

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

Leitfaden: Ventilatives
Kühlen für NZEBs

P. Holzer,
R. Hammer,
P. Moherndl,
G. Hofer,
D. Bachner,
M. Grim,
C. Lugmeyer,
P. Lampersberger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

41a/2017

Impressum:

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

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

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

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

Leitfaden: Ventilatives Kühlen für NZEBs

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, März 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 gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Dieser Leitfaden wurde im Rahmen der Arbeiten im IEA "Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS)" Annex 62: Ventilative Kühlung erstellt und basiert auf Ergebnissen der beteiligten Institutionen aus 14 internationalen Ländern.

Dieser Leitfaden bietet Hilfestellungen für Bauherrn und Planer zur Integration des Konzeptes der ventilativen Kühlung an Gebäuden. Weitere Informationen zu diesem Ansatz sind in den Ergebnissen des IEA ECB Annex 62 enthalten. Die Dokumente „Guidebook“ und „Sourcebook“ geben weiterführende Informationen zur Planungsphase. Folgende Fragestellungen können mit den angeführten Dokumenten beantwortet werden:

- Welche Produkte können eingesetzt werden?
- Wie können die Effekte der ventilativen Kühlung vorbemessen werden
- Mit welchen Performance Indikatoren werden die Ergebnisse gemessen?

Die Dokumente sind ab Anfang 2018 auf der Website des IEA Annex 62 verfügbar (<http://venticool.eu/annex-62-home/>).

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	3
Inhaltsverzeichnis.....	4
1 Einleitung.....	7
1.1 Hintergrund	7
1.2 Definition	7
1.3 Gründe für ventilative Kühlung	7
1.4 Aufbau des Leitfadens.....	8
2 Prinzipien des ventilativen Kühlens.....	9
2.1 Natürliche Belüftung.....	9
2.1.1 Kamineffekt.....	10
2.1.2 Windeffekt.....	10
2.2 Mechanische Belüftung	11
2.3 Hybride Belüftung.....	11
3 Komponenten.....	12
3.1 Komponenten zur Ermöglichung des Luftvolumenstroms	13
3.1.1 Fenster, Oberlichter und Türen.....	13
3.1.2 Lüftungsklappen, Lüftungsgitter.....	16
3.1.3 Lüftungsschlitze	18
3.2 Komponenten zur Steigerung des Luftvolumenstroms	19
3.2.1 Lüftungskamine.....	19
3.2.2 Atrium.....	20
3.2.3 Venturi- und passive Lüfter.....	22
3.2.4 Windtürme, Windöffnungen	22
3.2.5 Doppelfassade, hinterlüftete Fassade	23
3.3 Komponenten zur passiven Kühlung	25
3.3.1 Komponenten mit konvektiver Kühlung	25
3.3.2 Komponenten mit Kühlung durch Verdunstung	25
3.3.3 Komponenten mit Kühlung durch Phasenwechselmaterialien (PCM)	26
3.4 Antriebe.....	27
3.4.1 Linearantriebe	27

3.4.2	Kettenantriebe.....	28
3.4.3	Drehantriebe	28
3.5	Sensoren.....	29
3.5.1	Temperatursensoren	29
3.5.2	Luftstromsensoren	29
3.5.3	Strahlungssensoren	29
3.5.4	Feuchtigkeitssensoren	30
3.5.5	CO ₂ Sensoren.....	30
3.5.6	Niederschlagssensoren.....	30
3.6	Regelungsstrategien	30
4	Planungs- und Entscheidungskriterien	32
4.1	Nutzerbezogene Faktoren	32
4.2	Standortspezifische Faktoren	32
4.2.1	Standortklima	32
4.2.2	Standortgegebenheiten	33
4.2.3	Landschaftsgestaltung	33
4.3	Architektonische Gestaltung.....	34
4.3.1	Gebäudeform	34
4.3.2	Gestaltung im Gebäudeinneren.....	34
4.3.3	Gebäudehülle.....	34
4.3.4	Bauart und Baumaterialien.....	35
4.4	Entscheidungshilfe für ventilative Kühlung.....	36
4.5	Regeln zur Vordimensionierung	38
5	Planungsprozess	39
5.1	Integrale Planung	39
5.2	Projektvorbereitung	39
5.3	Vorentwurfsplanung	41
5.4	Entwurfsplanung.....	41
5.5	Inbetriebnahme und Betrieb	43
5.6	Messkonzept.....	45
5.6.1	Datenerfassung und Speicherung	45
5.6.2	Datenpunkte für das Monitoring von ventilativer Kühlung	45

5.6.2.1	Mindestanforderung ohne mechanischer Lüftungsunterstützung	45
5.6.2.2	Mindestanforderung mit mechanischer Lüftungsunterstützung	46
6	Good Practice Beispiele	47
6.1	Universität Innsbruck	47
6.2	Windkraft Simonsfeld	50
6.3	Geförderter Geschoßwohnbau Lorenz Reiter Straße Wien	54
7	Literaturverzeichnis	61
8	Abbildungsverzeichnis	62
9	Tabellenverzeichnis	64

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die aktuellen Bemühungen zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden führen zu einer steten Verbesserung der Energiestandards. Diese Entwicklungen stellen eine Reihe neuer Herausforderungen für die Gebäudekonstruktion dar. Eine der wichtigsten Herausforderungen ist der steigende Bedarf an Kühlung aufgrund der hochwärmegedämmten und luftdichten Gebäudehülle. Diese Kühlanforderungen sind dabei weniger von der Außentemperatur als von Solargewinnen und hohen internen Wärmelasten abhängig. In diesem Zusammenhang gewinnt ventilative Kühlung, sei es zur energiesparenden Gebäudekonditionierung oder zur Reduktion von aktiven Kühllasten, zunehmend an Bedeutung.

1.2 Definition

Ventilative Kühlung nutzt das Potential kühler Außenluft und die Luftführung im Gebäude auf Basis natürlicher Luftströme oder mechanischer Lüftungsanlagen, beziehungsweise einer Kombination beider Systeme. Die durch ventilative Kühlung hervorgerufenen Luftvolumenströme in Gebäuden dienen zur Reduktion der internen Kühllasten und/oder des Energieverbrauchs für die mechanische Kühlung. Gleichzeitig soll dadurch ein komfortables Raumklima geschaffen werden.

Das am häufigsten angewendete Verfahren ist die Nachtlüftung. Hierfür wird die kühlere Außenluft in der Nacht genutzt, um die in den Gebäudemassen untertags gepufferte Wärme abzuführen. Dieses Verfahren setzt erhöhte nächtliche Luftwechselraten und die Verwendung von Bauteilen mit hoher Wärmespeicherkapazität voraus.

1.3 Gründe für ventilative Kühlung

Ventilatives Kühlen kann eine energieeffiziente Lösung darstellen, um einerseits den erforderlichen Luftwechsel in Gebäuden sicherzustellen und andererseits Kühllasten zu reduzieren sowie Überhitzung zu vermeiden. Somit kann die ohnehin erforderliche Gebäudebelüftung (durch natürliche und/oder mechanische Systeme) durch Anpassung an die jeweiligen Kühllasten eine kostengünstig realisierbare Variante der Gebäudekühlung sein. Im Vergleich zu konventionellen Klimaanlage weisen ventilative Kühlsysteme geringere Investitions- und Betriebskosten auf. Ventilatives Kühlen kann sowohl überschüssige Wärmegewinne abführen wie auch die Luftgeschwindigkeiten erhöhen und dadurch den thermischen Komfort verbessern.

Die Nutzung ist am effektivsten, wenn ventilatives Kühlen in Kombination mit anderen passiven Maßnahmen wie einem wirksamen außenliegenden Sonnenschutz und freiliegenden thermischen Massen eingesetzt wird. Neben den positiven Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von Gebäuden kann ventilatives Kühlen zudem Vorteile in Bezug auf die NutzerInnen-Akzeptanz bringen. So können etwa individuelle Komfortanpassungen durch manuelle Fensterlüftung oder aktive Nutzer-Einbindung zur Systemregelung bei ventilativer Kühlung einfach ermöglicht werden.

1.4 Aufbau des Leitfadens

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

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.

2.1 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:

2.1.1 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.

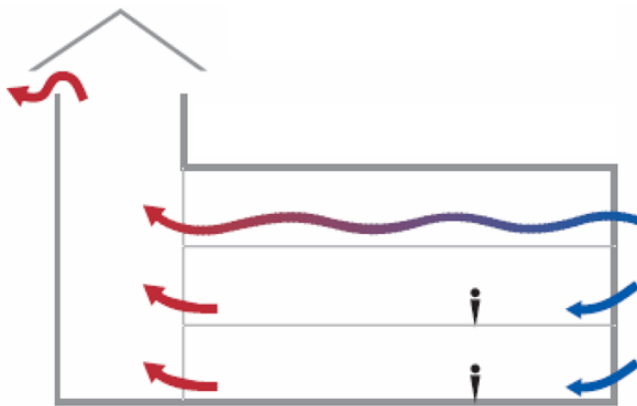


Abbildung 1: Natürliche Belüftung mit Nutzung des Kamineffekts

2.1.2 Windeffekt

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

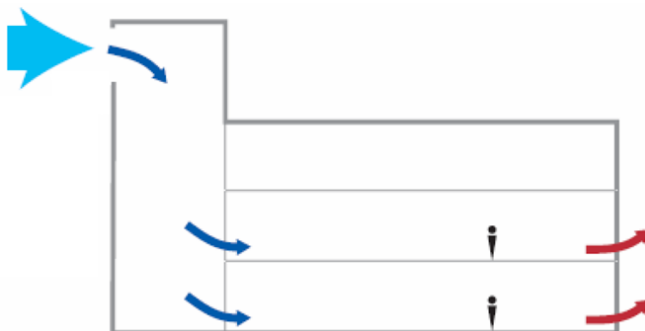


Abbildung 2: Natürliche Belüftung mit Nutzung des Windeffekts

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.

2.2 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.

2.3 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.

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 1 strukturiert:

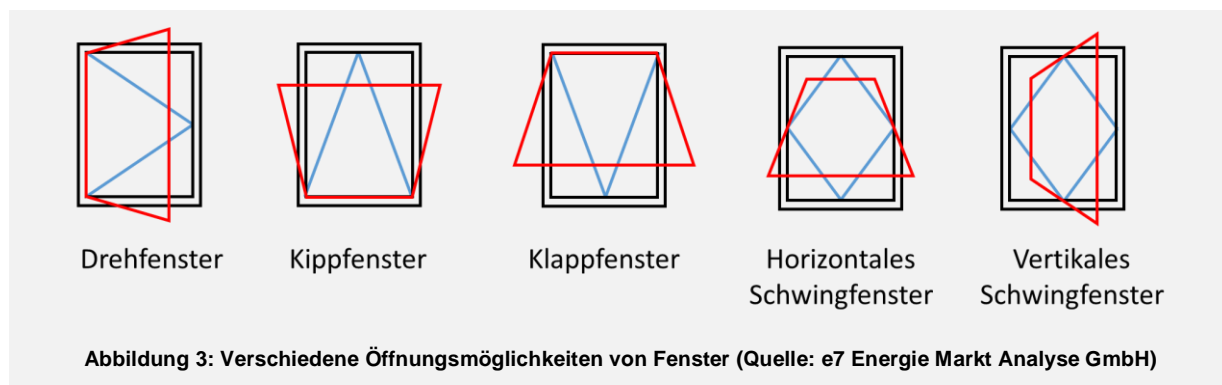
Tabelle 1: Strukturierung der Komponenten

Kategorie	Beispiele für Komponenten
Komponenten zur Ermöglichung des Luftvolumenstroms	<ul style="list-style-type: none"> • Fenster, Oberlichten, Türen • Lüftungsklappen, Lüftungsgitter • Lüftungsschlitze
Komponenten zur Steigerung des Luftvolumenstroms	<ul style="list-style-type: none"> • Lüftungskamin • Atrium • Venturi- und passive Lüfter • Windtürme, Windöffnungen • Doppelfassade, hinterlüftete Fassade
Komponenten zur passiven Kühlung	<ul style="list-style-type: none"> • Komponenten mit konvektiver Kühlung • Komponenten mit Kühlung durch Verdunstung • Komponenten mit Kühlung durch Phasenwechselmaterialien (PCM)
Antriebe	<ul style="list-style-type: none"> • Linearantrieb • Kettenantrieb • Drehantrieb
Sensoren	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatursensoren • Luftstromsensoren • Strahlungssensoren • Feuchtigkeitssensoren • CO₂ Sensoren • Niederschlagssensoren
Regelungsstrategien	<ul style="list-style-type: none"> • Vollautomatisierte Regelung • Nutzereinbindende Strategien

3.1 Komponenten zur Ermöglichung des Luftvolumenstroms

3.1.1 Fenster, Oberlichter und Türen

Fenster, Oberlichter 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.



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, Oberlichter 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.

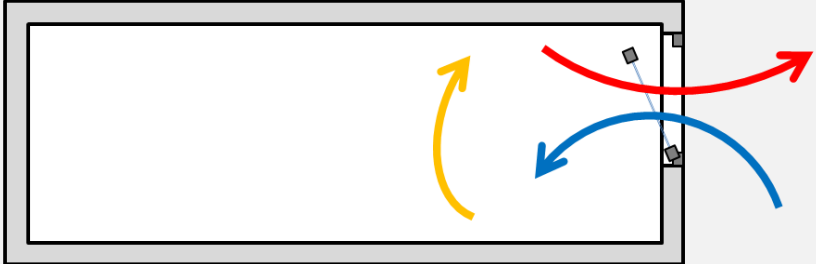
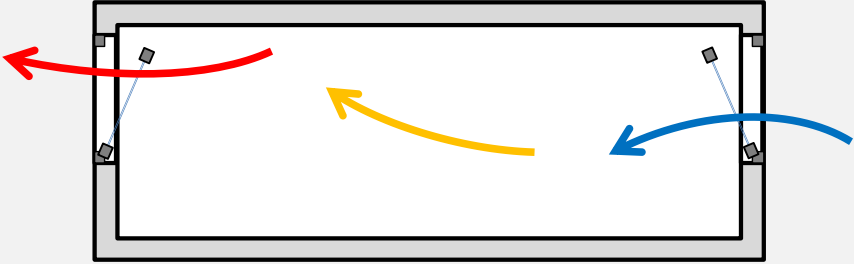
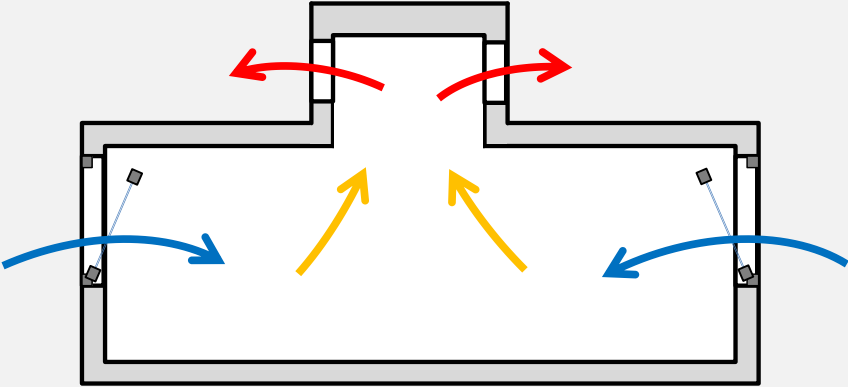
Bewertungskriterien für die Selektion verschiedener Fenster sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Bewertungskriterien für die Selektion von Fensteröffnungen

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 Messsensoren 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 Entlüftungsgetrieben 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.

Generell sind folgende Lüftungsstrategien bei Fenster zu unterscheiden (Tabelle 3):

Tabelle 3: Lüftungsstrategien bei Fenster

Art der Strategie	Grafische Darstellung der Lüftungsstrategie
Einseitige Lüftung	 <p>Abbildung 4: Einseitige Lüftung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)</p>
Querlüftung	 <p>Abbildung 5: Querlüftung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)</p>
Durch Auftrieb getriebene Lüftung	 <p>Abbildung 6: Durch Auftrieb getriebene Lüftung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)</p>

3.1.2 Lüftungsklappen, Lüftungsgitter

Lüftungsklappen sind manuell oder automatisch steuerbare Öffnungen in Fassaden ausschließlich zur Herstellung eines Luftstroms. Lüftungsgitter sind Elemente an der Fassade, die einen Luftstrom zulassen, jedoch offen sind und nicht geschlossen werden können.



Abbildung 7: Verglaste Lüftungsklappen
(Quelle: www.secontrols.com, 20.04.2014)



Abbildung 8: Motorisierte Lüftungsklappen
(Quelle: www.trox.de, 29.12.2014)



Abbildung 9: Frostfrei-Lüftungsflügel
(Quelle: www.gaugele.com, 29.07.2014)



Abbildung 10: Schallabsorbierendes Lüftungsgitter
(Quelle: www.duco.com, 29.12.2014)

Motorisierte Lüftungsklappen sind weit verbreitet in mechanischen Lüftungsanlagen, wo sie in den Lüftungskanälen und an den Kanalöffnungen zur Außenluft eingesetzt werden. Bei natürlicher Lüftung werden diese Komponenten oft zwischen Räumen eingesetzt, um einen Luftstrom herstellen zu können.

