der Anordnung von offenbaren Elemente anstatt einheitlich durchgängiger Verglasungen

Vereinzelt genannt wurde:

- Aufkommen eines reduzierten Brandschutzes bei vertikalen Lüftungsstrukturen
- Unbehaglichkeit durch Anstieg der relativen Feuchte im Innenraum beziehungsweise in extremen Fällen Kondensatbildung an den Oberflächen der kühlen Massen

### **Entwicklungsbedarf und Hemmnisse:**

Folgende Entwicklungspotenziale beziehungsweise Implementierungsprobleme sind mehrfach von den ExpertInnen genannt worden:

- Sensibilisierungs- und Aufklärungsarbeit auf PlanerInnen- und FachplanerInnenseite
- Förderung der Kommunikation zwischen den Planungsbeteiligten, um eine optimale Wechselwirkung aus Klima, Lüftung und Speichermassen zu bewirken

- Vermittlung und Information auf Bauherrenseite
- Berücksichtigung in der Entwurfsplanung hinsichtlich der Anwendung der Methode des ventilativen Kühlens und dementsprechend gesicherte Erfahrungswerte als Fundament für die frühzeitige Implementierung im Gebäudeentwurf.
- systematische Erarbeitung von möglichst einfachen Planungs- und Gestaltungsregeln für Gebäudekonzepte des ventilativen Kühlens.
- Ableitung von Grundparametern zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit ventilativer Kühlung
- Erstellung eines Planungstools als Hilfestellung

**Zusammenfassung der SWOT-Analyse:**

Zusammenfassend liefert die SWOT-Analyse die im Folgenden abgebildete qualitative Zusammenschau facheinschlägiger und durch praktische Erfahrung erhärtete Fachexpertise betreffend den Einsatz von ventilativer Kühlung in Gebäuden.

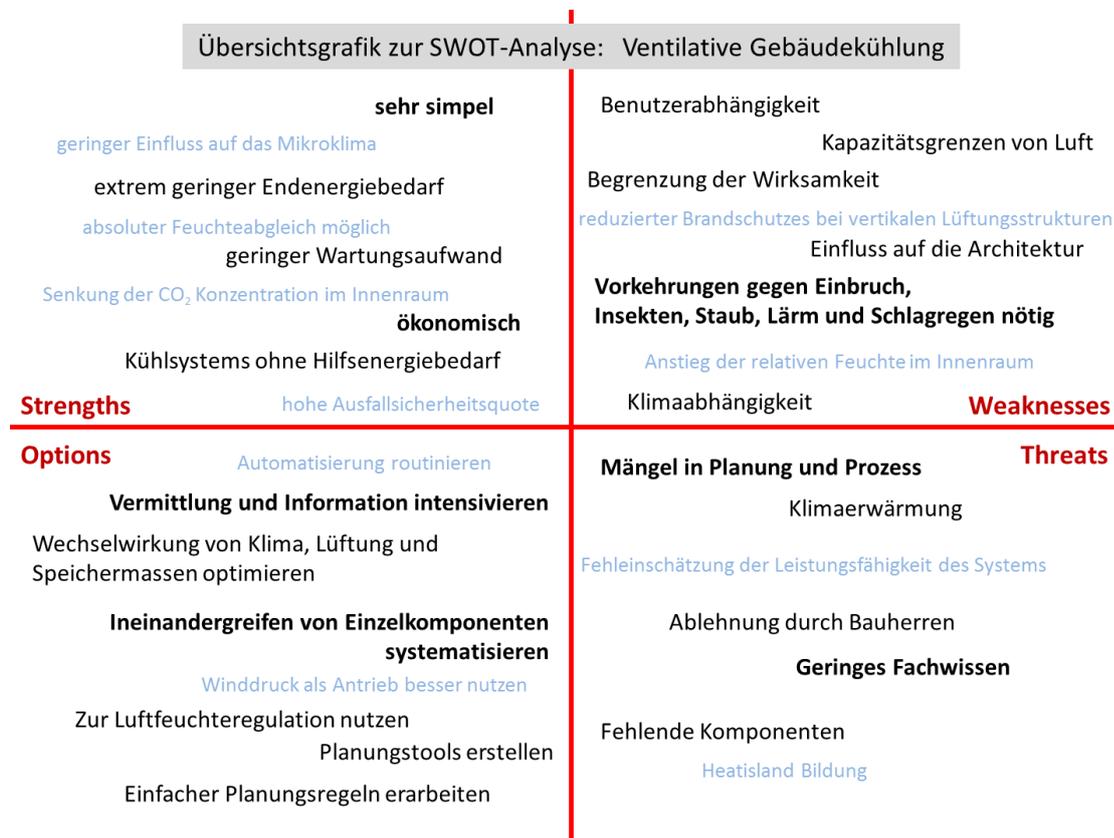


Abbildung 5-5: Übersichtsgrafik zur SWOT-Analyse: Ventilative Gebäudekühlung

**Ergebnisinterpretation – Fazit der qualifizierten ExpertInneninterviews**

Auf Grund der klaren Gemeinsamkeiten und Nachdrücklichkeit in einigen von den ExpertInnen vorgebrachten Argumentationslinien, erscheint es zulässig, auch aus der vorliegenden, vorwiegend qualitativen, Zusammenschau Tendenzen abzuleiten. So können abschließend zumindest die folgenden drei grundlegenden Aussagen formuliert werden, über die in der Fachwelt weitgehende Einigkeit herrscht:

- Ventilative Kühlung funktioniert nur, wenn sie als System von aufeinander abzustimmenden Komponenten verstanden wird. Entsprechend muss dieses System fundiert geplant und dimensioniert werden. Nur unter dieser Voraussetzung kann eine umfängliche Wirksamkeit und die vielfach angesprochene Systemstärke der Einfachheit im Betrieb sichergestellt werden.
- Ventilative Kühlung ist ein System, das sich überwiegend auf eine natürliche Konditionierung des Innenraumklimas stützt und daher in seiner Kapazität begrenzt ist. Speziell Erscheinungen der Klimaerwärmung mit entsprechend extremen Wettersituationen können dazu führen, dass ventilative Kühlung alleine auch in unseren Breiten nicht mehr ausreicht, um durchgehend normgerechte innenraumklimatische Zustände zu garantieren. Dennoch gilt es, die Systemstärke des extrem geringen Endenergiebedarfs so umfassend wie möglich zu nutzen, bevor ein flankierendes technisch basiertes Konditionierungssystem zur Abdeckung von Spitzenlasten zugezogen wird. Die sinnvolle Abstimmung von ventilativen Systemen und von ergänzenden Spitzenlastsystemen stellt eine herausfordernde Aufgabe für die zukünftige Entwicklung dar.
- Es besteht technisches und systemisches Entwicklungspotential zur Optimierung des Einsatzes ventilativer Kühlsysteme.

### **„Vor Ort“ Analyse**

Als drittes methodisches Element der Standortbestimmung des Einsatzes ventilativer Kühlung im zeitgemäßen österreichischen Gebäudebestand wurden persönliche Gebäudebegehungen vorgenommen. Die Gebäudebegehungen dienten dazu, die Informationen aus der Gebäuderecherche und aus den ExpertInneninterviews abzusichern, sowie auch Aussagen von NutzerInnen zu sammeln.

### **Durchführung**

Aus den bislang 30 Gebäuden der österreichischen Gebäudedatenbank Ventilative Cooling wurden die folgenden drei Objekte für die Begehung ausgewählt:

- Bürogebäude der Windkraft Simonsfeld AG in Ernstbrunn, Niederösterreich
- Schulgebäude „Bildungscampus Sonnwendviertel“ in Wien
- Einfamilien Wohnhaus „zu-haus“ in Auersthal, Niederösterreich

Die ausgewählten Gebäude wurden nach ihrer Recherche, Dokumentation in der Datenbank und Auswertung in der Korrelationsanalyse vor Ort besichtigt. Im Zuge der Besichtigung wurden persönliche Beobachtungen dokumentiert und mit den BenutzerInnen und PlanerInnen besprochen. Es wurden Fragen zu realen Betriebserfahrungen gestellt, einzelne Raumklimaparameter gemessen sowie Einstellwerte der Regelungstechnik abgelesen und protokolliert. Die Ergebnisse der Besichtigungen wurden in „Vor Ort Analyse Berichten“ strukturiert dokumentiert. Die Berichte befinden sich im Anhang.

### **Ergebnisse**

Die Vor-Ort Analysen bestätigten weitgehend die Aussagen der Expertenbefragung. Folgende Ergebnisse der Vor-Ort Analysen können zusammenfassend festgehalten werden:

Die Begehung des Einfamilien Wohnhauses „zu-haus“ hat eine hohe Zufriedenheit der NutzerInnen mit dem angewandten, einfachen System des Ventilative Cooling ergeben. Die Maßnahme der automatisierten Nachtlüftung in Verbindung mit einem über drei Geschoße offenen Wohngrundriss zeigt sich in der ländlichen Umgebung als effektiv und ausreichend. Als jedenfalls zu beachtende Randbedingungen haben sich ein wirksamer Insektenschutz und die Vermeidung von Stellmotorgeräuschen in sensiblen Räumen / zu sensiblen Zeiten herausgestellt.

Die Begehung des Schulbaus „Bildungscampus Sonnwendviertel“ war zum gegebenen Zeitpunkt wenig ergiebig, da noch keine Betriebserfahrungen in einer warmen Sommerperiode vorlagen. Die Begehung wurde daher in darauf folgenden Arbeitspaket ein zweites Mal durchgeführt und der gegenständliche Bericht ergänzt. Die Funktion der Nachtlüftung wurde vom Facility Management als gut eingestuft. Negativ wurden der hohe Wartungsaufwand des Fingerklemmschutzes und die vermehrten Reparaturen der elektrischen Fensterflügel, welche die SchülerInnen zu Experimenten verleitet, genannt.

Die Begehung des Bürobaus der Windkraft Simonsfeld AG bestätigte die Funktionalität des Ventilative Cooling, ausgeführt als passive Durchlüftung des großzügigen Atriums, unterstützt durch windangetriebene Abluftventilatoren. Bestätigt wurde auch die Wirksamkeit der konvektiven Lüftung durch Anordnung der Zuluftklappen im Nahebereich des Esstisches bei der Pausenküche. Als problematisch erwies sich die Abstimmung der Regelungstechnik zwischen der Steuerung des Ventilative Cooling und der zusätzlich vorgesehenen aktiven Klimatisierung, namentlich Entfeuchtung der Atriumluft. Hier waren Nachbesserungen notwendig und wurden im Zuge des Langzeitmonitorings umgesetzt.

### **5.2.3. Österreichische R&D Roadmap für Ventilative Cooling**

#### **Entwicklungspotenzial und -bedarf für Ventilative Cooling in NZEBs**

Aus den erläuterten, theoretischen und praktischen Funktionsanalysen lassen sich speziell für Österreich und vergleichbare Klimaregionen und speziell für hinsichtlich ihrer Energieeffizienz hochwertige Gebäude (NZEBs) das folgende Entwicklungspotenzial bzw. der folgende Entwicklungsbedarf ableiten.

- Übergreifendes und verbindendes Systems für die Komponenten:
- Fenster – Stellmotoren – Fühler
- Verbesserung der Integration von Motoren in das Fensterprofil
- Verschattungssysteme die Einbruchschutz, horizontalen Schlagregenschutz und ausreichende Lüftungsquerschnitte gewährleisten
- Sturmtauglichkeit des Systems, um ausreichenden Schlagregenschutz zu gewährleisten
- Entwicklung einfacher, robuster, selbstregelnder Aperturen
- Die Weiterentwicklung von Turbinenlüftern
- Umsetzung von Ablufttürmen mit Klappensteuerung
- Winddruck als Antrieb besser nutzbar machen

- Automatisierung, speziell CO<sub>2</sub> bedingter, Ansteuerung routinieren
- Weiterentwicklung von Klappenlösungen
- Integration von Feuchte Sensorik , um einen absoluten Feuchteabgleich von innen außen hin zu nutzen, um den Innenraum adäquat „zu trocknen“
- Automatisch öffnbare Zuluft- und Abluftelemente für vertikale und geneigte Fassaden.  
mit geringem Druckverlust im geöffneten Zustand. Zielwert < 2Pa bei Nennluftmenge.  
mit guter Luftdichtigkeit im geschlossenen Zustand.  
mit gutem Wärme- und Schallschutz im geschlossenen Zustand.  
im Idealfall auch mit Schallschutz im geöffneten Zustand.  
mit wirksamem Witterungs-, Insekten- und Einbruchschutz.  
mit Eignung für langlebigen, wartungsfreien, automatischen Betrieb, mit Fingerquetschschutz.  
mit Voreinstellbarkeit des Öffnungsgrades  
geräuscharm, mit geringem Energieverbrauch
- Permanent offene Überströmelemente für Trennwände, Trenndecken, Türen und ähnliches.  
mit geringem Druckverlust. Zielwert < 2Pa bei Nennluftmenge.  
mit gutem Schallschutz.
- Abluftantriebe  
Ventilatoren oder andere Vorrichtungen zur Verstärkung des Luftwechsels.  
entweder höchst effiziente elektrische Komponenten.  
oder Komponenten unter Ausnutzung/Forcierung von verfügbaren Umgebungsenergien, wie Auftrieb, Wind und ähnlichem.
- Geeignete, das Ventilative Cooling ergänzende, Komponenten zur Abdeckung des Restkühlbedarfs oder zur Steigerung des individuellen Komforts. Denkbar sind kostengünstige Spitzenlastklimageräte alternativ-parallel zum Ventilative Cooling. Denkbar sind auch kleinste Komponenten zur tatsächlich individuellen Komfortsteigerung am jeweiligen Aufenthaltsort. Denkbar sind auch Komponenten mit Phasenwechselmaterialien.
- Nachvollziehbare, einfache Dimensionierungsregeln zur Auslegung der Zuluftöffnungen, der Überströmöffnungen und der Abluftöffnungen für Ventilative Cooling.
- Nachvollziehbare Angaben über notwendige Automationskomponenten und geeignete Algorithmen der Mess-Steuer-Regelungstechnik zum Betrieb von Ventilative Cooling.
- Angaben zur Berücksichtigung von Ventilative Cooling Komponenten in der energetischen Gebäudeplanung, sowohl in vereinfachten Nachweisverfahren als auch in komplexen Verfahren der thermischen Gebäudesimulation (Building Energy Modelling).
- Angaben über geeignete Lösungen bis hin wieder zu MSR-Algorithmen für Hybridanlagen mit ventilative Cooling, ergänzt durch Komponenten technischer Kälteerzeugung.
- Abgesicherte, nachvollziehbare Dimensionierungsregeln von Maßnahmen zur kleinklimatisch verbessernden Außenraumgestaltung. Etwa von Pflanzungen für sowohl Beschattung als

auch Evapotranspiration, von Wasserflächen, von Maßnahmen zur Windbeeinflussung.

