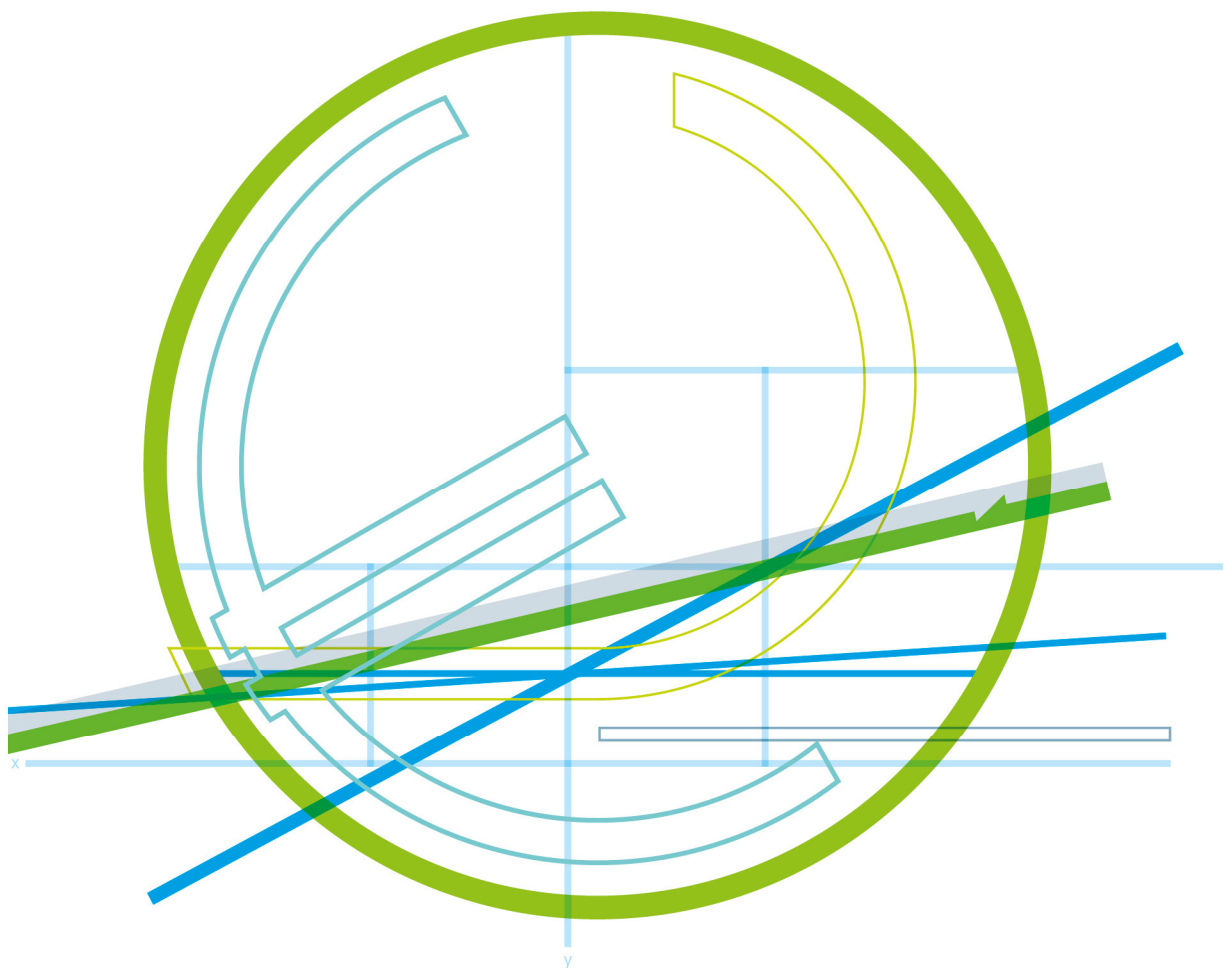


low_vent.com

Konzepte für die „low-tech“ Komfortlüftung
in großvolumigen Wohngebäuden und
deren Nutzungskomfort



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

low_vent.com

Konzepte für die „low-tech“ Komfortlüftung in großvolumigen Wohngebäuden und deren Nutzungskomfort

AutorInnen:

DI Elisabeth Sibille, DI Gabriel Rojas-Kopeinig, Dr. Rainer Pfluger
Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich
Energieeffizientes Bauen / Bauphysik (UIBK)

DI Andreas Greml
Technisches Büro Dipl. Ing. Andreas Greml

DI (FH) Andreas Trojer
Energie Tirol

Mag. Jürgen Suschek-Berger
IFZ – Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur

DI Monika Spörk-Dür, Ing. Waldemar Wagner, DI Armin Knotzer
AEE – Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	6
3	Inhaltliche Darstellung	8
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	13
4.1	Bewertung bestehender Systeme und Komponenten	13
4.2	Spezialthema Brandschutz - Grundlagen	15
4.2.1	Brandschutzklappen	16
4.2.2	Feuerschutzabschlüsse auf Basis intumeszierender Materialien ohne/mit mechanischem Verschlusselement (FLI/FLI-VE)	18
4.3	Grundlagen für die Optimierung der Lüftungssysteme	21
4.3.1	Erweiterte Kaskadenlüftung: Untersuchung von Grundrissen mit Risiko auf Kurzschlussströmungen mit Hilfe von CFD – Methodik	21
4.3.2	Erweiterte Kaskadenlüftung: Untersuchung von Grundrissen mit Risiko auf Kurzschlussströmungen mit Hilfe von CFD – Ergebnisse	23
4.3.3	Computersimulationen zur Ableitung von empfohlenen Zuluftmengen in Wohnungen	26
4.3.4	Aus Computersimulationen ableitbare Zuluftmengenempfehlungen	40
4.4	Drei optimierte Varianten von zentralen Lüftungssystemen	42
4.4.1	Optimiertes Low-Tech System	42
4.4.2	Optimiertes Standard System	44
4.4.3	Optimiertes Komfort System	44
4.4.4	Unterschiede der optimierten Systeme	46
4.4.5	Übersicht und Vergleich von Volumenstromreglern	47
4.4.6	Druckverlust	48
4.4.7	Vereinfachte Einregulierung	50
4.4.8	Kostenübersicht derzeit	51
4.5	Brandschutz – Optimierungen von Komponenten und Systemen	52
4.5.1	Optimierungsmaßnahmen bei Brandschutzklappen	52
4.5.2	Optimierungsmaßnahmen bei Feuerschutzabschlüssen	53
4.5.3	Optimierung durch Produkt- und Systemvergleiche	53
4.5.4	Drei Optimierte Varianten für Brandschutzlösungen	58
4.5.5	Zusammenfassung zum Spezialthema Brandschutz	60
4.5.6	Spezialthema Raumheizgeräte	61
4.6	Systemvereinfachung und Weiterentwicklung der Komponenten	61
4.6.1	Entwicklung eines Koaxialrohres für die Außen- und Fortluftauslässe	61
4.6.2	Aktive Überströmer – Konzept, Produkte, Messung, Optimierungen	64

4.6.3	Untersuchung Konzept Heat Pipes für Frostschutz (Rainer) – Kostenanalyse, Skizze, EES Model, Prototyp und Messung.....	68
4.6.4	Ergebnisse Koaxial Rohr.....	81
4.6.5	Ergebnisse Aktive Überströmer.....	83
4.6.6	Ergebnisse Heat pipe.....	87
4.7	Ausgewählte Demonstrationsgebäude und lessons learned.....	90
4.7.1	Ausgewählte Demonstrationsgebäude.....	90
4.7.2	Lebenzyklusanalyse verschiedener Lüftungsstrategien und Materialien (Kramsach).....	93
4.7.3	Projekt Vöglebichl - Beratung bei der Planung der Lüftung.....	101
4.7.4	Projekt Vöglebichl – Dachaufstellung (Ausführung – Bilder).....	107
4.8	Auswertung von Messungen in den realen Demonstrations-Wohnbauten.....	111
4.8.1	Johann-Böhmstraße 34-36, Kapfenberg – Bauabschnitt 1.....	111
4.8.2	Peter-Rosegger-Straße 31a, Graz - Haus J.....	124
4.9	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung.....	128
4.9.1	Die Befragung in Kapfenberg.....	128
4.9.2	Die Befragung in Graz Reininghaus Süd.....	143
4.9.3	Die Befragung von KundInnen bei Energieberatungen und BesucherInnen von Energiesparmassen.....	143
4.9.4	Schlussbetrachtung.....	149
4.10	Aufbereitung und Verbreitung der Ergebnisse.....	151
4.11	Schlussfolgerungen.....	155
5	Ausblick und Empfehlungen.....	157
6	Literaturverzeichnis.....	159
7	Anhang.....	163
7.1	Plandarstellungen der Brandschutzlösungen.....	163
7.2	Architekturwettbewerb – Kriterien für die Lüftung.....	164
8	Kontakt Daten.....	166

2 Einleitung

Aufgabenstellung

Zentrale bzw. semizentrale Lüftungssysteme in Wohngebäuden haben noch Optimierungspotenzial und bedürfen einer näheren Betrachtung, vor allem hinsichtlich ihres Beitrages zur Gesamt-Energiebilanz (Reduktion Heizwärmebedarf versus Stromverbrauch), ihres wirtschaftlichen Einsatzes und ihres Bedienkomforts für NutzerInnen.

Eine wichtige Frage dabei ist, ob und wie zentrale Lüftungssysteme im mehrgeschossigen Wohnbau kostengünstiger ausgeführt werden können, um mehr Wohnbauträger und Private vom Einsatz derselben überzeugen zu können. Noch immer werden Lüftungsanlagen in Wohngebäuden aus Kostengründen nicht eingebaut oder in einer unzureichenden Minimalvariante (Abluftanlage) ausgeführt, was den Anforderungen an eine gesunde Raumluftqualität bzw. Energieeffizienz oft nicht genügt.

Die Einzelkomponenten für effiziente zentrale Lüftungsanlagen im Mehrfamilienwohnhaus sind bereits vorhanden, verschiedene Systeme und Regelungsvarianten werden angeboten. Die Komfortlüftung als solches ist etabliert und liefert bei guter Ausführung zufriedenstellende Ergebnisse, was die Zufriedenheit der NutzerInnen hinsichtlich der Luftqualität in den Wohnräumen und die Energieeffizienz betrifft.

Die Lüftungssysteme sind nach der ersten „Welle“ der Anwendung auch in Wohngebäuden nun einer Optimierung im Sinne von „Entschlackung“, Effizienzsteigerung und Ressourceneinsatz auch im Betrieb zu unterziehen. Die Konzeption und Systemtechnik muss soweit vereinfacht werden, dass die Ausführung weniger fehleranfällig und ein hoher Nutzungskomfort gewährleistet ist.

Daher war das Ziel dieses Projektes, zu untersuchen, wie Komfortlüftungen in mehrgeschossigen Wohngebäuden optimiert werden können, d.h. mit vereinfachter Verteilung, Montage, Regelung und Bedienung, sowie vermehrt vorgefertigten Komponenten machbar wären. Die vorherigen Erfahrungen mit zentralen Lüftungsanlagen sollten einer vereinfachten „low tech“ - Komfortlüftung bzw. optimierten innovativen Lösung im Sinne einer hohen NutzerInnenqualität und einer hohen Energieeffizienz zugeführt werden.

Schwerpunkte des Projektes

Ziel war generell die Steigerung des Einsatzes zentraler Lüftungssysteme im großvolumigen Wohnbau. Im Detail sollte untersucht werden, wie optimierte bzw. vereinfachte Konzepte von mechanischen Lüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung im Mehrfamilienhaus die Energiebilanz der Lüftungsanlage beeinflussen, wie diese Konzepte von BewohnerInnen und NutzerInnen bewertet werden und ob es Veränderungen zu früheren NutzerInnen-Untersuchungen gibt.

Drei optimierte Systemvorschläge für zentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sollten für das Mehrfamilienhaus erarbeitet werden. In einem (oder mehreren) großen Wohngebäuden sollten mindestens zwei dieser unterschiedlichen Konzepte eingebaut und getestet werden. Technische Innovationen wie Koaxialrohr als Außen-/Fortluftführung, Vorfertigung von Komponenten und nutzerInnenfreundliche Lüftungssteuerung oder Bedieneinheit sollten konzipiert werden.

Einordnung in das Programm

Gebäude bergen das größte Verbesserungspotenzial im Bereich der Energieeffizienz, hier setzte das vorliegende Projekt an. Während der Bereich Wärmedämmung technisch weitestgehend gelöst und ausgereizt ist, liegt der Bereich Reduktion der Lüftungswärmeverluste noch weitestgehend brach und birgt noch vielfältiges Optimierungspotenzial. Der Strombedarf von zentralen bzw. semizentralen Lüftungen ist oftmals zu hoch und bedarf einer Optimierung. Ziel war die Erweiterung der Wissensbasis über die Möglichkeiten zur energetischen Optimierung von Gebäuden durch anwendungs- und umsetzungsorientierte Optimierung der Einzelkomponenten und Systeme von Lüftungen mit Wärmerückgewinnung für großvolumige Wohngebäude.

Die Implementierung von effizienten, einfach anwendbaren und gut vorfertigten bzw. mit hohem Vorfertigungsgrad herstellbaren Lüftungslösungen, vor allem für große Gebäude, ist nach den Wärmeschutzlösungen für die Gebäude der wichtigste Beitrag zur „passiven“ Energieeinsparung.

Energieeffiziente Produkte und Komponenten waren ein Schwerpunkt der Programmausschreibung. Die technologische Weiterentwicklung im Sinne erhöhter Energieeffizienz von Produkten und Komponenten bildet die Basis für energieeffiziente Wertschöpfungsprozesse und einen energieeffizienten Endverbrauch. Dies ist die Basis für die Weiterentwicklung der Lüftungsanlagen in Richtung funktionierende „Stangenware“ wie in diesem Projekt.

Die Einbeziehung der künftigen AnwenderInnen sowie begleitende Forschung und Messung von Auswirkungen waren im Programm „Neue Energien 2020“ besonders willkommen. Genau dies war im vorliegenden Projekt eine der Aufgaben: Lüftungssystemlösungen unter Einbeziehung der NutzerInnen u.a. messtechnisch zu untersuchen und zu verbessern.

Produktentwicklungen und Systemverbesserungen zur Erzielung deutlicher Effizienzsteigerungen bei Endverbrauchsgeräten und deren Anwendung (Energie- und Rohstoffeffizienz) mit Fokus auf neue Funktionsprinzipien, Geräte und Systemlösungen, die Energiedienstleistungen auf neuartige Weise bereitstellen - das sollte das Projekt mit Komponenten- (Produkt-) und Systementwicklungen im Lüftungsanlagenbau beisteuern.

Verwendete Methoden

Am Beginn stand die Recherche und Identifikation bisher eingesetzter, projektrelevanter Lüftungssystemkonzepte; außerdem die Analyse bisheriger NutzerInnenbefragungen hinsichtlich verwertbarer Ergebnisse für die Weiterentwicklung von Systemen.

Die Systeme wurden dann bezüglich ihrer Brauchbarkeit für das Projekt mit definierten Kriterien bewertet. Dazu gehörte die Erhebung der Schlüsselstellen in der bisherigen Anlagenkonzeption, die für Stromverbrauch, Vorfertigungslösungen und Bedienkomfort etc. wesentlich waren.

Davon abgeleitet wurden einzelne Systemkomponenten und das System als Ganzes verbessert bzw. weiterentwickelt und verschiedene Lösungen konzipiert. Wesentlich war hier die Einbindung von Unternehmen in die Lösungsansätze, persönlich über HerstellervertreterInnen und über Workshops, vor allem wenn es um Möglichkeiten in Richtung Vorfertigung und technisch neue Lösungen ging. Zur Optimierung der Systeme und Auswahl der Komponenten wurden Simulationen, auch hinsichtlich des Energieverbrauchs (berechnet aus Druckverlust und Ventilatoreffizienz) durchgeführt.

Parallel wurde die Zahl der zu untersuchenden Gebäude/Wohnungen festgelegt, um gültige Aussagen zu bekommen, sowie der Kontakt mit EigentümerInnen und EntwicklerInnen von Gebäuden zwecks Auffindung potenzieller Untersuchungsobjekte aufgenommen. Konkrete Wohnbauten für Feldanalysen und Konzeptideen wurden ausgewählt, Wohnungen und Systemgrenzen auch für Befragungen definiert und die individuelle Konzeption (inkl. Mess- und Befragungskonzept) für mindestens 2 Lüftungssystemvarianten durchgeführt. Die einzelnen Konzepte wurden modellhaft durch Simulationen auf ihre Einflüsse hinsichtlich Behaglichkeit und Energieverbrauch überprüft. Eine Art Qualitätssicherung bei der Umsetzung der Konzepte „im Feld“ und der Einbau der Messtechnik zur Überprüfung des Betriebs der Anlage bildeten die nächsten Schritte.

Nach Konzeption, Einbau und Fertigstellung wurden die Anlagen überprüft, gemessen und evaluiert, dann Befragungen über die Funktion der Anlagen und Empfindung der Luftqualität durchgeführt. Am Ende wurden die Ergebnisse aus Theorie und Praxis und auch Kenndaten (z.B. Kosten) anderer Lüftungssysteme miteinander verglichen, bewertet und verbreitet.

Aufbau der Arbeit

Die Arbeiten im Projekt wurden folgendermaßen strukturiert und durchgeführt:

- Bewertung bestehender Systeme und Komponenten
- Systemoptimierung und Komponentenentwicklung (low-tech, Kosteneffizienz, Brandschutz, kompakte vorgefertigte Komponenten, etc.)
- Auswahl von Demogebäuden und Versuchseinbauten in neue Lüftungssysteme
- Messung und Auswertung ausgewählter Demonstrationssysteme
- Aufbereitung und Verbreitung der Ergebnisse aus den verschiedenen Aktivitäten

3 Inhaltliche Darstellung

Bewertung bestehender Systeme und Komponenten

Zu Beginn des Projektes wurden bestehende semi- und zentrale Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in bereits realisierten großvolumigen Wohnbauten aus CEPHEUS-Berichten (<http://www.energieinstitut.at/?SID=3340>), aus der PH-Datenbank (<http://www.passivhausprojekte.de/>) und aus eigenen, von Projektpartnern vermessenen Projekten gesammelt und analysiert. Im Folgenden eine Auswahl-Liste dieser analysierten Lüftungsanlagen, sieben davon wurden sehr genau analysiert (in fett gedruckter Schrift gekennzeichnet):

- **Wien Utendorfgasse**
- **Wien Mühlweg**
- **Wien Dreherstraße**
- **Innsbruck Lodenareal**
- **Kassel Marbachshöhe**
- **Hamburg Pinnaasberg**
- Frankfurt Hühnerweg
- Frankfurt Gremppstr.
- Frankfurt Sophienhof
- Frankfurt Campo am Bornheimer Depot
- Frankfurt Hansaallee Westend
- Frankfurt Riedberg Quartier Mitte
- Frankfurt Tevesstr.
- Hamburg Friedrichsberg
- Hamburg Poppenbüttler Berg
- Frankfurt Ackermannstr.
- Frankfurt Gundelandstr.
- **Vorarlberg Wolfurt**
- Salzburg Gnigl
- Jenbach, NHT u.a.

In dieser Analyse wurden positive und negative Erfahrungen und Punkte der bisher eingesetzten Systeme extrahiert und zu Themengruppe gebündelt. Diese wurden in einem Workshop mit Firmen- und Wohnbauträger-VertreterInnen diskutiert und „verbesserungswürdige“ Punkte von zentralen bzw. semizentralen Lüftungssystemen und -komponenten als Basis für die Weiterentwicklung und Optimierung der Systeme und Komponenten identifiziert.

Systemoptimierung und Komponentenentwicklung

Ziel war hier die Definition dreier optimierter Varianten von zentralen Lüftungssystemen mit größtmöglichem Potenzial zur Vorfertigung und trotzdem gutem NutzerInnenkomfort. Weiteres Ziel war eine Vereinfachung bzw. (Weiter-)Entwicklung der Systeme und die Verringerung der Anzahl von Komponenten.

Aus der Bewertung bisheriger Systeme und der Diskussion darüber im Projektteam und mit ExpertInnen und Firmen wurden mehrere Arbeiten parallel durchgeführt.

Erstens die weitere Untersuchung der Grundlagen für die integrale Planung und für optimierten Betrieb von Lüftungssystemen über Simulationsberechnungen und abgeleitete Empfehlungen:

- Optimale Wohnungsgrundrisse für erweiterte Kaskadennutzung und damit in Zusammenhang stehenden Risiko von Kurzschlussströmungen, optimalen Zuluftmengen und Luftwechselraten für typische Wohnungsgrundrisse und für durchschnittliche Wohnungs- und Zimmergrößen

- Voraussetzungen für optimal geplante zentrale Be- und Entlüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung, beginnend bereits im Stadium von Architekturwettbewerben

Zweitens Komponentenentwicklung und Systemverbesserungen unter Beteiligung von Unternehmen auch zum Thema Brandschutz als einem Schwerpunkt.

Drittens die Befragung (tw. Interviews) von Firmen bezüglich Produkt- und Systementwicklungspotenzialen, Recherchen bezüglich Kosteneinsparpotenzialen bei Wohnbauträgern in realen Wohnbauprojekten, und Gespräche (tw. in Workshops) mit VertreterInnen von Technischen Büros mit dem Ziel, drei zukunftstaugliche Lüftungs-System-Varianten herauszukristallisieren.

Diese wurden in Modellrechnungen theoretisch auf ihre Energieeffizienz, Lebenszykluskosten und Komfort-/Behaglichkeitsbedingungen untersucht (siehe Grundlagenstudien zu optimalen Wohnungsgrundrissen und Luftwechsel in Kap. 4) und die Erkenntnisse parallel in Demonstrationsanlagen eingeflochten. Dabei standen nicht die Lüftungsgeräte selbst, sondern vor allem das Lüftungssystem, d.h. die Verteilungsstrategie, die Reinigung, die Lärmvermeidung, die Vereinfachung der Verteilung und Luftführung, die Wartungsintervalle, die Regelbarkeit (auf den Bedarf) und generell die Stromeffizienz des gesamten Systems im Vordergrund. Nach den praktischen „Feldtests“ in den Demonstrationsanlagen wurden neuerliche Feedbackschleifen und Nachbesserungen an den vorgeschlagenen Varianten vorgenommen.