Wenn die Lüftungsklappen in der Außenfassade eingesetzt werden, muss berücksichtigt werden, dass diese Klappen nicht so dicht wie Fenster schließen und Infiltrationsverluste verursachen können (Gefahr von Zugerscheinungen im Winter).

Lüftungsgitter werden bei natürlicher und mechanischer Belüftung oft eingesetzt. Sie bieten

Schutz vor Einbruch, Witterung und Tieren. Im Vergleich zu Lüftungsklappen besitzen Lüftungsgitter keine beweglichen Öffnungsflügel, sondern sind fest verankerte Öffnungen.

Das Luftvolumen wird durch die Bauweise der Komponenten bestimmt. Hersteller von Komponenten für die natürliche Luftführung geben üblicherweise Druckverluste von 1 bis 2 Pa an. Das sind Größenordnungen von gut geplanten Lüftungsöffnungen. Bei mechanisch betriebenen Systemen muss man mit Druckverlusten größer 5 Pa rechnen.

3.1.3 Lüftungsschlitze

Die Spalllüftung durch Lüftungsschlitze dient zur Gewährleistung des hygienischen Luftwechsels während der Raumbelagung und im Zusammenhang mit ventilativer Kühlung der Außenluftzufuhr bei höheren Luftgeschwindigkeiten außerhalb der Raumnutzungszeiten. Lüftungsschlitze können sowohl in Fenster integriert sein als auch unabhängig davon in Außenwänden positioniert werden.

Neben passiven Lüftungsschlitzen (Luftstrom ergibt sich durch den externen Druckunterschied) gibt es auch Abluft-Systeme mit integrierten Ventilatoren, welche meist zur Luftabfuhr aus Küchen und Bädern eingesetzt werden.



Abbildung 11: Lüftungsschlitz im Fensterrahmen,
(Quelle: www.titon.co.uk, 29.12.2014)



Abbildung 12: Abluftgerät mit Ventilator,
(Quelle: www.titon.co.uk, 29.07.2014)



Abbildung 13: Selbstregulierende, thermisch getrennte
Fensterlüftungsöffnung (Quelle: www.renson.eu, 29.12.2014)



Abbildung 14: Selbstregulierender, Brand- und
Lärmschutz-Fensterlüftungsschlitz für hohe Gebäude
(Quelle: www.duco.eu, 29.12.2014)

Um Zugscheinungen bei kalten Außentemperaturen bzw. übermäßige Luftströmungen bei Starkwindverhältnissen zu vermeiden, sind Lüftungsschlitze meist regulierbar und schließbar.

Bei der Anwendung von Lüftungsschlitzen sind folgende Aspekte zu beachten:

- Möglichst hoch positionieren, vorzugsweise 1,75 Meter über Fußbodenniveau
- Lärmschutz, Brandschutz und vertretbare U-Werte der Bauteile
- Selbstregulierung speziell bei Starkwindverhältnissen
- Geringer Strömungswiderstand, um hohe Volumenströme für den Anwendungsfall der ventilativen Kühlung zu ermöglichen. Ein Druckunterschied von 2 Pa ermöglicht Volumenströme im Bereich von 50 bis 150 m³/h pro Meter Schlitz.

3.2 Komponenten zur Steigerung des Luftvolumenstroms

3.2.1 Lüftungskamine

Lüftungskamine sind weit verbreitete Elemente zur ventilativen Kühlung. Dabei wird der hydrostatische Auftriebseffekt von Luft genutzt, der auftritt, wenn die Temperatur der Luft höher ist als deren Umgebung.

Die Wirkung des Kamineffekts hängt von der Kaminhöhe (Höhenunterschied der Zu- und Abluftöffnung) und des Temperaturunterschieds ab, ist jedoch unabhängig von Wind. Lüftungskamine funktionieren am besten in Verbindung mit geringsten Widerständen im Ventilationssystem. Alternativ besteht die Möglichkeit, die Luftströmung durch elektrisch betriebene Ventilatoren zu verstärken.

Eine spezielle Form von Lüftungskaminen sind Solar-Lüftungskamine, bei denen zur Verstärkung der Auftriebswirkung zusätzlich die Solarstrahlung genutzt wird. Bei kaltem Klima ist zu beachten, dass der erwünschte Effekt der Solarwärmegewinnung durch unerwünschte Wärmeverluste wettgemacht werden kann. Als spezielle Form der Solar-Lüftungskamine gelten Doppelfassaden, welche zur Sonnenstrahlung ausgerichtet sind und einen Unterdruck gegenüber den angrenzenden Räumen erzeugen.

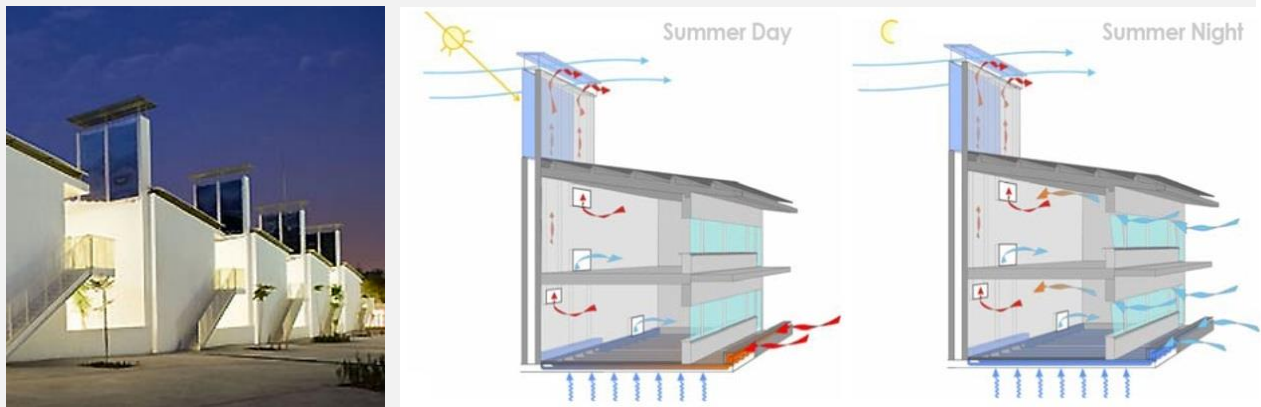


Abbildung 15: Solar-Lüftungskamine Französische Schule, Damascus, Syrien. Errichtet 2008. Planung: TRANSOLAR (Deutschland), bombardiert und teilweise zerstört Ende 2013 (Quelle: www.german-architects.com/en/transsolar/, 28.03.2017).



Abbildung 16 Solar-Lüftungskamine, Sidwell Friends School, Washington D.C., USA. Erweiterung und umfangreiche Sanierung, abgeschlossen 2008. Planung: Kieran Timberlake Associates. (Quelle: www.solaripedia.com, 29.12.2014).

3.2.2 Atrium

Heutzutage wird die Bezeichnung Atrium vielfach für einen Innenhof mit Glasdach bei modernen Gebäuden gebraucht. Dieser Innenhof schafft eine klimatische Pufferzone zwischen dem Gebäude und dem Außenbereich und kann eine effektive Unterstützung zur ventilativen Kühlung bieten. Üblicherweise erfolgt dies in der Funktion als Abluftzone, wobei die Luftströmung durch thermischen Auftrieb und Windsog hervorgerufen wird.

Atria müssen sehr detailliert geplant werden, um die positiven Effekte dieser Elemente ganzjährig nutzen zu können. Wesentliche Planungs-Herausforderungen bestehen im Folgenden:

- Bei vollständiger Verglasung eines Atriums besteht Überhitzungsgefahr. Dem entgegenzuwirken, bedarf es an Sonnenschutzmaßnahmen, thermisch wirksamer Masse, hellen Oberflächen und wirkungsvoller Ventilation.

- Bei vollständiger Verglasung eines Atriums muss die Nacht-Kühlung ausschließlich durch Konvektion erfolgen, da der direkte Strahlungsaustausch mit dem kalten Himmel durch die Verglasung blockiert ist.
- Bei Atria treten Temperaturschichtungen der darin befindlichen Luft auf, welche einen Einfluss auf das Ausmaß und die Richtung der Luftströme aus den angrenzenden Räumen haben.

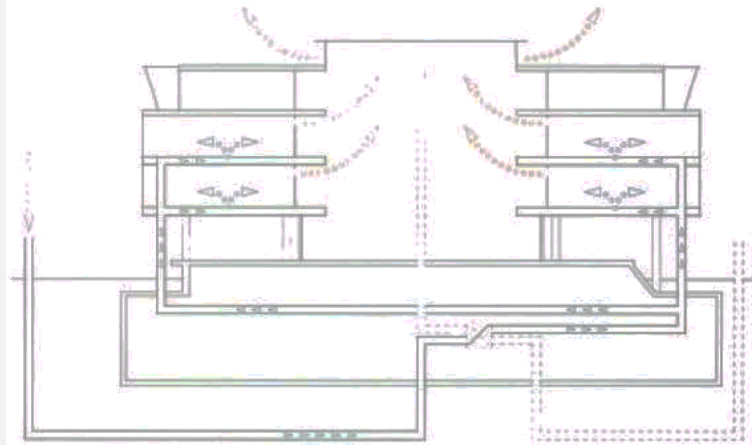


Abbildung 17: Bürogebäude mit Abluft-Atrium: "Bayrisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung", Schweinfurt, Deutschland. Fertigstellung: 1998. Architekt kuntzundbrück architekten ingenieure.

(Quelle: <http://kuntzundbrueck.de/project/landesamt-fur-statistik-und-datenverarbeitung-schweinfurt/>, 29.12.2014)

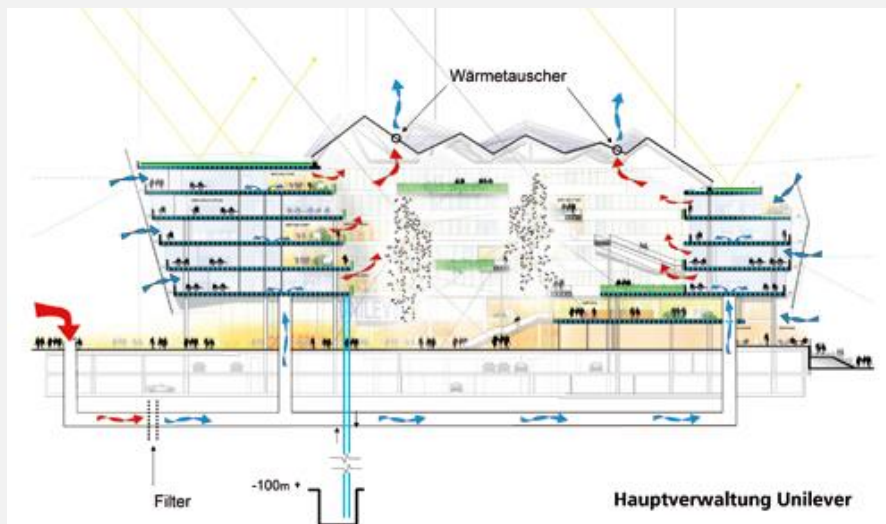


Abbildung 18 Firmenzentrale UNILEVER mit Abluft-Atrium, Hamburg, Deutschland. Fertigstellung: 2009. Behnisch Architekten. (Quelle: <https://www.architonic.com/de/project/behnisch-architekten-firmenzentrale-unilever/5100434>, 11.01.2017)

3.2.3 Venturi- und passive Lüfter

Der Venturi-Effekt beschreibt, dass sich bei Fluiden im Falle einer Verengung des Strömungsquerschnitts die Strömungsgeschwindigkeit erhöht und der statische Druck abfällt. Dieser Effekt wird beispielsweise bei Abluftkanälen oder Rauchfängen genutzt, um dort durch die Strömungsgeschwindigkeit des Umgebungswinds einen Unterdruck zu erzeugen und somit die Ventilation zu unterstützen. Es werden am Markt unterschiedliche Typen von Venturi-Dachventilatoren oder Venturi-Kaminabdeckungen angeboten.

Weiters gibt es Rotations-Lüfter ohne elektrischem Antrieb, die ebenso durch die Kraft des Winds einen Unterdruck in einem Abluftkanal erzeugen und dabei die Ventilation unterstützen.

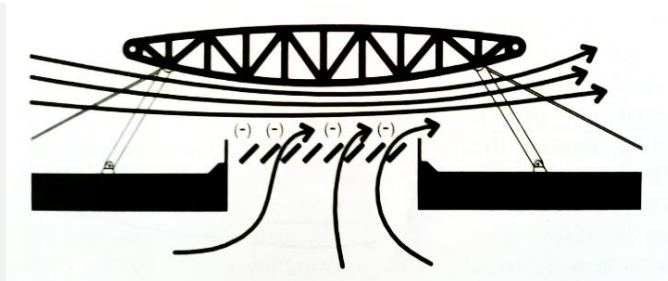


Abbildung 19 Prinzip eines Venturi-Ventilators mit verstellbaren Lüftungsöffnungen.

(Quelle: Heating, Cooling Lightning: Sustainable Design Methods for Architects, John Wiley & Sons, 2014)



Abbildung 20: Stromlose Dachventilatoren, Airier Natura Pvt. Ltd., Bangalore

3.2.4 Windtürme, Windöffnungen

Windtürme und Windöffnungen machen sich die Windkraft zu Nutze, um Frischluft in das Gebäudeinnere zu drücken oder Abluft durch Windsog abzusaugen. Manche Modelle nutzen zusätzlich den Effekt der Verdunstungskühlung zur Unterstützung der ventilativen Kühlung. Neben monodirektionalen Windtürmen gibt es auch bidirektionale Modelle, welche die Frischluft-Einleitung und die Abluftabsaugung durch nur ein Element ermöglichen.

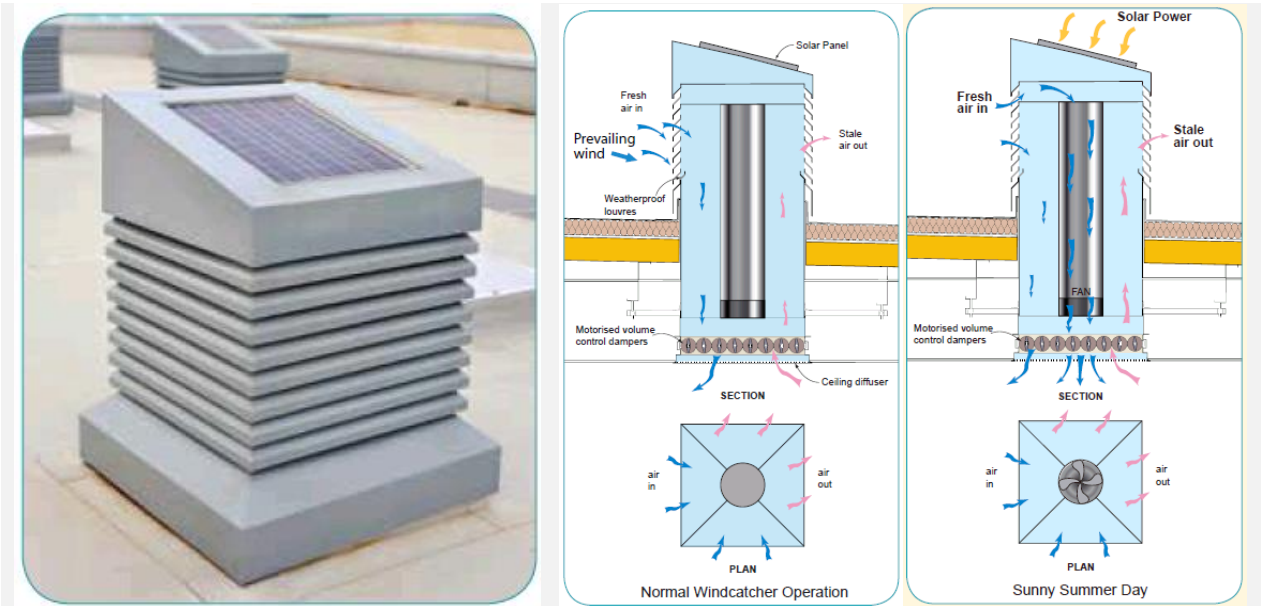


Abbildung 21: Moderner Ventilator-unterstützter, PV-integrierter, bi-direktionaler Windturm
(Quelle: <http://www.monodraught.com>, 20.04.2014)



Abbildung 22: Rotierende Abluft-Windschaufel
(Quelle: www.scoopsandrakes.com, 12.01.2017)

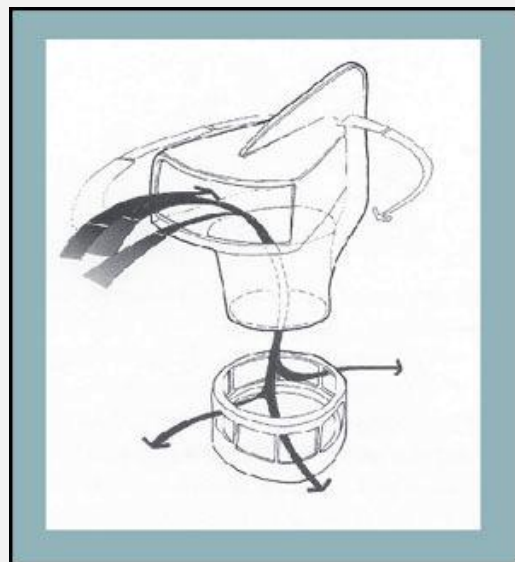


Abbildung 23: Prinzip einer rotierenden Luftzufuhr-Windschaufel
(Quelle: http://www.canadianarchitect.com/asf/principles_of_enclosure_environmental_mediation/environmental_mediation.htm, 12.01.2017)

3.2.5 Doppelfassade, hinterlüftete Fassade

Doppelfassaden oder hinterlüftete Fassaden sind, im Speziellen, bei Bürohochhäusern weit verbreitet. Das Kernelement ist eine zweite Fassadenebene, die hinterlüftet ist und Schutz vor Wind und Regen bietet. Die Grenze der thermischen Gebäudehülle liegt in der primären Fassadenebene.