- Angaben zur Berücksichtigung dieser Effekte in der energetischen Gebäudeplanung.

### **Ergebnis und Fazit**

Aus den Ergebnissen des Status Reports und des vorliegenden Technologieprofils Ventilative Cooling wurde ein komprimierter Management Report erstellt (Siehe Anhang.), der über die Wege von Internetpräsenz, Fachmedien, Emailaussendung, persönliche Kontaktaufnahmen EntscheidungsträgerInnen einschlägiger österreichischer Technologieanbieter und Planungs- und Fachberatungs- sowie Forschungsinstitutionen zur Kenntnis gebracht wurde. Der Einladung, im Rahmen des laufenden Annex 62 konkrete Entwicklungen zu beginnen bzw. durchzuführen und seitens des Annex 62 eine wissenschaftliche Begleitung im Rahmen des Arbeitspakets 3, Technologieentwicklung Ventilative Cooling, in Anspruch zu nehmen, sind leider keine Firmen gefolgt.

### **5.3. Technologieentwicklung Ventilative Cooling**

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

Da die tatsächliche Weiterentwicklung technischer Komponenten nur in Kooperation mit einschlägigen Herstellern und somit vorbehaltlich deren Markteinschätzung und strategischen Entwicklungszielen verwirklichtbar ist, konnte dieses Ziel im Zuge des Forschungsprojekts mangels Kooperationspartner nicht erreicht werden.

Im Rahmen des Projekts wurden die systematische Erarbeitung von Planungs- und Gestaltungsregeln für Gebäudekonzepte des Ventilative Cooling, für die optimierte Betriebsführung und Nutzung sowie für die Weiterentwicklung gebäudetechnischer Komponenten durchgeführt. Der vollständige Bericht zur Technologieentwicklung Ventilative Cooling findet sich im Anhang.

#### **5.3.1. Funktionsevaluierung an Gebäuden**

##### **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 siebengeschößige Gebäude mit insgesamt 137 Mietwohnungen von 43 m<sup>2</sup> bis 130 m<sup>2</sup> Nutzfläche.

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

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



**Abbildung 5-6: 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 Haltmagneten 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 m<sup>3</sup>/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 5-7: 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 <sup>2</sup>	0,8 m <sup>2</sup>
Luftvolumenstrom des VC	22.000 m <sup>3</sup> /h	11.000 m <sup>3</sup> /h
Von VC bewirtschaftete Nutzfläche	996 m <sup>2</sup>	750 m <sup>2</sup>
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 <sup>-1</sup>	5,6 h <sup>-1</sup>

Tabelle 5-2: Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung Lorenz-Reiter Straße

### 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.

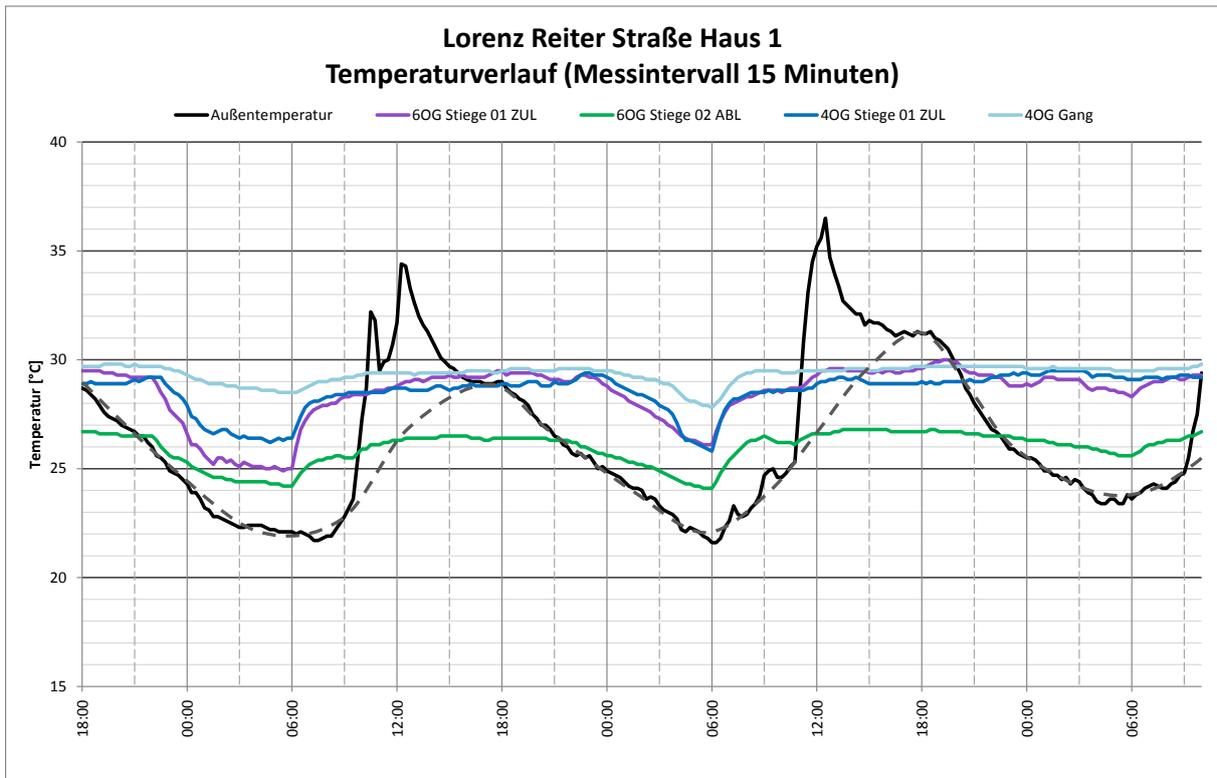


Abbildung 5-8: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung in Haus 1

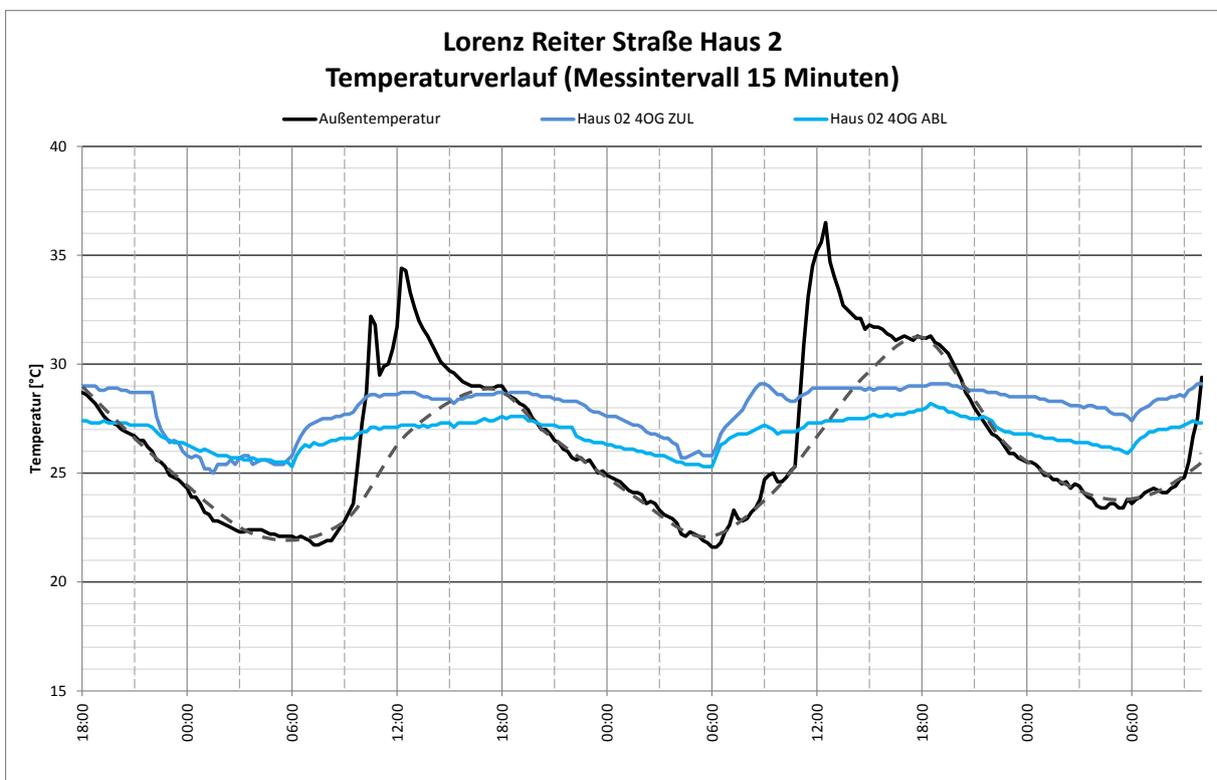


Abbildung 5-9: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung in Haus 2

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.

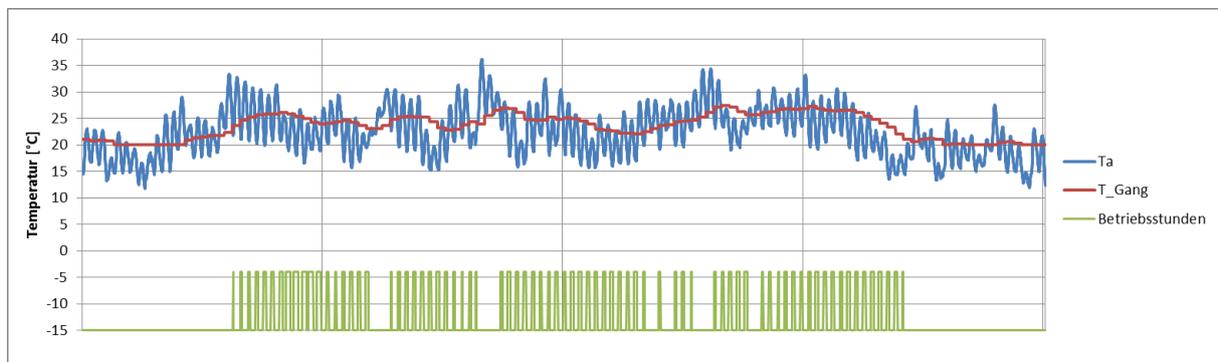


Abbildung 5-10: Verlauf von Außen- und Gangtemperatur Juni-Sept für Jahresberechnungen

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

$\Delta T$  ... Temperaturdifferenz zwischen Gang- und Außentemperatur.

Mit dem konstanten Luftvolumenstrom jedes der drei Abluftventilatoren von 11.000 m<sup>3</sup>/h und mit der spezifischen Wärmekapazität von Luft von 0,34 Wh/m<sup>3</sup>K 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/m<sup>2</sup>NFa und im Haus 2 eine solche von 15,5 kWh/m<sup>2</sup>NFa.

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 m<sup>3</sup>/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/(m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>) 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.

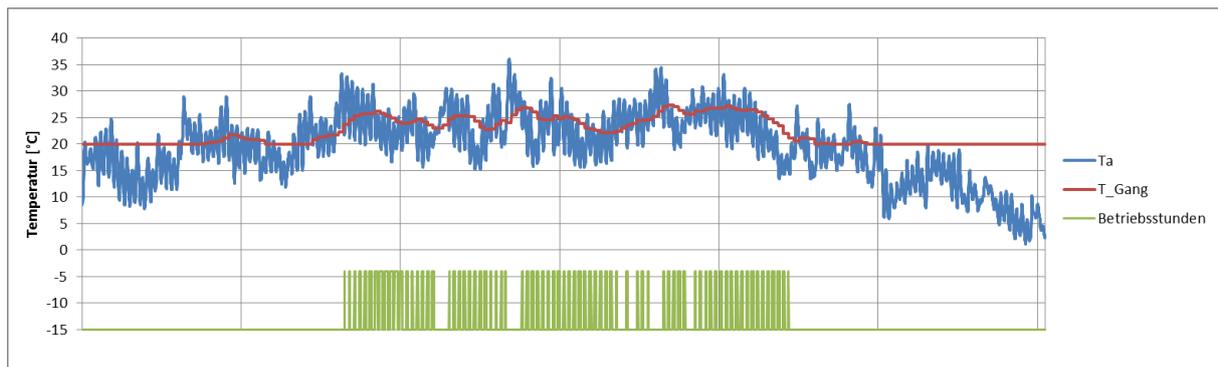


Abbildung 5-11: Temperaturverhältnisse und Einschaltzeiten des VC im Zeitraum Mai bis Oktober

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 <sup>3</sup> /h	11.000 m <sup>3</sup> /h
Leistungsaufnahme der Ventilatoren (lt. Messung an einem Ventilator)	1.040 W	520 W
Betriebsstunden 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 <sup>2</sup> <sub>NFa</sub>	15,5 kWh/m <sup>2</sup> <sub>NFa</sub>
Nutzflächenbezogene abgeführte Kühlenergie bezogen auf die indirekt konditionierten Wohnflächen	2,6 kWh/m <sup>2</sup> <sub>NFa</sub>	1,8 kWh/m <sup>2</sup> <sub>NFa</sub>
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 5-3: Ergebniskennzahlen der Nachtlüftung Lorenz-Reiter Straße**

### **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/m<sup>2</sup><sub>NFA</sub> (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/m<sup>2</sup><sub>NFA</sub>.)
- 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.

### **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.

### **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 m<sup>2</sup> 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 außen aufgestellten Luft-Wasser-Kältemaschine ergänzt, welche die mechanisch eingebrachte Zuluft in Hitzeperioden über einen Wasser-Luft-Wärmetauscher kühlt.