„Feldtests“ in Demonstrationsanlagen

Geplant war die Konzeption und Durchführung einer Praxis-Feldanalyse von mindestens zwei von drei optimierten Lüftungssystemen in realen Wohnbauprojekten. Die Suche nach geeigneten Projekten war eine der ersten Tätigkeiten im Projekt. Dazu wurden zuerst Kriterien zur Auswahl von Wohngebäuden aufgestellt, die Anzahl der zu untersuchenden Wohnungen festgelegt und dann mit den interessierten Wohnbauträgern bzw. GebäudeeigentümerInnen Kontakt aufgenommen.

Die wichtigsten Kriterien, nach denen Demonstrationsgebäude v.a. in der Steiermark und in Tirol ausgewählt wurden, waren folgende:

- Großvolumige Wohngebäude ab mindestens 8 WE
- Geplante semizentrale oder zentrale Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung und noch anpassungsfähigem Lüftungskonzept
- Wohngebäude mit Potenzial bis Ende 2013 gebaut zu werden um Messungen der Lüftungsanlagen sowie Befragungen der BewohnerInnen über 1 bis 2 Jahre durchführen zu können
- Synergien mit anderen Forschungsprojekten in den Wohngebäuden
- Kontaktdaten der BewohnerInnen schon vor Einzug ins Gebäude vorhanden
- Zustimmung der GebäudeeigentümerInnen vorhanden

Für mehrere Gebäude in Tirol, Salzburg und der Steiermark wurden Gespräche mit den GebäudeeigentümerInnen und den technischen PlanerInnen geführt, Vorschläge aus dem Projektteam

zur Anpassung der geplanten Lüftungssysteme gemacht und versucht diese umzusetzen. Diese Arbeit nahm sehr viel Zeit in Anspruch, war aber extrem wichtig. In diesem Prozess der praktischen Anpassung von Lüftungskonzepten real geplanter Gebäude, also im Austausch Wissenschaft und technische Praxis, entstanden sehr viele Ideen und Erkenntnisse auch auf Seite der PlanerInnen. Auch wenn letztendlich die real vermessenen Objekte nach der Umsetzung noch Verbesserungspotenzial hatten, wurden durch diese „Feldtests“ doch sehr viele wichtige Neuerungen angestoßen und praktisch untersucht.

Messungen und Befragungen von NutzerInnen

Hier war das Ziel die Konzeption, Durchführung und Auswertung von Messungen und Befragungen während dem Praxistest von Systemvarianten in realen Demonstrations-Wohnbauten. Aus den im vorangegangenen Kapitel gefundenen Demonstrationsobjekten wurden zwei ausgewählt, um dort detaillierter vermessen und befragen zu können.

Als Ziel wurden folgende Kriterien für Messungen formuliert (siehe Tabelle 1).

Behaglichkeitsparameter	Lüftungsparameter
Raumlufttemperatur	Temperaturen Zu-, Ab-, Außen- und Fortluft
Relative Raumluftfeuchtigkeit	Rel. Feuchte Zu-, Ab-, Außen- und Fortluft
Außentemperatur	Druckverlustmessungen
Außenstrahlung	Gesamtstromverbrauch
Außenfeuchte	Stromverbrauch der Ventilatoren
CO ₂ -Gehalt der Raumlufte	Stromverbrauch der Bedieneinheit
CO ₂ -Gehalt der Außenluft	Stromverbrauch der Lüftungsregelung
Luftgeschwindigkeit im Raum	Energiebedarf Heizregister
VOC-Konzentration in der Wohnung	Energiebedarf Frostschutz
VOC-Konzentration in der Außenluft	Erfassung Sommerbypassschaltung
Operative Raumtemperatur	Volumenströme
	Temperatur in der Lüftungszentrale
	Stufenschalterstellung in den WEs
	Fensterkontakte
	Tracergasmessungen WE-Luftübertragung
	Klappenstellung Volumenstromregler

Tabelle 1 Übersicht der Parameter, die in den Messungen in Demonstrationsgebäuden erfasst werden sollten (blau hinterlegt: „nice to have“)

Für die Befragung von BewohnerInnen von Demonstrationsgebäuden, aber auch für Firmenbefragungen und für BesucherInnen von Baumessen wurden verschiedene Fragebögen erstellt, um eine fundierte Information zu bekommen, welchen Stellenwert die zentrale Be- und Entlüftung mit WRG derzeit hat, wie ihr Bekanntheitsgrad ist und wie BewohnerInnen von Demonstrationsgebäuden in der Praxis zufrieden sind. Wohnbauträger mit interessanten Objekten für Befragungen wurden über die Befragungszeitpunkte und Themen kurz informiert. Im Folgenden dazu eine kurze Übersicht:

- Erste schriftliche Befragung (ein- bis zweiseitiger Fragebogen) aller BewohnerInnen vor dem Bezug in das Gebäude (wenn möglich)
(Themen: Erhebung Status quo, derzeitige Wohnsituation, Wissen, Erwartungen, Motivation, Bewusstsein, Verhalten etc.)
- Zweite schriftliche Befragung (ca. dreiseitiger Fragebogen – siehe Beispiel im elektronischen Anhang 1) aller BewohnerInnen ca. ein halbes Jahr nach Bezug
(Themen: Bewertung der Wohn- und Umgebungssituation, Bewertung der Informationsvermittlung und Einschulung bei Wohnungsübergabe, Bewertung des Passivhauses und der Lüftungstechnologie, Benutzerfreundlichkeit und Regelbarkeit, positive und negative Erfahrungen, Verbesserungsvorschläge etc.)
- Qualitative Interviews mit ausgesuchten BewohnerInnen (insbesondere der Messwohnungen) zur Vertiefung der Fragebogenergebnisse aus der zweiten Befragung ca. ein dreiviertel Jahr nach Bezug (Themen wie vorheriger Punkt)
- Schriftliche Abschlussbefragung (ca. dreiseitiger Fragebogen) aller BewohnerInnen ca. ein Jahr nach Bezug
(Themen: Zufriedenheit Wohn- und Außenanlagen, Bewertung Informationspolitik der Hausverwaltung, Veränderungen, Verschlechterungen und Verbesserungen seit dem Einzug in Bezug auf Technologie/Lüftung/Regelung/Bedienbarkeit, noch notwendige Adaptierungen etc.)

Die Ergebnisse der Befragungen standen den Wohnbauträgern natürlich zur Verfügung und das Angebot war, dass diese ihnen auf Anfrage auch präsentiert werden sollten.

Sowohl die Messungen als auch Befragungen wurden einer intensiven Auswertung unterzogen.

Bei zwei Gebäuden wurden in Abstimmung mit der GebäudeeigentümerIn und unter Beteiligung von Unternehmen die bestehenden Systeme soweit möglich angepasst und vermessen. Parallel auch die BewohnerInnen befragt.

Aufbereitung und Verbreitung der Ergebnisse

Ziel war hier der Know-how Transfer und die Dissemination der Ergebnisse über die Entwicklung neuer Lösungen und Optimierung von Komfortlüftungssystemen, mit dem Ziel der Steigerung des Einsatzes derselben im großvolumigen Wohnbau. Den Zielgruppen wurden die Ergebnisse in zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen, Fachartikeln, Newslettern, gut besuchten Ergebnis-Workshops und auf Konferenzen und natürlich über die Partnerwebsites zur Verfügung gestellt.

Eine Visualisierung der Informationen zum „Lüftungssystem der Zukunft“ sollte online über komfortlüftung.at und die Partnerwebsites angeboten werden. Dies wurde so gelöst, dass alle wichtigen Informationen dazu für Interessierte, EndkundInnen und ProfessionistInnen zu zentralen Lüftungssystemen graphisch animiert auf Websites abzurufen sind. Dies sollte als wichtige Grundlage

zum Verständnis und der Funktionen eines Lüftungssystems dienen, und ein gutes Beispiel für Firmen sein, dies mit ihren Angeboten zu Lüftungssystemen gleich zu tun.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.1 Bewertung bestehender Systeme und Komponenten

Die Themen, an denen für die Weiterentwicklung und Optimierung der Systeme und Komponenten gearbeitet werden sollte, bzw. auf die in Zukunft besonderes Augenmerk zu legen ist, waren nach der Analyse von bestehenden Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung im großvolumigen Wohnbau und nach der Diskussion im Projektteam und mit ExpertInnen vor allem:

Integrale Planung

- Entwicklung von Kriterien für wesentliche Punkte, die im Entwurfsstadium der Gebäude(sanierung) für die Integration von Lüftungsanlagen enthalten sein müssen (z.B. Grundrissgestaltung, Platzbedarf für Gerät und Luftleitungen)
- Messtechnik- und Monitoring-Überlegungen, um die Anlagen jederzeit auf ihre Funktionsfähigkeit überprüfen zu können
- Entscheidung über die Aufstellung des Lüftungsgerätes (Dach – Keller) - bestimmt u.a. den konstruktiven Aufwand der Lüftungszentrale und Rohrlängen aber auch die Reduktion oder den Gewinn an vermietbarer Nutzfläche im Gebäude (Kostenüberlegungen)
- Vereinfachung und Optimierung der Rohrführung – z.B. Integration der Verteilleitung zu den einzelnen Strängen in die gedämmte Gebäudehülle bei zentralen und semizentralen Anlagen in Außen-/Dachaufstellung, Reduktion der Verrohrung durch aktive Überströmung, etc.
- Einsatz von erweiterter Kaskadenlüftung (keine eigene Zuluft ins Wohnzimmer)
- Neue Wege der Luftführung z.B. über Stiegenhäuser
- Entscheidung des Regelkonzepts / Einregulierung gesamt und pro Wohnung
- Notwendigkeit einer „Party“-Taste, z.B. bei Einsatz von CO₂-Sensoren entbehrlich
- Positionierung von Regelungs-Sensoren, z.B. CO₂-Sensoren, insbesondere bei erweiterter Kaskadenlüftung
- Lüftungskonzept zur Vermeidung von Schimmelbildung in den Kellerräumlichkeiten
- Brandschutzkonzept in Abhängigkeit der jeweiligen Möglichkeiten v.a. Situierung Lüftungsgerät und Verteilung
- Zentrale Abschalt-Möglichkeit (EIN-AUS-Schalter) der Lüftungsanlage aus Brandschutz- und anderen Sicherheitsgründen (z.B. Ausbreitung giftiger Gase)
- Nutzung von Vorfertigungspotenzialen bei Komponenten wie Rohr in Rohrsysteme bei Durchführungen

Luftdichtheit

- Gebäudehülle genauso wie zwischen Wohnungen (Leckagen mit Geruchsübertragung)

- Dichte Luftleitungen insbesondere für die Steigstränge in Schächten

Verringerung der jährlich geförderten Gesamtluftmenge der Lüftungsanlage

- Optimierte Betriebszeiten und Anpassung der Luftmengen an den Bedarf (z.B. Kombination mit natürlicher oder Abluft-Nachtlüftung, CO₂-Regelung)
- Entscheidung des Regelkonzepts und der Einregulierung

Frostfreihaltung/Brandschutz

- Innovative Alternativen zur Stromdirektheizung für die Frostfreihaltung des Wärmetauschers im Lüftungsgerät und für die Vorwärmung der Zuluft in die Wohnungen aus Komfortgründen (auch als „Nachheizung“ bezeichnet, weil diese Vorwärmung oft auch gleich zentral nach dem Lüftungsgerät passiert)
- Optimierungspotenzial hinsichtlich des Druckverlustes, der Investitions- und Wartungskosten bei Brandschutzkomponenten

Um eine systematische Aufstellung für verbesserungswürdige Punkte bzw. Ansätze für die Vereinfachung und Kostenoptimierung zu bekommen, wurden die einzelnen Themen und Ansatzpunkte über ihren Platz im Lebenszyklus des Lüftungssystems katalogisiert und beschrieben (siehe Abbildung 1).

Optimierung von zentralen Lüftungen im MFH			
Investitionskosten	Betriebskosten	Instandhaltung und Reinigung	Entsorgung/Erneuerung
Anforderungskatalog	Übergabe	Durchlässe	Demontagemöglichkeit
Architekturwettbewerb	Einweisung BewohnerInnen	Luftleitungen	Ausbringung/Einbringung
Brandschutzkonzept	Fragen/Beschwerden	Volumenstromreglung	Recycling
Planungsauftrag	Strombedarf	Brandschutzeinrichtungen	
Planung	Filterstrategie	Lüftungsgerät	
Ausschreibung	Frostschutz	Erdwärmetauscher	
Installation	Brandschutzeinrichtungen	Außen- und Fortluftbereich	
Inbetriebnahme	Funktionskontrolle	Steuer- und Regelemente	
Übergabe	MieterInnenwechsel	Fernwartung	

Abbildung 1 Optimierungspunkte zentraler Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung im Mehrfamilienhaus

1. Investitionskosten (inkl. Planungskosten)

1. Anforderungskatalog an Lüftung definieren (Facility Manager)
2. Architekturwettbewerb, Architekturauftrag
3. Brandschutzkonzept
4. Planungsauftrag an HaustechnikplanerIn

5. Planung
6. Ausschreibung
7. Installation der Anlage
8. Inbetriebnahme
9. Übergabe

2. Betriebskosten (inkl. Wartungskosten)

1. Minimierte Aufwendungen für Übergabe
2. Minimierte Aufwendungen für Einweisung der NutzerInnen
3. Minimierter Aufwand für (anfängliche) Beschwerden
4. Niedriger Strombedarf (geringe Druckverluste)
5. Geringe Filterkosten - optimale Filter bzw. Filterwechselstrategie
6. Niedrige Kosten für Frostschutz bzw. Nachheizung
7. Niedrige Kosten für Kontrolle der Brandschutzfunktionen (Brandschutzklappen)
8. Minimierter Aufwand für Funktionskontrolle der Anlage
9. Minimierter Aufwand bei MieterInnenwechsel bzw. bei späterer Änderung der Personenanzahl in der Wohnung

3. Instandhaltungskosten (Reparatur, Austausch) und Reinigung

1. Durchlässe
2. Luftleitungen
3. Brandschutzeinrichtungen
4. Volumenstromregelung
5. Lüftungsgerät und integrierte Komponenten
6. Frostfreihaltung
7. Nacherwärmung bzw. Nachheizung (Wärmetauscher, Heizkreis, etc.)
8. Außen- und Fortluftbereich (Gitter etc.)
9. Steuerungs- und Regelungselemente

4. Entsorgung und Erneuerung

1. Demontagemöglichkeit
2. Ausbringung alte Anlage und Einbringung Neuanlage
3. Recycling

Weitere Informationen zu dieser Systematik der „Optimierungspunkte“ bei Lüftungsanlagen in großvolumigen Wohngebäuden finden sich in der Präsentation „Optimierungssystematik“ im elektronischen Anhang 2.

4.2 Spezialthema Brandschutz - Grundlagen

Das vorrangige Ziel des vorbeugenden Brandschutzes im mehrgeschossigen Wohnbau ist die Verhinderung der Übertragung von Feuer und Rauch in andere Brandabschnitte. Sofern Schächte, Kanäle, Leitungen und sonstige Einbauten in Wänden bzw. Decken liegen oder diese durchdringen, ist daher sicherzustellen, dass diese Komponenten der jeweiligen Feuerwiderstandsklasse und

Feuerwiderstandsdauer der Bauteile entsprechen. Diese Anforderungen an die Bauteile richten sich nach der jeweiligen Gebäudeklasse GK1 bis GK5 und sind in der OIB-Richtlinie 2 festgehalten.

In der Bauproduktenrichtlinie RL 89/106/EWG wird der Feuerwiderstand als Funktion der Zeit in Minuten ausgedrückt, während der das Bauteil unter den gegebenen thermischen und mechanischen Bedingungen seine Funktion erfüllt.

R Tragfähigkeit (Resistance)

Ist die Fähigkeit eines Bauteils unter festgelegten mechanischen Einwirkungen einer Brandbeanspruchung auf einer oder mehreren Seite(n) ohne Verlust der Standsicherheit für eine definierte Dauer zu widerstehen.

E Raumabschluss (Etancheite)

Ist die Fähigkeit eines Bauteils mit raumtrennender Funktion, der Beanspruchung eines nur an einer Seite angreifenden Feuers so zu widerstehen, dass ein Feuerdurchtritt zur unbeflammten Seite verhindert wird.

I Wärmedämmung (Isolation)

Ist die Fähigkeit eines Bauteils die Übertragung von Feuer und Wärme soweit zu begrenzen, dass auf der dem Feuer abgewandten Seite des Bauteils Personen nicht gefährdet und dort befindliche Materialien nicht entzündet werden.

W Wärmestrahlung

Ist die Fähigkeit eines Bauteils die Wärmestrahlung auf der dem Feuer abgewandten Seite zu begrenzen.

S Rauchdichtheit

Ist die Fähigkeit eines Bauteils, den Durchtritt von Gas oder Rauch von einer Seite des Bauteils zur anderen zu verringern oder auszuschließen.

C Selbstschließung

Ist die Fähigkeit einer Feuer- oder Rauchschutztür oder einer Klappenanordnung zumindest im Brandfall eine Öffnung, auch bei Ausfall der Hauptstromversorgung, zu schließen.

4.2.1 Brandschutzklappen

Bestandteile und Wirkungsweise

Eine Brandschutzklappe ist ein beweglicher Verschluss innerhalb einer Leitung, der dafür vorgesehen ist, den Durchtritt von Feuer und Rauch zu verhindern. Das Verschlusselement (Klappenblatt oder Lamellen) innerhalb des Gehäuses kann durch thermische, rauchempfindliche oder manuelle

Auslösemechanismen aktiviert werden. Dadurch wird in geschlossener Stellung die raumabschließende Wirkung der Klappe herbeigeführt.¹



Abbildung 2 runde Brandschutzklappe mit Stellmotor (Fa. Pichler)

Prüfung und Anforderung

Brandschutzklappen dürfen ab dem **01.09.2012** im Bereich der EU nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn diese eine CE-Kennzeichnung tragen. Die Voraussetzung für eine CE-Kennzeichnung ist die Konformität mit:

- **Produktnorm ÖNORM EN 15650**

Diese ÖNORM legt Anforderungen fest, die von einem Produkt erfüllt werden müssen, um dessen Gebrauchstauglichkeit sicherzustellen. Sie verweist auf die Prüfverfahren für Brandschutzklappen, die zum Einbau in allgemeinen Heizungs- und Lüftungsleitungen in Gebäuden vorgesehen sind.²

- **Prüfnorm ÖNORM EN 1366-2**

Dieser Teil der Prüfnorm legt ein Verfahren für die Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer von Brandschutzklappen fest, die in feuerwiderstandsfähigen raumabschließenden Bauteilen eingebaut und dafür vorgesehen sind, dem Durchtritt von Rauch und Gasen bei hohen Temperaturen standzuhalten. Diese Norm gilt zusammen mit EN 1363-1.³ Diese verschärfte Prüfnorm löst die bis dato gültige ÖNORM M 7625 ab.

- **Klassifizierungsnorm ÖNORM EN 13501-3**

Hier werden Klassifizierungen von Brandschutzklappen (bisher durch die ÖNORM M 7625:1985 „Lüftungstechnische Anlagen – Brandschutzklappen – Anforderungen, Prüfungen, Normkennzeichnung“ beschrieben) festgelegt.⁴ Von der Stelle oder Organisation, die die Klassifizierung vornimmt, wird ein Klassifizierungsdokument in einer festgelegten Form erstellt, das der Hersteller zur Kennzeichnung seines Produktes mit der entsprechenden Klasse vorliegen haben muss.

¹ ÖNORM H 6025 - „Lüftungstechnische Anlagen – Brandschutzklappen (BSK)“, 15.6.2012

² ÖNORM EN 15650 - „Lüftung von Gebäuden Brandschutzklappen“, 15.6.2010

³ ÖNORM EN 1366-2 – „Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen - Teil 2: Brandschutzklappen, 1.4.2010

⁴ ÖNORM EN 13501-3 „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten Teil 3: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen an Bauteilen von haustechnischen Anlagen: feuerwiderstandsfähige Leitungen und Brandschutzklappen“, 1.4.2006

Als nationale Ergänzung zu den oben angeführten Normen gilt in Österreich die ÖNORM H 6025 vom 15.6.2012 „Lüftungstechnische Anlagen – Brandschutzklappen (BSK)“.

Periodische Kontrollprüfung

Die Brandschutzklappen sind mit Antrieb und Auslösevorrichtung als Einheit geprüft und auch als solche gemeinsam einer periodischen Kontrollprüfung zu unterziehen. Umfang und Anforderung an diese Prüfung sind in der ÖNORM H 6031 („Lüftungstechnische Anlagen — Einbau und Kontrollprüfung von Brandschutzklappen und Brandrauch-Steuerklappen“) beschrieben. Auslösevorrichtungen, Stellantriebe, Endschalter u. a. müssen für die Überprüfung zugänglich sein. In Abhängigkeit der vorhandenen Einbausituation und Klappenausführung müssen Kontrollöffnungen in den angeschlossenen Luftleitungen vorhanden sein. Das Intervall sowie der Umfang der Kontrollprüfung sind gemäß behördlicher Vorschriften und den Herstellerangaben festzulegen. Es wird ein halbjährliches Überprüfungsintervall empfohlen. Die Kontrollprüfung besteht aus einer visuellen und einer funktionellen Kontrolle und ist mindestens 1-mal jährlich durchzuführen.⁵ Hierfür sind bauseitige Revisionsöffnungen in Unterdecken, Schachtwänden, anschließenden Lüftungsleitungen etc. in ausreichender Anzahl und Größe vorzusehen.

4.2.2 Feuerschutzabschlüsse auf Basis intumeszierender Materialien ohne/mit mechanischem Verschlusselement (FLI/FLI-VE)⁶

Bestandteile und Wirkungsweise

Intumeszierende Feuerschutzabschlüsse können unter bestimmten Voraussetzungen in Lüftungstechnischen Anlagen, wo Luftleitungen einen Brandabschnitt durchstoßen, die Ausbreitung von Feuer und, bei Verwendung einer Kaltrauchsperrung auch Rauch durch die Luftleitung verhindern. Sie sind ohne begleitende Maßnahmen nicht geeignet, den Durchtritt von Rauch mit einer Temperatur unterhalb der Auslösetemperatur des intumeszierenden Materials zu verhindern. Sie sind deshalb nicht gleichwertig und kein Ersatz für automatisch über rauchempfindliche Elemente auslösende Brandschutzklappen und dürfen nur in jenen Anwendungsfällen verwendet werden, in denen solche automatische Klappen nicht eingesetzt werden müssen – z.B. durch Vorgaben der Behörde, einschlägige technische Richtlinien oder durch ein Brandschutzkonzept.