Wesentliche Vorteile für Hochhausbauten sind, dass ein geschützter Bereich für

Sonnenschutz-Elemente vorliegt und natürliche Fensterlüftung ermöglicht werden kann. Jedoch sind auch limitierende Faktoren wie Schallreflexionen, Brandschutz, Überhitzung und thermische Schichtung zu berücksichtigen.

Doppelfassaden eignen sich besonders für ventilative Kühlung durch Querlüftung aufgrund ihrer effektiven Abluftführung. Diese Art von Ventilation ist unabhängig von Winddruck an den Fassaden. Zur Unterstützung der Ventilation ist es möglich den Windsog an der Oberkante der Fassade oder an der Wind abgewandten Seite zu nutzen.



Abbildung 24: Hochhaus Bürogebäude GSW-Zentrale in Berlin. Architect Sauerbruch-Hutton. Westlich ausgerichtete Doppelfassade, Höhe 71 m, Tiefe 1,15 m, innere Hülle Doppelverglasung mit Fensterlüftung, äußere Hülle Einscheibensicherheitsglas. Errichtet 1993 (Quelle: <https://www.stylepark.com/de/news/eiskaelte-statt-erdbeben>).

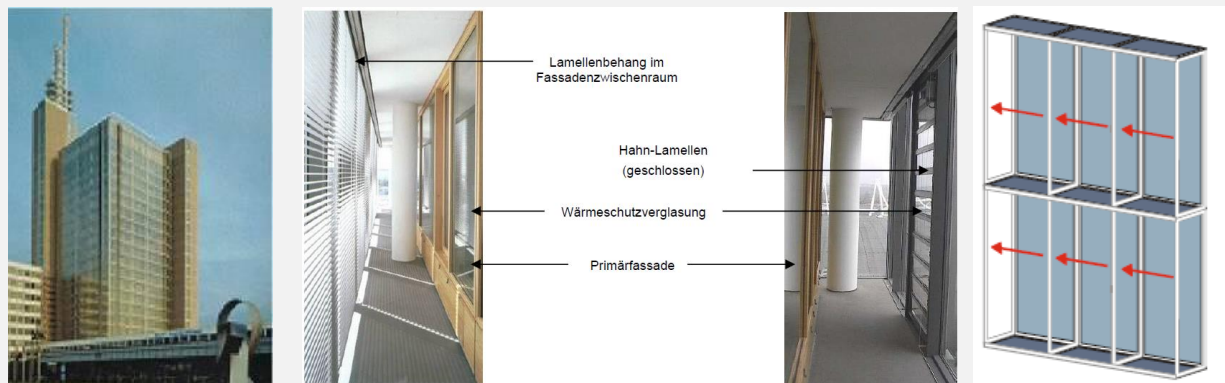


Abbildung 25: Hochhaus Bürogebäude Deutsche Messe Hannover, Arch. Herzog & Partner. Doppelfassade mit Korridoren, Tiefe 1,32 m, Doppelverglasung in beiden Fassadenebenen, Jalousien, Fensterlüftung in der inneren Hülle, Lüftungsklappen in der äußeren Hülle (Quelle: <http://www.detail.de/inspiration/verwaltungshochhaus-in-hannover-107105.html>).

3.3 Komponenten zur passiven Kühlung

3.3.1 Komponenten mit konvektiver Kühlung

Konvektive Effekte haben einen starken Einfluss auf die ventilative Kühlung. Bewegte Luft verstärkt den Verdunstungseffekt der Haut und kann somit die empfundene Temperatur um bis zu vier Grad Celsius senken.

Bei der Auslegung von konvektiver Kühlung bedarf es einer Balance zwischen dem gewünschten Kühleffekt und unerwünschten Zugerscheinungen. Untersuchungen haben gezeigt, dass konvektive Kühlung gut akzeptiert wird, wenn die Nutzer die Intensität individuell anpassen können.

Der Kühleffekt von bewegter Luft wird in der Norm EN ISO 7730 detailliert behandelt.

Deckenventilatoren und Tisch-Ventilatoren zählen zu den weit verbreiteten Komponenten konvektiver Kühlung.



Abbildung 26: Beispiele von Decken- und Tisch-Ventilatoren (Quellen: <http://exhalefans.com/>, <http://www.farreys.com/>)

3.3.2 Komponenten mit Kühlung durch Verdunstung

Durch die Befeuchtung von Luft nutzt man den adiabatischen Kühleffekt, welcher auch Verdunstungs-Kühleffekt genannt wird. Die Befeuchtung kann direkt im Raum oder zentral im Ventilationssystem erfolgen. Die Anwendung ist vor allem in Gebieten mit trockenem Klima sinnvoll, da hier ein hoher Grad der Befeuchtung von Luft möglich ist.

Verdunstungskühler werden in unterschiedlichen Modellen angeboten, Großgeräte können Volumenströme von bis zu 50.000 m³/h aufweisen.

Ein anderes großes Anwendungsfeld der Verdunstungskühlung ist im Bereich der bioklimatischen Landschafts- und Architekturgestaltung zu finden, wo u.a. Springbrunnen, stehende Wasseroberflächen oder Pflanzen zur Wasserverdunstung genutzt werden.



Abbildung 27: Beispiele für Wohnungs- und Industrie- Verdunstungskühler, BONAIRE, Australien.

(Quelle: www.bonaire.com.au, 04.01.2015)

3.3.3 Komponenten mit Kühlung durch Phasenwechselmaterialien (PCM)

Elemente aus Phasenwechselmaterial (technische Bezeichnung PCM = phase change material) sind Latentwärmespeicher, die einen hohen Anteil von Wärme- und Kälteenergie speichern und als Wärme je nach Bedarf phasenverschoben wieder abgeben. Als Speichermedium werden Salze (z.B. Natriumacetat) oder organische Verbindungen (z.B. Paraffine, Fettsäuren) verwendet. Diese verändern unter Wärmelasten ihren Aggregatzustand (von fest zu flüssig) und nehmen dabei Wärmeenergie auf bzw. geben sie ab¹.

Phasenwechselmaterialien eignen sich zur Unterstützung der ventilativen Kühlung beispielsweise als wärmeübertragende Elemente in Ventilationssystemen, wo sie durch Nachtluft gekühlt werden und am darauf folgenden Tag die Zuluft abkühlen. Sie finden vermehrt Anwendung in Baumaterialien wie Gipsplatten und Putzen, Porenbetonsteinen, Kühldeckenelementen, Estrichen, Spachtelmassen oder auch Glasscheiben.

¹ BauNetz Media GmbH, 2017

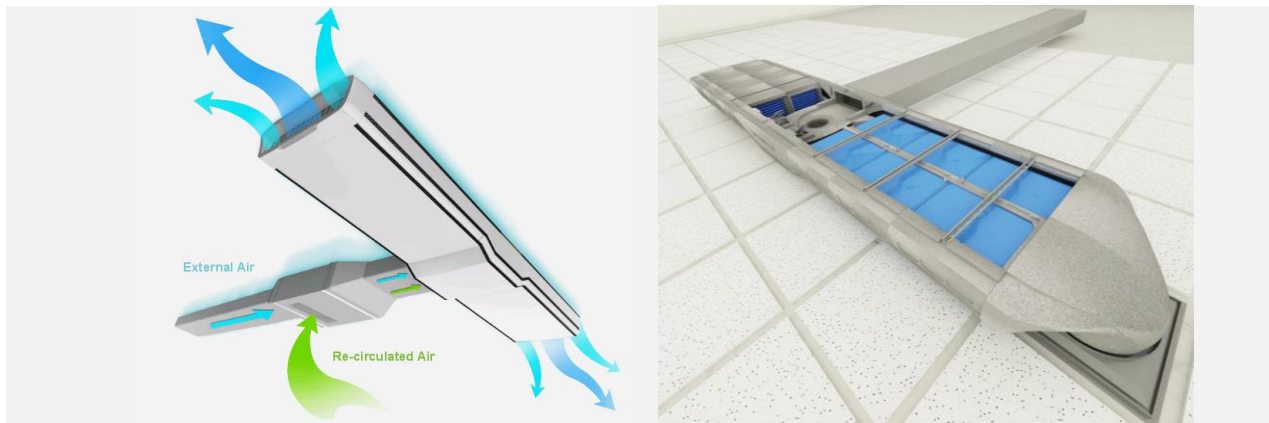


Abbildung 28: PCM Kühl- und Lüftungssystem, Monodraught (Quelle: www.monodraught.com, 17.01.2017)

3.4 Antriebe

Im Bereich ventilative Kühlung werden Antriebe hauptsächlich zum Öffnen und Schließen von Komponenten wie Fenster, Türen, Klappen, Lüftungsschlitze und Jalousien verwendet. Hierzu gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Ausführungen, die grob in Linear-, Ketten- und Drehantriebe unterteilt werden können.

3.4.1 Linearantriebe

Linearantriebe bestehen aus stabilen Rohren mit einer beweglichen Schubstange. Der Antrieb der innenliegenden Spindel erfolgt in der Regel durch 230V oder 24V Elektromotoren. Diese Art von Antrieben gelten als sehr robust, ermöglichen große Hublängen (über 1.000 mm) und bieten hohe Bewegungskräfte von bis zu 1.000 N. Sie finden Anwendung bei Kuppeln, nach außen oder innen öffnenden Kippfenstern, Abluftklappen und Ähnlichen. Zu beachten ist, dass sie aufgrund ihrer Form einen erheblichen Raum einnehmen und ein Verletzungsrisiko für GebäudenutzerInnen darstellen können.

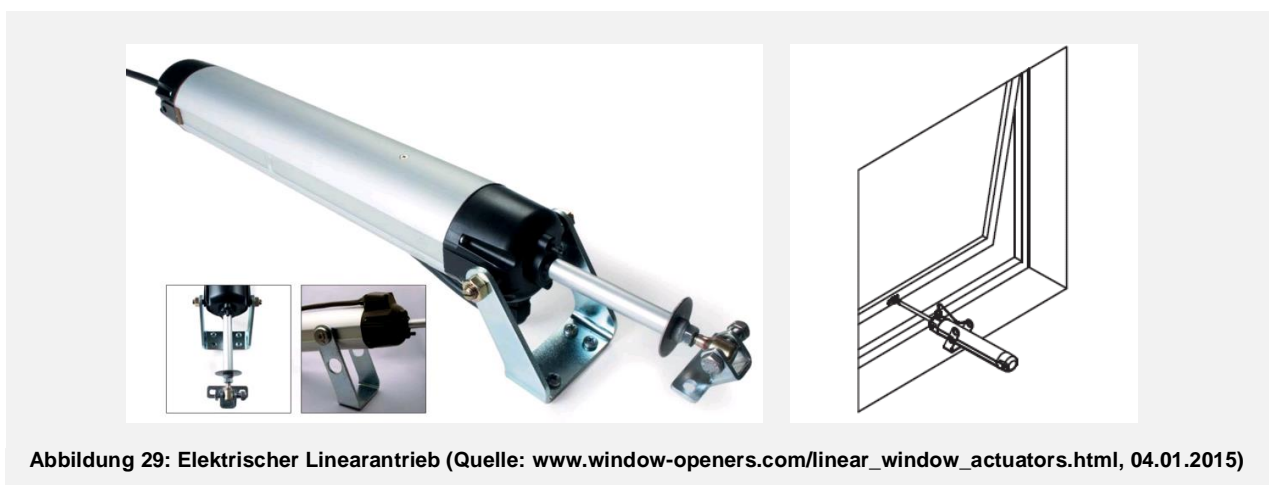


Abbildung 29: Elektrischer Linearantrieb (Quelle: www.window-openers.com/linear_window_actuators.html, 04.01.2015)

3.4.2 Kettenantriebe

Kettenantriebe haben Stahlketten anstatt Schubstangen, welche per Kettenrad bewegt werden. Der Elektromotor wird üblicherweise mit 230V oder 24V beaufschlagt. Diese Art von Antrieben wird vielfach bei Kipfenster verwendet.

Im Vergleich zu Linearantrieben sind diese sehr kompakt gebaut und können in Fensterflügel integriert werden. Ihre Nachteile liegen bei limitierten Hublängen und bei geringeren Schub- und Zugkräften.

Faltantriebe sind eine Sonderform von Kettenantrieben, welche aus faltbaren Segmenten bestehen und ähnliche Eigenschaften wie Kettenantriebe aufweisen.



Abbildung 30: Elektrische Kettenantriebe (Quelle: ACK4 und SE controls)

3.4.3 Drehantriebe

Drehantriebe werden per Elektromotoren betätigt und gelten als Standardelemente von Jalousie- oder Klappenantrieben. Sie sind meist in den jeweiligen Elementen integriert.

3.5 Sensoren

Effektive ventilative Kühlung erfordert Regelungen, welche mit gut ausgestatteter Sensorik und zielgerichteten Regelungsalgorithmen arbeiten. Bei der Auswahl von Sensoren soll ein besonderes Augenmerk auf die Qualitätseigenschaften Robustheit, Kosteneffizienz, angemessene Messgenauigkeit und Langzeitstabilität gelegt werden. Nachfolgend werden typische Sensoren für die Anwendung bei ventilativer Kühlung angeführt.

3.5.1 Temperatursensoren

Temperatursensoren zählen zur Standardausstattung im Bereich Gebäudeautomatisierung. Meist werden NTC- oder Pt100-Fühler verwendet, wobei letztere bessere Messgenauigkeiten aufweisen. Es sollten vorzugsweise Sensoren mit Messgenauigkeiten von $\pm 0,5$ K oder besser gewählt werden. Generell soll darauf geachtet werden, dass Temperatursensoren unabhängig von Strahlungseinflüssen (Solar- und terrestrische Strahlung) eingesetzt werden. Bei Raumtemperaturmessungen muss die Position mit Sorgfalt gewählt werden. Folgende Punkte sind dabei zu beachten:

- Montagehöhe im Bereich von 1,2 bis 1,8 Meter
- Gut belüftete Stelle
- Keine direkte Solarstrahlung
- Unbeeinflusst von Wärmequellen

Speziell bei ventilativer Kühlung muss bei der Regelung von Abluftklappen darauf geachtet werden, dass die Ablufttemperatur auf Höhe der Abluftöffnung gemessen wird.

3.5.2 Luftstromsensoren

Luftstromsensoren werden zur Messung des Luftdurchsatzes in Lüftungskanälen aber auch bei Luftgeschwindigkeitsmessungen von freier Luftströmung verwendet.

Bei der Messung des Luftdurchsatzes in Lüftungskanälen werden Prandtl-Rohre oder Messblenden eingesetzt.

Für Wind- bzw. Luftgeschwindigkeitsmessungen werden Windsensoren herangezogen, welche meist als Schalenanemometer ausgeführt sind. Die Windrichtung wird mit Windfahnen gemessen.

3.5.3 Strahlungssensoren

Strahlungssensoren werden meist zur Steuerung von Sonnenschutzelementen genutzt. Für diese Anwendung genügen Messgenauigkeiten im Bereich von maximal $\pm 10\%$. Die Position des Sensors für Sonnenschutzelemente soll im oberen Drittel der jeweiligen Fassade liegen und frei von örtlicher Verschattung sein.

Infrarot-Sensoren werden vielfach bei Präsenzmeldern verwendet. Speziell für dieses

Anwendungsfeld gibt es günstige und zuverlässige Geräte, die meist zur Lichtsteuerung dienen. Diese Sensoren eignen sich ebenfalls für die Regelung von Ventilation.