**Abbildung 5-12: Gebäude Lassallestraße 2, Quelle: Prater Apartments <sup>4</sup>**

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  $V = 1.800$  m<sup>3</sup>/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

---

<sup>4</sup> Quelle: <http://www.praterapartments.com/> (11.10.2016)

- ABL-Ansaugung: Gitter über Rohrstutzen Durchmesser 31,5 cm
- ABL-Luftführung: Runder Luftkanal,  $d = 40$  cm, Mittlere Länge  $l_{AUL} = 2$  m, ein 90°-Bögen,
- ABL-Ventilator: Wechselstrommotor, Leistungsaufnahme  $P_{el} = 290$  W,  
Luftvolumenstrom nicht gemessen, Annahme von 1.800 m<sup>3</sup>/h
- FOL-Luftführung: Eckiger Luftkanal, 40x40 cm, Länge  $l_{AUL} = 3$  m, ein 90°-Bogen, 2 Schalldämpfer
- FOL-Ausblasung: Wetterschutzgitter, 40x40 cm

Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Luft in dem  $D = 40$  cm ZUL-Kanal wurde messtechnisch mit 3,8 m/s ermittelt. Der Volumenstrom der Nachtlüftung ergibt sich daraus zu 1.800 m<sup>3</sup>/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 5-13: 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 <sup>2</sup>
Luftvolumenstrom des Ventilative Cooling	1.800 m <sup>3</sup> /h
Von VC bewirtschaftete Nutzfläche	150 m <sup>2</sup>
ZUL Öffnungsquerschnitt, bezogen auf die belüftete Nutzfläche	0,1 %
Raumhöhe	2,8 m

Luftwechsel, bezogen auf die von VC bewirtschaftete Nutzfläche

4,3 h<sup>-1</sup>

Tabelle 5-4: Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung Lassallestraße

### 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.

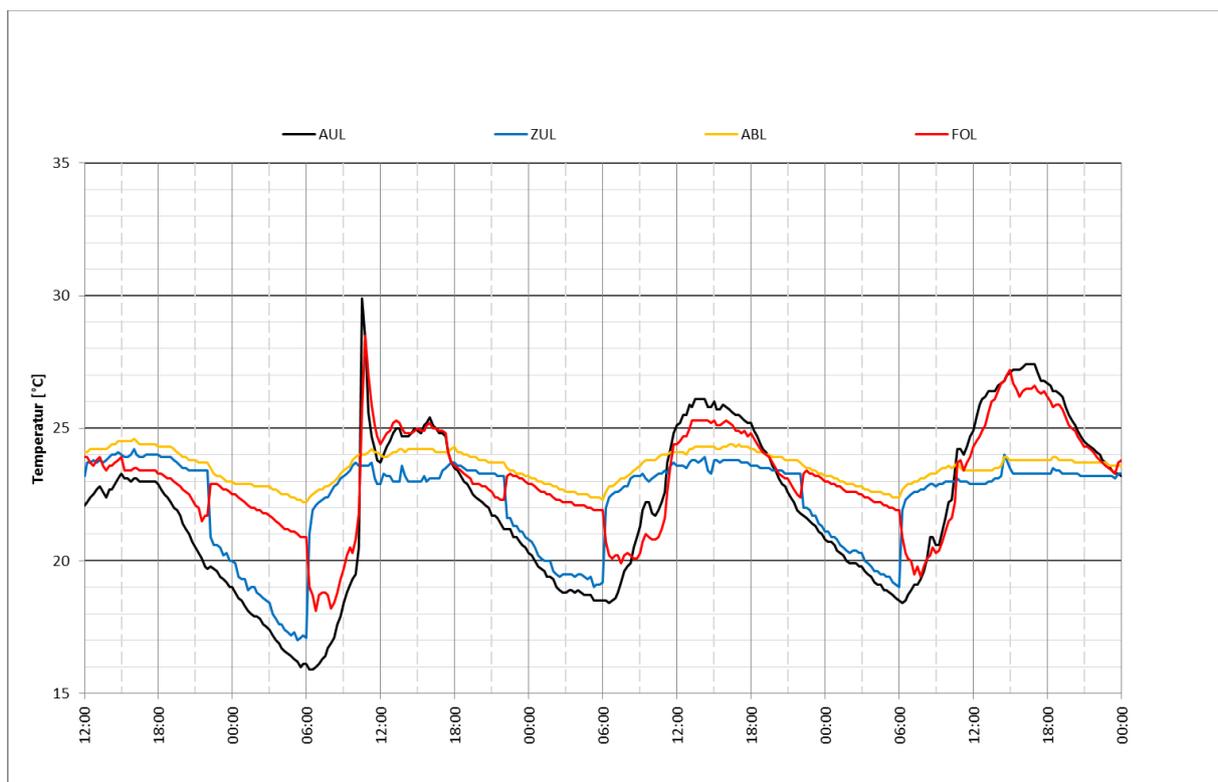


Abbildung 5-14: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung

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.

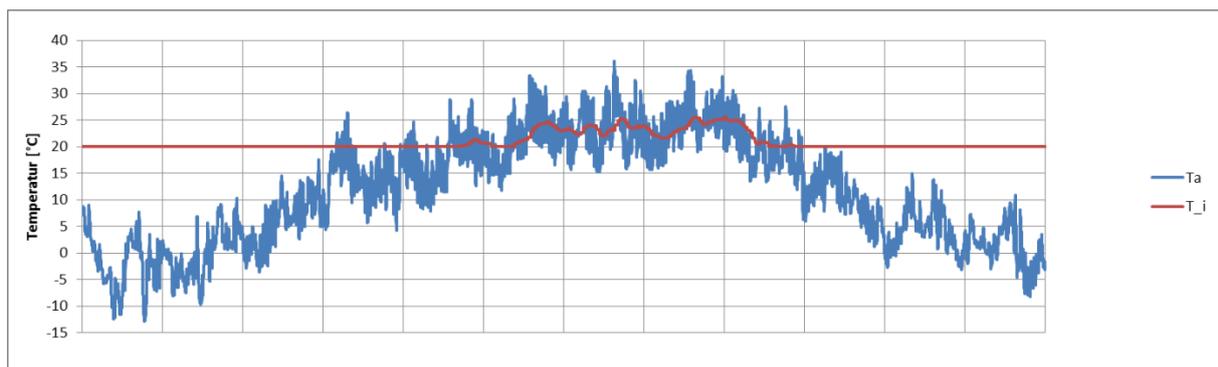
Erkennbar ist auch, dass der Einschaltzeitpunkt mit 22:00 und der Ausschaltzeitpunkt 06:00 gut gewählt sind.

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 5-15: 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

$\dot{V}$  ... Luftvolumenstrom der Nachtkühlung

$c_p$  ... spezifische Wärmekapazität der Luft

$\Delta T$  ... Temperaturdifferenz zwischen Gang- und Außentemperatur.

Mit dem konstanten Luftvolumenstrom des Abluftventilators von  $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$  und mit der spezifischen Wärmekapazität von Luft von  $0,34 \text{ Wh}/\text{m}^3\text{K}$  ergibt sich für den Ventilator eine jährliche abgeführte Kühlenergie von  $1,2 \text{ MWh}/\text{a}$  bei einer jährlichen Betriebszeit von 428 Stunden und somit einer mittleren Wärmeentzugsleistung von  $2,8 \text{ kW}$ .

Bezogen auf die bewirtschaftete Nutzfläche von  $150 \text{ m}^2$  ergibt sich eine nutzflächenspezifische Kühlenergie von  $8 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{NFa}}$ .

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  $300 \text{ W}$ . Die vom ABL-Ventilator aufgenommene Wirkleistung beträgt  $290 \text{ W}$ .

Es liegt also eine spezifische Leistungsaufnahme von  $0,33 \text{ W}/(\text{m}^3\text{h}^{-1})$  vor.

Bei einem angenommenen Ventilatorwirkungsgrad von  $60\%$  ergäbe sich eine korrelierende Gesamtpressung des Systems von  $1.180 \text{ Pa}$ , 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  $253 \text{ kWh}$  je Ventilator.

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

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.

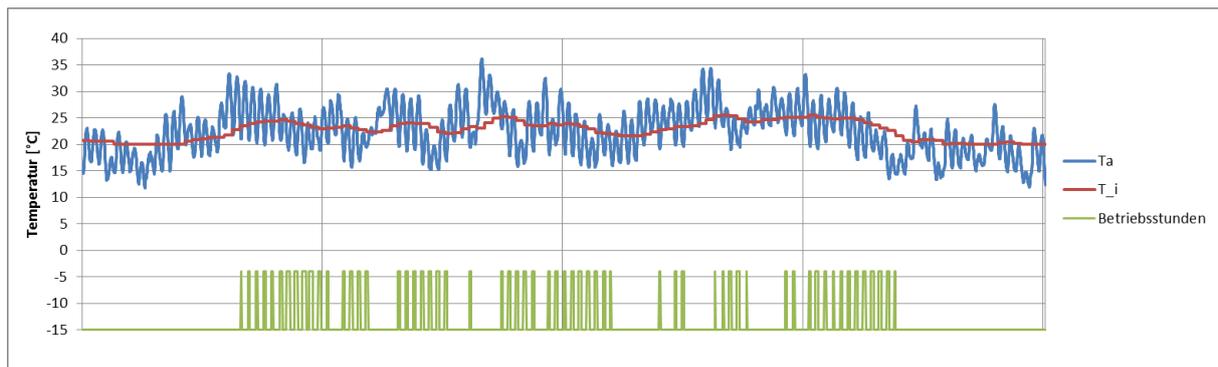


Abbildung 5-16: Temperaturverhältnisse und Einschaltzeiten des VC im Zeitraum Mai bis Oktober

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 <sup>3</sup> /h
Leistungsaufnahme der Ventilatoren (lt. Messung)	590 W
Betriebssunden der Ventilatoren (lt. Berechnung)	428 h/a
Abgeführte Kühlenergie	1,2 MWh/a
Nutzflächenbezogene abgeführte Kühlenergie	8 kWh/m <sup>2</sup> <sub>NFA</sub>
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 5-5: Ergebniskennzahlen der Nachtlüftung Lassallestraße

### **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/m<sup>2</sup><sub>NFA</sub> 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.

### **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.

## **5.4. Case Studies und Langzeitmonitoring**

Parallel zu den oben beschriebenen Arbeitspaketen wurden zwei detaillierte Langzeitmonitorings durchgeführt und ausgewertet. Die Untersuchungen wiesen den ventilativen Kühlsystemen eine gute Funktionsweise und einen gewichtigen Beitrag zur Energieeffizienz aus. Die Monitorings ermöglichten zudem eine Überprüfung und Feinjustierung der eingestellten Steuerungsparameter. Die Ergebnisse sind auszugsweise unten dargestellt. Der vollständige Bericht findet sich im Anhang.

### **5.4.1. Fallbeispiel Langzeitmonitoring Universität Innsbruck**

#### **Beschreibung des Gebäudekonzeptes und der Haustechnik**

Das quaderförmige Hauptgebäude der Bau fakultät wurde im Jahr 1971 errichtet und umfasst acht Obergeschoße und ein Untergeschoß. Die Tragstruktur ist ein Stahlbetonskelettbau mit einem Raster von 7,50 x 7,50m. Der Stahlbetonkern umfasst das Treppenhaus, Aufzugsschächte, Technikschächte und WC-Anlagen.<sup>5</sup> Die Wärme wird mittels Fernwärme bereitgestellt. Eine Kälteerzeugung gibt es nicht, es wird lediglich die Luft in den Lüftungsanlagen mittels Brunnenkühlung vorgekühlt.

---

<sup>5</sup> Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie; Nachhaltig wirtschaften; In BIGMODERN SP9: Demonstrationsgebäude Universität Innsbruck – Umsetzung, S.23



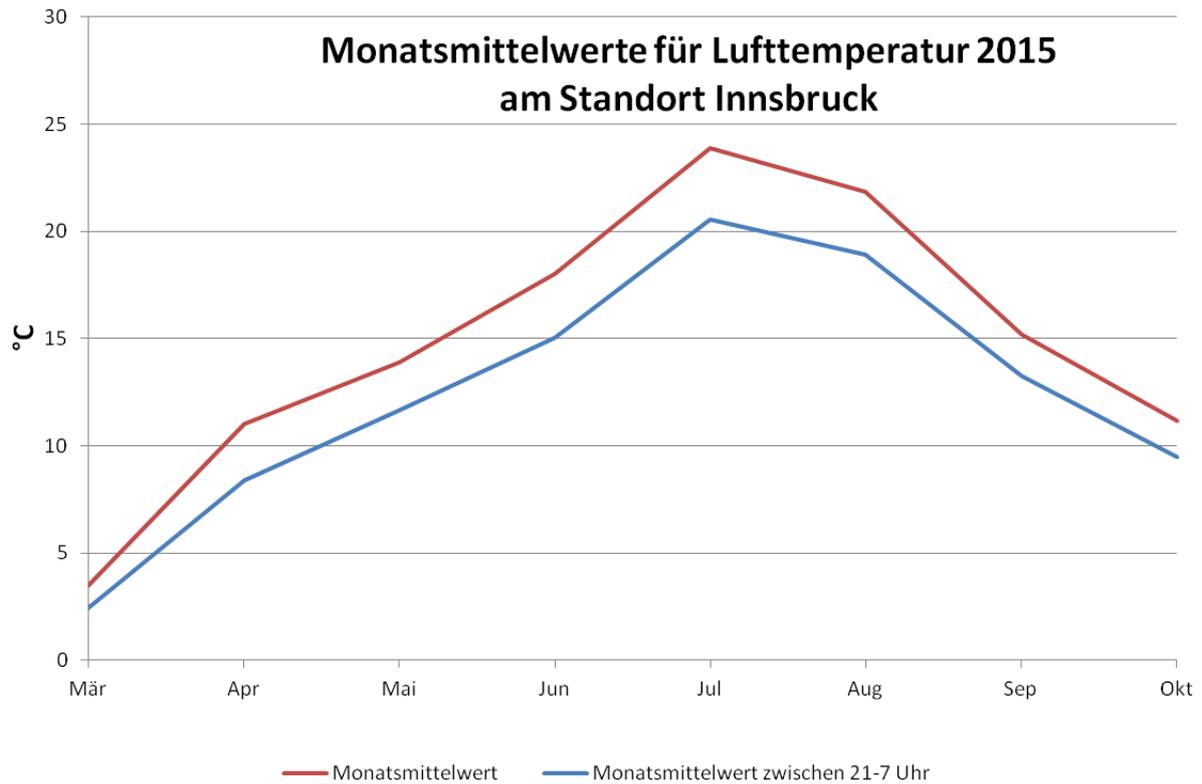
Abbildung 5-17 Fassade, Quelle: ATP Architekten Ingenieure

### **Auswertungen des Monitorings**

#### **Lüftungspotential am Standort Innsbruck**

Der Standort Innsbruck ist für die Nutzung der Funktion einer natürlichen Fensterlüftung in den Nachtstunden begünstigt, wie die folgenden Abbildungen zeigen. Die Außenluft am Standort kühlt in den Nachtstunden soweit ab, damit diese den Anforderungen für eine Fensterlüftung entspricht und genutzt werden kann.