Die Feuerschutzabschlüsse bestehen aus verschiedenen Komponenten mit unterschiedlicher Wirkungsweise und Auslösetemperaturen:

Intumeszierender Feuerschutzabschluss FLI:	Thermische Auslösung bei 150°C bis 170°C
Mechanisches Verschlusselement VE:	Thermische Auslösung bei 70°C bis 75°C

⁵ ÖNORM H 6031 - „Lüftungstechnische Anlagen — Einbau und Kontrollprüfung von Brandschutzklappen und Brandrauch-Steuerklappen“, 1.5.2007

⁶ ÖNORM H 6027 – „Lüftungstechnische Anlagen — Feuerschutzabschlüsse in Lüftungsleitungen auf Basis intumeszierender Materialien mit mechanischem oder ohne mechanisches Verschlusselement - Verwendung und Einbau“, 1.8.2008

Kaltrauchsperre:

Öffnungsdruckdifferenz größer 10 Pa

FLI-VE

Verschlusselemente (FLI/FLI – VE) sind ausschließlich in lufttechnischen Anlagen zur Be- und Entlüftung mehrerer übereinander liegender Wohnräume, Küchen und Räume mit wohnraumähnlicher Nutzung oder Nassräume zu verwenden. Der Einsatz in Luftleitungen ist sowohl vertikal als auch horizontal möglich.

Feuerwiderstandsklasse	Feuerwiderstandsdauer t in min	Brandschutztechnische Bezeichnung
FLI - VE (ho) 60	$60 \text{ min} \leq t < 90 \text{ min}$	hochbrandhemmend
FLI - VE (ho + ve) 60	$60 \text{ min} \leq t < 90 \text{ min}$	hochbrandhemmend
FLI - VE (ho) 90	$t \geq 90 \text{ min}$	brandbeständig
FLI - VE (ho + ve) 90	$t \geq 90 \text{ min}$	brandbeständig

Tabelle 2 Feuerwiderstandsklassen FLI-VE



Abbildung 3 FLI-VE Feuerschutzabschluss mit Verschlusselement BSA (Fa. Wernig)

FLI

Verschlusselemente FLI sind ausschließlich in lufttechnischen Anlagen zur Entlüftung mehrerer übereinander liegender Wohnräume, Küchen und Räume mit wohnraumähnlicher Nutzung oder Nassräume zu verwenden. Der Einsatz in Luftleitungen ist nur horizontal möglich.

Feuerwiderstandsklasse	Feuerwiderstandsdauer t in min	Brandschutztechnische Bezeichnung
FLI (ho) 60	$60 \text{ min} \leq t < 90 \text{ min}$	hochbrandhemmend
FLI (ho) 90	$t \geq 90 \text{ min}$	brandbeständig

Tabelle 3 Feuerwiderstandsklassen FLI



Abbildung 4 FLI Feuerschutzabschluss BST-E (Fa. Air-Fire-Tech)

Stellungsanzeige bei FLI-VE

Intumeszierende Feuerschutzabschlüsse ohne mechanisches Verschlusselement FLI haben keine Stellungsanzeige, bei intumeszierenden Feuerschutzabschlüssen mit mechanischem Verschlusselement FLI-VE ist der Einbau einer Stellungsanzeige jedoch zulässig. Es gibt Ausführungen mit mechanischer Stellungsanzeige am Gehäuse und jene mit elektrischen Endschaltern.



Abbildung 5 FLI-VE mit Endschalter oder mechanischer Stellungsanzeige (Fa. Air-Fire-Tech)

Prüfung und Anforderung

Die Anforderungen, Nachweise, Güteüberwachung und Kennzeichnung werden in den Verwendungsgrundsätzen OIB-095.4-001/06-005 für FLI-VE und OIB-095.4-002/05-009 für FLI festgelegt. Eine Übereinstimmung des Bauproduktes mit den Bestimmungen dieser Grundsätze wird mit dem Übereinstimmungszeugnis und der ÜA-Kennzeichnung dokumentiert. Die maximale Nennweite ist mit 160 mm beschränkt.⁷ Es sind auch geprüfte Produkte mit größerer Nennweite verfügbar, die aber keine ÜA-Kennzeichnung haben und daher nur mit behördlicher Genehmigung eingesetzt werden dürfen.

Periodische Kontrollprüfung

Aufgrund der Bauart und Funktionsweise von Feuerschutzabschlüssen ist eine regelmäßige Kontrollprüfung dieser Feuerschutzabschlüsse nicht erforderlich. Vom Montageunternehmen, das den Feuerschutzabschluss einbaut, muss dem Auftraggeber jedoch ein schriftliches Installationsattest entsprechend der ÖNORM H 6027 ausgestellt werden.

⁷ Verwendungsgrundsätze OIB-095.4-001/06-005 und OIB-095.4-002/05-009

4.3 Grundlagen für die Optimierung der Lüftungssysteme

4.3.1 Erweiterte Kaskadenlüftung: Untersuchung von Grundrissen mit Risiko auf Kurzschlussströmungen mit Hilfe von CFD – Methodik

Das Prinzip der erweiterten Kaskadenlüftung beruht auf der Idee das Wohnzimmer als reine Überströmzone, ohne eigene Zuluftauslässe zu planen. Die Vor- und Nachteile, sowie die erforderlichen Voraussetzungen wurden bereits im Haus der Zukunft Projekt „Doppelnutzen“ untersucht und dokumentiert [1]. So wurde auch die Eignung vieler verschiedener Grundrisse systematisch analysiert und bewertet (siehe auch [2] bzw. die Online Planungshilfe [3]). Es zeigte sich, dass eine Vielzahl moderner Grundrisse gut für die erweiterte Kaskadenlüftung geeignet ist. Jedoch konnte die Eignung einer speziellen, aber durchaus relevanten, Grundriss-Typologie (siehe Abbildung 6) mit den angewandten Methoden (Multi-Zonen-Simulation) nicht bewertet werden. Darum wurde in Zuge von low_vent.com diese Grundriss-Situation (alle Überströmöffnungen münden in einem schmalen Gangbereich) mit Hilfe numerischer Strömungssimulationen (CFD) genauer untersucht und die Plausibilität der Ergebnisse mit Messungen bestätigt. Die Stärke des Strömungskurzschlusses wurde über den sogenannten Luftaustauschwirkungsgrad ϵ_a quantifiziert [4][5]. Mit verschiedenen Parametervariationen wurden die Einflüsse von geometrischen und thermischen Randbedingungen für die beiden im Passivhaus-Bereich gängigsten Überströmlösungen (Türspalt unten und Zargenhinterlüftung oben) untersucht. Der folgende Text wurde Großteils aus [6] übernommen. Mehr Details zu den CFD-Simulationen und zu den Messungen findet man in [7].

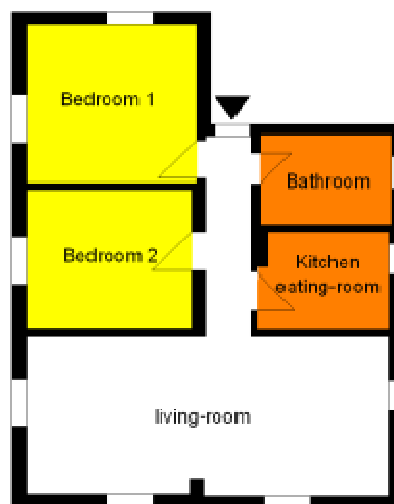


Abbildung 6 Grundriss mit Gefahr von Strömungs-Kurzschluss. Bei der erweiterten Kaskadenlüftung hätte das Wohnzimmer in diesem Beispiel weder Zu- noch Abluft. Die Stärke der natürlichen Luftdurchmischung bzw. die Stärke des Kurzschlusses zwischen den Überströmöffnungen *bestimmt, wie gut das Wohnzimmer mit Frischluft versorgt wird. Reproduziert mit Erlaubnis* aus [7].

Untersuchungsmethoden

Der in Abbildung 6 gezeigte Grundriss wurde verallgemeinert. Der Einfachheit halber wurde nur jeweils eine Überströmung von Zu- bzw. Abluftraum simuliert. Die Geometrie und die angenommenen Randbedingungen sollen einen realistischen, aber in Bezug auf mögliche Kurzschluss-Strömungen,

ungünstigen Fall darstellen (Abbildung 7, links). Für den Referenzfall wurde nur der Wärmeeintrag einer Person modelliert. Die Innenräume wurden als quasi adiabatisch, die einzige Außenwand und das zugehörige Fenster wurden in Passivhaus-Qualität ($0,1$ bzw. $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, respektive) bei einer Außentemperatur von ca. 8°C angenommen.

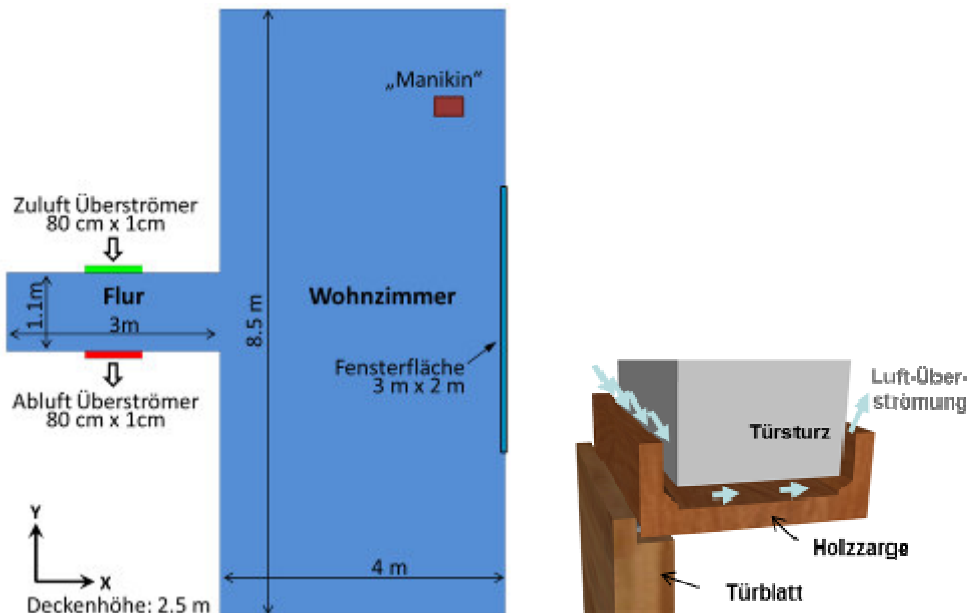


Abbildung 7 Skizze der Geometrie des Referenzmodells (links) und 3D-Skizze der Zargenüberströmlösung (rechts). Reproduziert mit Erlaubnis aus [7].

Die Überströmöffnungen wurden entweder als einfacher $80 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ großer Spalt zwischen Tür und Boden, oder als Spalt zwischen Zarge und Türsturz (Abbildung 7, rechts) modelliert. Der überströmende Luftvolumenstrom betrug $30 \text{ m}^3/\text{h}$, sodass sich bei idealer Durchmischung eine CO_2 -Konzentration von 1.000 ppm im Wohnzimmer einstellen würde.

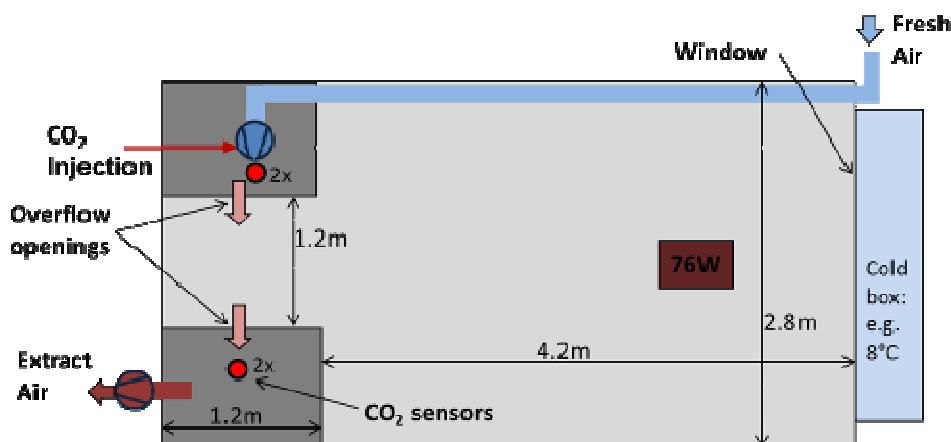


Abbildung 8 Schematische Skizze des Messaufbaus in der PASSYS Zelle. Reproduziert mit Erlaubnis aus [7].

Um das CFD-Modell zu validieren, wurde in einer PASSYS-Testzelle [8] eine dem Simulationsmodell ähnliche Situation geschaffen (siehe Abbildung 8). Diese Testzelle wurde zum Testen von Fassadenkomponenten unter kontrollierbaren Randbedingungen entwickelt und eignete sich daher sehr gut um die gewünschten Untersuchungsbedingungen herzustellen. Mit Gipskartonplatten wurde der Gangbereich mit den beiden gegenüberliegenden Überströmöffnungen nachgebildet. Der restliche Raum bildete das Wohnzimmer mit Fensterfront. Die Außenbedingungen (Temperatur, Wind) vor dem Fenster wurden mit einer sogenannten Cold-Box eingestellt. Der Luftaustauschwirkungsgrad ϵ_a wurde mit Hilfe der „Step-up“ bzw. „Step-down“ Methode mit CO₂ als Tracer gas gemessen. Er ist eine dimensionslose Kenngröße für die Effizienz, mit der Schadstoffe aus dem Raum geführt werden und kann Werte zwischen 0 (volle Kurzschlußströmung) und 1 (Kolbenströmung) annehmen. Ein Wert von 0,5 entspricht einer vollständigen Luftdurchmischung im Raum, und ist daher, der für eine Wohnraumlüftung realistisch anzustrebende Wert. Ein Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Luftaustauschwirkungsgrad ist in Abbildung 9 Vergleich der CFD-Simulationsergebnisse und der Messungen für den Testraum in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Überströmluft und Wohnzimmerluft. Reproduziert mit Erlaubnis aus [7].

dargestellt.

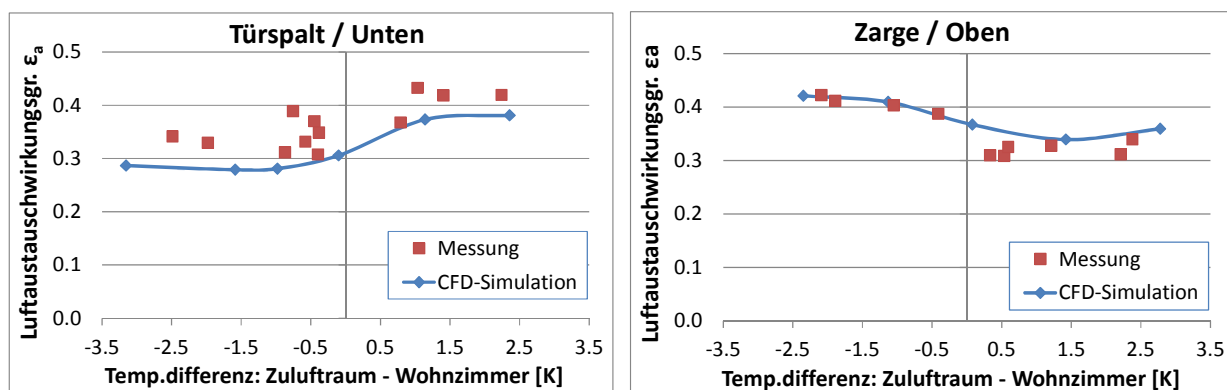


Abbildung 9 Vergleich der CFD-Simulationsergebnisse und der Messungen für den Testraum in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Überströmluft und Wohnzimmerluft. Reproduziert mit Erlaubnis aus [7].

4.3.2 Erweiterte Kaskadenlüftung: Untersuchung von Grundrissen mit Risiko auf Kurzschlussströmungen mit Hilfe von CFD – Ergebnisse

Die Simulations- und Messergebnisse zeigen, dass bei ungünstigen Bedingungen mit einer Kurzschlussströmung und somit mit einer unzureichenden Frischluftversorgung im Wohnzimmer zu rechnen ist, sofern es keinen eigenen Zu- oder Abluftauslass besitzt. So ergab sich z.B. für den Fall gegenüberliegender „Türspalt-Überströmer“ laut Simulationen ein Luftaustauschwirkungsgrad von 0,27 für die angenommenen Referenzbedingungen. Die mittlere CO₂-Konzentration beträgt dann 1.500 ppm statt 1.000 ppm (bei vollständiger Durchmischung). Die räumliche Konzentrationsverteilung ist für diesen und für den Fall mit Zargen-integrierter Überströmöffnung in Abbildung 10 dargestellt.

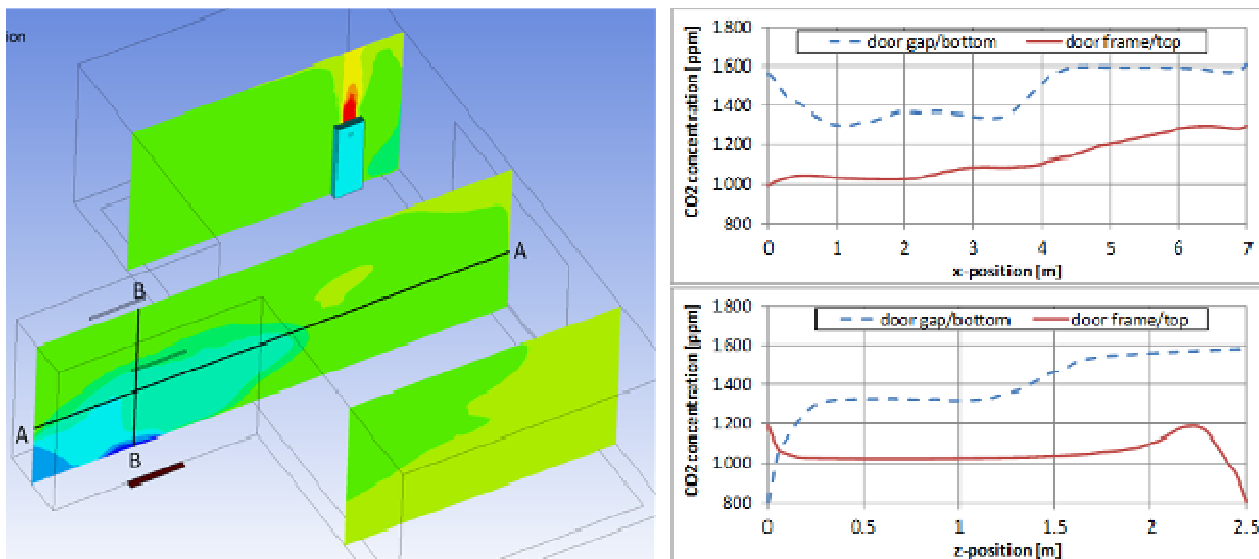


Abbildung 10 Ergebnisse aus den CFD-Simulationen. Links 3-D Visualisierung der CO₂-Konzentration. Rechts der zugehörige Konzentrationsverlauf entlang der beiden dargestellten Linien. Reproduziert mit Erlaubnis aus [7].

Um die Abhängigkeit der Ergebnisse gegenüber der getroffenen Annahmen zu untersuchen, wurde eine Reihe von Parametervariationen durchgerechnet. Es wurde die Abhängigkeit des Luftaustauschwirkungsgrades für verschiedene Überströmlufttemperaturen, Volumenströme, Manikin-Positionen und Wärmeeinträge untersucht. Außerdem wurden die Gangbreite und der laterale Versatz (Abstand) zwischen den Überströmöffnungen variiert (siehe Abbildung 11).

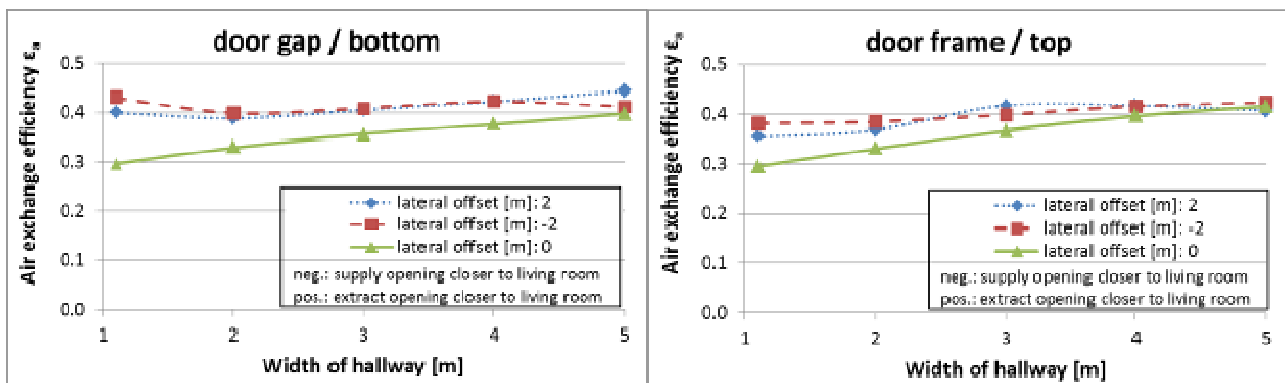


Abbildung 11 Luftaustauschwirkungsgrad in Abhängigkeit der Gangbreite und der Überströmanordnung bei einem Luftvolumenstrom von 30 m³/h für Türspalt (links) und Zargenlösung (rechts).

Es wurde die für die jeweilige Anordnung ungünstigere Temperaturdifferenz gewählt. Mit einem lateralen Versatz (nicht direkt gegenüber) bzw. einer ausreichenden Gangbreite kann der Luftaustauschwirkungsgrad auf akzeptable 0,4 angehoben werden.

Schlussfolgerungen / Planungshinweise

Aus diesen Mess- und Simulationsergebnissen können folgende Hinweise für Planung einer erweiterten Kaskadenlüftung abgeleitet werden.