3.5.4 Feuchtigkeitssensoren

Zur Messung der Luftfeuchtigkeit werden Feuchtigkeitssensoren mit kapazitiver Sensortechnologie angeboten, welche sehr robust und günstig sind. Diese sind üblicherweise immer mit Temperatursensoren kombiniert, um die relative und absolute Luftfeuchtigkeit berechnen zu können. Die Messgenauigkeit sollte zumindest im Bereich von $\pm 2\%$ r.F. liegen. Zum Thema der Sensorpositionierung gelten die selben Kriterien wie für Temperatursensoren.

3.5.5 CO₂ Sensoren

Die CO₂ Konzentration in Innenräumen ist einer der wichtigsten Parameter zur Regelung des Luftwechsels. Daher sind CO₂ Sensoren als Hauptkomponenten für Lüftungssysteme zu betrachten. Bei der Auswahl der Sensoren soll die Länge der Kalibrierungsintervalle oder die Möglichkeit der automatischen Selbstkalibrierung berücksichtigt werden.

3.5.6 Niederschlagssensoren

Niederschlagssensoren sind für die Anwendung bei ventilativer Kühlung von großer Bedeutung. Geräte mit einem Ein/Aus-Ausgangssignal sind in der Regel ausreichend.

3.6 Regelungsstrategien

Im Zusammenhang mit ventilativer Kühlung haben Regelungsstrategien die Aufgabe die Stärke, manchmal auch die Richtung, von Luftströmen in Raum und Zeit zu kontrollieren. Die wesentlichen Regelparameter sind Lufttemperaturen, Nutzerpräsenzen, CO₂ Konzentrationen und Luftfeuchtigkeit. Bei mechanisch unterstützter Ventilation kann auch die Druckdifferenz ein Regelparameter sein.

Es gibt unterschiedliche Ansätze wie die Regelung von ventilativer Kühlung ausgeführt werden kann: Vollautomatisierte Regelung, alternative oder zusätzliche Einbindung von persönlicher Kontrolle durch die Nutzer.

Einerseits hat sich im Gegensatz zu nutzerinbindenden Systemen die automatisierte Sommer-Komfortregelung inklusive ventilativer Kühlung als eine effiziente Variante erwiesen, andererseits können nutzerkontrollierte Systeme und/oder manuelle Übersteuerung von automatisierten Systemen zu höherer Nutzerakzeptanz führen.

Eine andere Möglichkeit der Regelungsstrategie ist die automatisierte Nutzerrückmeldung:

Hier wird die Bedienung der Fenster, Ventilatoren, Jalousien usw. den NutzerInnen überlassen, wobei aber die Gebäudeleittechnik aktiv Rückmeldungen gibt und spezifische Vorschläge zur Optimierung der Bedienung der jeweiligen Komponenten macht.

Anzeigesysteme empfehlen den GebäudenutzerInnen, ob z.B. die Fenster geöffnet oder geschlossen werden sollen. Diese Regelungsstrategie stellt einen Kompromiss zwischen Vollautomatisierung und einfacher Nutzerbedienung dar, kann aber die Systemkosten reduzieren und gleichzeitig zu einer guten Nutzer-Akzeptanz beitragen.

4 Planungs- und Entscheidungskriterien

Die Verwendung von ventilativer Kühlung erfordert Fenster, Türen und andere öffenbare Elemente in der Gebäudehülle, welche direkt mit der Grundkonstruktion des Gebäudes in Verbindung stehen. Deshalb ist es wichtig, dass die Konzeptionierung von ventilativer Kühlung bereits von Beginn des Planungsprozesses mitberücksichtigt wird.

Es gibt nutzer- und standortspezifische Faktoren, welche in der ersten Planungsphase erhoben werden müssen und einen wesentlichen Einfluss auf umsetzbare Varianten von ventilativer Kühlung haben, aber im Wesentlichen unveränderbare Vorgaben sind. In der architektonischen Gestaltung des Gebäudes und der Gebäude-Umgebung gibt es hingegen viele Faktoren, welche einen positiven Einfluss auf die Anwendbarkeit von ventilativer Kühlung haben.

4.1 Nutzerbezogene Faktoren

Art der Nutzung: Büro / Wohnen / Bildung / Veranstaltung (Sport) / Produktion

Daraus resultieren die durch die Nutzung hervorgerufenen internen Kühllasten, die erforderlichen Luftwechselraten, einzuhaltende Komfort-Parameter wie maximal zulässige Temperaturen und Temperaturtoleranzen, maximale Luftgeschwindigkeiten und mögliche Regelungsstrategien (vollautomatisiert oder Nutzereinbindung).

Bei Gebäuden mit besonderen Standards wie z.B. Sicherheitsdienst, Krankenhäusern, Laborgebäude, gefährliche Produktionsprozess-Gebäude usw. kann ventilative Kühlung mit zeitweise höheren Luftwechselraten eventuell nicht geeignet sein.

4.2 Standortspezifische Faktoren

4.2.1 Standortklima

Das örtliche Klima ist in das Konzept zur ventilativen Kühlung zu berücksichtigen:

- Örtliche Windphänomene (z.B. nächtliche Fallwinde)
- Temperaturphänomene (z.B. Intensität der Nachtabkühlung)
- Nebel- und Niederschlaghäufigkeit
- Hauptwindrichtung(en)
- Solare Einträge unter Berücksichtigung von Verschattung durch Objekte, Vegetation und Topographie
- Potentielle Extrem-Wetterereignisse (z.B. Sturm- und Hagelhäufigkeit, maximale Schneehöhen)

- Trends der vergangenen Jahre berücksichtigen (z.B. Dauer von Hitzeperioden, Intensität der Temperaturabsenkung in der Nacht während Hitzeperioden)

4.2.2 Standortgegebenheiten

Aus unterhalb angeführten örtlichen Gegebenheiten resultiert die (Haupt-)Orientierung des Gebäudes. Folgende Aspekte sind hinsichtlich ventilativer Kühlung zu beachten:

- Straßenanordnung und Nachbargebäude/Anlagen
- Schallquellen
- Luftverschmutzung / Abgase aus Umgebung
- Verschattung und Reflexionen durch umliegende Objekte
- Eingangs- und Zufahrtswege
- Topographie, Nachbargebäude, Vegetation
- Windtunneleffekte bei Straßenzügen parallel der Hauptwindrichtung
- Möglichkeit der direkten Nutzung von Außenluft ohne Filterung
- Gebäude sollten nicht in Wind-Wirbelstrecken von großen Hindernissen stehen

4.2.3 Landschaftsgestaltung

Organische Bodenbedeckungen und Bepflanzungen der dem Bauwerk angrenzenden Flächen sind vorzuziehen. Auch größere Wasseroberflächen können die Kühlwirkung unterstützen. Jedoch ist deren Position und Beschattung eingehend zu planen, um Solarstrahlungsreflexion von der Wasseroberfläche Richtung Gebäude und negative Einflüsse auf die örtliche Außenluft-Temperaturabsenkung in der Nacht durch die hohe Wärmespeicherkapazität von Wasser zu vermeiden.

Um die Absorption von Solarstrahlung an Pflaster- und Asphaltflächen zu minimieren, sollten ausgedehnte Flächen dieser Bodenbedeckungsart vermieden werden. Es werden somit Wärmespeicher im Umfeld des Gebäudes reduziert.

Durch gezielte Baum- und Strauchbepflanzung ist es möglich an Gebäudebereichen die Windgeschwindigkeiten zu erhöhen (beabsichtigte Erzeugung von Windtunnel). Weiters bieten vor allem Baumbepflanzungen Möglichkeiten zur Gebäudebeschattung.

In der Umgebung des Gebäudes sollen keine festen, hochgezogenen Einzäunungen die Windströmungen blockieren können.

4.3 Architektonische Gestaltung

4.3.1 Gebäudeform

Die Form von Gebäuden hat einen wesentlichen Einfluss auf die Anwendbarkeit von ventilativer Kühlung.

Als optimale Gebäudeform gelten länglich gestreckte Bauwerke mit einer bevorzugten Ausrichtung in der Ost-West-Achse (große Fassadenflächen süd- und nordseitig des Gebäudes). Diese Ausrichtung weist Vorteile bei der Verschattung auf, da Süd- bzw. Nord-orientierte Fassaden einfacher und somit kostengünstiger zu verschatten sind.

Hochgezogene Gebäude erweisen sich aufgrund der möglichen Nutzung des Kamineffekts als vorteilhaft.

Flügelwände die rechtwinkelig zu den Fassadenebenen stehen, können als Unterstützung der Windzufuhr in das Gebäude dienen.

4.3.2 Gestaltung im Gebäudeinneren

Die Gestaltung des Gebäudeinneren muss den Nutzeranforderungen gerecht werden. Zusätzlich sind folgende Aspekte für eine optimale Implementierung von ventilativer Kühlung zu berücksichtigen:

- (Temperatur-)Zonierung: Sinnvolle Aufteilung des Gebäudes in Zonen, welche unterschiedliche Nutzungsbedürfnisse (z.B. Heizung, Kühlung, Licht, Ventilation) gerecht wird. Hier ist zu beachten, dass die Verbindungen bzw. die Kontaktflächen unterschiedlicher Zonen detailliert ausgearbeitet werden müssen.
- Sicherstellung von geringen Luftstromwiderständen im Gebäudeinneren durch sinnvolle Raumaufteilungen, Strömungsöffnungen, Kanal- und Schachtanordnungen.
- Die positive Auswirkung von großen Raumvolumen und großen Raumhöhen nutzen.
- Verwendung von Überströmöffnungen zwischen Räumen (z.B. Überströmöffnung im Türbereich zwischen Büroraum und Gang).
- Separate Ventilation von Geruchs-, Wärme- oder Schadstoff- produzierenden Räumen. Diese Abluft sollte über Dach oder an der Leeseite abgeführt werden.
- Berücksichtigung von Zonen mit Verdunstungskühlung durch Vegetation und Wasser.

4.3.3 Gebäudehülle

In der Gestaltung der Gebäudehülle gibt es vielfältige Möglichkeiten die Anwendung von ventilativer Kühlung positiv zu beeinflussen.

- Gute Wärmedämmung der gesamten Gebäudehülle
- Helle und reflektierende Außenoberflächen

- Dimensionierung und Positionierung von Öffnungen (Luftzu- und Abfuhr): Fensterpositionierung und -dimensionen, Dachverglasungen und -Kuppeln, Schacht- und Kanalführungen, Türme, Atrium
- Vermeidung von großflächigen Außenwänden ohne Fenster oder Lüftungsöffnungen, um eine maximale Durchströmung des Gebäudeinneren zu ermöglichen.
- Nutzung des Kamineffekts durch große Höhenunterschiede zwischen Zuluftansaug- und Abluftausblasstelle.
- Bei der Planung der Ablufführung soll die Nutzung der effektiven Windsogwirkung berücksichtigt werden.
- Außerhalb der Verglasung liegende Sonnenschutzelemente bzw. Jalousien verwenden.
- Verwendung von Fundament- und Untergrundkanälen zur Kompensation von Außenluft-Temperaturschwankungen bei zentralen Lüftungslösungen.
- Berücksichtigung von potentiellen externen Einwirkungen auf die Gebäudehülle (z.B. Wind und Wetter, Schneelasten, Insekten und Nagetiere, Sicherheit). Diese Aspekte sollen in die Anforderungsdefinition der Elemente der Gebäudehülle und Sensoren einfließen.

4.3.4 Bauart und Baumaterialien

Thermisch aktivierbare Speichermassen spielen für die ventilative Gebäudekühlung eine bedeutende Rolle. Hierbei gilt es darauf zu achten, dass die Bauteile eine hohe Wärmekapazität sowie Wärmeleitfähigkeit besitzen und die Bauteilmassen für die Luftströme zugänglich (aktivierbar) sein sollen, um einen ungehinderten Wärmeübergang zu gewährleisten. Findet kein oder nur schlechter Wärmeaustausch mit der Innenraumluft statt, kann die vorhandene Speichermasse ihre Wirkung nicht entfalten. Daher sollte auf großflächigen 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.

Hingegen weisen neuartige Baumaterialien mit Phasenwechselmaterialien (PCMs) höhere Wärmekapazitäten auf als herkömmliche Materialien. Diese eignen sich daher für die Anwendung bei Gebäuden mit ventilativer Kühlung.

4.4 Entscheidungshilfe für ventilative Kühlung

Aus den beschriebenen Planungs- und Entscheidungskriterien lassen sich umsetzbare Optionen für ventilative Kühlung ableiten. Hierfür wird zwischen natürlicher Ventilation, Hybrid-Ventilation oder vollständig mechanischer Ventilation unterschieden. Unter der Hybrid-Option ist eine sinnvolle Kombination von natürlicher und mechanischer Belüftung zu Kühlzwecken gemeint, welche die Vorteile beider Systeme vereint. Der wesentliche Unterschied zu einem konventionellen mechanischen System ist eine intelligente Regelung, die die natürliche und mechanische Lüftung hinsichtlich einer energieoptimierten Betriebsweise ansteuert.

Zur Bewertung der Eignung eines Gebäudekonzepts für die Anwendung von ventilativer Kühlung, können die in Tabelle 4 angeführten Parameter herangezogen werden. Wenn die meisten Parameter eine hohe oder mittlere Erfolgs-Wahrscheinlichkeit aufweisen, liegt eine hohe Erfolgs-Wahrscheinlichkeit für die Variante vor. Wenn viele Parameter mit einer niedrigen Erfolgs-Wahrscheinlichkeit behaftet sind, ist das Prinzip der ventilativen Kühlung nicht empfehlenswert.

Tabelle 4: Bewertung der Erfolgs-Wahrscheinlichkeit für ventilative (Hybrid-)Kühlung (Quelle: Principles of hybrid ventilation, IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, Annex 35: Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings, 2002, Anpassung durch e7 Energie Markt Analyse GmbH)

PARAMETER	ERFOLGS-WAHRSCHEINLICHKEIT		
	Hoch	Mittel	Niedrig
GEBÄUDEBEZOGENE PARAMETER			
Glasflächen in % der Fassade	30	70	100
Sonnenschutz	Außenliegend	Innenliegend	Nicht vorhanden
Schadstoffemissionen von Oberflächen	Niedrig	Mittel	Hoch
Raumhöhe [m]	> 3	2,5 – 3	< 2,5
Raumtiefe [m]	< 6	6 – 15	> 15
Thermische Masse	Schwer	Mittel	Leicht
Zugänglichkeit der thermischen Masse	Exponiert	Teilw. exponiert	Nicht verfügbar
Zuluftkanal mit thermischer Masse	Ja	Teilweise	Nein
Nachtkühlung	Möglich	Teilweise	Nicht möglich
Notwendigkeit der Öffnung der Gebäudehülle	Nein	Teilweise	Immer
Verstärkte Nutzung von Kamineffekt und Wind	Ja	Teilweise	Nein
NUTZUNGSBEZOGENE PARAMETER			
Interne Wärmelasten [W/m²]	< 20	20 – 30	> 30
Luftverunreinigende Aktivitäten (Drucker, Kochen)	In separaten Räumen	Teilw. separate Räume	Verteilt in Räumen
Typische Belegungszeit [Stunden/Tag]	8	16	24
Luftwechselbedarf in der Heizsaison	< 2	2 – 4	> 4

Nachfolgende Tabelle 5 soll eine Hilfestellung zur Auswahl der umsetzbaren Option bieten. Die Tabelle ist so anzuwenden, dass im angestrebten Planungskonzept möglichst wenige „S“ vorkommen, um eine Variante sicherzustellen, die ohne Probleme umsetzbar sein soll. Sind mehrere „S“ enthalten, ist das Konzept risikobehaftet. Diese Risiken sollten eingehend abgewogen werden, um hohe Kosten oder Zeitverzug in der Umsetzung zu vermeiden. Für den Standort Österreich ist unter Standortparameter die Zeile „Mild“ zu verwenden.