Im Mittel lag die Lufttemperatur im Juli 2015 zwischen 21 – 7 Uhr um die 20,5 °C.



**Abbildung 5-18: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur im Jahr 2015 für den Standort Innsbruck**

Somit ist das theoretische Lüftungspotential ein sehr hohes. Für den Zeitraum von 01.04.2015 bis 30.09.2015, das sind 183 Tage, jeweils von Montag bis Sonntag zwischen 21 und 7 Uhr ergab sich unabhängig von der Außenlufttemperatur eine maximale theoretische Nutzungszeit von 1830 h. Bei einer Nutzung von Montag bis Samstag ergaben sich immerhin noch 1570 h. Berücksichtigt man die Außentemperatur im Juli 2015, das heißeste Monat in dem Jahr, so war diese im Juli knapp  $300 \text{ h} \leq 26^\circ\text{C}$ , rund  $270 \text{ h} \leq 24^\circ\text{C}$  und immerhin noch  $225 \text{ h} \leq 22^\circ\text{C}$ , wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

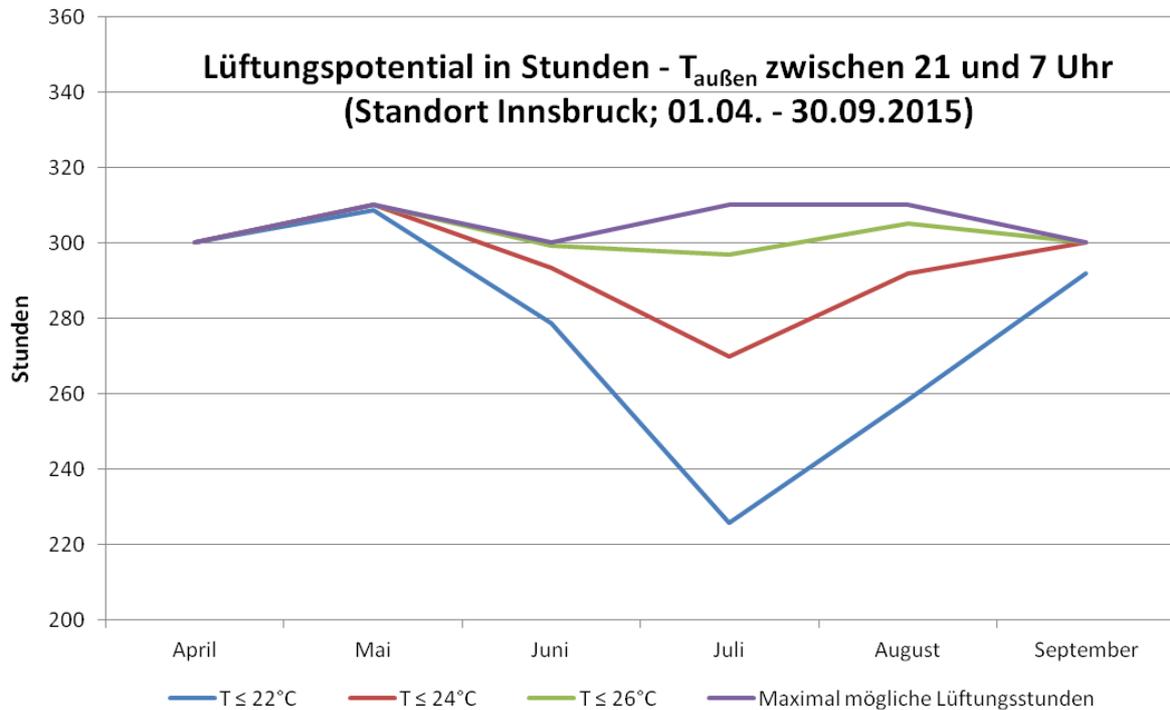


Abbildung 5-19: Lüftungspotential in Stunden zwischen 21 und 7 Uhr

### Tatsächliche Fensterlüftungsstunden

In Abbildung 5-20 werden die gemessenen und tatsächlichen Fensterlüftungsstunden gezeigt. In Summe wurde die Fensterlüftung rund 690 h, verteilt auf 116 Nächte, aktiv genutzt.

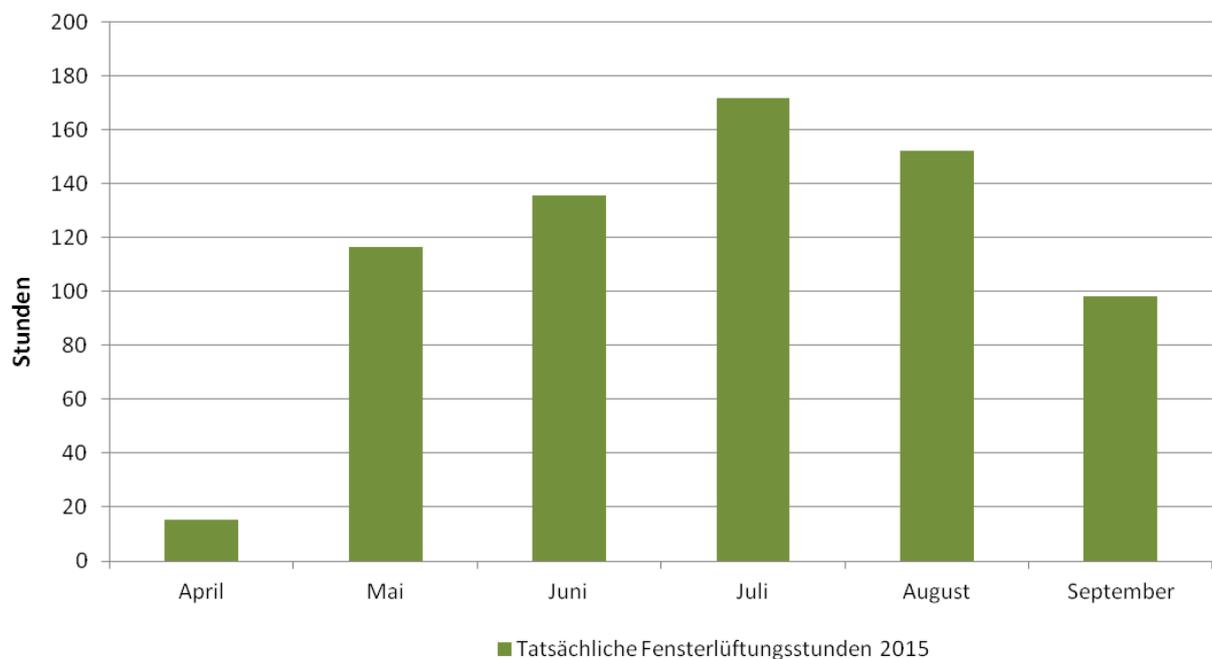


Abbildung 5-20: Gemessene monatliche Lüftungsstunden 2015

Orientierung	Stunden [h]
Fensterlüftung Gesamt	690
Nordfassade	600
Ostfassade	575
Südfassade	565
Westfassade	506

**Tabelle 5-6: Lüftungsstunden je Orientierung**

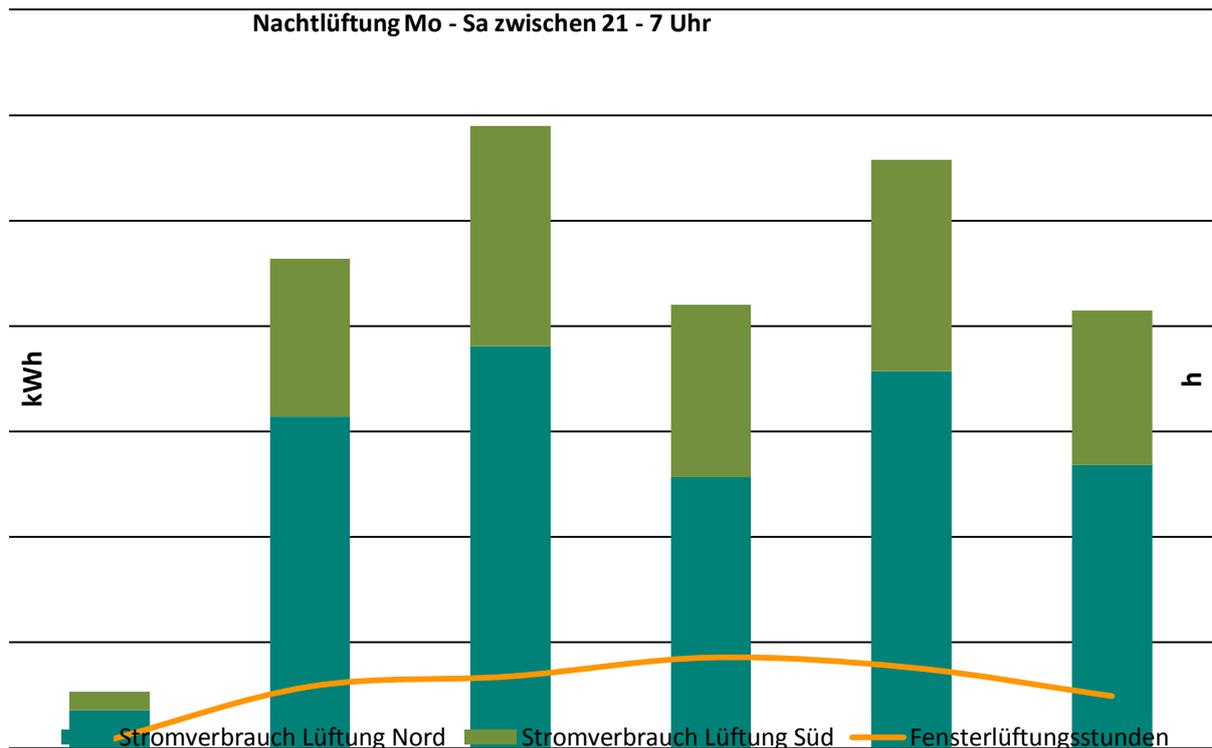
### **Fensterlüftung mit Unterstützung von Lüftungsanlage**

Bei zu hohen Raumlufttemperaturen sollen die Abluftventilatoren der Lüftungsanlagen zur besseren Durchströmung die Fensterlüftung unterstützen. Im Jahr 2015, das erste Betriebsjahr, konnte jedoch bei dem Gebäude der Universität beobachtet werden, dass die Lüftung fast immer unterstützend gelaufen ist. Nur im Monat Juli war die Lüftung nicht immer zusätzlich in Betrieb. In Summe verbrauchten die Lüftungsanlagen für die Unterstützung der Fensterlüftung zirka 5.000 kWh

Lüftungsanlage	L01 Nord	L02 Süd
Leistung Abluftventilator lt. Datenblatt	5,78 kW	2,79 kW
Gemessener Stromverbrauch Lüftungsanlagen	3.225 kWh	1.775 kWh
Berechnete Volllaststunden Abluftventilatoren	558 h	636 h

**Tabelle 5-7: Berechnete Volllaststunden der Abluftventilatoren**

In nächster Abbildung ist der monatliche Stromverbrauch der beiden Lüftungsanlagen (Abluftventilatoren) gegenüber den Fensterlüftungsstunden dargestellt. Es ist zu sehen, dass im Juli die Abluftventilatoren weniger gelaufen sind und dadurch weniger Strom verbraucht wurde.



**Abbildung 5-21: Monatlicher Stromverbrauch Abluftventilatoren zu Fensterlüftungsstunden**

### **Effekt der Fensterlüftung**

Allgemein kann gesagt werden, dass die Fensterlüftung mit und ohne Unterstützung der Lüftungsanlage in diesem Gebäude in Innsbruck gut funktioniert und laut Monitoring ein merkbarer Effekt zu erkennen ist, wie in den Abbildung 5-23, Abbildung 5-24 und Abbildung 5-25 auch ersichtlich ist. In

Abbildung 5-22 ist die Lage der ausgewählten Referenzräume im 4. OG dargestellt. Es handelt sich um zwei außenliegende Eckbüros, einmal mit Nord-Ost (445) und einmal mit Süd-Ost Orientierung (412) und einen innenliegenden Raum (435). Während die Fensterlüftung aktiv ist kann ein deutliches Absinken der Raumtemperaturen erkannt werden. Dies ist zum Beispiel an den Tagen des 04.08. und 05.08.2015 sehr gut zu erkennen. Im Gegensatz dazu das Wochenende vom 09-10.08.2015, wo die Fensterlüftung nicht aktiv gewesen ist.