Grundrisse bei denen die Zu- und Abluftüberströmungen nicht alle in einen schmalen Flurbereich münden, eignen sich im Allgemeinen gut für die Kaskadenlüftung. Die Bewertungen der verschiedensten Grundrisse wurde schon in [2] gezeigt und sind in einem „Online-Tool“ abrufbar [3]. Es zeigt sich, dass für einen Großteil der modernen Grundrisse die erweiterte Kaskadenlüftung bestens eingesetzt werden kann. Für die in dieser Arbeit behandelte Grundriss-Topologie ergibt sich, dass keine speziellen Hinweise zu beachten sind, falls eine eigene Abluft (integrierte Küche) im Wohnzimmer vorhanden ist. Dieser Abluftvolumenstrom sorgt dafür, dass ein ausreichend guter Luftaustausch zwischen Flurbereich und Wohnbereich stattfindet. Dieser Austausch ist deutlich größer als der reine Küchenabluftvolumenstrom.

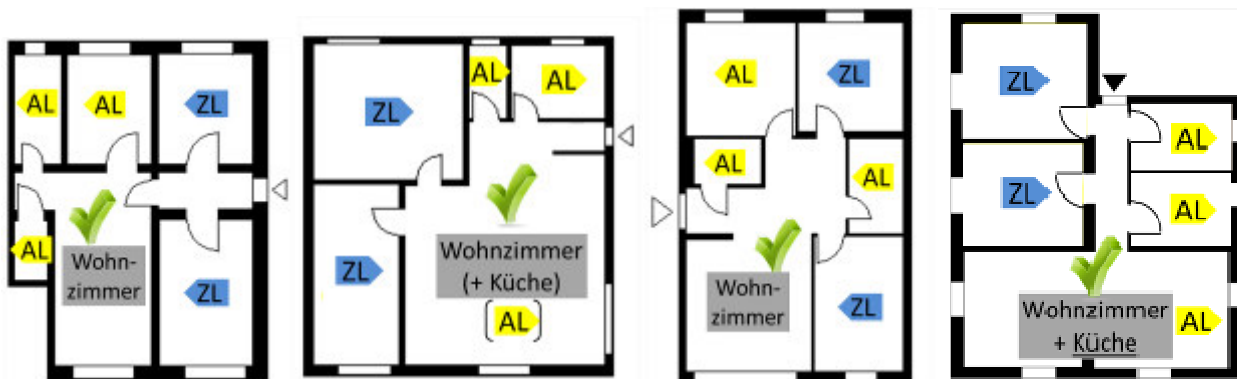


Abbildung 12 Grundrissbeispiele bei denen die erweiterte Kaskadenlüftung gut eingesetzt werden kann. Das Wohnzimmer wird ausreichend gut durch die Überströmluft versorgt. Die Gesamtzuluft in die Wohneinheit wird effizienter genutzt und kann reduziert werden.

Für Wohnräume ohne eigene Abluft, in denen alle Überströmöffnungen in einen gemeinsamen Flurbereich münden, ist die erweiterte Kaskadenlüftung nur bedingt geeignet. Um Kurzschlussströmungen für diese Fälle zu minimieren, sollten folgende Hinweise beachtet werden:

- Zuluft- und Abluftüberströmöffnungen nicht direkt gegenüber, oder nebeneinander im 90°-Winkel positionieren (Abbildung 13). Es sollte also die überströmende Zuluft nicht direkt in den Absaugbereich der Abluftüberströmöffnung geblasen werden. Je nach Wahl der Überströmöffnungen kann das bis zu einem Abstand (Gangbreite) von 4-5 m gelten.

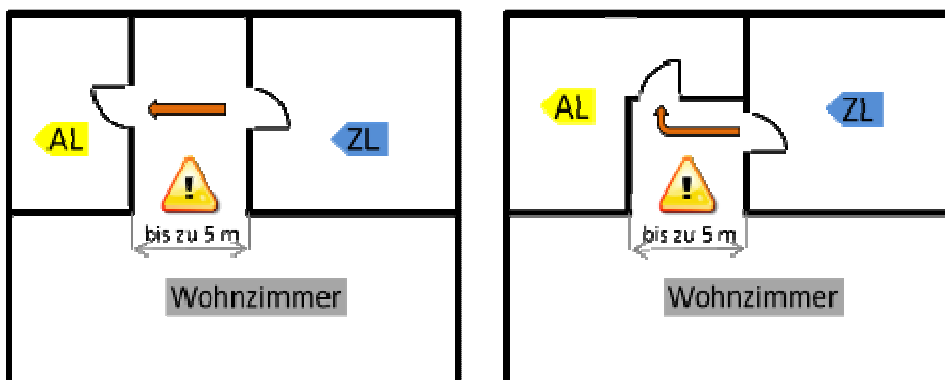


Abbildung 13 Flurbereich- und Überströmanordnung bei denen je nach Randbedingungen ein Kurzschlusspotential gegeben ist. Auf eine eigene Zuluft (oder Abluft) im Wohnzimmer sollte dann nicht verzichtet werden.

- Bei Gangbreiten größer 2-3 m können gegenüberliegende Überströmöffnungen lateral (oder vertikal) um mindestens 2 m versetzt werden, um das Wohnzimmer mit ausreichend Überströmluft zu versorgen (Abbildung 14).

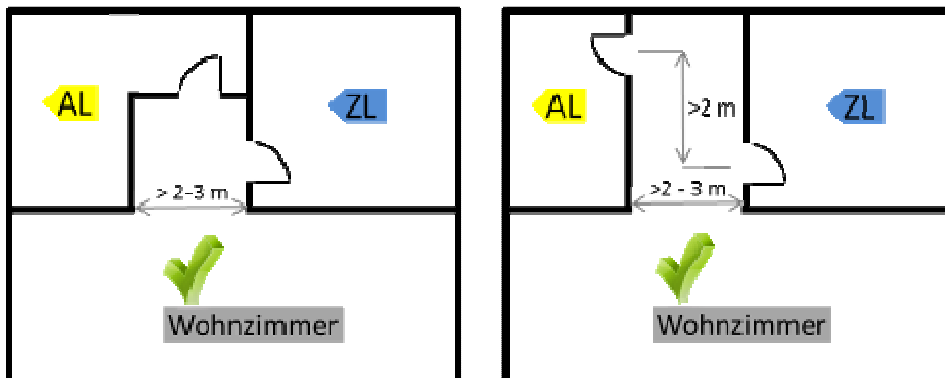


Abbildung 14 Mögliche Überströmanordnung um die Kurzschlussgefahr deutlich zu reduzieren. Die Simulationsergebnisse zeigten einen Luftaustauschwirkungsgrad von $>0,4$ für Gangtiefen bis zu 3 m. Für eine Person im Wohnzimmer würde sich somit eine Ausgleichskonzentration einstellen.

- Generell (also auch bei Gangbreiten <2 m) kann durch die Kombination „Zuluftüberströmöffnung oben“ mit „Abluftüberströmöffnung unten“ die Kurzschlussgefahr ebenfalls auf ein akzeptables Maß reduziert werden. Jedoch sollte dann mit Hilfe einer Anschlagdichtung oder Absenkdichtung sichergestellt werden, dass die Überströmung durch den Türspalt (aus den Zuluft Räumen) vollständig unterbunden wird.
- Mehrgeschossige Grundrisse bei denen der Wohnraum ausschließlich mit Überströmluft versorgt werden soll, auf dessen Geschossebene weder Zu- noch Abluftauslässe vorgesehen sind, wurden noch systematisch untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass sie sich in der Regel nicht für die erweiterte Kaskadenlüftung eignen.

4.3.3 Computersimulationen zur Ableitung von empfohlenen Zuluftmengen in Wohnungen

Bereits im Projekt Doppelnutzen [1] wurde der Frage der zu empfehlenden Außenluftwechselrate nachgegangen. Aufbauend auf diesen Arbeiten wurden hier einigen Fragestellungen in Bezug Zuluftmenge für „low-tech“ Lüftungslösungen nachgegangen. Im Folgenden werden die Bewertungs- und Untersuchungsmethoden der Vollständigkeit halber wiedergegeben. Teile des folgenden Textes und der Abbildungen wurden daher aus [1], [9], [10] und [11] entnommen.

A Bewertungsmethode – Zielwertabweichung

Diverse Normen und Richtlinien [12][13][14][15] geben vor wie bestimmte Raumluftwerte (wie z.B. CO_2 , VOC's bzw. TVOC) zu bewerten sind. Dabei wird meist der Wertebereich kategorisiert (z.B. „Zielwert / hygienisch unbedenklich“, „hygienisch auffällig“, usw., bzw. „hohe, mittlere, mäßige und niedrige RLQ“). Damit lassen sich Messwerte (oder Simulationswerte) der einzelnen Bewertungsparameter relativ gut bewerten. Bei der Optimierung eines Lüftungskonzeptes sollten aber alle relevanten

Bewertungsparameter einfließen. Somit stellt sich die Frage, wie die Einzelparameter zu einer objektiven Gesamtgröße zusammengeführt werden können. Um eine Zuluftmengen-Empfehlung abgeben zu können, wurde daher ein Summenparameter für CO₂, TVOC und relative Feuchte eingeführt. Als Basis dient eine kumulative Häufigkeitsverteilung für die einzelnen Parameter für den Auswertzeitraum. Als Maß für „wie lange“ und „wie stark“ ein Zielwert überschritten wurde, wird die sich ergebende Fläche zwischen Zielwert und kumulativer Häufigkeitskurve ermittelt (siehe Abbildung 15). Diese entspricht auch einer Fläche die sich bei einem konstantem Wert „A“ über Zielwert (z.B. 162 ppm CO₂ in Abbildung 15) ergeben würde. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Verwendung der genannten Fläche implizit eine lineare Gewichtung zwischen Überschreitungswert und Überschreitungsdauer bedeutet. Für den Parameter „CO₂ über Außenluft“ (Abbildung 15) würde das z.B. bedeuten, dass konstante 700 ppm während des gesamten Auswertzeitraums gleich bewertet werden wie 1.600 ppm während 10% des Auswertzeitraums (und keine Zielwertüberschreitung während der restlichen 90% des Auswertzeitraums). Idealerweise könnte und sollte eine physiologisch begründete Gewichtung (bis dato nicht bekannt) für die Bemessung der Zielwertabweichung („A“) herangezogen werden.

Setzt man nun den Wert „A“ (Maß der Zielwertabweichung, Abbildung 15) in Relation zu einer für den jeweiligen Bewertungsparameter gültigen „Toleranzbreite“, erhält man eine relative Zielwertabweichung. Die relative Zielwertabweichung kann so für jeden zu betrachtenden Bewertungsparameter ermittelt werden. Dies erlaubt einen direkten Vergleich zwischen den einzelnen Bewertungskriterien (z.B. Schadstoffe, Raumluftfeuchte und Staub) und die Bildung eines Summenparameters. Bei der Summenbildung dürfen unterschiedliche Wirkungen auf den Menschen, wie „Beeinträchtigung des Komforts“ und „gesundheitliche Beeinträchtigungen“ nicht vermischt werden, weil diese einen unterschiedlichen Maßstab darstellen. Der Bewertungsmaßstab sollte sich hier auf die „gesundheitliche Beeinträchtigung“ beschränken.

Die Zielwerte und die zugehörigen Toleranzbreiten für die im Folgenden verwendeten Bewertungskriterien (CO₂, TVOC und relative Feuchte) wurden aus Literatur und Normen entnommen und sind in Tabelle 4 gelistet.

Tabelle 4 Verwendete Richtwerte für CO₂ (über Außenluft), relative Feuchte und TVOC

Bewertungskriterien ¹	CO ₂ ^{rel} [ppm]	Rel. Feuchte [%]	TVOC [mg/m ³]
Zielwert	<600	>30	<0.3
Zeitweise tolerabel	600-1600	20-30	0.3-3
Inakzeptabel	>1600	<20	>3

¹ Richtwerte für CO₂ über Außenluftkonzentration und TVOC in Anlehnung an [14][15]. Zielwert der rel. Feuchte nach EN 13779:2004 bzw. ÖNORM B 8110-2 Bbl 4. Anmerkung: Richtwerte bezüglich rel. Feuchte umstritten, siehe z.B. [16][17].

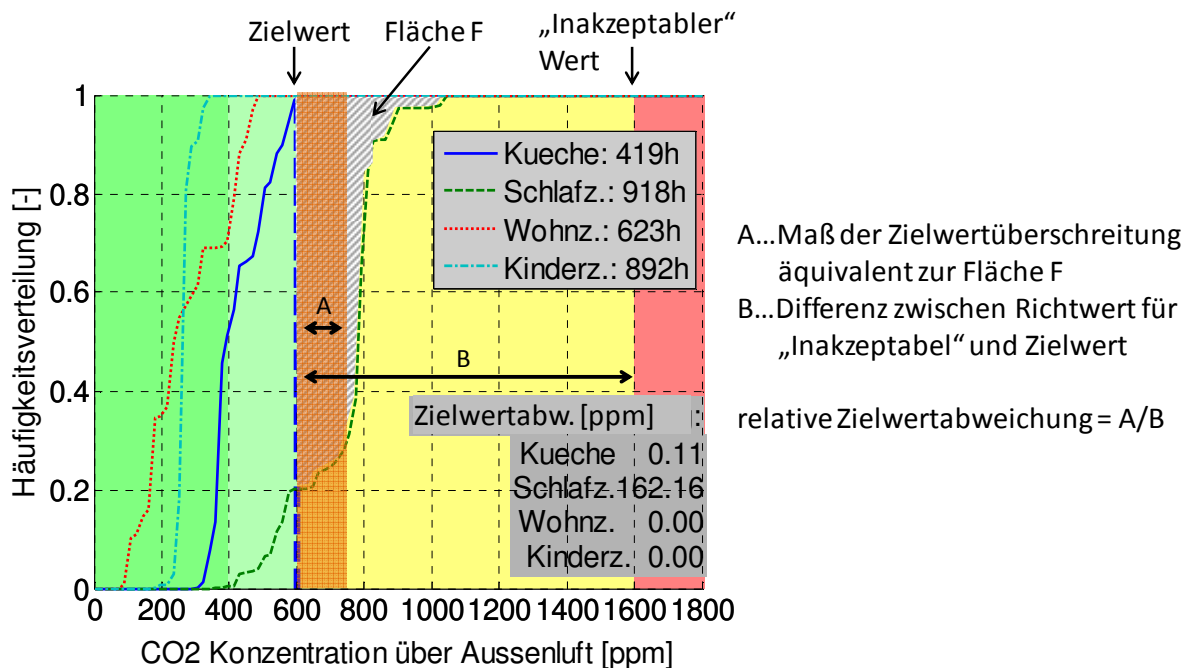


Abbildung 15 Bestimmung der relativen Zielwertabweichung nur für CO₂ anhand eines Beispiels für die Häufigkeitsverteilung der CO₂-Konzentration aus dem simulierten Referenzfall aus [9]

Anwendung der Bewertungsmethode zur Bestimmung der „optimalen“/empfehlenswerten Zuluftmenge

Das vorgestellte Raumluftheitsbewertungsverfahren wurde mit Hilfe der Multi-Zonen-Simulationssoftware CONTAM [18] zur Bestimmung einer empfehlenswerten Zuluftmenge für die Wohnraumlüftung in Bezug auf CO₂, TVOC und relative Feuchte herangezogen. Auf Basis von Statistikdaten [19] wurde eine Referenzwohnung mit vier Wohnräumen (inkl. Küche) mit einer Nutzfläche von 76 m² gewählt und mit einem drei Personen Haushalt belegt (siehe). Ein Referenzklimadatensatz für den Standort Wien wurde herangezogen. Die Belegung wurde mit zwei Erwachsenen, eine davon tagsüber abwesend (berufstätig), sowie einem Kind angesetzt. Die Anwesenheitszeiten wurden aus den Daten der Statistik Austria [20] in entsprechenden Zeitplänen abgebildet.

Weitere für das Simulationsmodell erforderliche Parameter wurden in Anlehnung an vorhandene Literatur [21][22] bzw. aus Daten eigener oder partnergeführter Messkampagnen (siehe Abbildung 16) festgelegt. Das hier verwendete Referenzmodell basiert auf dem ausführlich in [9] beschriebenen Modell. Es wurde jedoch für die hier vorgestellten Untersuchungen in zwei Punkten folgendermaßen aktualisiert: Die TVOC-Emissionen (aus Baustoffen und Inneneinrichtung) wurden von 500 auf 115 µg/m² Wohnfläche reduziert, abgeleitet aus den Ergebnissen einer aktuellen Monitoring-Studie [23]. Die Feuchtelast pro Wohneinheit wurde um ca. 0,7 l/d erhöht um auch einen typischen Eintrag aus Zimmerpflanzen zu inkludieren.

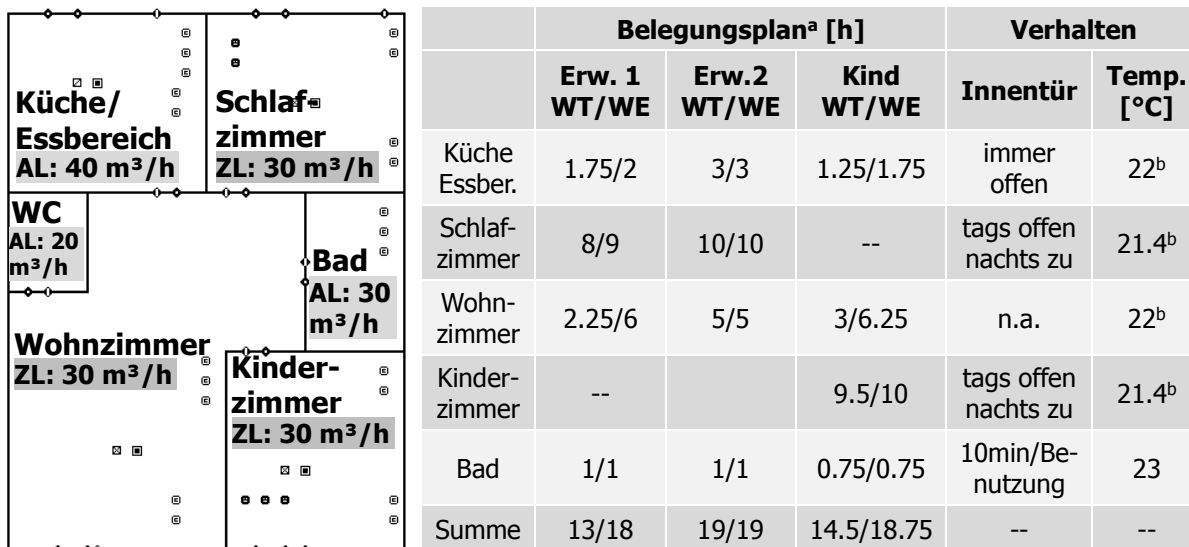


Abbildung 16 CONTAM Skizze des Grundrisses (AL=Abluft, ZL=Zuluft), Belegungsplan und Nutzerverhalten bezüglich Türöffnung und Raumtemperatur (WT=Wochentag, WE=Wochenende).
a gestützt auf stat. Daten [20], b extrahiert aus [24][25][26][27][28][29][30]

B Ableitbare Zuluftmengen

Die Auswertungen wurde raumweise und nur für Stunden mit Personenbelegung (mindestens eine Person im Raum) und nur für die Kernwintermonate (1. Dez. bis 28.Feb.) durchgeführt. Die resultierende relative Zielwertabweichung für das Referenzmodell bei Variation der Schlaf- und Kinderzimmerzuluft ist in Abbildung 17 dargestellt. Man erkennt, dass bei einer konstanten Wohnzimmerzuluft (von 30 m³/h) der Summenparameter der relativen Zielwertabweichung im Schlafzimmer bei 30-40 m³/h minimiert wird, und sich dabei auf einen Wert von ca. 0,3 einstellt. Im konkreten Fall bedeutet dies, dass bei keiner Zuluftmenge die Zielwerte für CO₂ und relativer Feuchte dauerhaft eingehalten werden können.

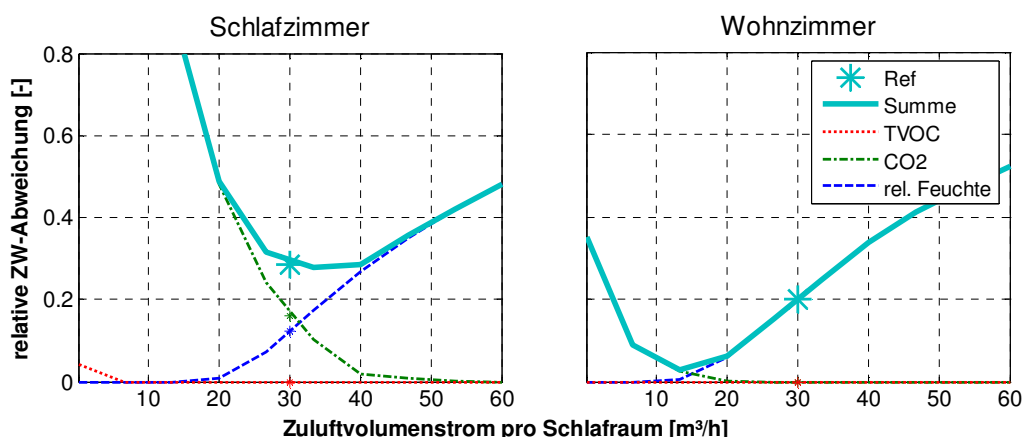


Abbildung 17 Relative Zielwertabweichung in Schlaf- und Wohnzimmer bei Variation der Zuluftmenge der Schlafräume, bei konstanter Wohnzimmerzuluft (30 m³/h) für die beschriebene Referenzwohnung.

Weiter Minimieren lässt sich der Summenparameter für diesen Referenzfall durch eine Reduktion der Wohnzimmerzuluft. Wie in Abbildung 18 gezeigt, lässt sich, wenn die direkte Zufuhr von Wohnzimmerzuluft entfällt, die Raumluftqualität (relative Zielwertabweichung) verbessern. Dies liegt

daran, dass das Wohnzimmer mit Luft aus dem Schlafzimmer heraus durchströmt wird. Voraussetzung dafür ist eine geeignete Grundrisstypologie. Die dafür möglichen Grundrisse und die Vor- und Nachteile der sogenannten erweiterten Kaskadenlüftung wurden im Rahmen eines FFG-Projektes [1] untersucht. Aber auch mit der erweiterten Kaskadenlüftung beträgt die relative Zielwertabweichung im Schlafzimmer bestenfalls 0,2.