Tabelle 5: Bewertung unterschiedlicher Ventilationsoptionen (Quelle: Principles of hybrid ventilation, IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, Annex 35: Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings, 2002, Anpassung durch e7 Energie Markt Analyse GmbH)

Bedingung oder Anforderungskriterium	Natürliche Ventilation			Hybrid-Ventilation			Mechanische Ventilation*		
	S	M	G	S	M	G	S	M	G
Standortparameter für mehr als zwei Wochen pro Jahr	S	M	G	S	M	G	S	M	G
Heiß und feucht									
Heiß und trocken									
Mild									
Kälte									
Hohe Luftverunreinigung									
Lärmbelastung									
Innenraum-Luftqualität									
Hohe Anforderungen für 95% der Belegungszeit									
Normale Anforderungen für 95% der Belegungszeit									
Normale Anforderungen für 80% der Belegungszeit									
Thermischer Komfort									
Hohe Anforderungen für 95% der Belegungszeit									
Normale Anforderungen für 95% der Belegungszeit									
Normale Anforderungen für 80% der Belegungszeit									
Akustik-Anforderungen									
Ventilator- u. Luftströmungsgeräusche									
Geräusche von Nachbarräumen oder Gang									
Reduktion des Energieverbrauchs									
Ventilator-Strom									
Heizung									
Kühlung									
Reduktion der Kosten									
Investition									
Betrieb / Wartung									
Gebäude und System									
Wartungsfreundlichkeit des Ventilationssystems									
Vermeidung von Problemen verursacht durch Regen / Schnee									
Freie Kühlung mit Außenluft									
Vermeidung von Kurzschlüssen von Zu- und Abluftöffnungen									
Hohe Raum- und Nutzerflexibilität									
Hohe Kosten und Raumbedarf									
Nutzerzufriedenheit									
Bewusstsein hinsichtlich des Innenraumklimas									
Nutzereinfluss auf die Regelung des Innenraumklimas									
Nutzereinfluss auf thermischen Komfort u. Raumluftqualität									
Vermeidung von Nutzerbeschwerden									
Interpretation:									
S(chlechte) Möglichkeit: Lösung ist sehr schwierig umzusetzen oder kostenintensiv.									
M(ittlere) Möglichkeit: Lösung ist mit guter Planung umsetzbar.									
G(ute) Möglichkeit: Lösung ist eine Standardlösung oder einfach umzusetzen.									
* konventionelles mechanisches Lüftungssystem									

4.5 Regeln zur Vordimensionierung

Wie bereits in Kapitel 2 erläutert, ist die Wirkung von ventilativer Kühlung in hohem Maß von der Möglichkeit der Belüftung der zu kühlenden Räumlichkeiten abhängig. Um die notwendigen Luftwechselraten ($> 3 \text{ h}^{-1}$) zu erreichen, müssen daher große Luftvolumen durch die betroffenen Räume gespült werden. Die natürliche Belüftung stellt dabei die energetisch effizienteste Weise dar, dies zu bewerkstelligen.

Grundsätzlich wird zwischen einseitiger Belüftung, etwa durch Öffnen der fassadenseitigen Fenster, und der Möglichkeit zur Querlüftung, etwa durch Öffnen von Fenster auf gegenüberliegenden Raumseiten, unterschieden. Bei der Implementierung von mechanischen Belüftungssystemen strebt man ebenfalls Querlüftung an. Zudem wirkt eine größere Raumhöhe begünstigend auf die natürliche Belüftung.

Grundsätzlich lassen sich daher folgende Aussagen treffen.

- Die CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) empfiehlt, dass bei einseitiger Belüftung die **maximale Raumtiefe das 2,5-fache der Raumhöhe** nicht überschreiten sollte, um eine effektive natürliche Ventilation zu gewährleisten². Bei Querlüftung sollte die Distanz zwischen den Fassaden (bzw. bis zum Abluftschacht) 12 m oder **5-mal die Raumhöhe** nicht überschreiten.
- Bemessung des Belüftungsquerschnitts: Um einseitig belüftete Räume während wärmerer Perioden zu kühlen, sind Öffnungen von zirka **10% der Fußbodenfläche vorzusehen**^{3,4}. Während der kühleren Jahreszeiten werden 2% und bei Querlüftungsmöglichkeit ungefähr 1% als adäquates Maß für den Belüftungsquerschnitt angegeben⁵.

Zusätzlich sind in der ÖNORM B 8110-3 „Wärmeschutz im Hochbau“ Anhang B⁶ Berechnungsmöglichkeiten für den Volumenstrom dokumentiert. Diese Formeln ermöglichen die Berechnung des Luftwechsels zufolge Temperaturdifferenzen bei Windstille, was den ungünstigsten Lüftungsfall darstellt, und unter Berücksichtigung einer Höhendifferenz zwischen Zu- und Abluftöffnungen.

² CIBSE Applications, 2005

³ Young Yun & Steemers, July 2010

⁴ Wei, Buswell, & Loveday, July 2013

⁵ Gratia, Bruyère, & De Herde, October 2004

⁶ ÖNORM B 8110-3, 2012

5 Planungsprozess

5.1 Integrale Planung

Der Bau von nachhaltigen, energieeffizienten und nutzerfreundlichen Gebäuden stellt durch die wachsende Zahl an Anforderungen eine zunehmend komplexe Aufgabe dar, die nur durch einen interdisziplinären, kooperativen Ansatz gelingen kann. Die Erfüllung dieser Anforderungen bedarf einer Änderung der bekannten und üblichen sequentiellen Planungsstruktur hin zu einer interdisziplinären, simultanen und vor allem kooperativen Planungsstruktur.

Besonders in den frühen Planungsphasen lassen sich innovative Konzepte und Änderungen sehr leicht und ohne wesentliche Mehrkosten umsetzen, während in späteren Phasen Änderungen oft nur mehr sehr schwer möglich sind. Späte Planadaptierungen sind oft sehr kostspielig und bringen teilweise nur geringe Verbesserungen der Energieeffizienz des Gebäudes. Gut durchdachte Entscheidungen wirken sich positiv auf den gesamten Gebäudelebenszyklus aus. Für gut durchdachte Entscheidungen, braucht es Ideen, Feedback und Know-How aus allen relevanten Disziplinen.

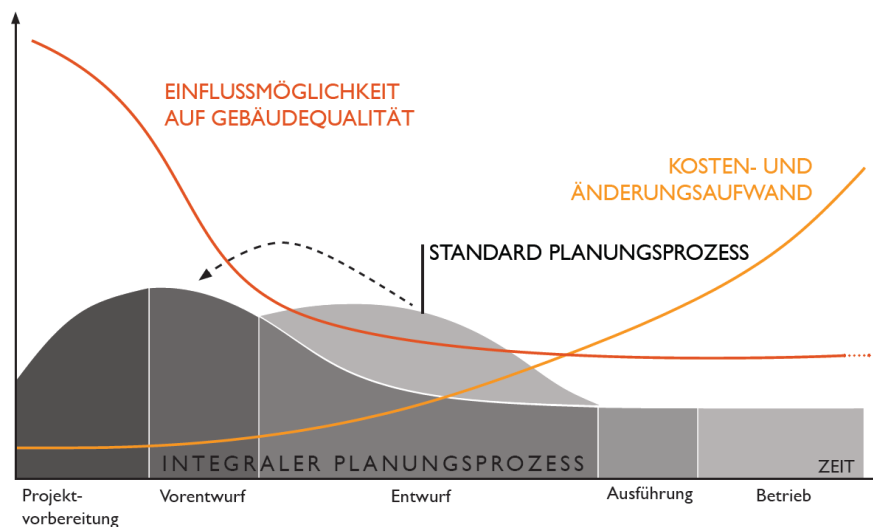


Abbildung 31: Einfluss auf Nachhaltigkeit, sowie daraus abgeleiteter Kosten- und Änderungsaufwand in Abhängigkeit der Projektentwicklungsphase. Quelle: ID Process Guide (Quelle: www.integrateddesign.eu)

5.2 Projektvorbereitung

Vor der eigentlichen schöpferischen Arbeit der Planerin bzw. des Planers ist es wichtig, die Ziele des Bauherrn so konkret wie möglich zu definieren, um den Planerinnen und Planern ein möglichst umfassendes Bild über die Wünsche des Bauherrn zu liefern. Je konkreter die Vorstellungen und die vorhandenen Rahmenbedingungen definiert sind, desto leichter ist es

während des gesamten Planungsprozesses, diese Vorstellungen zu kontrollieren.

Bedarfserhebung

Ein erster Schritt im Rahmen der Projektvorbereitung stellt die Bedarfserhebung dar. Welche Bedürfnisse müssen von der künftigen Immobilie gedeckt werden? Welche Kernprozesse im Gebäude müssen durch das Gebäude unterstützt werden? Zu diesem Zweck macht es Sinn, sich über folgende Punkte Gedanken zu machen:

Tabelle 6: Kriterien und Indikatoren für Bedürfnisse der Bauherren

Kriterium	Indikatoren
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Windverhältnisse und Luftströmungen am Standort • Angrenzende Gebäude (u.a. Form, Höhe, Freiflächen) • Angrenzende Oberflächen (u.a. Wasser, Pflanzen, Asphalt oder Beton)
Funktion	<ul style="list-style-type: none"> • Raum und Funktionsprogramm • Struktur und Modularität
Komfort	<ul style="list-style-type: none"> • Komfort (thermisch, visuell, akustisch, Raumluft, Luftgeschwindigkeit) • Einflussnahme der Nutzerin bzw. des Nutzers auf das Raumklima
Wirtschaftlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Obergrenze für Investitionskosten • Lebenszykluskostenperspektive
Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> • Brandschutz • Zugänglichkeit • Witterungsschutz • Einbruchschutz
Form und Architektur	<ul style="list-style-type: none"> • Ästhetik und Identität • Image • Städtebau

Zieldefinition

Der Bedarf des Bauherrn muss in einem weiteren Schritt in einzelnen Kriterien erfasst werden. Es kann oft beobachtet werden, dass die Projektziele sehr unkonkret formuliert werden: „Das Gebäude soll energieeffizient und nachhaltig sein.“ In späterer Folge kann jedoch niemand sagen, was dies konkret bedeuten soll. Eine Kontrolle, ob die Ziele erreicht wurden, ist nicht bzw. nur schwer möglich.

Bei ventilativer Kühlung kann etwa als Ziel gesetzt werden, dass die Nutzung des Gebäudes ohne aktive Kühlung gewährleistet werden muss. Ziel kann auch sein, dass der sommerliche

Komfort alleinig durch ventilativer Kühlung gewährleistet werden soll, wie etwa beim Sommertauglichkeitsnachweis nach ÖNORM B 8110-3. In diesem Fall sind die Anforderungen für Nutzungskomfort und Sicherheit anzugeben, um eine Lösung formulieren zu können.

5.3 Vorentwurfsplanung

Im Vorentwurf wird das grundlegende Gebäude- und Energiekonzept (Funktionale Anordnung der Räume, Fassadenkonzept, grundlegendes Haustechnikkonzept, etc.) festgelegt. Da jedoch die Planung in dieser Phase noch nicht allzu weit fortgeschritten ist und dementsprechend wenige Informationen vorhanden sind, steht der Bauherr meist vor der schwierigen Aufgabe, Entscheidungen zu treffen, deren Auswirkungen (Kosten, Komfort, Ökologie, Funktion, etc.) er noch nicht kennt. Um ihm mehr Informationen zu liefern um eine profundere Entscheidung treffen zu können, ist es sinnvoll, im Vorentwurf bereits detaillierte und umfangreiche Untersuchungen durchzuführen. In dieser Phase besteht noch die Möglichkeit, an vielen Schrauben der Planung zu drehen.

Für einzelne, kritische Räume sind die Heiz- und Kühllasten zu ermitteln und die Lösung für ventilatives Kühlen zu konzipieren. In Abstimmung mit dem Haustechnikkonzept können in dynamischen Simulationen bereits die Effekte der ventilativen Kühlung abgebildet werden. Dabei kann auch geprüft werden, ob mit dem aktuellen architektonischen Konzept und den konzipierten Öffnungen der sommerliche Komfort sichergestellt werden kann, oder ob zusätzlich auch eine mechanische Lüftung in das Kühlkonzept miteinbezogen werden muss.

In dieser Phase soll das integrale Konzept für passive Kühlung definiert werden: Welche konstruktiven Lösungen können gesetzt werden, um die internen Wärmelasten zu reduzieren (Sonnenschutz, Speichermassen, Orientierung, Fensterflächenanteil, etc.) und wie kann ich interne Wärmequellen reduzieren (Abwärme von Geräten, Beleuchtung, etc.). Nur bei geringen Wärmelasten ist das Konzept der ventilativen Kühlung sinnvoll einzusetzen.

Spätestens im Vorentwurf muss auch eine Diskussion starten, welche individuellen Einflussmöglichkeiten (Verschattung, Beleuchtung, Belüftung, Temperatur, etc.) auf das Raumklima möglich sein sollen.

5.4 Entwurfsplanung

Im Rahmen der Entwurfsplanung wird der freigegebene Vorentwurf weiter entwickelt. Da grundlegende Systementscheidungen (Lüftungskonzept, Kühlung, etc.) meist schon in der

Vorentwurfsphase gefallen sind, verschiebt sich das Augenmerk immer mehr auf die Auswahl geeigneter Elemente. Die Ausarbeitung von Varianten und deren Vergleiche (siehe Kapitel 5.3) sowie die kontinuierlichen Planungsbesprechungen und Abstimmungen im interdisziplinären Team sind in der Entwurfsplanung weiterhin durchzuführen.

Im Entwurf geht es primär um die Abstimmung und Optimierung zwischen Gebäude- und Fassadenkonzeption mit dem Haustechniksystem (Heizung, Lüftung, Kühlung, Elektro) untereinander. Das Konzept der ventilativen Kühlung ist durch geeignet Produkte und Steuerungskonzepte zu verfeinern.

Ein kontinuierliches Controlling mittels Gebäudesimulation und Lebenszykluskostenberechnung ist in dieser Phase entscheidend, um einzelne Elemente ökonomisch, ökologisch und funktionell miteinander zu vergleichen und das Zusammenspiel zu optimieren.

In der detaillierteren Planung sind dabei folgende Aspekte zu bearbeiten:

Tabelle 7: Prüfpunkte für ventilative Kühlung in der Entwurfsphase

Punkte	Beschreibung
Zugänglichkeit bei Komponenten der ventilativen Kühlung	<p>Sicherstellung der Zugänglichkeit zu Komponenten für</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wartung • Reinigung • Instandhaltung und –setzung • Austausch der Komponenten
Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz vor <ul style="list-style-type: none"> ○ Witterung: Wind, Regen ○ Verschmutzung ○ Einbruch • Vorkehrungen gegen Brandausbreitung / Brandüberschlag durch den bewusst gestalteten Durchzug • Sicherheitsmechanismen einbauen bzw. Positionierung der Komponenten so wählen, dass das Einklemmen von Dingen/Menschen/Tieren nicht möglich ist (min. 2 m über Fußbodenniveau) • Eventuell Störmeldungen bei nicht sachgerechtem Öffnen/Schließen ermöglichen • Berücksichtigung von internen Sicherheitsstandard: Interne Sicherheitsstandards (wie z.B. das Abschließen von Bürotüren bei Nichtanwesenheit)
Mess-, Steuer- und Regelungstechnik:	<ul style="list-style-type: none"> • Einbau einer Gebäudeleittechnik, die das System möglichst automatisch/witterungsgeführt steuert • Und/oder leicht handhabbare Funktion für Betriebspersonal und NutzerInnen, wie z.B.: <ul style="list-style-type: none"> ○ Geringe Zahl an manuellen Tätigkeiten zur

	<p>Aufrechterhaltung der Lüftungsfunktionen</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Geringe Zahl Öffnungsmechanismen ○ einfache routinemäßige Handlungen (z.B. nach Dienstschluss Türen offen lassen/schließen)
Auswahl von Elementen/Produkten	<p>Auswahl von Elementen/Produkten</p> <ul style="list-style-type: none"> • mit langer Lebensdauer • mit langen Wartungsintervallen • mit möglichst geringem Standby-Verbrauch, geringen Energieverbrauch im Betrieb • deren Nachkauf (auch von Ersatzteilen) nach einigen Jahren noch möglich ist – möglichst keine Sonderanfertigungen, Einzelstücke, Abverkaufware, Produkte von scheinbar kurzlebigen Unternehmen • die leicht zu warten / reinigen / instandhalten / instandsetzen / austauschen sind
Störung während Betriebszeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeiden von Zugscheinungen während Betriebszeit • Vermeiden von akustischen Störungen durch Öffnungen von anderen Gebäudebereichen • Vermeiden von Geruchsstörungen durch Öffnungen von anderen Gebäudebereichen

5.5 Inbetriebnahme und Betrieb

Die Fertigstellung eines Gebäudes endet in der Regel mit der **Abnahme und Inbetriebnahme** des Gebäudes. Damit jedoch ein Gebäude in der Betriebsphase so arbeitet wie es konzipiert und geplant worden ist, werden Maßnahmen erläutert, die eine Erfolgsmessung der geplanten Funktionen ermöglichen.

Erfahrungen zeigen, dass es **zwei bis drei Jahre** dauert, bis ein Gebäude für die tatsächliche Nutzung eingeregelt ist. Durch ein aktives Monitoring kann diese Zeitspanne stark verkürzt werden. Dadurch wird das gewünschte Komfortniveau früher erreicht und in der Folge Energiekosten gespart. Ein Verzicht auf diese Maßnahme schmälert den Erfolg der Planungsleistungen enorm.