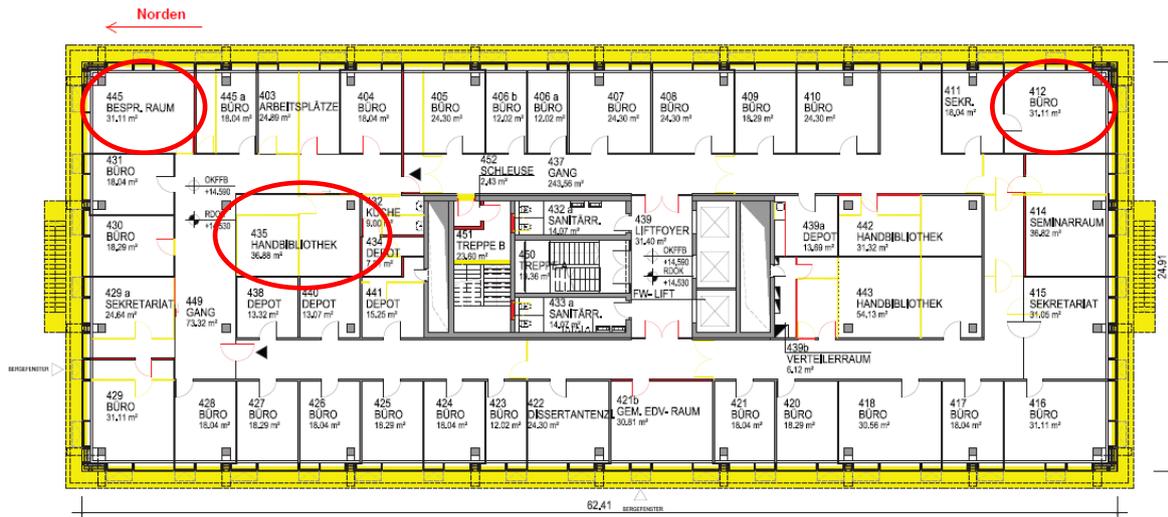


Abbildung 5-22: Grundriss 4.OG mit markierten Referenzräumen, Quelle: ATP Architekten

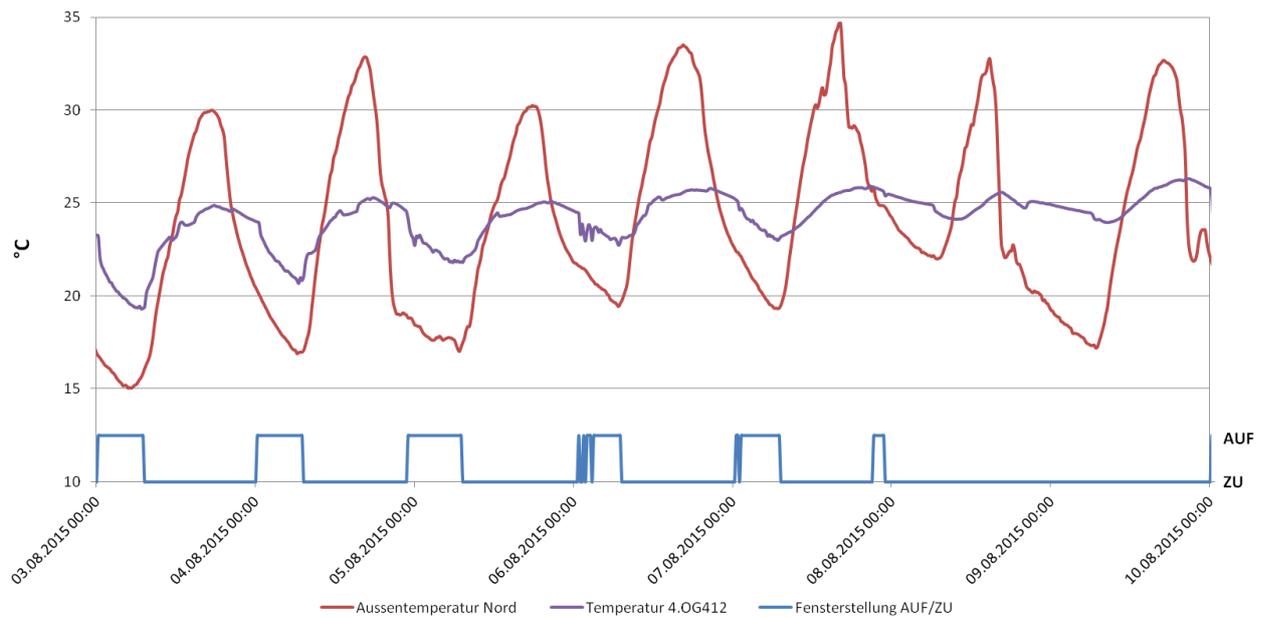
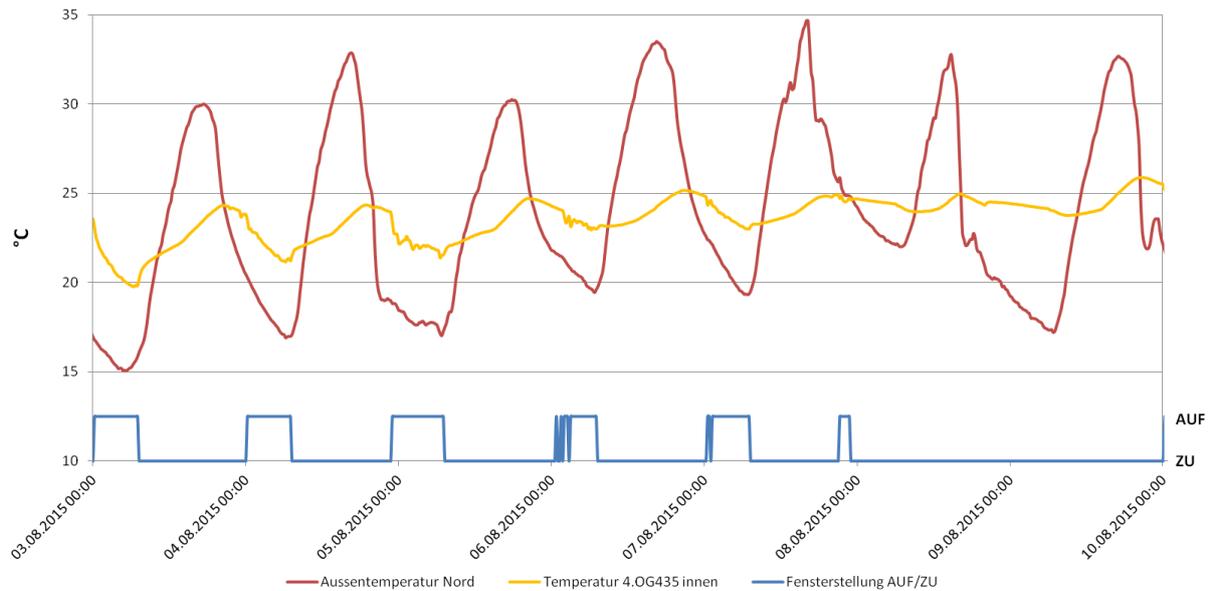
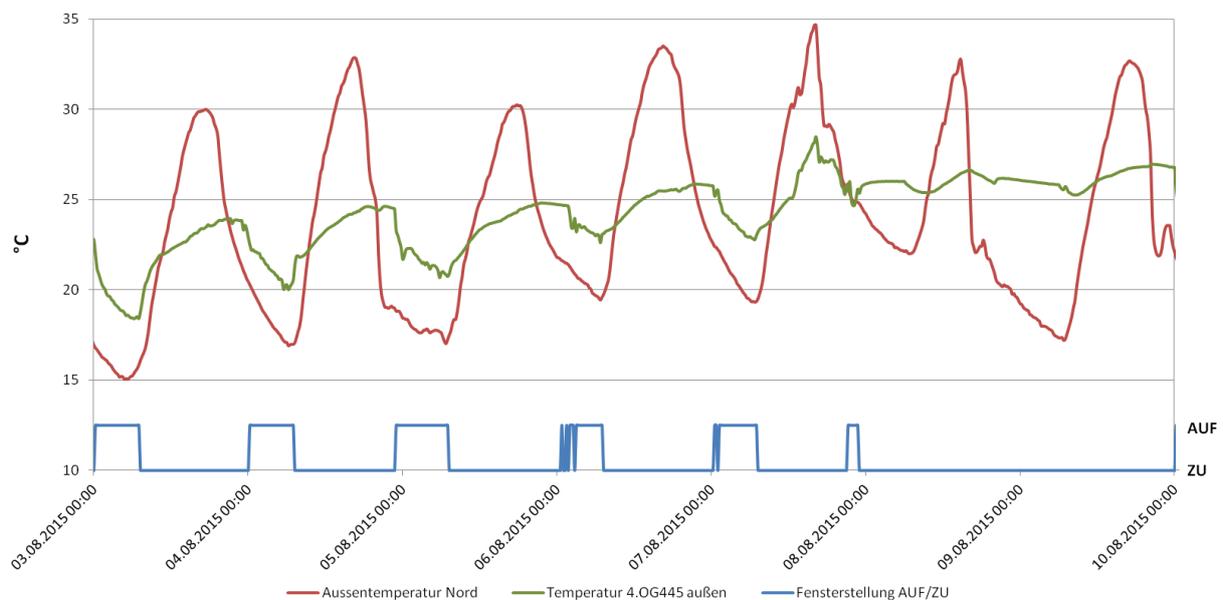


Abbildung 5-23: Raumtemperaturverlauf für außenliegenden Raum 4.OG412



**Abbildung 5-24: Raumtemperaturverlauf für innenliegenden Raum 4.OG435**



**Abbildung 5-25: Raumtemperaturverlauf für außenliegenden Raum 4.OG445**

### **Berechneter Wärmestrom für den innenliegenden Raum 4.OG435**

Der innenliegenden Raum 4.OG435 ist mit 36,88 m<sup>2</sup> als Bibliothek ausgewiesen. Für diesen Raum liegt ein Messprotokoll für den Abluftvolumenstrom mit 469 m<sup>3</sup>/h vor. Anhand der Messdaten für die Raumtemperatur wurde die Summe der Temperaturdifferenzen von Start und Endwert während der Fensterlüftung mit Lüftungsunterstützung gebildet. Im Jahr 2015 wurde im Raum 435 somit eine Gesamttemperaturdifferenz durch die Fensterlüftung von rund 196°C erreicht.

Mit der Formel für Wärmestrom  $Q = 0,34 \times V \times (T_i - T_e)$  kann daraus ein Wärmestrom von zirka 31.260 Wh = 31,26 kWh für diesen Einzelraum abgeleitet werden.

## 5.4.2. Fallbeispiel Langzeitmonitoring Windkraft Simonsfeld

### Beschreibung des Gebäudekonzeptes und der Haustechnik

Der Neubau ist das neue Headquarter Gebäude der Windkraft Simonsfeld AG. Das zweigeschoßige Plusenergiegebäude wurde 2014 fertiggestellt und hat eine Bruttogeschoßfläche (BGF) von 967m<sup>2</sup>.

Firmengebäude Windkraft Simonsfeld in Ernstbrunn

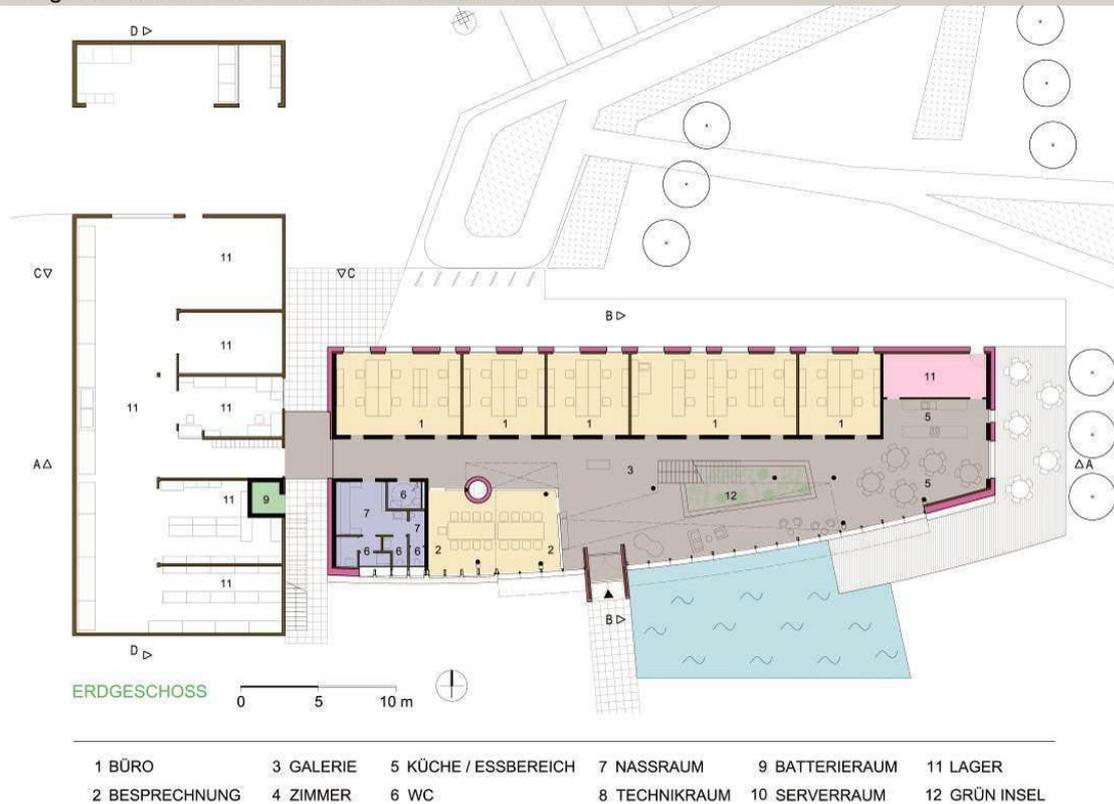


Abbildung 5-26: Grundriss EG, Quelle: Architekturbüro Reinberg ZT GmbH

Die Wärmeenergie für Heizen und Warmwasser wird über eine 100m<sup>2</sup> Solaranlage und einer Geothermie Anlage kombiniert mit einer Wärmepumpe geliefert. Die Kühlenergie wird mittels freier Kühlung über die Geothermie Anlage bereitgestellt. Zusätzlich gibt es noch eine Brunnenkühlung für den Serverraum. Am Dach und an der Südfassade ist eine 50kWp PV Anlage installiert. Alle Räumlichkeiten sind mechanisch belüftet.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> BPS Engineering; Windkraft Simonsfeld; In: Technische Beschreibung HKLS Anlagen, S.6-7



Abbildung 5-27: Ansicht Windkraft Simonsfeld, Quelle: Architekturbüro Reinberg ZT GmbH

### Auswertungen des Monitorings

„In den Monaten Juni-August wurden folgenden Luftmengen umgesetzt. Bei den Luftumsätzen wurde davon ausgegangen das die Tornadolüfter wie geplant kaskadisch freigeschaltet werden. Lüfter 3 und 4 sind daher kaum in Betrieb.“<sup>7</sup>