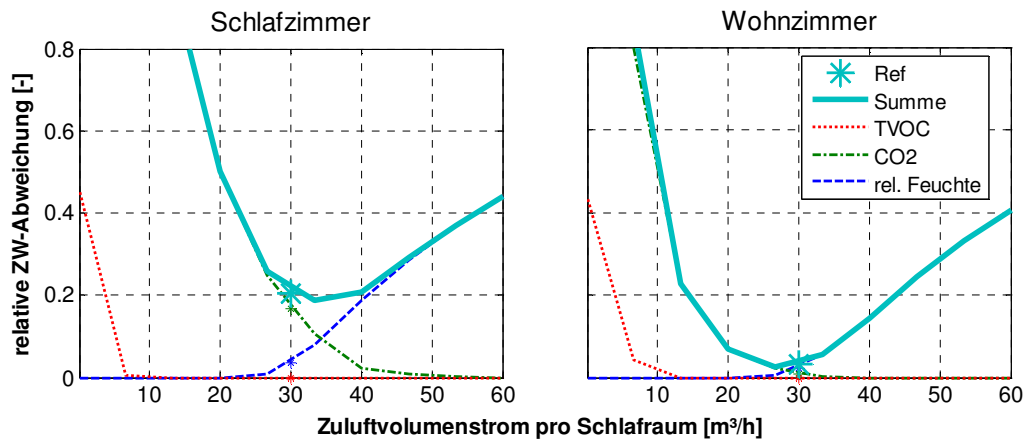


Abbildung 18 Relative Zielwertabweichung in Schlaf- und Wohnzimmer bei Variation der Zuluftmenge der Schlafräume für die beschriebene Referenzwohnung aber ohne Wohnzimmerzuluft (erweiterte Kaskadenlüftung).

In [9] wurde zudem gezeigt, dass basierend am Referenzfall, die Variation der wichtigsten Nutzerparameter (Belegung, Raumtemperatur, Innentürstellung, usw.) innerhalb typischer Schwankungsbreiten die relative Zielwertabweichung nicht auf null reduziert werden kann. Im Gegenteil, für viele der anderen untersuchten österreichischen Standorte lag der Wert aufgrund des kälteren Klimas noch höher. Dies bedeutet, dass ohne feuchteregulierende Maßnahmen, wie z.B. Feuchterückgewinnung oder bedarfsgeregelte Luftwechselraten, eine durchgehende Einhaltung der Einzelkriterien-Zielwerte (CO₂ und rel. Feuchte) für österreichische Standorte nicht möglich ist.

Das Ausmaß, in dem ein Wärmerückgewinnungsgerät auch Feuchte zurückgewinnen kann, wird wie in [31] in Anlehnung an prEN 13141-7:2007 durch das Feuchteverhältnis

$$\eta_x = \frac{x_{zu} - x_{au}}{x_{ab} - x_{au}}$$

charakterisiert. Dieser Wert ist identisch mit der Rückfeuchtzahl Ψ_2 nach VDI 2071. Nach [31] ist beim Einsatz einer Feuchterückgewinnung mit einem Feuchteverhältnis von 60 % und einem Sollwert von 30% r.F. selbst bei stark reduzierten Feuchtequellen bzw. geringer Außenluftfeuchte keine Befeuchtung mehr erforderlich. Deutlich höhere Werte sollten auch nur in Verbindung mit einer geeigneten Feuchteregelung eingesetzt werden (erhöhtes Schimmelpilzrisiko). Gemäß [31] sind typischerweise in Mitteleuropa für konstante Feuchteverhältnisse über 60% eine Erhöhung des Luftvolumenstroms um den Faktor $0,4/(1-\eta_x)$ erforderlich.

Für ein Lüftungssystem mit einem Feuchteverhältnis von 60% zeigt die relative Zielwertabweichung ihr Minimum über ein breites „Plateau“ bei 0. Dies bedeutet, dass hier sehr wohl die Einhaltung der der Einzelkriterien-Zielwerte (CO₂ und rel. Feuchte) möglich ist. Setzt man die CO₂-Richtwerte gemäß deutschem Umweltbundesamt an, würden die Richtwerte ab einem Zuluftvolumenstrom von 50 m³/h für das Schlafzimmer vollständig und durchgehend eingehalten werden (siehe Abbildung 19).

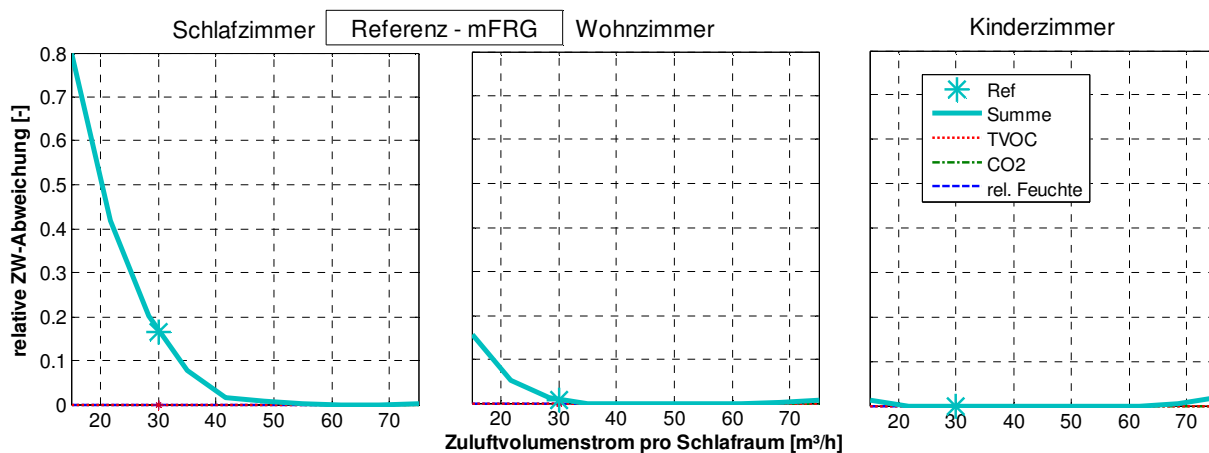


Abbildung 19 Relative Zielwertabweichung in Schlaf-, Wohn- und Kinderzimmer bei Variation der Zuluftmenge der Schlafräume für die beschriebene Referenzwohnung ohne Wohnzimmerzuluft aber mit einem Feuchterückgewinnungsgrad von 60%. CO₂-Richtwerte gemäß deutschem Umweltbundesamt.

C Sensitivität der Bewertungs- und Optimierungsmethode auf zugrunde gelegte Richtwerte

Um zu zeigen, dass die so erhaltenen Zuluftmengenempfehlungen nicht maßgeblich von den hier gewählten Auswerteparametern abhängen, wurde die Sensitivität der Ergebnisse auf die Wahl der Zielwerte bzw. deren „Toleranzbreiten“ und des Auswertzeitraums untersucht. Abb. 5 zeigt die relative Zielwertabweichung (Summe von CO₂, rel. Feuchte und TVOC) in Abhängigkeit des Zuluftvolumenstroms pro Schlafraum für verschieden gewählte Ziel- bzw. Referenzwerte. Die Referenzwerte für TVOC entstammen der Richtlinie des deutschen Umweltbundesamtes (UBA) [14] bzw. der österreichischen Richtlinie [12]. Wie auch aktuelle Messkampagnen [23] zeigen, sind TVOC-Konzentrationen im Normalfall im Zielwertbereich und daher für den Luftwechselbedarf nicht maßgeblich entscheidend. Daher wurde hier auf eine Variation dieser Referenzwerte verzichtet. Die Referenzwerte bzw. Leitwerte für CO₂ entstammen zum einen aus der Papier des UBA [15], zum anderen aus der vom österreichischen Lebensministerium herausgegebenen Richtlinie [12]. Letztere beurteilt erhöhte CO₂-Konzentrationen in Anlehnung an die EN 13779:2008 deutlich strenger. Der Zielwert für die relative Feuchte (30%) entspricht den Empfehlungen aus ÖNORM B 8110-2 Bbl 4 bzw. EN 13779:2004. Der „inakzeptable“ Bereich der relativen Feuchte wurde in Anbetracht der in diversen Literaturstellen [16][17][32] beschriebenen gesundheitlichen Risiken zum einen <20% zum anderen <25% festgelegt. Tabelle 5 fasst die verwendeten Werte zusammen und verweist auf die zugehörige Ergebnisdarstellung.

Tabelle 5 Übersicht über die verwendeten Richtwerte für CO₂ (absolut) und relativer Feuchte

	Referenz	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Referenz m. FRG	Fall 2a m. FRG
--	----------	--------	--------	--------	--------------------	-------------------

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

CO ₂ -abs.	Zielwert	<1000	<1000	<800	<800	<1000	<800
[ppm]	Inakzeptabel	>2000	>2000	>1400	>1400	>2000	>1400
Rel.	Zielwert	>30	>30	>30	>30	>30	>30
Feuchte [%]	Inakzeptabel	<20	<25	<20	<25	<20	<20

Abbildung

19 **Fehler!**

Verweisqu

elle

konnte

nicht

gefunden

werden.

Ergebnisse dargestellt in

Abbildung

18

Abbildung

20(oben)

Abbildung

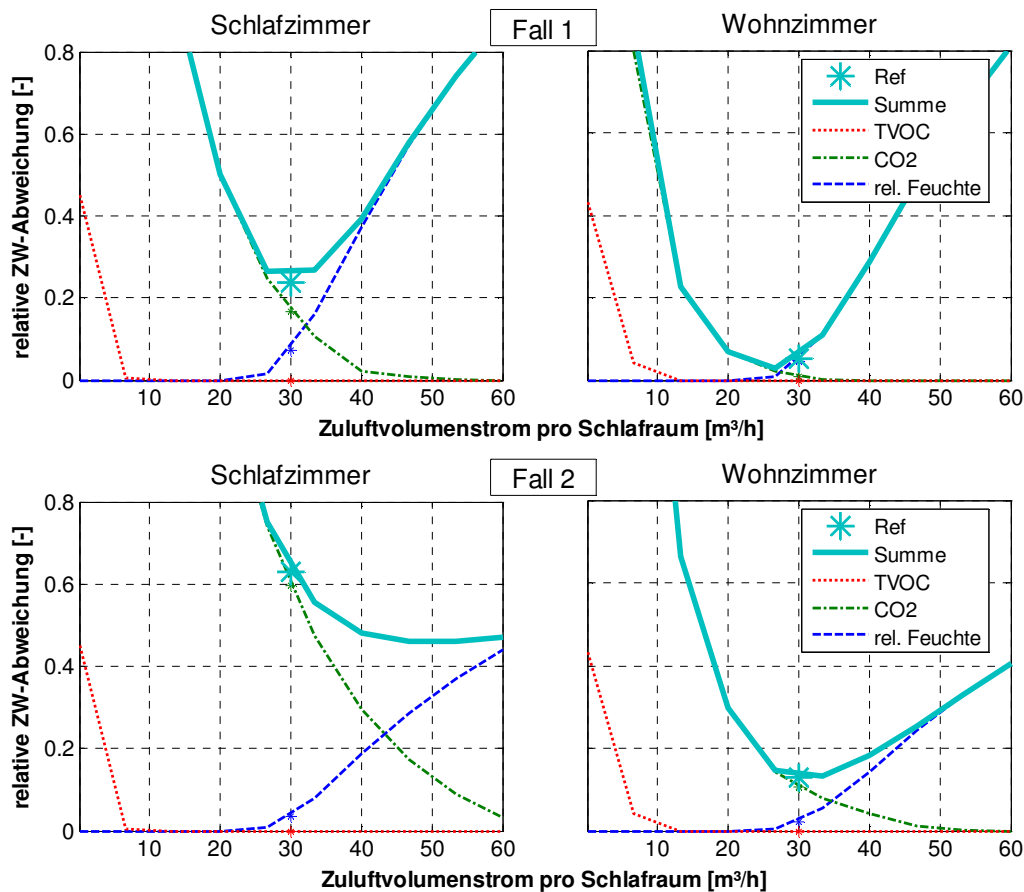
20(mitte)

Abbildung

20 (unten)

Abbildung

21



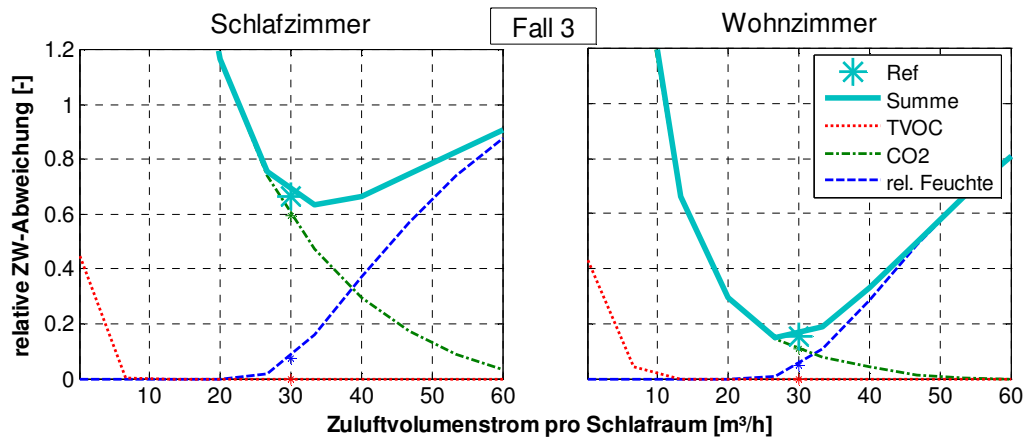


Abbildung 20 Relative Zielwertabweichung in Schlaf- und Wohnzimmer bei Variation der Zuluftmenge der Schlafräume für die beschriebene Referenzwohnung ohne Wohnzimmerzuluft für verschieden gewählte Zielwerte bzw. Toleranzbereiche für CO₂ und Raumluftfeuchte. Es entsprechen die oberen beiden Diagramme dem Fall 1, die mittleren dem Fall 2 und die unteren beiden Diagramme dem Fall 3 gemäß Tabelle 5. Die Referenzauswertung ist in Abbildung 19 dargestellt.

Man erkennt, dass für ein Schlafzimmer mit zwei Personen, die relative Zielwertabweichung bei ca. 30-40 m³/h unabhängig von den gewählten Bewertungsreferenzwerten ihr Minimum erreicht. Eine Ausnahme bildet die Kurve im Fall 2 in Abbildung 20. Die zugrundeliegenden Bewertungskriterien gewichten stärker erhöhte CO₂-Konzentrationen und es bildet sich ein flaches Minimum bei ca. 40-60 m³/h. Betrachtet man die Ergebnisse im Wohnzimmer, „empfiehlt“ das Minimum der relativen Zielwertabweichung, Zuluftmengen von ca. 30 m³/h pro Schlafraum (bei erweiterter Kaskadenlüftung, d.h. ohne eigene Wohnzimmerzuluft).

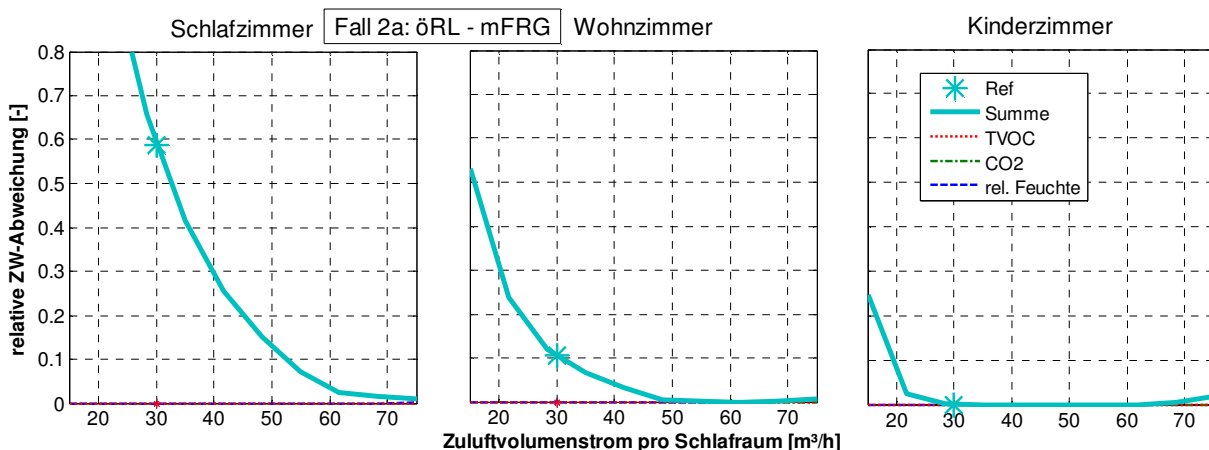


Abbildung 21 Relative Zielwertabweichung in Schlaf-, Wohn- und Kinderzimmer bei Variation der Zuluftmenge der Schlafräume für die beschriebene Referenzwohnung ohne Wohnzimmerzuluft aber mit einem Feuchterückgewinnungsgrad von 60%. CO₂-Richtwerte gemäß österreichischer Richtlinie.

Für den Fall mit Feuchterückgewinnung und den strengeren CO₂ Bewertungskriterien (gemäß österreichischer Richtlinie) ergibt sich die Zielwertabweichung gemäß Abbildung 21.

D Sensitivität der Bewertungs- und Optimierungsmethode auf zugrunde Auswertezeiträume

Wie eingangs erwähnt, wurde der Auswertezeitraum auf die drei Kernwintermonate Dezember, Jänner und Februar beschränkt, da es dabei um die kritische Zeit in Bezug auf Raumluftqualität und Raumluftfeuchte handelt. Außerdem wurden standardmäßig nur jene Zeiten des jeweiligen Raumes ausgewertet, in denen im Modell mindestens eine Person abgebildet wurde. Abbildung 22 zeigt den Einfluss der Wahl des Auswertezeitraums auf das Ergebnis der relativen Zielwertabweichung. Dafür wurde das Simulationsergebnis des Referenzmodells für verschiedene Zeiträume (30.Dez. - 30.Jan., 1.Dez. - 28.Feb., 1.Nov. - 31.März und 1.Okt. - 30.Apr.) jeweils nur bei Personenbelegung und einmal belegungsunabhängig (für den Zeitraum 1.Dez. - 28.Feb.) ausgewertet. Man erkennt, dass die Lage des Minimums und die daraus abgeleitete Volumenstromempfehlung nicht besonders stark von der Wahl des Auswertezeitraums beeinflusst werden.

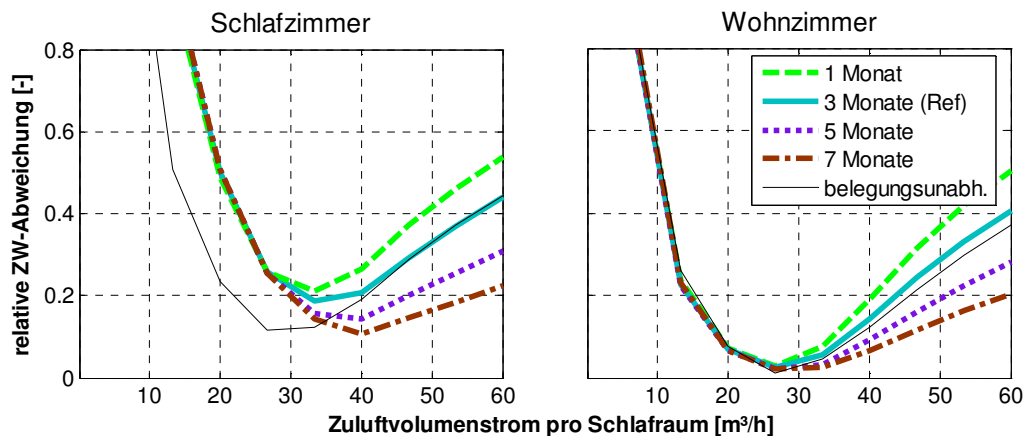


Abbildung 22 Relative Zielwertabweichung in Schlaf- und Wohnzimmer bei Variation der Zuluftmenge der Schlafräume für die beschriebene Referenzwohnung ohne Wohnzimmerzuluft für verschieden gewählte Auswertezeiträume.

Mit Hilfe der relativen Zielwertabweichung kann also der „beste Kompromiss“ zwischen erhöhter CO_2 -Konzentration und niedriger Raumluftfeuchte identifiziert werden. Für die Referenzwohnung mit einem Schlafzimmer (mit zwei Erwachsenen) und einem Kinderzimmer (mit einem Kind) zeigt sich, dass die so auf das Schlafzimmer optimierte Zuluftmenge bei ca. 30-40 m^3/h pro Schlaf- und Kinderzimmer liegt. Für die erweiterte Kaskadenlüftung ohne eigene Wohnzimmerzuluft zeigt die relative Zielwertabweichung im Wohnzimmer das Minimum bei ca. 30 m^3/h pro Schlaf- und Kinderzimmer. Die Volumenstromanforderung des Wohnzimmers überschneidet sich somit mit der des Schlafzimmers.

E Schimmelrisiko

Gerade im Zusammenhang mit Lüftungsanlagen mit Feuchterückgewinnung ist aber auch die Gefahr einer Überfeuchtung und des damit verbundenen Schimmelrisikos zu beurteilen. Für die folgenden Betrachtungen wurden Ergebnisse aus den oben beschriebenen CONTAM-Simulationen herangezogen um mit Hilfe des Isoplethenmodells [33] das Schimmelrisiko für verschiedene Dämmstandards zu beurteilen. Das Isoplethenmodell bewertet die Oberflächentemperatur, die Wasseraktivität a_w und deren zeitliche Dauer um daraus die Wahrscheinlichkeit einer Sporenauskeimung zu ermitteln. Unter Vorgabe des f_{Rsi} Wertes (DIN 4108-2), dieser charakterisiert das Verhältnis zwischen Wärmeübergang innen und

Gesamtwärmedurchgang, kann die Innenwandoberflächentemperatur für beliebige Wandaufbauten oder Außenbauteile berechnet werden.

Der a_w Wert, die relative Feuchte an der Wandoberfläche, kann so aus den CONTAM-Simulationsdaten ermittelt werden. Da reale Luftwechselraten aufgrund des Nutzereinflusses für die Sommerperiode nur sehr unsicher zu modellieren sind, beschränkt sich die Beurteilung des Schimmelrisikos auf eine „mechanische Lüftungsperiode“ zwischen 1. Oktober und 30. April. Als Ergebnis erhält man eine Isoplethenkennzahl, erreicht diese einen Wert von ≥ 1 so ist mit Schimmelbildung zu rechnen.