Im Betrieb des Gebäudes ist darauf zu achten, dass ventilatives Kühlen reibungslos funktioniert. Dafür sind folgende Punkte zu beachten (Tabelle 8):

Tabelle 8: Prüfpunkte für ventilative Kühlung in der Inbetriebnahmephase und im Betrieb

Punkte	Beschreibung
Grundverständnis für System aufbauen	<ul style="list-style-type: none"> • Beschreibung und Information über Funktionsweise, physikalische Grundlagen, Regelungsweise und mögliche Konsequenzen von Fehlsteuerungen

	<ul style="list-style-type: none"> • Einarbeitung der Information in separate Handbücher für das ventilative Kühlsystem, für Nutzer und für das Betriebspersonal • Schulung / Motivation von NutzerInnen bzgl. problemlosem Betrieb der ventilativen Kühlung • Bei (teil)automatischer Steuerung <ul style="list-style-type: none"> ○ Regelmäßige Kontrolle, ob Regelungsmechanismen richtig/passend eingestellt sind ○ Optimierung von Regelungsmechanismen (z.B. Erhöhung/Senkung von Luftvolumen während der Nacht bei mechanischer Lüftung, Anpassen von Lüftungs-/Öffnungszeiten) • Bei (teil)manueller Steuerung <ul style="list-style-type: none"> ○ Routinemäßiges/Saisonales Öffnen/Schließen der für die ventilative Kühlung vorgesehenen Lüftungsöffnungen
Monitoring der internen Wärmequellen	<ul style="list-style-type: none"> • Vorgabe von Mindeststandards für effiziente Geräte, die vom Nutzer/Betreiber angeschafft werden (Computer, Kühlschränke, Stehlampen, etc.) • Regelmäßige Kontrolle der Anzahl und der Wärmeabgabe der Geräte in den Räumen, sodass keine zu hohen internen Wärmelasten generiert werden
Wartung / Reinigung / Instandhaltung des Systems nach vorgeschriebenen Intervallen	<ul style="list-style-type: none"> • der Öffnungsmechanismen • der Antriebe • der Sensoren • der Filter • des Witterungsschutzes • der Lüftungskanäle
Regelmäßige Prüfungen	<ul style="list-style-type: none"> • ob Lüftungsöffnungen blockiert/verstellt sind • ob Luftzirkulation nicht blockiert wird durch z.B. Möbel, Türen • Sicherheitsprüfungen <ul style="list-style-type: none"> ○ Kein komplettes Schließen, wenn Öffnung blockiert ist ○ Regelmäßiger Check von Störmeldungen ○ Bei geplanten Störmeldungen
Monitoring der Performance der ventilativen Kühlung	<ul style="list-style-type: none"> • Raumklima • Witterung (Temperaturen, Niederschlag, Wind) • Energieverbrauch von Öffnungsmechanismen, Steuerungsmechanismen • Störungen • Beschwerden/Positivmeldungen • Folgekosten (Wartung, Reinigung, Instandhaltung, Instandsetzung, Austausch)
Anlaufstelle für Anregungen/Beschwerden	<ul style="list-style-type: none"> • Beschwerden zu Zugerscheinungen, tiefen/hohen Temperaturen, etc. • Anregungen zur Verbesserung des Kühlungserfolgs

5.6 Messkonzept

Um die Wirksamkeit und Funktionalität des ventilativen Kühlens überprüfen zu können, sollte ein Monitoringsystem, welches die Daten aufzeichnet und speichert, installiert werden. Dazu sollten im Messkonzept die folgenden Mindestanforderungen umgesetzt werden. Es empfiehlt sich die Kenngrößen aller weiteren haustechnischen Anlagen, wie Lüftungsanlagen, Kälteanlagen, Heizanlagen aufzuzeichnen, um ein Fehlverhalten mancher Anlagen oder sogar einen gleichzeitigen Betrieb von Kühlgeräten und der ventilativen Kühlfunktion erkennen zu können.

5.6.1 Datenerfassung und Speicherung

Die Daten sollten als **15-minütige kumulierte Zählerstände (bei Zählern) bzw. momentane Istwerte (bei Sensoren)** gespeichert werden (**keine Mittelwertbildung, kein Eventlogging⁷**). Enthaltene Wandlerfaktoren (sofern vorhanden) in den Zählern oder auf der Automationsebene sind vor der Datenspeicherung und dem Export auf die „echten“ Werte umzuwandeln.

Die Wertigkeit der Mess-/Zählwerte sollte so umgesetzt werden, dass die geforderte Genauigkeit auch so vom Fühler oder Energie- und Durchflussmesser geliefert wird und so 1:1 abgespeichert werden kann. Die künstliche „Generierung“ einer Genauigkeit, die nicht vom Fühler, Energie- oder Durchflussmesser geliefert wird, ist nach Möglichkeit zu vermeiden. Bei Energiezählern sollte die Aufzeichnungsgenauigkeit in Wattstunden (Wh) bzw. bei Aufzeichnung in kWh mit drei Nachkommastellen (0,000 kWh) erfolgen.

5.6.2 Datenpunkte für das Monitoring von ventilativer Kühlung

5.6.2.1 Mindestanforderung ohne mechanischer Lüftungsunterstützung

Nr.	Gewerk	Verwendung	Zählertyp / Sensortyp	Messwert	Quelle
1	Lüftungsöffnung (z.B.: Fensterkontakt)	Fenster-/Klappenstellung Auf/Zu (min 1 pro Orientierungsrichtung)		Istwert	MSR

⁷ Event-Logging: Als Event-Logging wird eine Protokollierung gesehen, die ereignisbezogen Daten aufzeichnet, sprich wenn sich ein Wert ändert. Das Gegenteil zum Event-Logging ist eine regelmäßige Protokollierung, beispielsweise alle 15 Minuten wird ein Wert gespeichert, egal ob sich diese Größe geändert hat oder nicht.

2	Wetterstation	Außenluft	Temperatur	°C	Messung
3	Wetterstation	Außenluft	Rel. Feuchte	%	Messung
4	Wetterstation	Außenluft	Wind	m/s; km/h	Messung
5	Min 2-3 pro Geschoß	Referenzmessung in Raum	Temperatur	°C	Messung
6	Min 2-3 pro Geschoß	Referenzmessung in Raum	Rel. Feuchte	%	Messung
7	Min 2-3 pro Geschoß	Referenzmessung in Raum	CO ₂	ppm	Messung

5.6.2.2 Mindestanforderung mit mechanischer Lüftungsunterstützung

Zusätzlich zu den unter Punkt 5.6.2.1 angeführten Datenpunkten sollten bei Lüftungsunterstützung realisiert werden.

Nr.	Gewerk	Verwendung	Zählertyp / Sensortyp	Messwert	Quelle
8	Lüftung	Stromverbrauch Abluftventilator	Stromzähler	kWh	Messung
9	Lüftung	Momentanleistung Abluftventilator	Stromzähler	kW	Messung
10	Lüftung	Luftvolumen der Abluft	Volumenstrom	m ³ /h	Messung
11	Lüftung	Temperatur der Abluft	Temperatur	°C	Messung
12	Lüftung	Rel. Feuchte der Abluft	Rel. Feuchte	%	Messung

6 Good Practice Beispiele

6.1 Universität Innsbruck

Tabelle 9: Gebäudedaten Universität Innsbruck

Bezeichnung	Universität Innsbruck	Heizwärmebedarf*	4,0 kWh/m³a
Objekttyp	Bürogebäude	Kühlbedarf*	0,17 kWh/m³a
Standort	Innsbruck	Anzahl Nutzer	365
Neubau/Sanierung	Sanierung	Interne Lasten	5,06 W/m²
Jahr	1969 / 2014	Klimazone	Dfb
BGF	12.529 m²		

Das achtgeschoßige Bürogebäude der Universität Innsbruck wird aktiv nur über die konditionierte Zuluft der Lüftungsanlage, welche durch die Brunnenkühlung versorgt wird, gekühlt. Mittels automatisch gesteuerten Senklappfenster kann in den Sommermonaten das Gebäude mit Hilfe der natürlichen Nachtkühlung zusätzlich gekühlt werden. Dabei strömt kühlere Außenluft über die Fensteröffnungen und Überströmöffnungen über den Innentüren bis ins Gebäudeinnere. Bei Überschreitung eines Sollwertes im Gebäudekern, werden zusätzlich die Abluftventilatoren der beiden Lüftungsanlagen als Unterstützung hinzugeschaltet.



Abbildung 32: Außenansicht und Fassade mit Senklappfenster (Quelle: ATP Architekten Ingenieure)

Übersteigt die Raumlufttemperatur in den Nachtstunden zwischen 21 und 7 Uhr 23°C und liegt dabei gleichzeitig 0,5 K über der Außenlufttemperatur, dann werden die Fenster im Zeitraum von 1. April bis 30. September geöffnet. Übersteigt die Gebäudekerntemperatur einen Wert von 25°C werden die Abluftventilatoren zusätzlich als Unterstützung eingeschaltet. In Abbildung 33 und Abbildung 34 wird die Funktionsweise der natürlichen Lüftung über die Fenster sowie den Überströmöffnungen zu den innenliegenden Räumen dargestellt. Durch die Senkkastenfenster wird gewährleistet, dass warme Luft aus den Räumen nach außen und frische, kühlere Luft von außen nach innen strömen kann. Die Überströmöffnungen versorgen den Gang sowie den Gebäudekern mit kühlerer Luft.

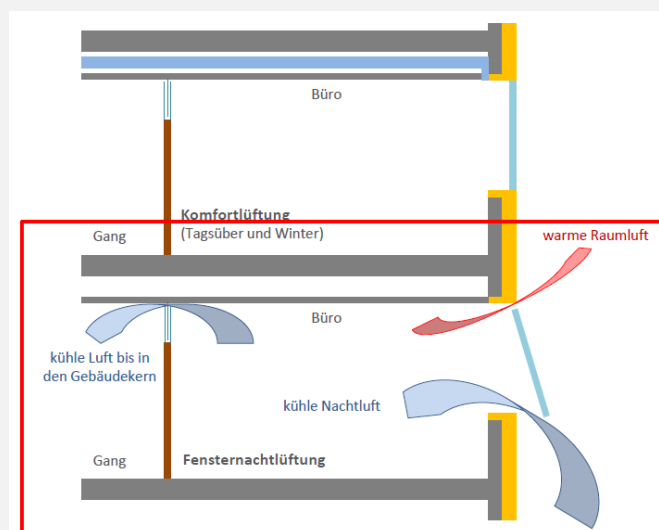


Abbildung 33: Regelung und Funktionsweise Fensterlüftung (Quelle: PHI Innsbruck, Malzer)

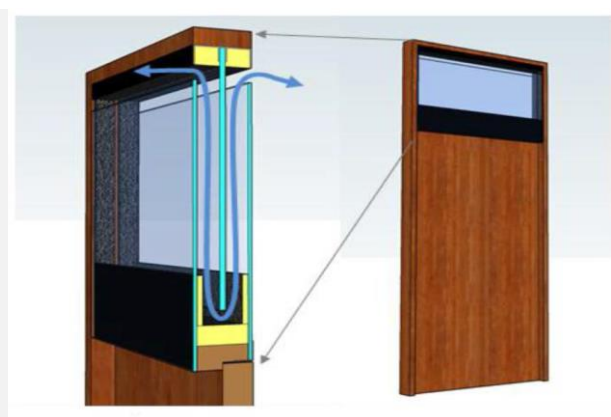
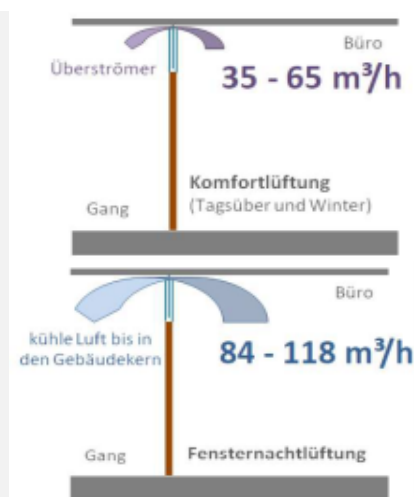


Abbildung 34: Funktionsweise der Überströmöffnungen Büro zu Gang (Quelle: PHI Innsbruck, Malzer)

Die Ergebnisse des Monitorings zeigen den Kühleffekt in den Referenzräumen, wie in den folgenden Abbildungen dargestellt. Ist die Fensterlüftung aktiv, kann eine Abkühlung der Raumlufttemperatur festgestellt werden. In Summe wurde die Fensterlüftung rund 690 h, verteilt auf 116 Nächte, aktiv genutzt. In Abbildung 35 sind die monatlichen Lüftungsstunden im Jahr 2015 dargestellt.

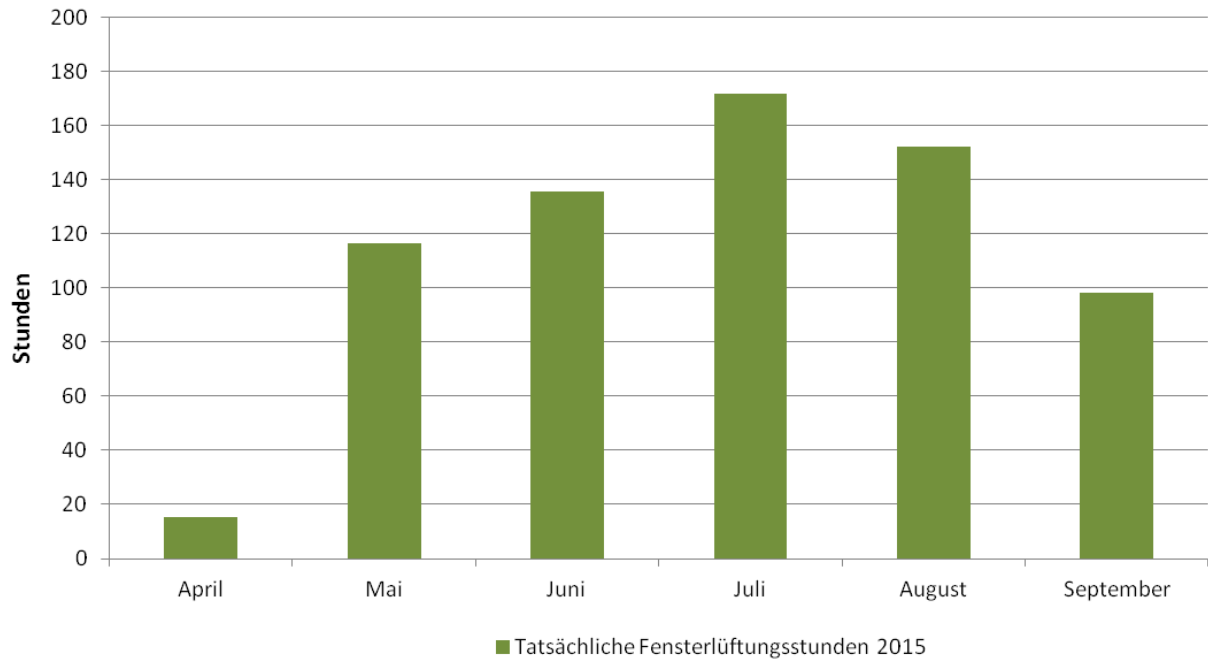


Abbildung 35: Gemessene monatliche Lüftungsstunden 2015 (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)

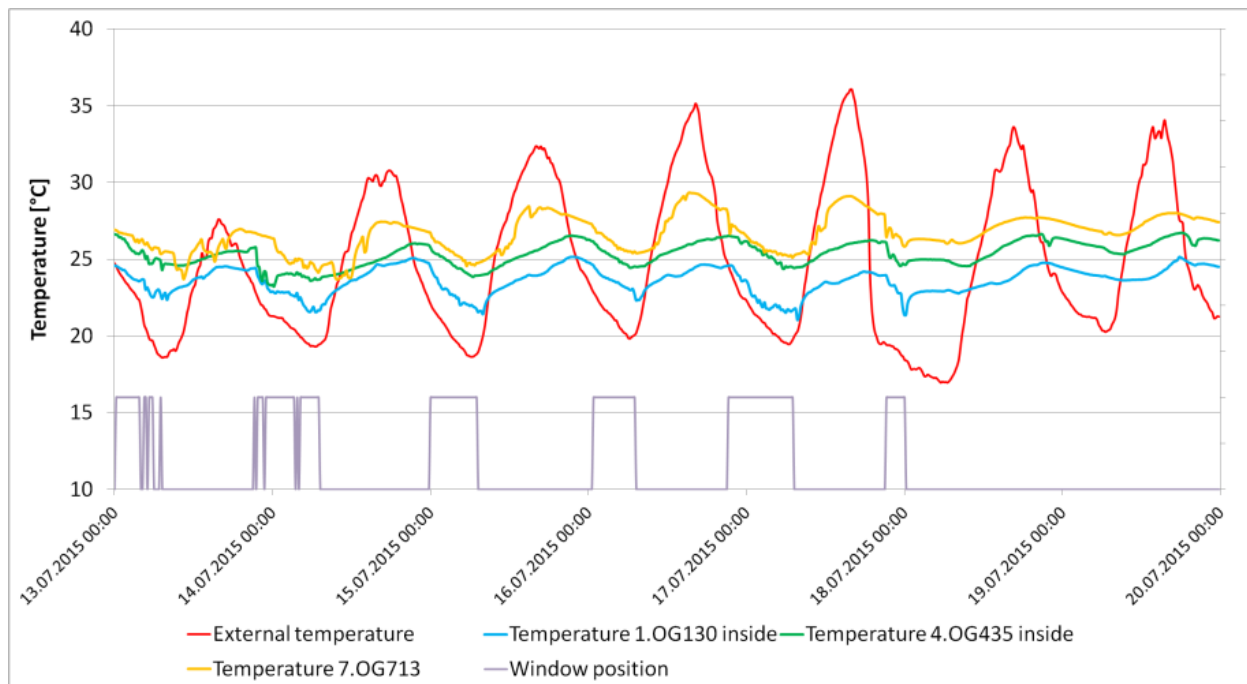


Abbildung 36: Kühleffekt durch Fensterlüftung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)

6.2 Windkraft Simonsfeld

Tabelle 10: Gebäudedaten Windkraft Simonsfeld

Bezeichnung	Windkraft Simonsfeld	Heizwärmebedarf*	2,37 kWh/m³a
Objekttyp	Bürogebäude	Kühlbedarf*	5,15 kWh/m³a
Standort	Ernstbrunn	Anzahl Nutzer	25
Neubau/Sanierung	Neubau	Interne Lasten	7,6 W/m²
Jahr	2014	Klimaregion	Cfb
BGF	967 m²		

Der Neubau ist das neue Headquarter Gebäude der Windkraft Simonsfeld AG. Das zweigeschoßige Plusenergiegebäude wurde 2014 fertiggestellt und hat eine Bruttogeschoßfläche (BGF) von 967 m².