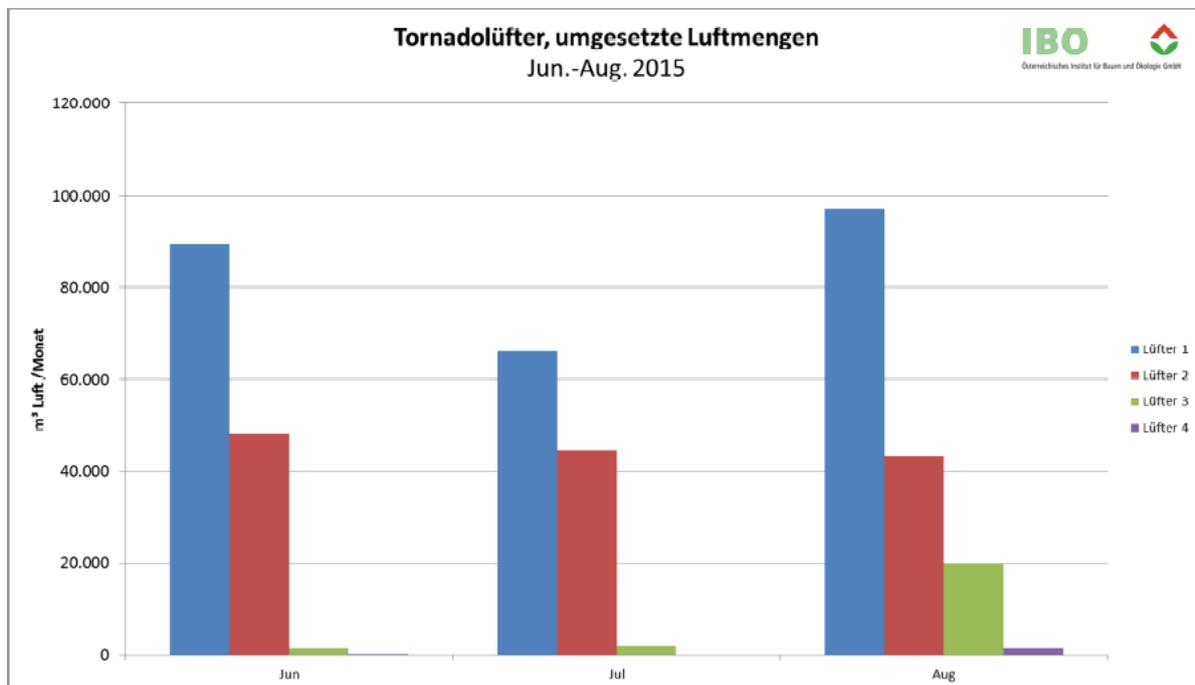


Abbildung 5-28: Monatliche Luftmengen pro Tornadolüfter für 2015, Quelle: IBO GmbH, Binting

In nachstehender Abbildung wird die Funktionsweise des Ventilative Coolings gezeigt. In der Darstellung wird die Außentemperatur (rot), die Raumtemperatur der Galerie (orange) und das Stellsignal der Lüftungsöffnungen (grau) gegenübergestellt. Die VC Funktion hat scheinbar nur eine

<sup>7</sup> IBO GmbH; Mag. Binting; In: Monitoring - Bericht über 12 Monate, Windkraft Simonsfeld, 23.10.2015, S10-11

geringe Auswirkung auf die Galerietemperatur. Entweder ist der Temperatursensor außerhalb des Einflussbereiches der Luftkühlung platziert oder der Kühleffekt ist tatsächlich nur minimalst. Auf jeden Fall besteht noch Optimierungspotential bei der VC Steuerung, da die Lüftungsklappen nicht immer bei niedrigeren Außentemperaturen öffnen und die Tornadolüfter nicht effektiv eingesetzt, (gleichzeitiger Betrieb der Lüfter sowie Anpassung der Temperatursollwerte für die Freigabe), werden.

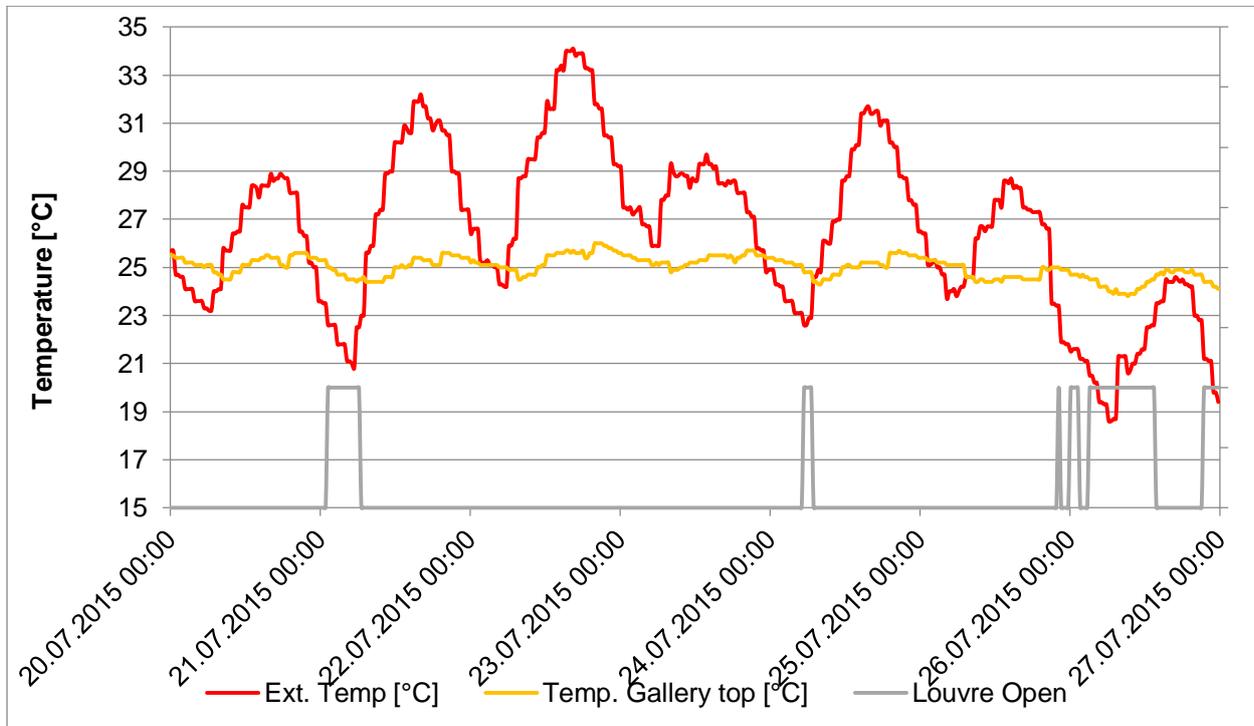


Abbildung 5-29: Funktionsweise Ventilative Cooling 2015

„Die zugeführte Kühlenergie durch die Frischluftzufuhr wurde näherungsweise mittels der Daten aus der Leittechnik errechnet. Die Berechnung erfolgte auf Basis der gemessenen Luftvolumenströme und der Temperaturdifferenz zwischen den Temperaturfühlern „Außentemperatur“ und „Galerie oben“. Damit ergeben sich für die Monate Juni 187 kWh, Juli 127 kWh und August 166 kWh an zugeführter „Kühlenergie“.<sup>8</sup>

#### „Raumtemperaturen für Essbereich, Galerie

Die gemessenen Raumtemperaturen in diesen Bereichen haben 26 °C nicht überschritten wobei die Temperaturen im Essbereich meist unter jenen in der Galerie liegen (siehe Abbildung 13: türkise Linie: Essbereich, grüne Linie: Galerie OG).<sup>9</sup>

<sup>8</sup> IBO GmbH; Mag. Binting; In: Monitoring - Bericht über 12 Monate, Windkraft Simonsfeld, 23.10.2015, S12

<sup>9</sup> IBO GmbH; Mag. Binting; In: Monitoring - Bericht über 12 Monate, Windkraft Simonsfeld, 23.10.2015, S13

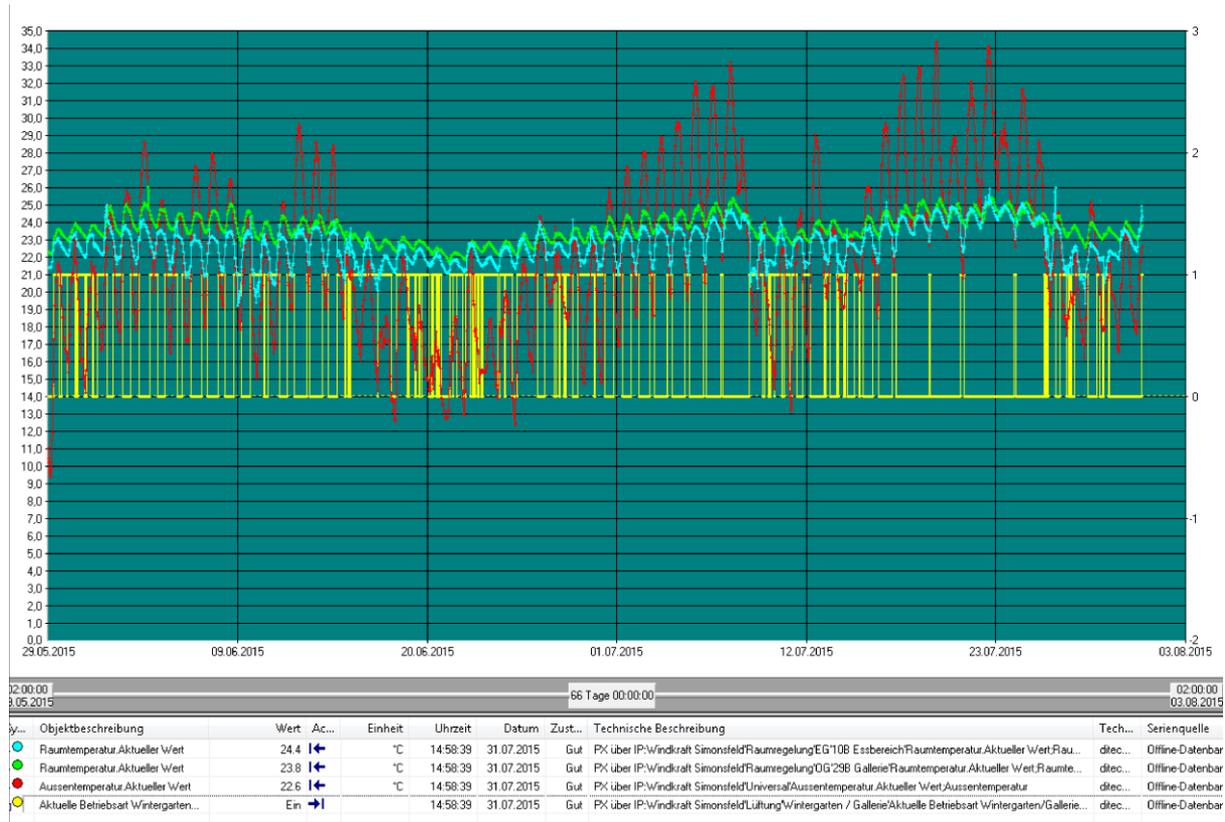


Abbildung 5-30: Raumtemperaturen Essbereich und Galerie, Quelle: IBO GmbH, Binting

## 5.5. Leitfaden für Ventilative Kühlung

Ziel der Erstellung des österreichischen Leitfadens war die Bereitstellung eines kompakten Handbuchs für die Planung und Implementierung von Ventilative Cooling. Die im Zuge der Forschungsarbeit gewonnen Erkenntnisse wurden gemäß ihrer praktischen Relevanz zusammengefasst und in das Dokument aufgenommen. Der abgeschlossene Leitfaden wurde auf der Homepage <https://nachhaltigwirtschaften.at> zum Download zur Verfügung gestellt.

Nachstehend werden mehrere Kapitel des Leitfadens exemplarisch angeführt. Das vollständige Dokument befindet sich im Anhang.

### 5.5.1. Aufbau des Leitfadens

- Einleitung
- Prinzipien und Vorbemessung
- Komponenten
- Gebäudegestaltung
- Planung
- Good Practice Beispiele

### 5.5.2. Prinzipien des ventilativen Kühlens

Das Grundprinzip von ventilativer Kühlung von Gebäuden basiert auf freier Kühlung mit Hilfe kühler Außenluft, welche eingebracht und gut verteilt durch das Gebäude geleitet wird. Dabei werden die

im Gebäudeinneren gespeicherten thermischen Lasten abgeführt. Meist wird das Prinzip der Nachtlüftung forciert angewandt, wobei das Gebäude (außerhalb der Nutzerzeiten) mit hohen Luftwechselraten belüftet wird. Die kühlere Außenluft gleicht so die tagsüber akkumulierte Wärme im Gebäudeinneren aus und konditioniert die thermische Masse für den darauffolgenden Tag.

Für das Prinzip der ventilativen Kühlung gilt die Reduktion der Wärmezufuhr durch interne und solare Einträge als Voraussetzung, sodass eine zeitlich verzögerte Wärmeabfuhr in Verbindung mit der Speicherkapazität der Bauteile ausreicht, um einen Temperaturanstieg über den Behaglichkeitsbereich hinaus zu vermeiden. Die Wirkung der Wärmeabfuhr hängt im Wesentlichen von der Temperatur der Zuluft beziehungsweise Außenlufttemperatur, der Dauer und der Intensität (Luftwechsel) der Belüftung ab.

Das Ausmaß thermisch aktivierbarer Speichermassen ist ebenfalls ein wichtiges Kriterium. Hierbei gilt es darauf zu achten, dass die Bauteile eine hohe Wärmekapazität sowie Wärmeleitfähigkeit besitzen und die Bauteilmassen für die Luftströme zugänglich (aktivierbar) sind, um einen ungehinderten Wärmeübergang zu gewährleisten. Findet nämlich kein oder nur schlechter Wärmeaustausch mit der Innenraumluft statt, so kann die vorhandene Speichermasse ihre Wirkung nicht entfalten. Daher sollte auf großflächige Verkleidungen massiver Bauteile (zum Beispiel Bauteile aus Stahlbeton, Ziegelmauerwerk, Stahlkonstruktionen) durch abgehängte Decken oder doppelte Böden verzichtet werden. Gipskarton- oder Systemtrennwände bieten nur geringe Möglichkeiten, Wärme aufzunehmen und zu speichern.

Die Wärmeabfuhr durch Luft kann durch natürliche Belüftung und/oder mechanischer Belüftung erzielt werden. Das Prinzip der ventilativen Kühlung kann auch bei Gebäuden mit zentraler Lüftungsanlage, bei Auslegung für erhöhte Luftwechselraten, angewendet werden.