E.1 Mit Feuchterückgewinnung

Abbildung 23 zeigt die Isoplethenkennzahl als Funktion des Zuluftvolumenstroms für verschiedene f_{RSI} Werte. Bei einem f_{RSI} von 0.9, dieser Wert repräsentiert Außenbauteile mit einem hohen Dämmstandard (Passivhausniveau mit Ausnahme der Fenster), erkennt man, dass bei Gesamtzuluftmengen von $>90\text{m}^3/\text{h}$, also auch bei der nach IAQ-Kriterien berechneten optimalen Zuluftmenge von $110\text{m}^3/\text{h}$ (Fall mit Feuchterückgewinnung) keine Schimmelprobleme auftreten sollten.

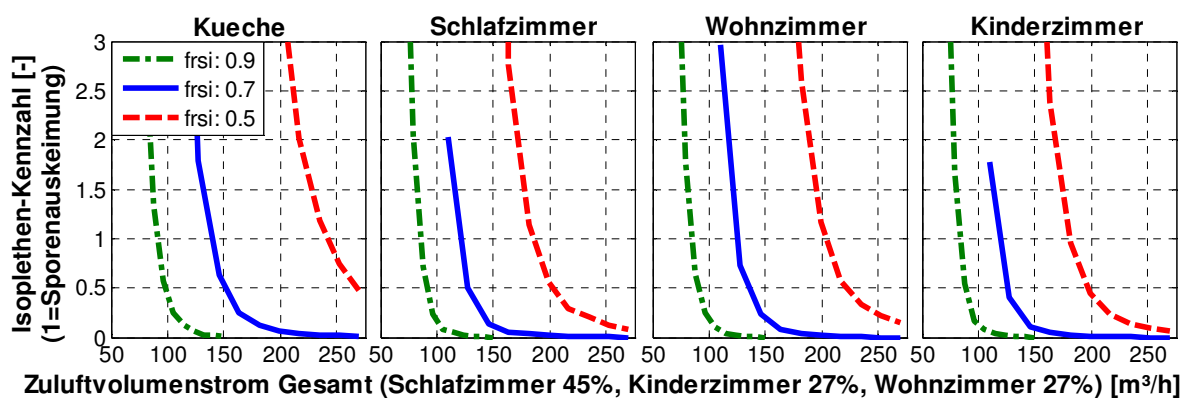


Abbildung 23 Isoplethen-Kennzahl bei Variation des Zuluftvolumenstroms für eine Lüftung mit Feuchterückgewinnung (60%). Verteilung der Zuluft: 45% Schlafzimmer und 27% Kinderzimmer und 27% Wohnzimmer, gemäß oben ermitteltem Optimum

Gibt es jedoch Bauteile mit einem $f_{RSI}=0.7$ (entsprechend DIN4108-2) so müsste die Luftmengen bereits auf $>130\text{m}^3/\text{h}$ erhöht werden. Bei einem $f_{RSI} < 0.5$ (z.B. unsanierter Altbau) sogar auf $180\text{--}200\text{m}^3/\text{h}$. Der Einsatz von Lüftungsanlagen mit Feuchterückgewinnung sollte sich daher vor allem auf Gebäude mit hohem Dämmstandard bzw. geringen Wärmebrücken beschränken. Nach jetzigem Stand werden auch in der OIB-Richtlinie die Wärmebrücken nicht direkt begrenzt, sodass auch bei Neubauten nach OIB-Standard Schimmelprobleme auftreten könnten, sofern die Luftwechselrate nicht zusätzlich erhöht wird.

E.2 Ohne Feuchterückgewinnung

In Abbildung 24 ist das berechnete Schimmelrisiko für eine Kaskadenlüftung (ohne Feuchterückgewinnung) dargestellt. Man erkennt, dass die optimierten Zuluftmengen wie oben ermittelt ($60\text{m}^3/\text{h}$), bei f_{RSI} Werten von 0.5 (z.B. Altbau) zu Schimmelbildung in Küche und Wohnzimmer (für die im Referenzfall getroffenen Annahmen) führen könnten. Bei Außenbauteilen mit f_{RSI} Werten von ≥ 0.7 (wie in DIN4108-2 gefordert) ist keine Schimmelgefahr zu erwarten. Daher wird die Kaskadenlüftung mit reduzierter Zuluftmenge für unsanierte Altbauten (Wärmebrücken) nicht empfohlen.

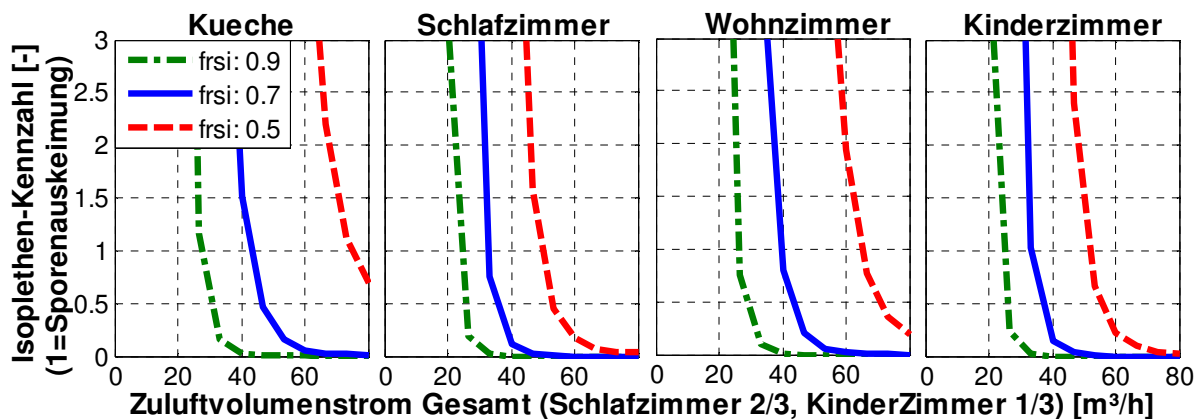


Abbildung 24 Isoplethen-Kennzahl bei Variation des Zuluftvolumenstroms für eine Kaskadenlüftung ohne Feuchterückgewinnung. Verteilung der Zuluft: 66% Schlafzimmer und 33% Kinderzimmer, gemäß oben ermitteltem Optimum.

Will man eine obere Abschätzung für minimale Luftwechselraten für Personenabwesenheit (trotz personenbedingter Feuchtelasten im Modell) ableiten, so ergibt sich folgendes: Für ein f_{RSI} von 0.9 (hoher Dämmstandard) ist die Isoplethenkennzahl kleiner 1 bei Zuluftmengen $>30\text{m}^3/\text{h}$. Für den modellierten Grundriss mit 190m^3 Raumvolumen entspricht das einer Luftwechselrate von $0,16\text{ h}^{-1}$. Bei einem f_{RSI} von 0.7 (entsprechend DIN4108-2) erhält man minimale LWR von $0,24\text{ h}^{-1}$. Für äußerst ungünstige Fälle (unsanierter Altbau und/oder mit Einrichtung verstellte Außenwände) mit einem f_{RSI} von 0.5 ergeben diese Berechnungen, dass eine minimale Luftwechselrate von $0,37\text{ h}^{-1}$ erforderlich ist um eine Schimmelbildung zu vermeiden. Es sei angemerkt, dass diese minimalen Luftwechselrate für das oben gezeigte Referenzmodell mit Belegung ermittelt wurden.

F Variation der TVOC Grundbelastung

Wie in früher oben beschrieben wurde für das Referenzmodell mittlere TVOC-Emissionsraten angenommen. Um die oben ermittelten Zuluftmengen auch auf Fall höherer TVOC-Emissionen zu prüfen, wurde für die folgenden Betrachtungen erhöhte TVOC Schadstoffemissionen angenommen. Aus [34] wurde das 98.Perzentil der gemessenen TVOC-Konzentrationen (555 Haushalte in Deutschland) herangezogen, um mit einer angenommenen Luftwechselrate von 0.5 h^{-1} (und einer Raumhöhe von 2.5m) eine wohnflächenspezifische Emissionsratenobergrenze von $1.845\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ zu bestimmen. Man erkennt in Abbildung 25 (Kaskadenlüftung) und in Abbildung 26 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (keine Kaskadenlüftung), dass die TVOC-Konzentration bei der Gesamtbewertung der Raumluftqualität eine dominantere Rolle einnimmt. Dennoch sind die oben ermittelten Zuluftmengen im optimalen Bereich bzw. nahe dem optimalen Bereich.

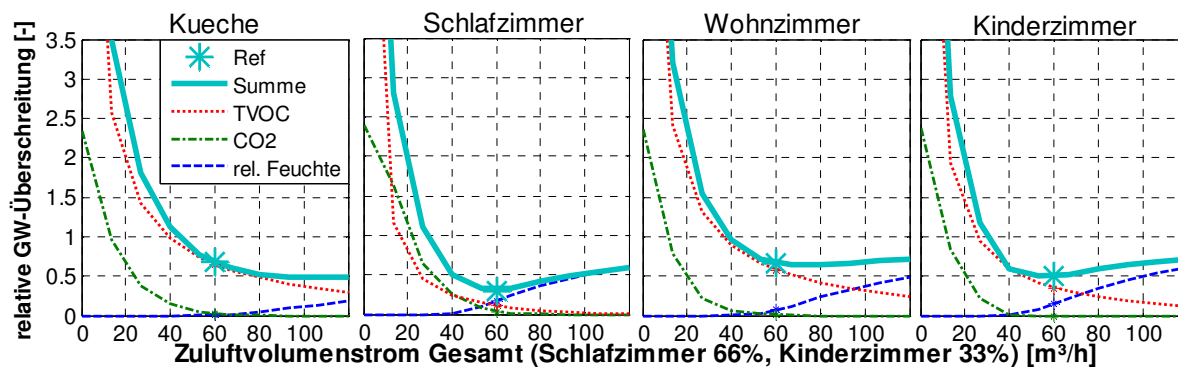


Abbildung 25 Raumlufthausqualität bei Variation des gesamten Zuluftvolumenstroms für den Fall erhöhter TVOC-Emissionen für Kaskadenlüftung.

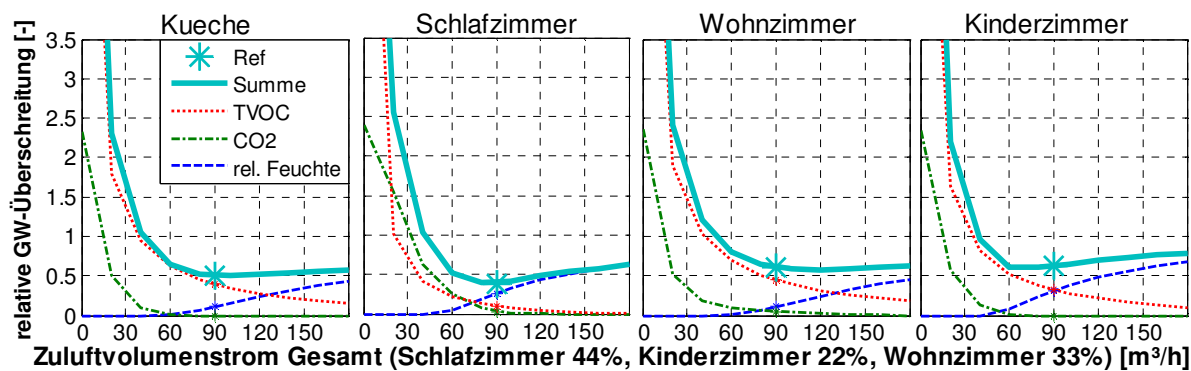


Abbildung 26 Raumlufthausqualität bei Variation des gesamten Zuluftvolumenstroms für den Fall erhöhter TVOC-Emissionen für einen Grundriss mit einem vom Flur abgetrennten Wohnzimmer (keine Kaskadenlüftung möglich).

Um die minimale Luftwechselrate für eine Grundlüftung ohne Personenbelegung nur auf Basis der (personenunabhängigen) TVOC Schadstoffemissionen zu ermitteln, können diese Ergebnisse herangezogen werden. Setzt man eine ständige TVOC-Konzentration unter dem in **Fehler!**

Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. definierten oberen Grenzwert (GW-II) von 3 mg/m^3 voraus, so würde dies eine minimale Luftwechselrate von 0.2 h^{-1} erfordern. (Siehe Abbildung 25 und Abbildung 26 jeweils Küche und Wohnzimmer.) Argumentiert man, dass während der Abwesenheit von Personen der obere TVOC-Grenzwert angehoben werden kann, so könnte die minimale Luftwechselrate für Personenabwesenheit weiter reduziert werden.

Gemäß [14] sind Räume mit TVOC-Konzentrationen $>3 \text{ mg/m}^3$ hygienisch bedenklich, aber befristet nutzbar. Wenn bei Betreten bzw. Benutzung des Wohnraumes durch Personen von einer Anhebung auf die normale Zuluftmenge ausgegangen werden kann, so könnte durchaus aus ein oberer Grenzwert von 10 mg/m^3 (entspricht einer relativen GW-Abweichung von 3.5 in Abbildung 25 und Abbildung 26) angesetzt werden. Unter diesem Gesichtspunkt wäre eine minimale Luftwechselrate von $<0.1 \text{ h}^{-1}$ zulässig.

G Grundrisse die keine Kaskadenlüftung erlauben

Der in Abbildung 27 gezeigte Grundriss erlaubt eine erweiterte Kaskadenlüftung bei der das Wohnzimmer ohne eigene Zuluft auskommt und, wie in gezeigt, über die Schlafzimmern mit Frischluft versorgt werden kann. Im Folgenden soll die optimale Zuluftmenge für ein vom Flur abgetrenntes Wohnzimmer, wie in Abbildung 27 dargestellt, untersucht werden.

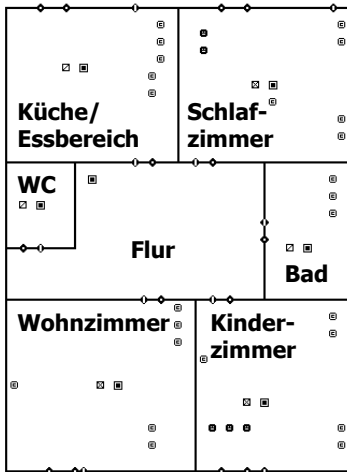


Abbildung 27 Schematische Darstellung des Grundrisses mit Flur und davon abgetrennten Wohnzimmer. Dieser Grundriss eignet sich nicht für eine Kaskadenlüftung.

Da die RLQ im Wohnzimmer stark von der Öffnungsdauer- und -uhrzeit der Wohnzimmertür abhängt, wurde die Luftmengenvariation für verschiedene Türöffnungszeitprofile durchgeführt. Abbildung 28 zeigt die Simulationsergebnisse. Man erkennt, dass bei stets bzw. bei tagsüber geöffneter Tür eine Kaskadenlüftung prinzipiell vorteilhaft wäre. Luftwechselraten durch offene Türen sind in der Regel so hoch, dass eine gute Durchmischung mit der Flurluft gegeben ist (vergleiche). Wird die Wohnzimmertür fast durchgehend geschlossen, so stellt sich das Optimum bei einer Zuluftmenge von $30 \text{ m}^3/\text{h}$ ein. Um den sich aufgrund von Personenbewegungen zwischen Wohnzimmer und Flur ergebenden Luftwechsel darzustellen, wurden vier 10-minütige Türöffnungen über den Tag verteilt, modelliert.

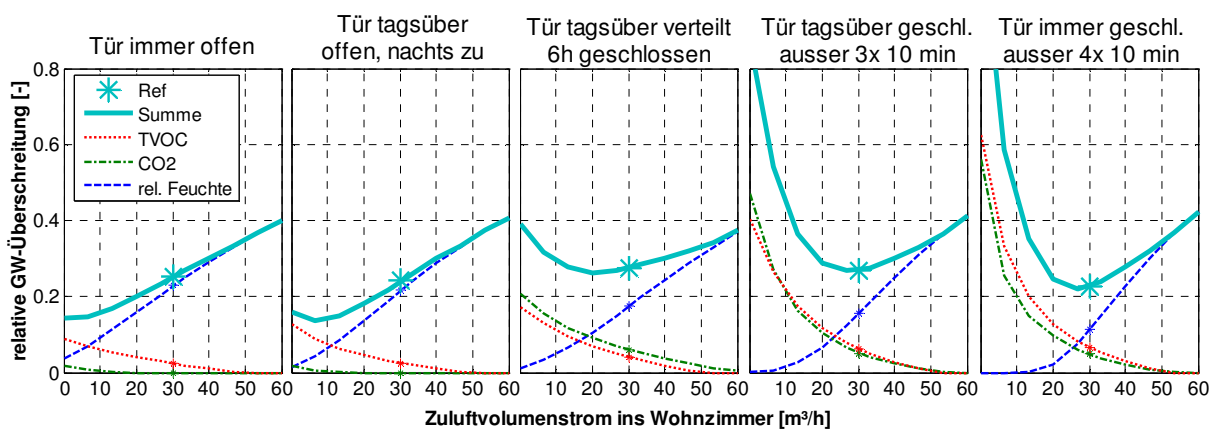


Abbildung 28 Raumluftqualität bei Variation des Zuluftvolumenstroms in ein vom Flur abgetrenntes Wohnzimmer für verschiedene Türöffnungsprofile.

H Pauschale Zuluftmenge (für alle Schlaf-/Arbeitsräume)

Möchte man die Idee eines einfachen und wartungsarmen Lüftungskonzeptes weitertreiben, stellt sich die Frage wie gut eine pauschale Zuluftmenge für alle Schlaf- und Arbeitsräume die Anforderungen in Bezug auf Raumluftqualität und Raumluftfeuchte bedienen kann. Deshalb wird im Folgenden auch das Kinderzimmer mit unterschiedlichen Belegungs- bzw. Nutzungsszenarien betrachtet.

In Abbildung 29 sind die Ergebnisse für den Referenzfall und für vier weitere mögliche Belegungsszenarien für jeweils Kinder-, Schlaf- und Wohnzimmer dargestellt.

Die vier neuen Fälle wurden aus den vorhandenen Zeitplänen folgendermaßen zusammengestellt: ein Erwachsener (nicht berufstätig) im Schlafzimmer plus ein Kind im Kinderzimmer, zwei Erwachsene (davon eine tagsüber abwesend) im Schlafzimmer plus drei Kinder im Kinderzimmer bzw. zwei Erwachsene (davon eine tagsüber abwesend) im Schlafzimmer und eine Home-Office-Nutzung (8h/Tag) durch einen der beiden Erwachsenen im Kinderzimmer. Außerdem ist der Fall mit einer Einzelbelegung (Ein-Personen-Haushalt) abgebildet. Der Fall zwei Erwachsene plus zwei Kinder wurde zur besseren Übersichtlichkeit nicht abgebildet. Die Ergebnisse „liegen“ zwischen dem Fall mit zwei Erwachsenen plus ein Kind und dem Fall zwei Erwachsenen plus drei Kinder. Bei der Variation der Personenbelegung wurden sowohl körperbezogene Feuchtelasten als auch aktivitätsbedingte Feuchtequellen (Kochen, Körperhygiene, Wäschetrocknen) im Modell angepasst.

Der Maximalwert der Zielwertabweichung aller Szenarien für einen bestimmten Zuluftvolumenstrom lässt sich laut **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bei ca. 30 m³/h für Schlaf- und Kinderzimmer minimieren. Dieser beträgt dann einen Wert von ca. 0,3 für den Ein-Personen-Haushalt. Betrachtet man nur jene Szenarien wo jeder Zuluft Raum von mindestens einem Bewohner genutzt wird (also alle Zwei- bis Fünf-Personen-Haushalte), so beträgt die relative Zielwertabweichung bei einer pauschalen Zuluftmenge von 30 m³/h nur 0,2 bis 0,25. Dies ist jener Wert, der ohne feuchteregulierende Maßnahmen (z.B. Feuchterückgewinnung oder Bedarfsregelung) im Schlafzimmer bei einer Standardbelegung von zwei Erwachsenen (bei den gewählten Referenzbedingungen) nicht maßgeblich unterschritten werden kann.

Dies bedeutet, dass Belegungszahlen zwischen ein und zwei Erwachsenen bzw. ein bis drei Kindern mit einer pauschalen Zuluftmenge von 30 m³/h pro Zuluft Raum abgedeckt werden können, ohne eine maßgebliche Verschlechterung der kombinierten Bewertung von Raumluftqualität und Raumluftfeuchte gegenüber der Schlafzimmer-Standard-Belegung mit zwei Erwachsenen hinnehmen zu müssen. Voraussetzung dafür ist, dass es in der Wohnung mindestens so viele BewohnerInnen bzw. NutzerInnen gibt wie Zuluft Räume. Bei einem Ein-Personen-Haushalt mit zwei Zuluft Räumen mit je 30 m³/h ist eine etwas höhere Zielwertabweichung aufgrund trockener Raumluft zu erwarten (siehe Abbildung 29).

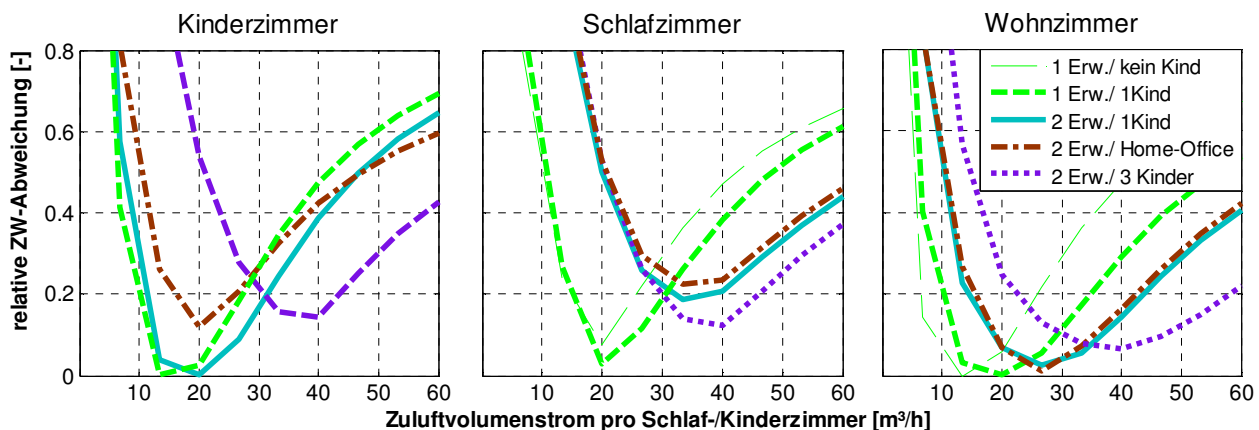


Abbildung 29 Relative Zielwertabweichung in Kinder-, Schlaf- und Wohnzimmer bei Variation der Zuluftmenge der Schlafräume für die beschriebene Referenzwohnung ohne Wohnzimmerzuluft für verschiedene Belegungsszenarien.