Die Wärmeenergie für Heizen und Warmwasser wird über eine 100 m² 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 50 kWp Photovoltaik-Anlage installiert. Alle Räumlichkeiten sind mechanisch belüftet.⁸

„Um im Kommunikationsbereich die Gefahr der Überhitzung zu verringern, werden am Dach windunterstützte Dachentlüftungen (Windturbinen) vorgesehen. Diese öffnen sich automatisch, wenn die Lufttemperatur der Galerie im 1. Stock über 23°C steigt. Ist die Innentemperatur geringer als die Außentemperatur, bleiben die Klappen geschlossen. Wenn die gemessene Innentemperatur inkl. einer Hysterese kleiner der gewünschten Temperatur wird, beginnen sich die Klappen der Dachentlüfter zu schließen.“⁹

„Um eine Durchströmung des wintergartenähnlichen, zweigeschoßigen Südbereiches des Büros zu erreichen, sind zusätzlich in der Fassade im Bereich Erdgeschoß Lüftungsöffnungen vorgesehen. Die zu öffnende Fläche sollte entsprechend den Simulationsberechnungen mindestens 8 m² betragen. Die Fassadenöffnungen werden gleich wie die Lüftungsklappen der Dachentlüfter geschaltet.“¹⁰

⁸ BPS Engineering, 2015

⁹ Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2015

¹⁰ Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2015



Abbildung 37: Ansicht Headquarter Windkraft Simonsfeld (Quelle: Architekturbüro Reinberg ZT GmbH)

In nachstehender Tabelle und nachfolgenden Abbildungen sind die Steuerungsparameter und die Funktionsweise der Kühlung dargestellt.

„Der Wintergarten kann über vier Windturbinen und 21 öffenbare Klappen in der Fassade belüftet werden. Dazu wird die Raumtemperatur gemessen und mit der Außentemperatur verglichen. Wenn die Raumtemperatur über den Sollwert steigt und die Außentemperatur um den eingestellten Differenzwert unter der Raumtemperatur liegt, wird die erste Dachentlüftung eingeschaltet. Das bedeutet, die beiden Klappensteller der entsprechenden Windturbine werden geöffnet und die Fassadenklappen werden aufgefahren. Steigt die Raumtemperatur weiter, werden der Reihe nach die drei anderen Dachentlüftungen zugeschaltet. Sinkt die Raumtemperatur wieder, erfolgt die Abschaltung der Dachentlüftungen in umgekehrter Reihenfolge. Mit dem Wegschalten der letzten Entlüftung werden auch die Fassadenklappen wieder geschlossen.“¹¹

Tabelle 11: Steuerungsparameter der Dachentlüftung Gebäude Windkraft Simonsfeld

Bezeichnung	Originalwert
Sollwert Einschaltung Dachentlüftung 1	22°C
Sollwert Einschaltung Dachentlüftung 2	23°C
Sollwert Einschaltung Dachentlüftung 3	24°C
Sollwert Einschaltung Dachentlüftung 4	25°C

¹¹ Schwarz, G., Siemens AG

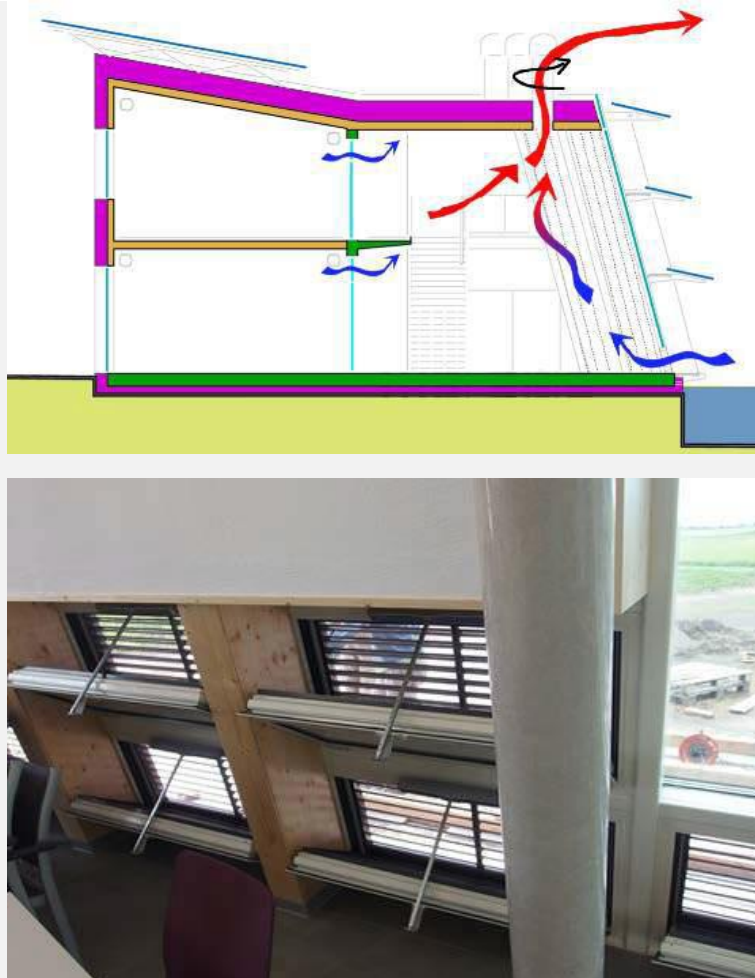


Abbildung 38: Komponenten und Funktionsweise der ventilativen Kühlung (Quelle: Architekturbüro Reinberg ZT GmbH)

„In den Monaten Juni und August wurden folgende Luftmengen umgesetzt (Abbildung 39). Bei den Luftumsätzen wurde davon ausgegangen, dass die Tornadolüfter wie geplant kaskadisch freigeschaltet werden. Lüfter 3 und 4 sind daher kaum in Betrieb.“¹²

¹² Binting, IBO GmbH, 2015

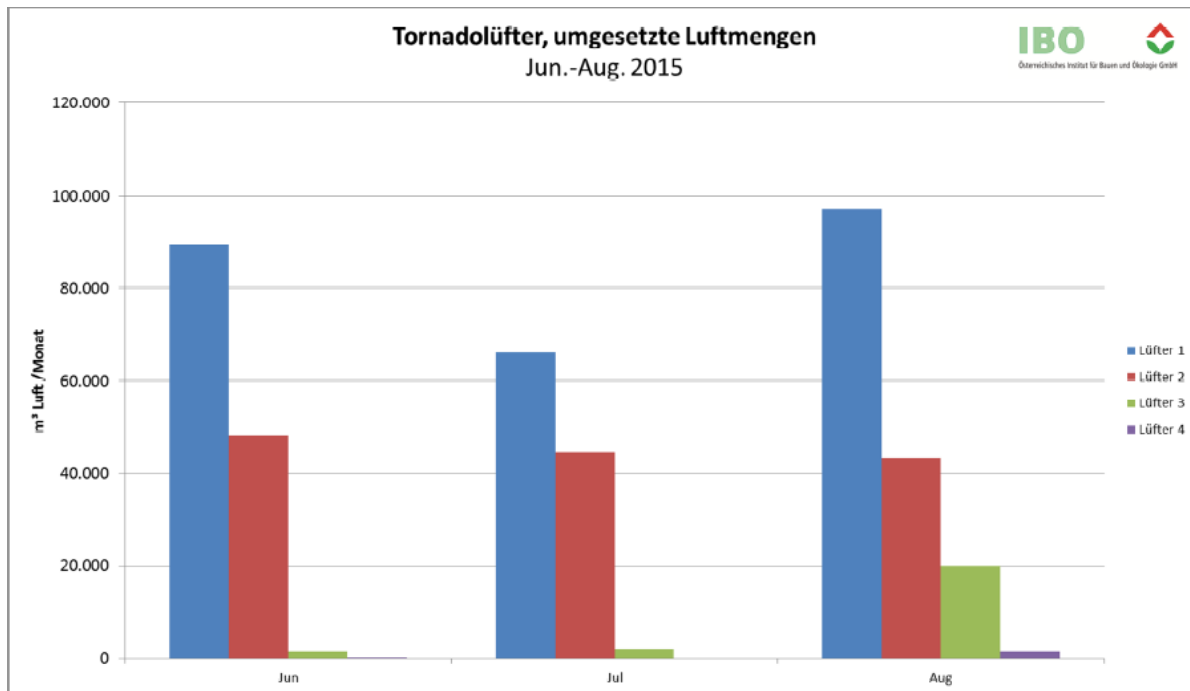


Abbildung 39: Monatliche Luftmengen pro Tornadolüfter für 2015 (Quelle: IBO GmbH, Binting)

In nachstehender Abbildung wird die Funktionsweise der ventilativen Kühlung gezeigt. In der Darstellung wird die Außentemperatur (rot), die Raumtemperatur der Galerie (orange) und das Stellsignal der Lüftungsöffnungen (grau) gegenübergestellt. Die ventilative Kühlfunktion hat nur eine geringe Auswirkung auf die Galerietemperatur und der Kühleffekt ist minimalst. Es besteht noch Optimierungspotential bei der ventilativen Kühlsteuerung, 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. Somit kann der Kühleffekt noch erhöht werden.

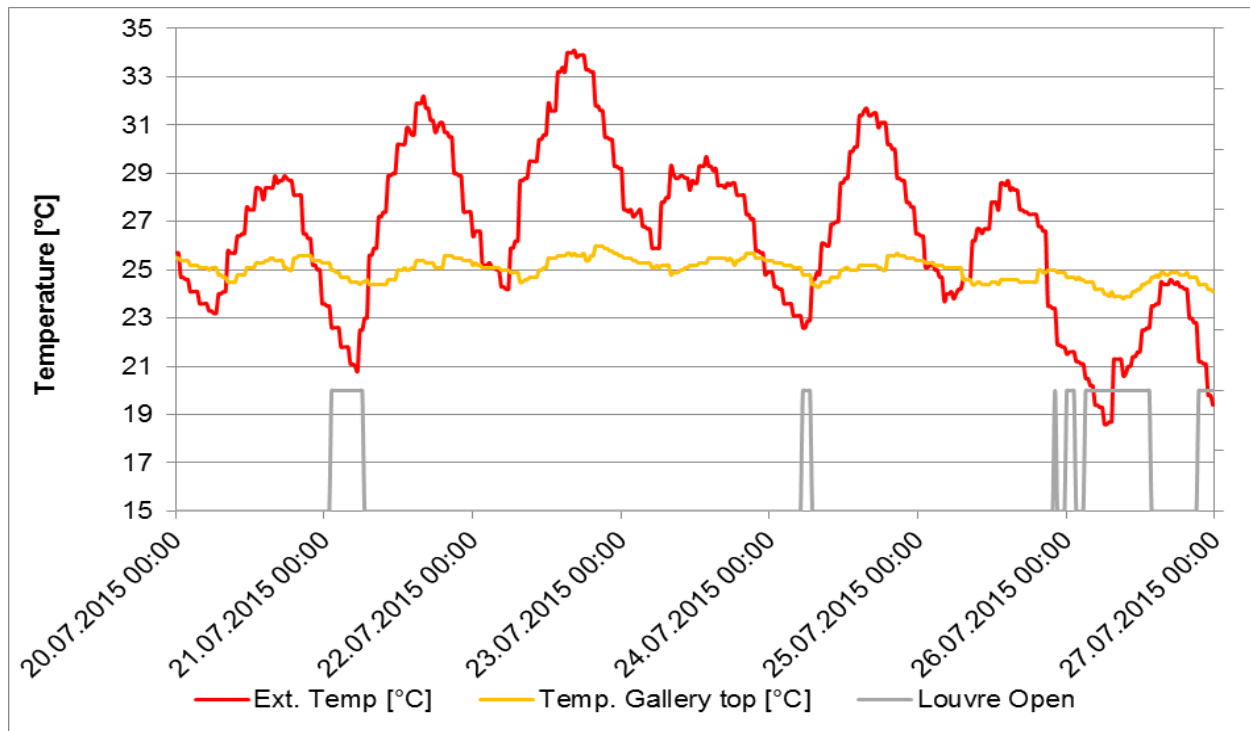


Abbildung 40: Funktionsweise durch ventilative Kühlung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)

6.3 Geförderter Geschoßwohnbau Lorenz Reiter Straße Wien

Tabelle 12: Gebäudedaten Wohnbau Lorenz Reiter Straße

Bezeichnung	Wohnbau Wien	Heizwärmebedarf	17,1 kWh/m ² a bzw. 18,5 kWh/m ² a
Objekttyp	Wohngebäude	Kühlbedarf	-
Standort	Wien	Anzahl Nutzer	137 Wohneinheiten
Neubau/Sanierung	Neubau	Interne Lasten	-
Jahr	2016	Klimazone	Cfb
BGF	16.462 m ²		

Die Anlage umfasst zwei siebengeschoßige Gebäude mit insgesamt 137 Mietwohnungen von 43 m² bis 130 m² Nutzfläche und wurde 2016 vom gemeinnützigen Bauträger Heimbau errichtet.

Die Wohnanlage wurde mit Mitteln der Wiener Wohnbauförderung als Niedrigenergiehaus errichtet. Der Heizwärmebedarf beträgt gemäß Energieausweis 17,1 kWh/m²a für Haus 1 und 18,5 kWh/m²a für Haus 2. Die Wärmeversorgung für Raumheizung und Warmwasser erfolgt mit Fernwärme.



Abbildung 41: Wohnhausanlage Bauplatz 1 (Quelle: P.Holzer)

Die thermische Sommertauglichkeit der Wohnungen ist nach ÖNORM B 8110-3¹³ 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.

Aus der Anordnung von Mittelgängen zwischen fassadenseitigen Stiegenhäusern wurde das System der ventilativen Kühlung abgeleitet:

- In einem der Stiegenhäuser wurde je Geschos 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 Haltemagneten offengehalten werden und nur im Alarmfall zufallen.
- Der Luftvolumenstrom der ventilativen Kühlung wird von Abluftventilatoren hergestellt, welche die Abluft aus dem zweiten Stiegenhaus über Dach ausblasen. Im Haus 1

¹³ ÖNORM B 8110-3, 2012

sind zwei, im Haus 2 einer dieser Ventilatoren verbaut. Der Luftvolumenstrom wurde je Ventilator auf 11.000 m³/h eingestellt. Die Fortluft wird über Dach ausgeblasen.

- Die Regelung der ventilativen Kühlung ist wie folgt eingestellt: Die Aktivierung der ventilativen Kühlung 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 42: Komponenten der Nachtlüftung (v.l.n.r.): Zuluft-Fenster, Abluft-Anlage mit Fortluft-Gitter (Quelle: Peter Holzer)

Die folgende Tabelle fasst die Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung zusammen.

Tabelle 13: Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung, Wohnbau Lorenz Reiter Straße

	Haus 1	Haus 2
Anzahl der Zuluftfenster	6	6
Geometrischer Öffnungsquerschnitt je Zuluftfenster	0,8 m ²	0,8 m ²
Luftvolumenstrom der ventilativen Kühlung	22.000 m ³ /h	11.000 m ³ /h
Von ventilativer Kühlung bewirtschaftete Nutzfläche	996 m ²	750 m ²
Zuluft-Öffnungsquerschnitt, bezogen auf die von ventilativer Kühlung bewirtschaftete Nutzfläche	0,5 %	0,6 %
Raumhöhe	2,6 m	2,6 m
Luftwechsel, bezogen auf die von ventilativer Kühlung bewirtschaftete Nutzfläche	8,5 h ⁻¹	5,6 h ⁻¹

Messungen und Berechnungen

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

Außerdem wurde die elektrische Leistungsaufnahme eines der insgesamt drei Abluftventilatoren gemessen.