### **Natürliche Belüftung**

Natürliche Belüftung von Gebäuden hängt von natürlich auftretenden Effekten, wie dem Auftrieb zufolge Temperaturunterschiede oder von Winddruckdifferenzen ab. Da hierzu keine zusätzliche Energie (etwa in Form von Elektrizität) aufgebracht werden muss, ist diese Art der Belüftung, wenn möglich zu bevorzugen. Sie benötigt jedoch mit Bedacht über die Gebäudehülle verteilte Öffnungen (z.B. Fenster, Lüftungsklappen und -schlitze) und eine sorgfältige Planung. Auftretende Druckdifferenzen zwischen dem Gebäudeinneren und der Umgebung führen zu einer Luftströmung durch das Gebäude. Folgende Effekte führen zu Druckdifferenzen:

#### **Kamineffekt**

Unterschiedliche Temperaturen (z.B. im Gebäude und der Umgebung) führen, durch die dadurch auftretenden unterschiedlichen Luftdichten, zu Druckdifferenzen und somit zu natürlichen Luftbewegungen.

Als Voraussetzung für diesen Effekt gilt, dass die Lufttemperatur im Gebäudeinneren höher sein muss als die Außentemperatur. Die Luftbewegung erfolgt in vertikaler Richtung. Warme Luftmassen steigen im Gebäude auf und entweichen am Gebäudeoberen. Kühlere Außenluft strömt am Boden nach.

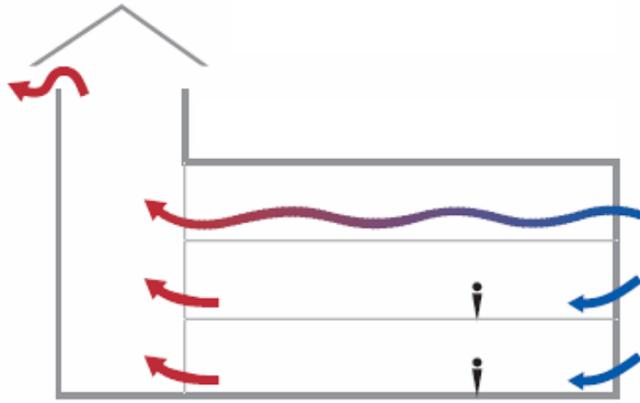


Abbildung 5-31: Natürliche Belüftung mit Nutzung des Kamineffekts

### Windeffekt

Die Luftbewegung wird mit Hilfe des Winds durch Überdruck an der Wind zugewandten Seite und Unterdruck an Wind abgewandter Seite hervorgerufen.

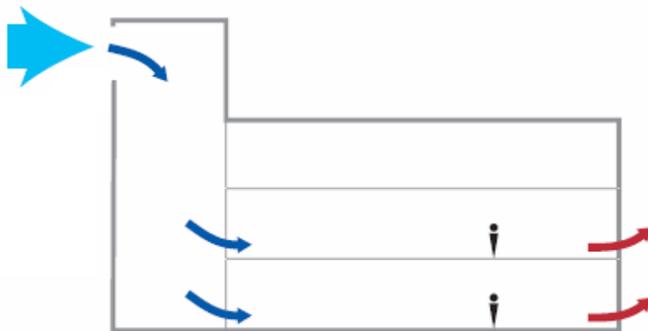


Abbildung 5-32: Natürliche Belüftung mit Nutzung des Windeffekts

Natürliche Belüftung erfolgt meist durch eine Kombination der beiden oben beschriebenen Prinzipien. Die relative Bedeutung der beiden Effekte hängt im Wesentlichen von der Höhendifferenz zwischen Zu- und Abluftöffnung, der Luftführung im Gebäudeinneren (dem Widerstand gegen vertikale Strömung und dem Strömungswiderstand bei Querlüftung) und vom Standort des Gebäudes ab.

### Mechanische Belüftung

Bei mechanischen Belüftungssystemen nutzt man üblicherweise elektrisch betriebene, zentral oder dezentral angeordnete Ventilatoren, die entweder für die Luftzufuhr oder die -Abfuhr sorgen, aber auch beiden Seiten der Luftversorgung dienen können.

Die Vorteile dieser Systeme liegen darin, dass gegenüber natürlichen Systemen die Komfortanforderungen exakter gewährleistet werden können. Die Luftströme können präzise geregelt werden und es besteht die Möglichkeit der Luftaufbereitung (z.B. Luftfilterung, Befeuchtung im Winter) und der Wärmerückgewinnung.

## **Hybride Belüftung**

Die Kombination von natürlicher und mechanischer Belüftung wird hybride Belüftung genannt. Die mechanische Unterstützung durch Ventilatoren dient zur Gewährleistung von erforderlichen Luftwechselraten.

Für die Anwendung einer hybriden Belüftung ist eine intelligente Regelung essentiell, welche die natürliche und mechanische Lüftung hinsichtlich einer energieoptimierten Betriebsweise ansteuert.

### **5.5.3. Komponenten**

Dieses Kapitel bietet einen Überblick über vorhandene Komponenten und Steuerungsmöglichkeiten zur Implementierung ventilativer Kühlung. Diese Komponenten werden auf drei Ebenen in der Gebäudeplanung eingesetzt:

- Gestaltung des Gebäudes und der Gebäudeumgebung
- Architektonisches Konzept
- Einbau von technischen Komponenten

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Komponenten strukturiert nach Einsatzbereich beschrieben. Der Einfluss des architektonischen Konzepts und der Gebäudegestaltung auf ventilative Kühlung wird im Kapitel Planung erläutert.

Die Komponenten werden in Tabelle 5-8 strukturiert:

<b>Kategorie</b>	<b>Beispiele für Komponenten</b>
Komponenten zur Ermöglichung des Luftvolumenstroms	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fenster, Oberlichter, Türen</li><li>• Lüftungsklappen, Lüftungsgitter</li><li>• Lüftungsschlitze</li></ul>
Komponenten zur Steigerung des Luftvolumenstroms	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lüftungskamin</li><li>• Atrium</li><li>• Venturi- und passive Lüfter</li><li>• Windtürme, Windöffnungen</li><li>• Doppelfassade, hinterlüftete Fassade</li></ul>
Komponenten zur passiven Kühlung	<ul style="list-style-type: none"><li>• Komponenten mit konvektiver Kühlung</li><li>• Komponenten mit Kühlung durch Verdunstung</li><li>• Komponenten mit Kühlung durch Phasenwechselmaterialien (PCM)</li></ul>
Antriebe	<ul style="list-style-type: none"><li>• Linearantrieb</li><li>• Kettenantrieb</li><li>• Drehantrieb</li></ul>
Sensoren	<ul style="list-style-type: none"><li>• Temperatursensoren</li><li>• Luftstromsensoren</li><li>• Strahlungssensoren</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feuchtigkeitssensoren</li> <li>• CO<sub>2</sub> Sensoren</li> <li>• Niederschlagssensoren</li> </ul>
Regelungsstrategien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollautomatisierte Regelung</li> <li>• Nutzereinbindende Strategien</li> </ul>

Tabelle 5-8: Strukturierung der Komponenten

#### 5.5.4. Komponenten zur Ermöglichung des Luftvolumenstroms

##### Fenster, Oberlichten und Türen

Fenster, Oberlichten und Türen sind die am häufigsten genutzten Lüftungsöffnungen. Anfänglich wurden diese Komponenten nur für die manuelle Steuerung konstruiert. Aktuell werden sie oft durch mechanische Antriebe geöffnet und mittels automatisierter Programme gesteuert. Bei diesen Komponenten ist eine genaue Planung vorausgesetzt, um einen optimalen natürlichen Luftstrom zu gewährleisten. Hinsichtlich des Ausmaßes und der Funktion der Luftführung sind die Öffnungsart sowie die Größe des Fensters entscheidend. Die unterschiedlichen Öffnungsarten beeinflussen Strömungsgeschwindigkeiten, Volumenstrom und letztlich den erzielbaren Luftwechsel.

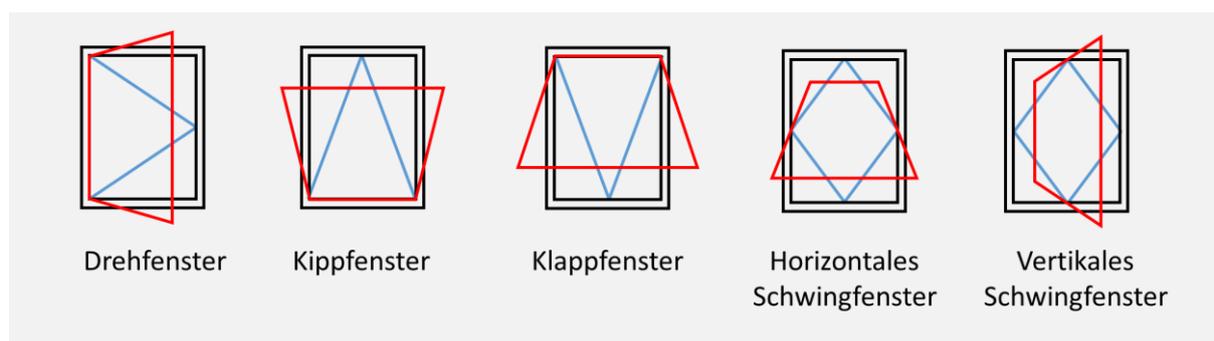


Abbildung 5-33: Verschiedene Öffnungsmöglichkeiten von Fenster, Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Fenster und Türen sind im Gegensatz zu anderen Öffnungen, wie beispielsweise Lüftungsklappen sehr weit verbreitet. Die Gebäudenutzer sind mit dieser Komponente und deren Benützung vertraut. Bei manueller Regelung empfiehlt es sich die NutzerInnen über das richtige Lüften aufzuklären. Zusätzlicher Vorteil ist, dass Fenster, Oberlichten und Türen sehr dicht verschließbar sind. So kann sichergestellt werden, dass die Infiltration gering gehalten wird. Ein zusätzlicher Vorteil ist das hohe Potential für den Luftvolumenstrom.

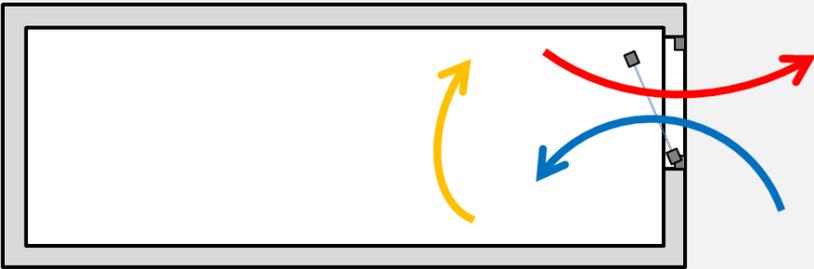
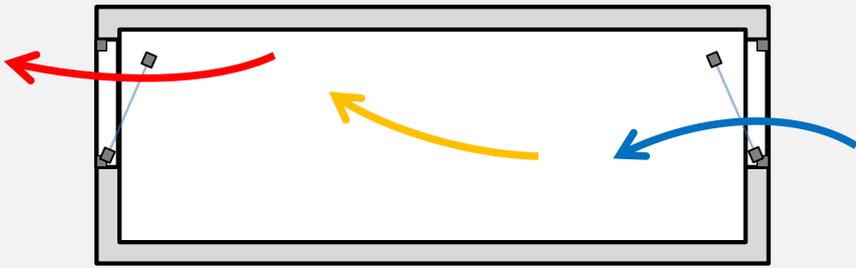
Bewertungskriterien für die Selektion verschiedener Fenster sind in Tabelle 5-9 dargestellt.

Kriterium	Beschreibung
Stärke des Luftvolumenstroms	Die Öffnungsfläche, die Art der Öffnung des Fensterflügels und die Anordnung der Fenster bestimmen den Luftvolumenstrom maßgeblich.
Steuerung	Bei der Steuerung der Öffnung wird im Wesentlichen zwischen manueller Öffnung und mechanischem Antrieb unterschieden. Bei mechanischer Öffnung kann zwischen händischer und automatischer Steuerung unterschieden werden. Das Steuerungsprogramm kann zeitlich oder mittels

	Messensoren betrieben werden.
Nutzungskomfort	Der Nutzungskomfort betrifft hier insbesondere die Art der Bedienbarkeit durch die Nutzer, die Risiken von Zugerscheinungen sowie von Lärm- und Luftimmissionen (etwa durch angrenzende Verkehrsflächen).
Sicherheit	Offene Fenster in den unteren Geschossen können zu Sicherheitsproblemen führen. Eine Beschränkung der Öffnungsfläche oder Öffnungshöhe sowie die Verriegelung der Öffnungsschlitze in einer sicheren Position können in vielen Situationen ausreichend sein.  Um besonderen Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden, können Schutzgitter (oder Ähnliches) angebracht werden.
Dichtheit	Die Abdichtung von Fenstern wird in der Regel durch EPDM-Gummidichtungen erreicht. Herausforderungen zur Abdichtung treten nur zusammen mit speziellen Fenstertypen wie Kipp- oder Schiebefenster auf. Bei automatischen Entlüftungstriebwerken ist auf die Abdichtung zu achten.
Integration von Antrieben und Jalousien	In der Planung ist eine sorgfältige Abstimmung zwischen Antrieben und Sonnenschutzsystem erforderlich. Eine gegenseitige Störung der Systeme muss vermieden werden.