4.3.4 Aus Computersimulationen ableitbare Zuluftmengenempfehlungen

Die sogenannte relative Zielwertabweichung ist ein Summenparameter aus CO_2 - und TVOC-Konzentration und relative Feuchte. Sie berücksichtigt die Dauer und die Stärke einer möglichen Zielwertüber- bzw. -unterschreitung.

Mit Hilfe von Computersimulationen wurde anhand eines für Österreich repräsentativen Referenzmodells (Wohnungsgröße, Belegung, Nutzerverhalten, Klima) gezeigt, dass die relative Zielwertabweichung bei einer Zuluftmenge von 30-40 m^3/h pro Schlafzimmer (2 Erwachsene) ein Minimum bildet. Für Schlafräume mit geringer Belegungsdichte, wie z.B. ein Kind, sind Zuluftvolumenströme unter 30 m^3/h vorteilhaft.

Für Standorte mit besonders geringer Außenfeuchte (Bergstandorte) ist eine Feuchterückgewinnung ratsam. Diese setzt aber eine gute Qualität der Gebäudehülle (keine großen Wärmebrücken: $f_{\text{RSI}} > 0.7$) voraus. Ansonsten wäre Schimmelgefahr gegeben. Mit Feuchterückgewinnung ergibt sich nach dieser Bewertungsmethode eine relative Zielwertabweichung von 0 (d.h. die Zielwerte werden dauerhaft eingehalten) ab einer Zuluftmenge von 40-50 m^3/h pro Schlafraum (2 Erwachsene). Höhere Zuluftmengen reduzieren die Zielwertabweichung nicht weiter, erhöhen aber den Ventilatorstromverbrauch.

Soll keine Feuchterückgewinnung bzw. Befeuchtung eingesetzt werden, so stellt die erweiterte Kaskadenlüftung (keine Zuluft ins Wohnzimmer) hinsichtlich der Zielwertabweichung die vorteilhafteste Lösung dar. Nur für Gebäude mit beträchtlichen Wärmebrücken oder schlechter Dämmung ($f_{\text{RSI}} \sim 0.5$) trifft dies aufgrund von Schimmelrisiko nicht zu. Hierfür wird eine Standardlüftung mit etwas höheren Luftwechselraten empfohlen.

Für die dargestellten Empfehlungen wurde für die relative Feuchte der Zielwert bzw. der inakzeptable Wert mit 30% bzw. 20%, für die CO_2 -Konzentration mit 1.000 ppm (Pettenkoffer) bzw. 2.000 ppm angesetzt. Zieht man strengere CO_2 -Richtwerte (800 ppm bzw. 1.400 ppm) heran, so ergibt sich für das

Schlafzimmer das Minimum der relativen Zielwertabweichung bei 40-60 m³/h ohne Feuchterückgewinnung und 60-80 m³/h mit Feuchterückgewinnung. Zu beachten ist aber dass die dauerhafte Unterschreitung von 20% relativer Feuchte zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen kann [32]. Eine CO₂-Konzentration >1400 ppm führt im Normalfall (d.h. keine unverhältnismäßig starken Schadstoffquellen im Raum, z.B. Baumaterialien) zu keiner gesundheitlichen Beeinträchtigung [35].

Während der (längerfristigen) Abwesenheit von Personen wird eine minimale Luftwechselrate von 0.2 h⁻¹ empfohlen. Dies stellt eine ausreichende Verdünnung von TVOC-Emissionen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen, auch für die aus Literaturquellen ermittelte Bandbreite (98.Perzentil) an TVOC-Konzentrationen, sicher. Sind bei Betrieb der Lüftung mit minimaler Luftwechselrate auch Feuchtequellen zu erwarten, so sind bei schlechter Gebäudehülle ($f_{RSI} \sim 0.5$) minimale Lüftungsraten >0.35 h⁻¹ erforderlich.

Zu beachten ist, dass für diese Untersuchungen eine Konstant-Volumenstromregelung und keine bedarfs-geführte Regelung angenommen wurden. Tabelle 6 fasst die aus den Simulationen abgeleiteten Zuluftmengenempfehlungen zusammen.

Tabelle 6 Empfohlene Zuluftvolumenströme für Wohn- und Schlafräume [m³/h]

Raumtyp	Ohne Feuchterückgewinnung		Mit Feuchterückgewinnung
	Kaskadenlüftung empfohlen ^a	Standardlüftung falls Kask.lüftg nicht möglich	Nur Standardlüftung empfohlen
Schlafräum (pro Person)	15-20	15-20	20-30
Wohnraum (3 Pers. Haushalt)	0	30	30

^a falls Grundriss erlaubt, und nur bei Gebäuden mit entsprechender Wärmebrückenfreiheit ($f_{RSI} > 0.5$)

Pauschalvolumenstrom

Im Sinne des „low-tech“ Gedanken wurde außerdem untersucht, wie gut ein pauschaler Zuluftvolumenstrom für alle Schlaf- und Arbeitsräume bei unterschiedlichen Belegungsszenarien die Raumluftqualitätskriterien erfüllen kann. Es zeigt sich, dass bei einem Zuluftvolumenstrom von ca. 30 m³/h pro Schlaf- bzw. Arbeitsraum die relative Zielwertabweichung den Wert von 0,2 nicht maßgeblich überschreitet, sofern es mindestens so viele Bewohner wie Zuluft Räume gibt. Dies ist jener Wert, der ohne feuchteregulierende Maßnahmen (z.B. Feuchterückgewinnung oder Bedarfsregelung) im Schlafzimmer bei einer Standardbelegung von zwei Erwachsenen (bei den gewählten Referenzbedingungen) nicht unterschritten werden kann.

Als Konsequenz daraus empfiehlt es sich Räume mit einer unvorhersehbarer Belegung bzw. Nutzung mit 30 m³/h pro Zuluft Raum zu versorgen. Dies gilt solange keine feuchteregulierenden Maßnahmen (Feuchterückgewinnung oder Bedarfsregelung) vorgesehen sind.

4.4 Drei optimierte Varianten von zentralen Lüftungssystemen

Im Rahmen von low_vent.com wurden drei optimierte Systeme geprägt um mit vereinheitlichten Systemen die Anzahl der unterschiedlichen Systeme am Markt zu reduzieren und dadurch höhere Stückzahlen und damit geringere Kosten für diese drei Systeme zu erreichen.

1. Optimiertes Low-Tech System
2. Optimiertes Standard System
3. Optimiertes Komfort System

Die Systemvarianten unterscheiden sich insbesondere in den drei Bereichen:

1. Volumenstromregelung für die einzelne Wohnung
2. Eingriffsmöglichkeit der NutzerInnen
3. Regelung der zentralen Ventilatoreinheit

Hinweis: Die Einbindung in die Leittechnik des Gebäudes bzw. die Möglichkeit der Fernüberwachung wird für alle Anlagen empfohlen. Die Entscheidung muss im Rahmen der Gesamtkonzeption des Haustechnikbereiches fallen.

Komfort- und Kostenziele der drei Systemvarianten:

- 1. Optimiertes Low-Tech System**
Erfüllt ÖNORM H 6038 nicht (keine 2 Betriebsstufen + Aus)
Zielkosten € 2.500,-- + USt. (derzeit ca. 3.000,-- bis 3.500)
- 2. Optimiertes Standard System**
Erfüllt die ÖNORM H 6038
Zielkosten 3.000,-- + USt. (derzeit ca. 4.000,-- bis 5.000,--)
- 3. Optimiertes Komfort System**
Geht hinsichtlich Komfort und Energieeffizienz über die ÖNORM H 6038 hinaus
Zielkosten 3.500,-- + USt. (derzeit ca. 4.500,-- bis 6.000,--)

Ausprägungen der drei Systeme:

4.4.1 Optimiertes Low-Tech System

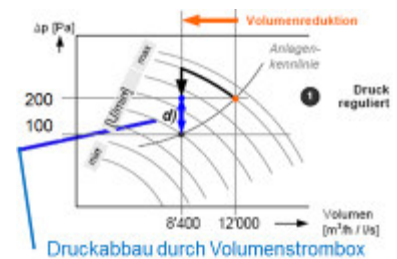
Die Low-Tech Variante ist als kostengünstigstes System arbeitet mit einer konstanten Luftmenge für die Wohnung. Diese fixe Luftmenge ist auf 1.400 ppm nach ÖNORM H 6038:2014 ausgelegt. Der Volumenstrom wird mit einem einstellbarer Konstantvolumenstromregler jeweils an die Bewohneranzahl angepasst. Die Anpassung an die Belegung ist eine Forderung der H 6038:2014 zur Verhinderung von trockener Raumluft (zu hohe Luftmenge bezogen auf die Bewohneranzahl) bzw. schlechter Luftqualität (zu geringe Luftmenge bezogen auf die Bewohneranzahl). Diese Forderung könnte zwar auch durch den Austausch von nicht installbaren Konstantvolumenstromreglern erfüllt werden, jedoch erscheint dies nicht praktikabel und langfristig zu zeitaufwändig, sodass für das Low-Tech System ein einstellbarer

Konstantvolumenstromregler gewählt wurde. Für die Nutzer ergibt sich keine Regelungsmöglichkeit. Damit das System die ÖNORM H 6038:2014 von zwei Stufen bzw. „Aus“ erfüllt, müsste noch eine zusätzliche rein mechanische Klappe zur Reduzierung des Volumenstromes inkludiert werden mit der die Bewohner die Luftmenge drosseln bzw. bis auf den Leckagestrom (Stellung „Zu“) reduzieren können. Der Ventilator wird mit einer Konstantdruckregelung betrieben. Theoretisch könnte man das System auch mit einer fixen Ventilator Drehzahl betreiben. Jedoch würde dies bei jeder Änderung der Belegung des Gebäudes eine Adaptierung des Gesamtvolumenstromes bzw. der Ventilator Drehzahl bedeuten. Aufgrund der heute kostengünstig verfügbaren Drehzahlregelung macht dies jedoch wirtschaftlich keinen Sinn. Zudem würde sich bei dieser nochmals vereinfachten Variante mit der Verschmutzung der Filter auch der Gesamtvolumenstrom verändern bzw. verringern.

Typische Bestandteile des optimierten Low-Tech Systems:



keine Bedieneinheit in der Wohnung



Einstellbarer Konstantvolumenstromregler (Bildquelle: Trox)

Ventilator mit Konstantdruckregelung (Bildquelle: Belimo)

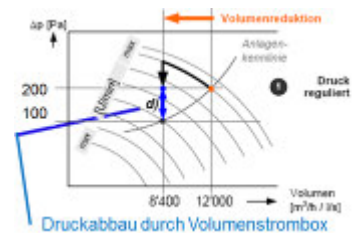
Konkrete Merkmale:

- Optimierte Kaskadennutzung bzw. minimierte Anzahl von Luftdurchlässen
- Luftmengen nach ÖNORM H 6038 (1400 ppm*)
 - *Dimensionierung der Luftleitungen möglichst so, dass später auch eine höhere Luftmenge (1.000 ppm) gefördert werden könnte. Z.B. Sanierung in 15-20 Jahren mit System 2 oder 3.
- Luftmenge der Wohnung fix nach BewohnerInnenanzahl am VSR eingestellt – aber einfach veränderbar (einstellbarer Volumenstromregler)
- Keine Eingriffsmöglichkeit für die NutzerInnen vorhanden**
 - **Mit zusätzlicher Klappe für Nutzer = formal konform ÖNORM H 6038
- Die Anlage läuft das ganze Jahr
- Möglichst mit Feuchterückgewinnung
- Konstantdruckregelung beim Ventilator (max. 200 Pa, Ziel 150 Pa)
- Strombedarf max. 0,45 W/(m³/h) (Durchschnittswert im Betrieb)
- Kosten Investition: derzeit ca. € 3.000 – 3.500 pro Wohnung; Ziel 2.500,--
- Betrieb: max. € 1,20 pro m² NF und Jahr (nur Strom und Filter)

4.4.2 Optimiertes Standard System

Das optimierte Standard System erfüllt alle Anforderungen der ÖNORM H 6038:2014 durch einen durch den Nutzer schaltbaren Konstantvolumenstromregler mit 2 Stufen und der Stellung aus. Die Luftmenge der Anwesenheitsstufe ist auf 1.000 ppm nach ÖNORM H 6038:2014 ausgelegt. Die Intensivlüftung (Stufe 3) ist nur optional vorgesehen und erfolgt standardmäßig mit dem Fenster. Der Volumenstrom der Anwesenheitsstufe muss wieder bei jeder Veränderung der Bewohneranzahl vor Ort angepasst werden. Der Ventilator wird mit Konstantdruckregelung betrieben.

Typische Bestandteile des optimierten Standard Systems:



Einstellbarer und in Stufen ansteuerbarer Konstantvolumenstromregler (Bildquelle: Pichlerluft)

Einfache Bedieneinheit in der Wohnung mit den Stufen „Aus, 1 und 2“ (Bildquelle: Soler & Palau)

Ventilator mit Konstantdruckregelung (Bildquelle: Belimo)

Konkrete Merkmale:

- Optimierte Kaskadennutzung bzw. minimierte Anzahl von Luftdurchlässen
- Luftmengen nach ÖNORM H 6038 (1000 ppm)
- Mind. 2-Stufen und „Aus“ für den NutzerInnen vorhanden (abwesend – anwesend) – „Intensiv“ als Option
- Luftmengen der Stufen entsprechend der BewohnerInnenanzahl am VSR eingestellt
- Die Anlage läuft das ganze Jahr
- Möglichst mit Feuchterückgewinnung
- Konstantdruckregelung beim Ventilator (max. 200 Pa, Ziel 150 Pa)
- Strombedarf max. 0,40 bis 0,45 W/(m³/h) (Durchschnittswert im Betrieb)
- Kosten Investition: derzeit ca. € 4.000 – 6.000 pro Wohnung; Ziel 3.000,--
- Betrieb: max. € 1,20 pro m² NF und Jahr (nur Strom und Filter)

4.4.3 Optimiertes Komfort System

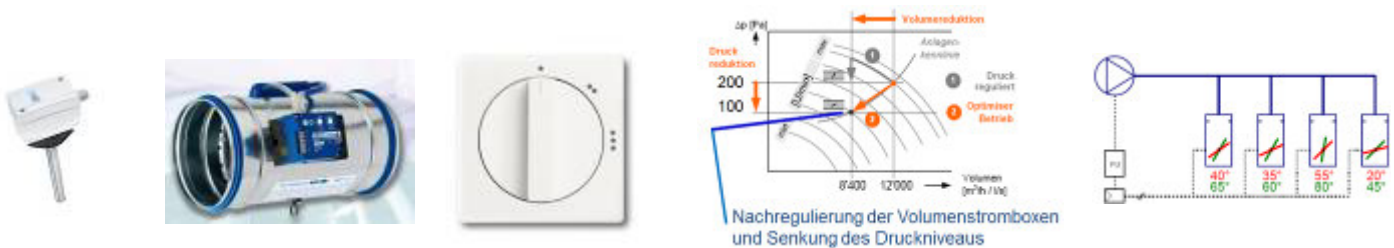
Das optimierte Komfort System erfüllt alle Anforderungen der ÖNORM H 6038:2014 und ermöglicht durch einen Luftqualitätssensor (selbstkalibrierenden CO₂ oder VOC-Mischgasfühler) in der Abluft eine optimale Anpassung der Luftmenge an den Bedarf. Zu beachten ist dabei der Regelparameter in der Abluft (Mischung aus mehreren Räumen) zwischen 400 und 600 ppm liegt um in der Wohnung für einzelne Räume maximal 1.000 ppm zu einzuhalten. Trockene Luft ist durch die optimale Anpassung an

die tatsächliche Belegung der Wohnung nahezu ausgeschlossen. Die Luftmenge ist auf 1.000 nach ÖNORM H 6038:2014 ausgelegt. Eine Auslegung auf maximal 800 ppm wäre bei Systemen mit Feuchterückgewinnung möglich ohne dass es zu trockener Luft kommt. Zentrale Geräte mit Feuchterückgewinnung sind als Plattenwärmetauscher mittlerweile bis 10.000 m³/h verfügbar.

Rotationswärmetauscher mit Feuchterückgewinnung ohne Kondensatphase (mit optimierter Beschichtung zur Reduktion der Geruchsübertragung) sind derzeit im Projekt Baldehofstrasse/Lexengasse in Salzburg Lieferung in Erprobung. Die NutzerInnen können an der Bedieneinheit die Zustände „Aus“ und Automatik wählen. Eine Intensivstufe ist nur optional vorgesehen. Diese wird im Grunde nur benötigt, wenn eine höhere Luftmenge gewünscht wird die nicht mit dem CO₂ oder VOC korreliert (z.B. beim Kochen). Denn durch die Luftqualitätsmessung ist eine Intensivstufe indirekt inkludiert, da das System z.B. bei Besuch bis auf das aus schalltechnischer Sicht eingestellte Maximum des Volumenstromreglers hochfährt. Ein manuelles Umstellen des Volumenstromreglers ist bei diesem System nicht mehr notwendig, das durch die Messung der Luftqualität dies immer optimal an die Belegung bzw. Personenanzahl angepasst wird.

Wenn in der Übergangszeit bzw. im Sommer die NutzerInnen die Fenster öffnen reduziert der Luftqualitätssensor automatisch die Luftmenge am Volumenstromregler und spart dadurch Stromkosten. Der Ventilator ist mit einer variablen Druckregelung ausgestattet. Dies bedeutet, dass alle Volumenstromregler vernetzt sein müssen und der Ventilator nur immer jenen Druck zur Verfügung stellt, dass alle Wohnungen die gewünschte Luftmenge erhalten und alle Volumenstromregler im sich im optimalen Regelbereich arbeiten. Dies bedeutet insbesondere bei Teillast eine deutliche Verringerung des Strombedarfes. Ein weiterer Vorteil der vernetzten Volumenstromregler ist die sofortige Fehlererkennung.

Typische Bestandteile des optimierten Komfort Systems:



Luftqualitätssensor und stufenlos ansteuerbarer Konstantvolumenstromregler (Bildquelle: Trox)

Einfache Bedieneinheit in der Wohnung mit den Stufen „Aus“, „Automatik“, „Intensiv (optional)“

(Bildquelle: Busch Jaeger)

Ventilator mit variabler Druckregelung und vernetzten Volumenstromregler (Bildquelle: Belimo)

Konkrete Merkmale:

- Optimierte Kaskadennutzung bzw. minimierte Anzahl von Luftdurchlässen
- Luftmengen nach ÖNORM H 6038 (1.000 ppm) (optional 800 ppm)
- „Aus – Automatik“ für NutzerInnen – „Intensiv“ als zusätzliche Option*

* Da der Volumenstromregler bei höheren CO₂-Werten ohnehin bis zum eingestellten Maximum öffnet ist eine „Intensiv“ Option größtenteils überflüssig. Nur für Emissionen ohne CO₂ (Kochen, etc.) hat sie einen Zusatznutzen.

- Minimale und maximale Luftmenge am VSR eingestellt
- Die Anlage läuft das ganze Jahr
- Möglichst mit Feuchterückgewinnung
- Variable Druckregelung beim Ventilator (max. 200 Pa, Ziel 150 Pa)
- Strombedarf max. 0,30 bis 0,40 W/(m³/h) (Durchschnittswert im Betrieb)
- Kosten Investition: derzeit ca. € 4.500 – 7.000 pro Wohnung, Ziel 3.500,- netto
- Betrieb: max. € 0,90 pro m² NF und Jahr (nur Strom und Filter)

4.4.4 Unterschiede der optimierten Systeme

Kostenunterschiede Investition

Das Standard-System bildet bei diesem Vergleich die Basis

- Low-Tech-System: (ca. - € 500,--)
 - Kleineres Lüftungsgerät (etwas geringere Luftmengen)
 - Kostengünstiger Volumenstromregler
 - Keine Bedieneinheit in der Wohnung
 - Keine elektrische Verkabelung
- Komfort-System: (ca. + € 500,--)
 - Regelbarer Volumenstromregler mit Bussystem
 - Vernetzung/Verkabelung der Volumenstromregler
 - Luftqualitätssensor (z.B. CO₂)

Hinweis: Keine Einsparung bei Luftleitungen beim Low-Tech-System angesetzt (sollte so ausgelegt werden, dass bei einer Sanierung in 20 Jahren auch eine höhere Luftmenge möglich ist).

Unterschiede im Betrieb

Das Standard-System bildet bei diesem Vergleich die Basis

- Low-Tech-System:
 - Geringere Luftqualität (1.400 statt 1.000 ppm)
 - Bei geringer Anwesenheit dennoch Probleme mit trockener Luft
 - Höherer spezifischer Stromverbrauch
 - Standard-System: (bildet die Vergleichsbasis)

- Probleme mit trockener Luft wenn Stufenschalter nicht bedient wird
- Komfort-System:
 - + Keine bzw. einfache Anpassung an Belegung notwendig
 - + Keine Probleme mit trockener Luft
 - + Geringerer Stromverbrauch durch optimale Anpassung an Bedarf und geöffnete Fenster und variable Druckregelung
 - + Noch besseres Geräuschniveau aufgrund vernetzter Volumenstromregler

Resümee

Aus der Sicht der NutzerInnen (geringes Geräuschniveau, Einfachheit, niedrige Betriebskosten) und der Energieeffizienz ist das Komfortsystem langfristig sicher die empfehlenswerteste Variante. Von Bauträgerseite sind die höheren Investitionskosten des Komfort-Systems mit den eingesparten Betreuungskosten (keine Anpassung an die Bewohneranzahl nötig, einfache Fehlererkennung) abzuwägen. Wesentlich ist das man sich bei der Entscheidung für ein Standard bzw. ein Low-Tech-System die spätere Aufwertung des Systems (z.B. bei der nächsten Sanierung) offen hält. Notwendig für eine Aufwertung sind lediglich eine entsprechende Auslegung der Luftleitungen sowie eine Leerverrohrung vom Ventilator zu den Volumenstromreglern. Beim Low-Tech System zusätzlich eine Leerverrohrung vom Platz einer möglichen Bedieneinheit zum Volumenstromregler. Wobei letztere nur notwendig ist wenn man später den NutzerInnen die Stufe „Aus“ unbedingt ermöglichen möchte.