In weiterer Folge wurde der Jahresverlauf der Gangtemperaturen berechnet und mit den Messergebnissen abgeglichen.

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

Das folgende Diagramm dokumentiert die Messergebnisse der Temperaturen bei Nachtlüftung.

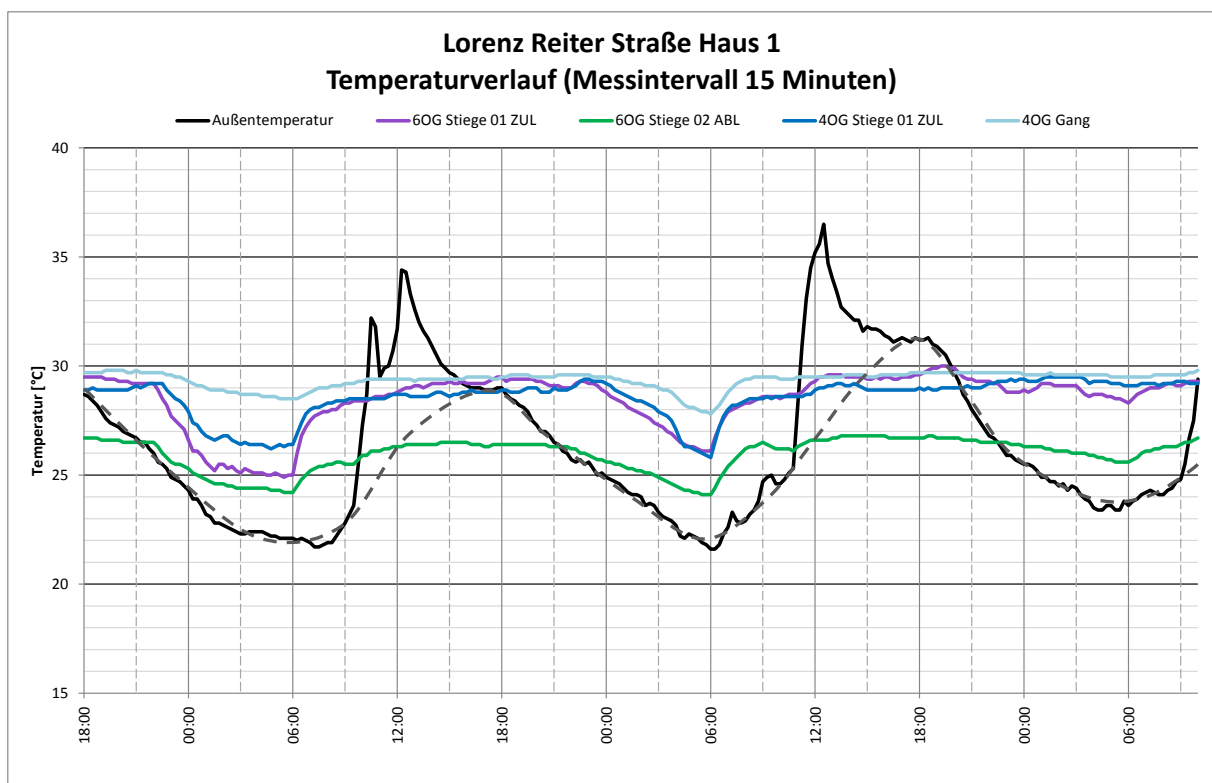


Abbildung 43: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung in Haus 1

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

Erkennbar ist auch der Effekt der Nachtlüftung, wonach die Gangtemperaturen 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.

Weiters bestätigt sich, dass der derzeitige Einschaltzeitpunkt von 22:00 gut gewählt ist, aber der derzeitige Ausschaltzeitpunkt von 06:00 noch auf zumindest 07:00 erweitert werden kann.

Für die Ableitung von Jahreskühlenergien wird ein charakteristischer Klimadatensatz von Wien herangezogen und nach folgendem Algorithmus vorgegangen:

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.

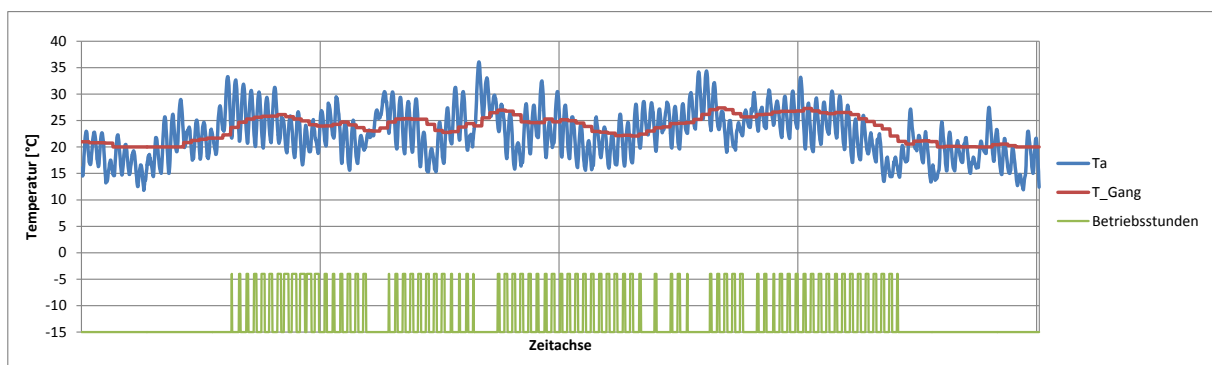


Abbildung 44: Verlauf von Außen- und Gangtemperatur Juni-Sept für Jahresberechnungen (Quelle: IBR&I)

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

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

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

Q_c ... Jährliche Kühlenergie

V ... Luftvolumenstrom der Nachtkühlung

c_p ... spezifische Wärmekapazität der Luft

ΔT ... Temperaturdifferenz zwischen Gang- und Außentemperatur.

Mit dem konstanten Luftvolumenstrom jedes der drei Abluftventilatoren von 11.000 m³/h und mit der spezifischen Wärmekapazität von Luft von 0,34 Wh/m³K ergibt sich für jeden Ventilator eine jährlich 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/m²_{NFA} und im Haus 2 eine solche von 15,5 kWh/m²_{NFA}.

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

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

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

Dieser erfreulich niedrige Wert begründet sich aus den großen Strömungsquerschnitten der Zuluftöffnungen, Stiegenhäuser und Gänge sowie aus der direkten Ausblasung über Dach, mit nur einem einzigen strömungshemmenden Einbau eines Schalldämpfers. Mittels einer Druckverlustberechnung konnte das überraschend positive Ergebnis bestätigt werden. 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 24mal 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 Zusammenfassung der Ergebnisse enthält die folgende Tabelle:

Tabelle 14: Ergebniskennzahlen der Nachtlüftung, Wohnbau Lorenz Reiter Straße

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

7 Literaturverzeichnis

- BauNetz Media GmbH. (Januar 2017). Von www.baunetzwissen.de abgerufen
- Bintinger, IBO GmbH. (2015). Monitoring - Bericht über 12 Monate, Windkraft Simonsfeld.
- BPS Engineering. (2015). Windkraft Simonsfeld. In *Technische Beschreibung HKLS Anlagen* (S. 6-7).
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. (2015). Plusenergie-Verwaltungsgebäude Ernstbrunn 26. In *Haus der Zukunft* (S. 44).
- CIBSE Applications . (2005). *Natural Ventilation in Non-domestic Buildings, CIBSE Applications Manual AM10*.
- Gratia, E., Bruyère, I., & De Herde, A. (October 2004). How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. In *Build Environ.* 39 (10) (S. 1157-1170). ISSN 0360-1323.
- ÖNORM B 8110-3. (2012). Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung.
- Schwarz, G., Siemens AG;. MSR Anlagenbeschreibung Windkraft Simonsfeld.
- Wei, S., Buswell, R., & Loveday, D. (July 2013). Factors affecting 'end-of-day' window position in a non-air-conditioned office building. In *Energy Build.* 62 (S. 87-96). ISSN 0378-7788.
- Young Yun, G., & Steemers, K. (July 2010). Night-time naturally ventilated offices: statistical simulations of window-use patterns from field monitoring. ISSN 038-092X: Sol. Energy 84 (7).

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Natürliche Belüftung mit Nutzung des Kamineffekts.....	10
Abbildung 2: Natürliche Belüftung mit Nutzung des Windeffekts.....	10
Abbildung 3: Verschiedene Öffnungsmöglichkeiten von Fenster (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH).....	13
Abbildung 4: Einseitige Lüftung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)	15
Abbildung 5: Querlüftung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)	15
Abbildung 6: Durch Auftrieb getriebene Lüftung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)	15
Abbildung 7: Verglaste Lüftungsklappen (Quelle: www.secontrols.com, 20.04.2014)	16
Abbildung 8: Motorisierte Lüftungsklappen (Quelle: www.trox.de, 29.12.2014).....	16
Abbildung 9: Frostfrei-Lüftungsflügel (Quelle: www.gaugele.com, 29.07.2014)	16
Abbildung 10: Schallabsorbierendes Lüftungsgitter (Quelle: www.duco.com, 29.12.2014) ...	16
Abbildung 11: Lüftungsschlitz im Fensterrahmen, (Quelle: www.titon.co.uk, 29.12.2014)....	18
Abbildung 12: Abluftgerät mit Ventilator, (Quelle: www.titon.co.uk, 29.07.2014)	18
Abbildung 13: Selbstregulierende, thermisch getrennte Fensterlüftungsöffnung (Quelle: www.renson.eu, 29.12.2014).....	18
Abbildung 14: Selbstregulierender, Brand- und Lärmschutz-Fensterlüftungsschlitz für hohe Gebäude (Quelle: www.duco.eu, 29.12.2014)	18
Abbildung 15: Solar-Lüftungskamine Französische Schule, Damascus, Syrien. Errichtet 2008. Planung: TRANSOLAR (Deutschland), bombardiert und teilweise zerstört Ende 2013	20
Abbildung 16 Solar-Lüftungskamine, Sidwell Friends School, Washington D.C., USA. Erweiterung und umfangreiche Sanierung, abgeschlossen 2008. Planung: Kieran Timberlake Associates. (Quelle: www.solaripedia.com, 29.12.2014).	20
Abbildung 17: Bürogebäude mit Abluft-Atrium: "Bayrisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung", Schweinfurt, Deutschland. Fertigstellung: 1998. Architekt kuntzundbrück architekten ingenieure. (Quelle: http://kuntzundbrueck.de/project/landesamt-fur-statistik-und-datenverarbeitung-schweinfurt/ , 29.12.2014).....	21
Abbildung 18 Firmenzentrale UNILEVER mit Abluft-Atrium, Hamburg, Deutschland. Fertigstellung: 2009. Behnisch Architekten. (Quelle: https://www.architonic.com/de/project/behnisch-architekten-firmenzentrale-unilever/5100434 , 11.01.2017)	21

Abbildung 19 Prinzip eines Venturi-Ventilators mit verstellbaren Lüftungsöffnungen. (Quelle: Heating, Cooling Lightning: Sustainable Design Methods for Architects, John Wiley & Sons, 2014).....	22
Abbildung 20: Stromlose Dachventilatoren, Airier Natura Pvt. Ltd., Bangalore	22
Abbildung 21: Moderner Ventilator-unterstützter, PV-integrierter, bi-direktionaler Windturm (Quelle: http://www.monodraught.com , 20.04.2014).....	23
Abbildung 22: Rotierende Abluft-Windschaufel (Quelle: www.scoopsandrakes.com , 12.01.2017).....	23
Abbildung 23: Prinzip einer rotierenden Luftzufuhr-Windschaufel (Quelle: http://www.canadianarchitect.com/asf/principles_of_enclosure_environmental_mediation/environmental_mediation.htm , 12.01.2017)	23
Abbildung 24: Hochhaus Bürogebäude GSW-Zentrale in Berlin. Architect Sauerbruch-Hutton. Westlich ausgerichtete Doppelfassade, Höhe 71 m, Tiefe 1,15 m, innere Hülle Doppelverglasung mit Fensterlüftung, äußere Hülle Einscheibensicherheitsglas. Errichtet 1993 (Quelle: https://www.stylepark.com/de/news/eiseskaelte-statt-erdbeben).	24
Abbildung 25: Hochhaus Bürogebäude Deutsche Messe Hannover, Arch. Herzog & Partner. Doppelfassade mit Korridoren, Tiefe 1,32 m, Doppelverglasung in beiden Fassadenebenen, Jalousien, Fensterlüftung in der inneren Hülle, Lüftungsklappen in der äußeren Hülle (Quelle: http://www.detail.de/inspiration/verwaltungshochhaus-in-hannover-107105.html).	24
Abbildung 26: Beispiele von Decken- und Tisch-Ventilatoren (Quellen: http://exhalefans.com/ , http://www.farreys.com/)	25
Abbildung 27: Beispiele für Wohnungs- und Industrie- Verdunstungskühler, BONAIR, Australien.	26
Abbildung 28: PCM Kühl- und Lüftungssystem, Monodraught (Quelle: www.monodraught.com , 17.01.2017)	27
Abbildung 29: Elektrischer Linearantrieb (Quelle: www.window-openers.com/linear_window_actuators.html , 04.01.2015)	27
Abbildung 30: Elektrische Kettenantriebe (Quelle: ACK4 und SE controls).....	28
Abbildung 31: Einfluss auf Nachhaltigkeit, sowie daraus abgeleiteter Kosten- und Änderungsaufwand in Abhängigkeit der Projektentwicklungsphase. Quelle: ID Process Guide (Quelle: www.integrateddesign.eu).....	39
Abbildung 32: Außenansicht und Fassade mit Senklappfenster (Quelle: ATP Architekten Ingenieure).....	47
Abbildung 33: Regelung und Funktionsweise Fensterlüftung (Quelle: PHI Innsbruck, Malzer)	

.....	48
Abbildung 34: Funktionsweise der Überströmöffnungen Büro zu Gang (Quelle: PHI Innsbruck, Malzer)	48
Abbildung 35: Gemessene monatliche Lüftungsstunden 2015 (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)	49
Abbildung 36: Kühleffekt durch Fensterlüftung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH) ..	49
Abbildung 37: Ansicht Headquater Windkraft Simonsfeld (Quelle: Architekturbüro Reinberg ZT GmbH)	51
Abbildung 38: Komponenten und Funktionsweise der ventilativen Kühlung (Quelle: Architekturbüro Reinberg ZT GmbH)	52
Abbildung 39: Monatliche Luftmengen pro Tornadolüfter für 2015 (Quelle: IBO GmbH, Binting).....	53
Abbildung 40: Funktionsweise durch ventilative Kühlung (Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH)	54
Abbildung 41: Wohnhausanlage Bauplatz 1 (Quelle: P.Holzer)	55
Abbildung 42: Komponenten der Nachtlüftung (v.l.n.r.): Zuluft-Fenster, Abluft-Anlage mit Fortluft-Gitter (Quelle: Peter Holzer)	56
Abbildung 43: Messergebnisse der Temperaturverläufe bei Nachtlüftung in Haus 1	57
Abbildung 44: Verlauf von Außen- und Gangtemperatur Juni-Sept für Jahresberechnungen (Quelle: IBR&I)	58

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Strukturierung der Komponenten	12
Tabelle 2: Bewertungskriterien für die Selektion von Fensteröffnungen	14
Tabelle 3: Lüftungsstrategien bei Fenster	15
Tabelle 4: Bewertung der Erfolgs-Wahrscheinlichkeit für ventilative (Hybrid-)Kühlung (Quelle: Principles of hybrid ventilation, IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, Annex 35: Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings, 2002, Anpassung durch e7 Energie Markt Analyse GmbH)	36
Tabelle 5: Bewertung unterschiedlicher Ventilationsoptionen (Quelle: Principles of hybrid ventilation, IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, Annex 35: Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings, 2002, Anpassung durch e7 Energie Markt Analyse GmbH)	37

Tabelle 6: Kriterien und Indikatoren für Bedürfnisse der Bauherren.....	40
Tabelle 7: Prüfpunkte für ventilative Kühlung in der Entwurfsphase.....	42
Tabelle 8: Prüfpunkte für ventilative Kühlung in der Inbetriebnahmephase und im Betrieb ...	43
Tabelle 9: Gebäudedaten Universität Innsbruck	47
Tabelle 10: Gebäudedaten Windkraft Simonsfeld.....	50
Tabelle 11: Steuerungsparameter der Dachentlüftung Gebäude Windkraft Simonsfeld	51
Tabelle 12: Gebäudedaten Wohnbau Lorenz Reiter Straße	54
Tabelle 13: Auslegungskennzahlen der Nachtlüftung, Wohnbau Lorenz Reiter Straße	56
Tabelle 14: Ergebniskennzahlen der Nachtlüftung, Wohnbau Lorenz Reiter Straße	60