**Tabelle 5-9: Bewertungskriterien für die Selektion von Fensteröffnungen**

Generell sind folgende Lüftungsstrategien bei Fenster zu unterscheiden (Tabelle 5-10):

Art der Strategie	Grafische Darstellung der Lüftungsstrategie
Einseitige Lüftung	 <p>Abbildung 5-34: Einseitige Lüftung, Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH</p>
Querlüftung	 <p>Abbildung 5-35: Querlüftung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)</p>

Durch Auftrieb getriebene Lüftung

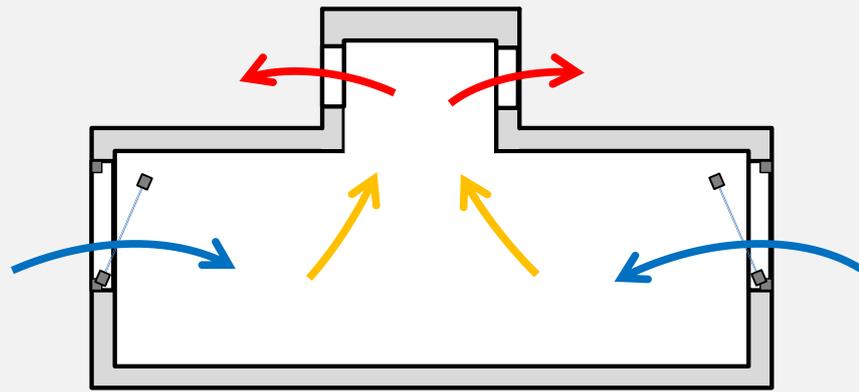


Abbildung 5-36: Durch Auftrieb getriebene Lüftung,  
Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Tabelle 5-10: Lüftungsstrategien bei Fenster

## 6. Vernetzung und Ergebnistransfer

Die im gegenständlichen Forschungsprojekt erarbeiteten Ergebnisse sind in hohem Maße für die Entwicklung von nachhaltigen und ressourcenschonenden Gebäuden und somit der daran beteiligten AkteurInnen relevant. Insbesondere ArchitektInnen und HaustechnikplanerInnen profitieren von den erarbeiteten Unterlagen. Des Weiteren bieten die Forschungsergebnisse Anknüpfungspunkte für einschlägige Produktentwicklungen für einen wachsenden Zukunftsmarkt.

### 6.1. Internationale Expert Meetings und IEA Vernetzungstreffen

Die zweimal jährlich stattfindenden Expert Meetings wurden intensiv zur Koordination der Forschungsarbeit aller internationalen Teilnehmer genutzt. Eines dieser Treffen wurde auch in Wien im Oktober 2016 organisiert und abgehalten.

Insbesondere die grenzübergreifenden Forschungsarbeiten zu gesetzlichen und in nationalen Regulierungen festgelegten Berücksichtigung von Ventilative Cooling, in Österreich etwa beim Nachweis der Sommertauglichkeit von Gebäuden, profitierten von diesen regelmäßigen Treffen. Die im Subtask C durchgeführten Langzeitmonitorings und Case Studies erlaubten einen internationalen Vergleich der realisierten Ventilative Cooling Systeme und den fundierten Austausch von Technologieanwendungen. Mittels *Key Performance Indicator* (KPI) wurde ein Kennwert zur einfacheren Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Anwendungen geschaffen.

### 6.2. Internationales Ventilative Cooling Symposium Wien

Am 14. Oktober 2016 wurde ein internationales „Ventilative Cooling“ Symposium in Wien abgehalten. Gemeinsam mit dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik wurde diese Veranstaltung im Dachsaal der Wiener Urania (Uraniastraße 1, 1010 Wien) vom Institute of Building Research & Innovation veranstaltet und durch Übernahme der Sachkosten von der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft finanziell unterstützt.

Der Großteil der internationalen Gäste, etwa aus China, Dänemark, Großbritannien, Irland, Italien, Norwegen und der Schweiz, des, die Tage zuvor abgehaltenen 6th Expert Meetings, war bei diesem Symposium vertreten. Insgesamt nahmen etwa 50 Personen an der Veranstaltung teil.

Das Programm umfasste Vorträge über das allgemeine Potenzial und die Prinzipien des Ventilativen Kühlens, über konkrete technische Komponenten zur Umsetzung und über Fallbeispiele von Anwendungen des Ventilativen Kühlens. Frau Mag.a Isabella Zwerger (BMVIT) eröffnete das Symposium und Herr Dipl. Ing. Dr. Peter Holzer (IBRI) führte durch das Programm.

Das Symposium bot gute Gelegenheit des Austausches und der Vernetzung österreichischer Beteiligter mit internationalen ForscherInnen aus den einschlägigen Fachbereichen. Die aktive Beteiligung des Publikums und die rege Diskussion der Beiträge bestätigten das vorhandene Interesse am Themengebiet. Auch der persönliche Austausch mit TeilnehmerInnen aus den weiteren österreichischen Bundesländern, insbesondere aus dem Bundesland Tirol, wurde gefördert. Eine mögliche Zusammenarbeit bei der Entwicklung eines neuartigen Wärmerückgewinnungsventilators wurde besprochen.

## **7. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen**

Durch die fundierte Auseinandersetzung mit Ventilative Cooling können folgende Schlussfolgerungen getroffen werden.

- Ventilative Cooling als eine sehr robuste und energieeffiziente Methode zur Gebäudekühlung ist in hohem Maße abhängig von standortspezifischen Gegebenheiten, die außerhalb des technischen Einflussbereichs liegen. So kann der Einsatz von Ventilative Cooling durch zu hohe Außentemperaturen, vor allem während der Nachtstunden, oder einer hohen Schad- und Fremdstoffbelastung nicht zielführend sein. Die frühe Erkennung und Bewertung dieser Umstände ist maßgebend.
- Der Erfolg und Misserfolg von Ventilativen Kühlungsanlagen, vor allem bei mechanisch gestützten, liegen oft sehr nahe beieinander. Die üblichen Druckverluste in konventionell geplanten Lüftungssystemen sind oft zu hoch um Ventilative Cooling wirtschaftlich betreiben zu können. Entscheidend für den Erfolg sind kurze, druckverlustreduzierte Leitungsführungen und energieeffiziente Ventilatoren.
- Im Bereich des Einbruchsschutzes und der Personensicherheit gibt es nach wie vor Bedarf an technischen Lösungen und Potenzial für weitere Entwicklungen. Konkret seien die Gefahren die von automatisch gesteuerten Komponenten für die NutzerInnen ausgehen oder die erforderlichen Widerstandsklassen, die Voraussetzung für Versicherungsschutz sind, genannt.

Die im Projekt gewonnenen Ergebnisse werden in der wissenschaftlichen Begleitung von Pilotprojekten angewandt und stellen eine treffsichere Planung von energieeffizienten Gebäudesystemen sicher. Der zunehmende Bedarf an Gebäudekühlung wird die Relevanz, bei Berücksichtigung der oben genannten „Bottlenecks“, von Ventilative Cooling in zukünftigen Projekten noch weiter steigern. Die erarbeiteten Ergebnisse werden über alle verfügbaren Kanäle verbreitet und finden zudem Eingang in allen weiteren thematisch verwandten Forschungsprojekten.

Des Weiteren wird die Synthese der in den letzten Jahren erlangten Erkenntnisse zur nachhaltigen Gebäudekühlung, derer Ventilative Cooling ein wichtiger Bestandteil ist, in einem zukünftigen IEA EBC Annex „Resilient Cooling“ angestrebt.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sind insbesondere für Fachplaner, Bauphysik und HaustechnikplanerInnen, sowie ArchitektInnen und GrünraumplanerInnen relevant. Mit dem Leitfaden zur Ventilativen Kühlung steht speziell für AnwenderInnen ein Dokument zur Verfügung, welches bereits für frühe Entwurfs- und Planungsphasen die notwendigen Informationen für die erfolgreiche Umsetzung von ventilativer Gebäudekühlung bereitstellt. Zudem zeigt die Forschungsarbeit einen konkret vorhandenen Entwicklungsbedarf von technischen Lösungen, wie Hardware und Software Komponenten, für ventilative Kühlung auf. Gerade für österreichische Produzenten und Technologieanbieter verdeutlicht dies einen Bereich für zukunftssträchtige Entwicklungen.

Das auf den Forschungsergebnissen aufbauende IEA Kooperationsprojekt „Resilient Cooling“ befindet sich aktuell in Planung und zielt unter anderem auf die Entwicklung von bivalent-alternativen Systemen ab. Dabei spielen die aktive Gestaltung der Umgebung zur kleinklimatischen Verbesserung wie auch der Einsatz von energieeffizienten Systemen zur aktiven Gebäudekühlung, in Zeiten in denen Ventilative Cooling nicht möglich ist, und auch die Verbesserung des personenbezogenen thermischen Komforts bei gleichzeitiger Energieeinsparung, eine wichtige Rolle.

## **8. Verzeichnisse**

### **8.1. Publikationen**

- Guidelines for ventilative cooling design and operation (To be published December 2017)
- Link zur Taskwebsite:  
<http://venticool.eu/annex-62-publications/deliverables/>
- Recommendations for legislation and standards (To be published December 2017)
- Ventilative cooling case studies (To be published December 2017)
- Ventilative cooling source book (To be published December 2017)
- Ventilative Cooling State of the Art Review:  
<http://venticool.eu/wp-content/uploads/2013/09/SOTAR-Annex-62-FINAL.pdf>

### **8.2. Literaturverzeichnis**

- Brown, G.Z.: Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies., John Wiley & Sons, ISBN 0-471-89506-7, Hoboken 1985
- Lechner, N.: Heating, Cooling, Lighting. Design Methods for Architects, John Wiley & Sons, Hoboken 1991
- Olgyay, V.: Design with Climate. A bioclimatic approach to architectural regionalism. Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-442-01110-5, New York 1992.

- Roaf S.: Innovative approaches to the natural ventilation of buildings. The imperative for change, Architectural Science Review, 55:1, 1-3, Sydney 2012.
- Santamouris M., Asimakopoulos D. N.: Passive Cooling. Earthscan, London 1996
- Santamouris M. (Editor): Advances in Passive Cooling. BEST (Buildings Energy and Solar Technology), Routledge, Oxford 2012
- Santamouris M. (Herausgeber), Mumovic D. (Herausgeber): A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering. An Integrated Approach to Energy, Health and Operational Performance, BEST (Buildings, Energy and Solar Technology), Earthscan, London 2009.

### 8.3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5-1 Ventilative Kühllast Fälle (mit exemplarischen Werten der Temperatur).....	16
Abbildung 5-2 Kühllastfälle Verteilung am Klimastandort Innsbruck .....	17
Abbildung 5-3 Kühllastfälle Verteilung am Klimastandort Wien .....	17
Abbildung 5-4: Exemplarisches Gebäude-Datenblatt des Bürogebäudes Windkraft Simonsfeld AG ...	20
Abbildung 5-6: Übersichtsgrafik zur SWOT-Analyse: Ventilative Gebäudekühlung .....	24
Abbildung 5-13: WHA Lorenz Reiterstraße Bauplatz 1 .....	29
Abbildung 5-14: Komponenten der Nachtlüftung (v.l.n.r.): ZUL-Fenster, ABL-Anlage mit FOL-Gitter ..	30
Abbildung 5-15: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung in Haus 1 .....	31
Abbildung 5-16: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung in Haus 2 .....	31
Abbildung 5-17: Verlauf von Außen- und Gangtemperatur Juni-Sept für Jahresberechnungen .....	32
Abbildung 5-18: Temperaturverhältnisse und Einschaltzeiten des VC im Zeitraum Mai bis Oktober ..	34
Abbildung 5-19: Gebäude Lassallestraße 2, Quelle: Prater Apartments .....	36
Abbildung 5-20: Komponenten der Nachtlüftung (v.l.n.r.): AUL-Ansaugung, ZUL-Gitter.....	37
Abbildung 5-21: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung.....	38
Abbildung 5-22: Verlauf von Außen- und Gangtemperatur für Jahresberechnungen .....	39
Abbildung 5-23: Temperaturverhältnisse und Einschaltzeiten des VC im Zeitraum Mai bis Oktober ..	41
Abbildung 5-24 Fassade, Quelle: ATP Architekten Ingenieure.....	43
Abbildung 5-31: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur im Jahr 2015 für den Standort Innsbruck ...	44
Abbildung 5-32: Lüftungspotential in Stunden zwischen 21 und 7 Uhr .....	45
Abbildung 5-33: Gemessene monatliche Lüftungsstunden 2015.....	45
Abbildung 5-34: Monatlicher Stromverbrauch Abluftventilatoren zu Fensterlüftungsstunden.....	47
Abbildung 5-35: Grundriss 4.OG mit markierten Referenzräumen, Quelle: ATP Architekten .....	48
Abbildung 5-36: Raumtemperaturverlauf für außenliegenden Raum 4.OG412 .....	48
Abbildung 5-37: Raumtemperaturverlauf für innenliegenden Raum 4.OG435 .....	49
Abbildung 5-38: Raumtemperaturverlauf für außenliegenden Raum 4.OG445 .....	49
Abbildung 5-39: Grundriss EG, Quelle: Architekturbüro Reinberg ZT GmbH.....	50
Abbildung 5-40: Ansicht Windkraft Simonsfeld, Quelle: Architekturbüro Reinberg ZT GmbH.....	51
Abbildung 5-46: Monatliche Luftmengen pro Tornadolüfter für 2015, Quelle: IBO GmbH, Binting	51
Abbildung 5-47: Funktionsweise Ventilative Cooling 2015.....	52
Abbildung 5-48: Raumtemperaturen Essbereich und Galerie, Quelle: IBO GmbH, Binting	53
Abbildung 5-49: Natürliche Belüftung mit Nutzung des Kamineffekts.....	55
Abbildung 5-50: Natürliche Belüftung mit Nutzung des Windeffekts .....	55

Abbildung 5-51: Verschiedene Öffnungsmöglichkeiten von Fenster, Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH .....	57
Abbildung 5-52: Einseitige Lüftung, Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH.....	58
Abbildung 5-53: Querlüftung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH) .....	58
Abbildung 5-54: Durch Auftrieb getriebene Lüftung, Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH .....	59

#### **8.4. Tabellenverzeichnis**

Tabelle 5-1: Verteilung der Nutzungstypen unter den österr. Objekten der VC-Gebäudedatenbank..	21
Tabelle 5-12: Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung Lorenz-Reiter Straße.....	30
Tabelle 5-13: Ergebniskennzahlen der Nachtlüftung Lorenz-Reiter Straße .....	35
Tabelle 5-14: Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung Lassallestraße.....	38
Tabelle 5-15: Ergebniskennzahlen der Nachtlüftung Lassallestraße .....	41
Tabelle 5-19: Lüftungsstunden je Orientierung.....	46
Tabelle 5-20: Berechnete Volllaststunden der Abluftventilatoren.....	46
Tabelle 5-22: Strukturierung der Komponenten .....	57
Tabelle 5-23: Bewertungskriterien für die Selektion von Fensteröffnungen .....	58
Tabelle 5-24: Lüftungsstrategien bei Fenster .....	59