4.4.5 Übersicht und Vergleich von Volumenstromreglern

Die Volumenstromregler für jede Wohnung stellen eines der Hauptunterscheidungsmerkmale der 3 Systeme bzw. ein wesentliches Kostenunterscheidungsmerkmal dar. Es wurde im Rahmen daher eine Übersicht über die gängigsten Volumenstromregler und deren Druckverluste bzw. Kosten erstellt.

In der Aufstellung wird zwischen folgenden Arten von Volumenstromreglern unterschieden:

1. Konstantvolumenstromregler – fix (KVR-fix)
2. Konstantvolumenstromregler – einstellbar (KVR-einstellbar)
3. Variabler Volumenstromregler – regelbar, nicht vernetzt (VSR-regelbar)
4. Vernetzte variable Volumenstromregler – regelbar, vernetzt (VSR-regelbar, vernetzt)

Der Volumenstrom muss laut ÖNORM H 6038:2014 an die tatsächliche Belegung angepasst werden. Es wird daher empfohlen nur noch einstellbare bzw. regelbare Volumenstromregler einzusetzen.

Volumenstromregelung – KVR oder VSR?

- Nach der H 6038:2014 muss der Volumenstrom der Wohnung an die tatsächliche Belegung angepasst werden. Es benötigt daher Volumenstromregler die einfach verstellbar oder regelbar sind*.

KVR-fix



KVR-einstellbar



Quelle Trox

VSR-regelbar



Quelle Pichlerluft

- Regelbare Volumenstromregler benötigen meist geringere Vordrücke (ca. 5 – 30 Pa) gegenüber fixen bzw. einstellbaren KVR's (30 – 80 Pa)

*Theoretisch könnte man fixe KVR's zur Anpassung an Belegung auch austauschen. Dies ist jedoch nicht wirklich praktikabel.

3

Weitere Information - siehe Präsentation „Volumenstromregler“ im elektronischen Anhang 3.

4.4.6 Druckverlust

Der Gesamtdruckverlust (interner und externer Druck) der Lüftungsanlage ist neben dem Gesamtwirkungsgrad der Ventilatoreinheit die bestimmende Größe für den spezifischen Strombedarf.

Spezifische Ventilatorleistung (SFP)

- Generell ergibt sich aus den physikalischen Gegebenheiten ein direkter Zusammenhang zwischen der spezifischen Ventilatorleistung (je Ventilator) und der gesamten Druckerhöhung. D.h. bei einem fixen Gesamtwirkungsgrad von Motor und Ventilator ist die spezifische Stromeffizienz nur mehr von der Druckerhöhung im Gesamtsystem (intern und extern) abhängig.

$$P_{SFP} = \frac{P}{q_v} = \frac{\Delta p}{\eta_{tot}}$$

- P_{SFP} spezifische Ventilatorleistung [$W \cdot m^{-3} \cdot s$]
- P elektrische Wirkleistung des Ventilatormotors [W]
- q_v Nennvolumenstrom durch den Ventilator [$m^3 \cdot s^{-1}$]
- Δp Gesamtdruckerhöhung des Ventilators [Pa]
- η_{tot} Gesamtwirkungsgrad von Ventilator, Motor, Antrieb, . [-]

Daher lässt sich berechnen, welcher Gesamtdruckverlust zulässig ist um einen spezifischen Strombedarf der Gesamtanlage zu erhalten:

Mindestwert für zentrale Anlagen im MFH

- 0,45 W/(m^3/h) für Gesamtanlage lt. ÖNORM H 6038:2014
- Entspricht 810 W/(m^3/s) pro Ventilator
- Kann nur erreicht werden bei:
 - Wirkungsgrad Antriebseinheit von: **50%**
 - Gesamter Druckverlust bei Betriebsbedingungen von: **405 Pa**
 - Wirkungsgrad Antriebseinheit von: **60%**
 - Gesamter Druckverlust bei Betriebsbedingungen von: **486 Pa**
 - Wirkungsgrad Antriebseinheit von: **70%**
 - Gesamter Druckverlust bei Betriebsbedingungen von: **567 Pa**

Zielwerte für zentrale Anlagen im MFH

- 0,35 W/(m³/h) für Gesamtanlage lt. Komfortlüftung.at
- Entspricht 630 Ws/m³ pro Ventilator
- Kann nur erreicht werden bei:
 - Wirkungsgrad Antriebseinheit von: 50%
 - Gesamter Druckverlust bei Betriebsbedingungen von: 315 Pa
 - Wirkungsgrad Antriebseinheit von: 60%
 - Gesamter Druckverlust bei Betriebsbedingungen von: 378 Pa
 - Wirkungsgrad Antriebseinheit von: 70%
 - Gesamter Druckverlust bei Betriebsbedingungen von: 441 Pa

Weitere Information - siehe Präsentation „Druckverlust“ im elektronischen Anhang 4.

4.4.7 Vereinfachte Einregulierung

Bei Schlauchsystemen mit einer zentralen Verteilbox ergibt sich die Möglichkeit mit vorberechneten Elementen den gewünschten Volumenstrom für die einzelnen Räume voreinzustellen. D.h. die Gesamtluftmenge wird durch den Volumenstromregler bestimmt und die Aufteilung der Räume erfolgt durch die voreingestellten Elemente in der Verteilbox. Mit der Verwendung von fixen Zuluft- bzw. Abluftelementen kann ein System geschaffen werden, dass weder absichtlich noch unabsichtlich z.B. bei der Reinigung durch die/den NutzerIn verstellt werden kann.

Es wurden drei unterschiedliche Systeme getestet, wobei nur ein System der Hersteller auch ein Berechnungstool bereitstellt (Fa. Viessmann). Die grundsätzliche Aussage der durchgeführten Messungen und Versuche ergaben eine hinreichende Genauigkeit eines voreingestellten Systems. Eine dezidierte Einregulierung bringt bei gewissenhafter Ausführung zwar noch bessere Ergebnisse. In der Praxis dürften die Abweichungen von voreingestellten Systemen und eingemessenen Systemen aber in etwa gleich sein. Bei Systemen ohne Verstellmöglichkeit für den Nutzer ist über die Jahre eher eine korrektere Aufteilung der Luftmengen zu den einzelnen Räumen zu erwarten.

Weitere Information - siehe Präsentation „vereinfachte Einregulierung“ im elektronischen Anhang 5.

4.4.8 Kostenübersicht derzeit

Um den derzeitigen Entwicklungsstand und Kosten bei den Firmen zu zentralen Lüftungssystemen abzufragen, wurde im Sommer 2014 ein Fragebogen an etwa 50 Firmen versandt. Die Rückmeldungen dazu waren trotz nachtelefonieren so gering, dass keine Auswertung gemacht wurde, sondern Einzelergebnisse in die Diskussion der Systemvarianten eingeflossen sind.

Besser gelang die Abfrage zur derzeitigen Kostensituation von zentralen Lüftungen im MFH in Österreich. Dazu wurde eine Befragung bei den PlanerInnen und Wohnbauträgern über die derzeitigen Kosten von Lüftungsanlagen durchgeführt. Im Folgenden sind die Ergebnisse in Tabellenform zu finden.

Tabelle 7 Anonymisierte Netto-Kosten in EURO pro Wohneinheit von 19 zentralen Be- und Entlüftungsanlagen mit WRG in Österreich (Stand Ende Jänner 2015)

Wohneinheiten	Zentrale Be- und Entlüftung mit WRG [EURO netto/WE]
44	4809
30	4363
16	5044
28	4523
21	5187
22	5031
8	5755
30	5181
16	5610
21	5318
14	5680
72	4801
20	4739
72	4703
48	5119
122	4545
12	3620
17	4040
23	7073
Ø	5007

4.5 Brandschutz – Optimierungen von Komponenten und Systemen

4.5.1 Optimierungsmaßnahmen bei Brandschutzklappen

Optimierte Produkte

Am Markt werden bereits Produkte angeboten, die im Hinblick auf Druckverlustreduktion den freien Querschnitt erhöhen bzw. gar nicht beeinflussen. Optimierungen bei der Gestaltung des Klappenblattanschlages (Fa. Aumair) oder die Ausführung eines Lamellenpaketes (Fa. Camfil Actionair) wurden bereits umgesetzt.



Abbildung 30 Brandschutzklappen ohne Klappenblattanschlag (Fa. Aumair)

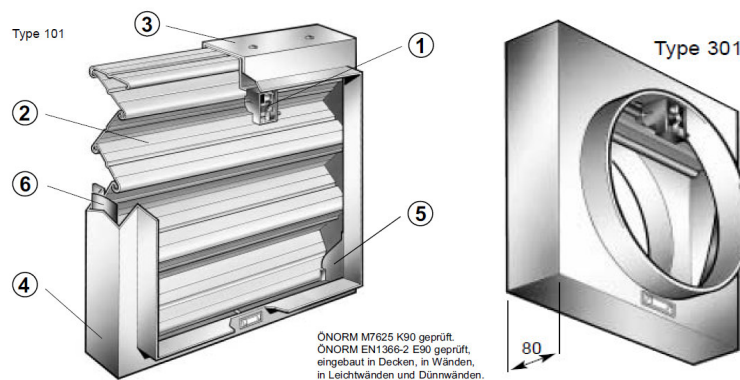


Abbildung 31 Brandschutzklappen mit freiem Querschnitt - Lamellenpaket (Fa. Camfil Actionair)

Probleme ergeben sich jedoch bei den Modellen 101 und 301, diese sind nur mit thermischer Auslösung und Endschalter, aber nicht mit Federrücklaufmotor verfügbar. Weiter gibt es Einschränkungen bei der Klassifizierung: Diese zwei Produkte verfügen zwar über ein E90 Zertifikat, es fehlen aber das Zertifikat für das weitere Hauptkriterium „Isolation (I)“ und das CE-Kennzeichen. In der ÖNORM H 6025 wird jedoch bei Vorlage eines Brandschutzkonzeptes festgehalten:

„Brandschutzklappen der Feuerwiderstandsklasse E 90 und E 60 sind ausschließlich bei Vorliegen eines Brandschutzkonzeptes zulässig, mit dem das Erreichen des geforderten Schutzniveaus mit Brandschutzklappen, die das Temperaturkriterium (I-Kriterium) nicht erfüllen, sichergestellt wird.“

Die Brandschutzklappen mit freiem Querschnitt und wandanliegendem Klappenblatt (Fa. Geba) sind jedoch für den ordnungsgemäßen Einbau in Österreich geprüft.



Abbildung 32 Brandschutzklappe mit freiem Querschnitt und wandanliegendem Klappenblatt (Fa. Geba)

Kontrollprüfung

Die ÖNORM H 6031 schreibt im Umfang zur Kontrollprüfung von Brandschutzklappen unter anderem eine visuelle Kontrolle von elektrischen Außenanschlüssen und manuelles Auslösen vor Ort vor. Somit kann auf kostenintensive Revisionsöffnungen nicht verzichtet werden. Eine Verlängerung der Kontrollperiode könnte die Kosten reduzieren. Eine Inspektion der Brandschutzklappen mittels einer Kanalkamera („Snake-cam“) könnte dabei ebenso sinnvoll sein.

Eine normkonforme Funktionskontrolle durch „Fernwartung“ über die Gebäudeleittechnik – im Sinne einer „zustandsabhängigen Instandhaltung“ wie sie in anderen EU-Ländern praktiziert wird - ist somit in Österreich derzeit nicht umsetzbar.

4.5.2 Optimierungsmaßnahmen bei Feuerschutzabschlüssen

Am Markt werden bereits Produkte angeboten die, im Hinblick auf Druckverlustreduktion, den freien Rohrquerschnitt nicht beeinflussen. Die Einbauteile zum Verschluss im Brandfall in Form von Klappenblatt oder mehrteiligen Stahlklappen liegen außerhalb des Strömungsquerschnittes. Angeführte Produkte verfügen über die notwendigen Prüf- und Übereinstimmungszeugnisse.

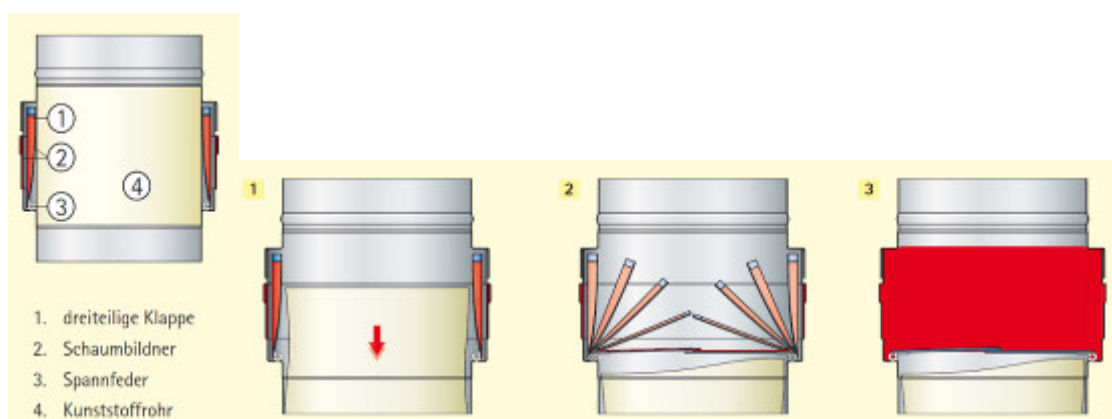


Abbildung 33 FLI-VE Feuerschutzabschluss mit mehrteiligen Stahlklappen AVR (Fa. Geba)

4.5.3 Optimierung durch Produkt- und Systemvergleiche

In Kooperation mit den Herstellern und Anbietern von Brandschutzkomponenten konnte folgender Systemvergleich zwischen Brandschutzklappen und Feuerschutzabschlüssen erstellt werden. Dabei wurde neben der Anforderung zur Vermeidung der Übertragung von Feuer und Rauch, auch die

Kriterien Kontrolle/Wartung, Einfluss auf die Reinigbarkeit des Systems, Abmessungseinschränkungen, Druckverluste und Kosten vorerst qualitativ bewertet.

	Brandschutzklappen		Feuerschutzabschlüsse	
Kennzeichnung	CE-Kennzeichnung	Bewertung	ÜA-Kennzeichnung	Bewertung
Regelwerke	Produktnorm ÖNORM EN 15650 Prüfnorm ÖNORM EN 1366-2 Klassifizierungsnorm ÖNORM EN 13501-3		Verwendungsgrundsätze ÖIB-095.4-001/06-005 ÖIB-095.4-002/05-009	
Kontrollprüfung	mindestens 1 x jährlich entsprechend ÖNORM H 6031		nicht notwendig Installationsattest II, ÖNORM H 6027	
Stellungsanzeige optisch elektrisch	von außen möglich möglich		von außen möglich (produktspezifisch) möglich (produktspezifisch)	
Revisionsöffnungen	notwendig		nicht notwendig Zugänglichkeit muss möglich sein	
maximale Abmessung	eckig und rund - gemäß Prüfberichte		rund - bis DN160 (produktspezifisch)	
Druckverluste	niedrig freier Querschnitt ist möglich		niedrig freier Querschnitt ist möglich Druckverlust der Kaltrauchsperrung hoch	
Schutzziel Kaltrauchübertragung	nur über Rauchdetektion und Federrücklaufmotor zu erreichen		einfach über Kaltrauchsperrung zu erreichen	
Reinigbarkeit des Systems	ungünstige Einflüsse		ungünstige Einflüsse	
Investitionskosten	vergleichsweise hoch		vergleichsweise niedrig	
Betriebskosten	vergleichsweise hoch		vergleichsweise niedrig	

■ Vorteile
■ Nachteile

Tabelle 8 Produktvergleich Brandschutzklappen und Feuerschutzabschlüsse

Nach dem qualitativen Vergleich der zwei Komponentengruppen zur Erreichung der Schutzziele – Vermeidung der Übertragung von Feuer und Rauch - erfolgte eine quantitative Gegenüberstellung. Es muss an dieser Stelle unbedingt auf folgendes hingewiesen werden:

Feuerschutzabschlüsse

Feuerschutzabschlüsse müssen zur Vermeidung der Rauchübertragung zwingend mit einer Kaltrauchsperrung montiert werden. Weiters ist die Schließung dieser gravimetrisch wirkenden Rückschlagklappe ausschließlich bei ausgeschaltetem Zentrallüftungsgerät gewährleistet. D.h. eine externe Rauchdetektion, die zur Abschaltung des Lüftungsgerätes führt, ist Voraussetzung für die Erreichung des Schutzzieles „Vermeidung der Rauchübertragung“ unterhalb des Temperaturniveaus für die Auslösung des Klappenblattes bei ca. 72°C.

Brandschutzklappen

Bei normgerechter Montage und Betrieb von Brandschutzklappen ist der Einbau einer Kaltrauchsperrung nicht vorgesehen. D.h. eine Schließung der Brandschutzklappe, die zur Erreichung des Schutzzieles „Vermeidung der Rauchübertragung“ führt, ist unterhalb des Temperaturniveaus für die Auslösung des Klappenblattes (bei ca. 72°C) nur durch eine externe Rauchdetektion in Verbindung mit einem Federrücklaufmotor an der Brandschutzklappe und entsprechender Ansteuerung gewährleistet.

Aus diesem Grund wurden die Vergleiche der *Brandschutzeinheit* angestellt, d.h. alle Bauteile mit einbezogen, die jeweils zur Erreichung beider Schutzziele (Feuer und Rauch) notwendig sind. Diese

beiden Anmerkungen sind insbesondere wichtig, da die Kaltrauchsperrse sich auf den Druckverlust erheblich auswirkt, der Stellmotor an der Außenseite einer Brandschutzklappe jedoch nicht.

Allgemeines zur Auswahl der Produkte

Für die Systemvergleiche wurden Produkte ausgewählt, die im Hinblick auf Energieeffizienz und Vereinfachung die beste Voraussetzung mit sich bringen. Auch auf Wartung, Reinigbarkeit und Funktionalität wurde großer Wert gelegt. In mehrgeschossigen Wohngebäuden beträgt die Dimension der Luftleitungen für die Zuluft und Abluft je Wohnung im überwiegenden Maße DN125. Bei den Brandschutzkomponenten handelt sich daher um folgende Produkte:

Abkürzung	Beschreibung	Hersteller	Type
EI90	Brandschutzklappe mit Klappenblatt	Trox	FKRS-EU
GBK-EU opt	Brandschutzklappe mit freiem Querschnitt	Geba	GBK-K90-EU
FLI-VE	Feuerschutzabschluss mit Klappenblatt	Air Fire Tech	FSA
FLI-VE opt	Feuerschutzabschluss mit freiem Querschnitt	Geba	AVR
KRS	Kaltrauchsperrse in Kombination bei FLI-VE	Air Fire Tech	LRK-MH

Tabelle 9 Legende der ausgewählten Brandschutzkomponenten

Abkürzung	Beschreibung	Hersteller	Type
KRKW	Kaltrauchsperrse temperaturbeständig bis 210°C	Wernig	KRKW
LRK-MH	Kaltrauchsperrse hochtemperaturbeständig	Air Fire Tech	LRK-MH
KRS-M	Kaltrauchsperrse temperaturbeständig bis 260°C	Geba	KRS-M
KAK	Kaltrauchsperrse nicht temperaturbeständig	Helios	KAK

Tabelle 10 Legende der ausgewählten Kaltrauchsperrsen

Vergleichskriterium Druckverlust

Der Druckverlust gilt als entscheidendes Kriterium bezüglich des Stromverbrauchs einer Wohnraumlüftungsanlage und wirkt sich wesentlich auf die Betriebskosten und die spezifische Ventilatorleistung aus. Die Diagramme wurden bis zu einem Volumenstrom von 150 m³/h dargestellt. Das entspricht bei einer Luftleitungsdimension von DN125 der in der ÖNORM H 6038 empfohlenen Strömungsgeschwindigkeit von 3,5 m/s.

Vergleich diverser Brandschutzeinheiten

Es lässt sich die hohe Druckverlustdifferenz von bis zu 45 Pa, verursacht durch die Kaltrauchsperrsen bei den zwei Varianten der Feuerschutzabschlüsse gegenüber den Brandschutzklappen deutlich erkennen. Da die Kaltrauchsperrsen erst ab einem Differenzdruck von über 10 Pa öffnen, ist der untere Volumenstrombereich nur als Näherung zu interpretieren. Der große Vorteil der Brandschutzklappen mit freiem Querschnitt ist im Hinblick eines Druckverlustminimums hervorzuheben.

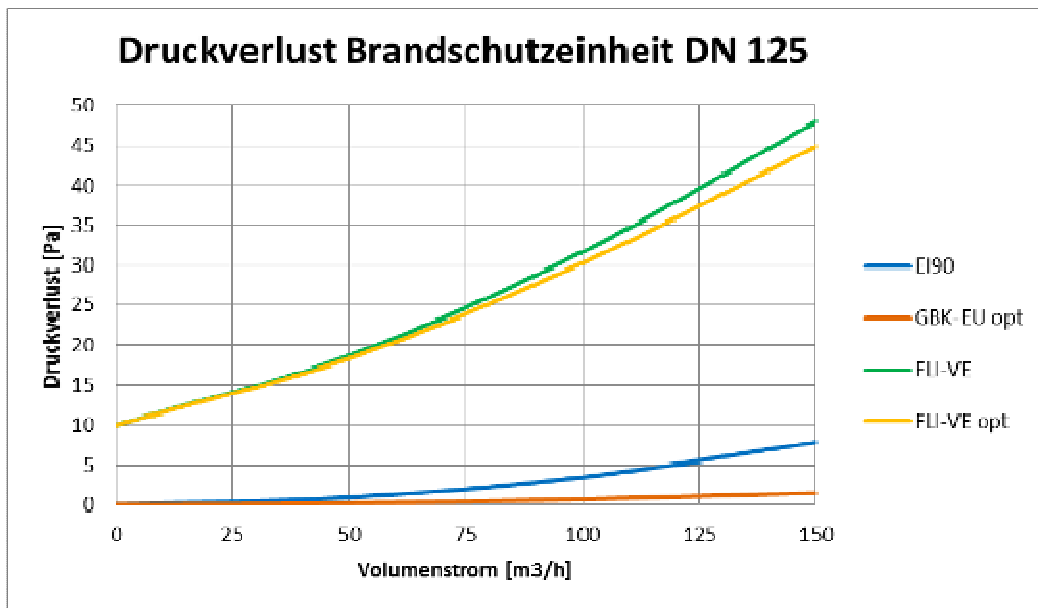


Abbildung 34 Druckverlustvergleich der Brandschutzeinheiten

Vergleich diverser Kaltrauchsperrn

Der Öffnungsdruck der Kaltrauchsperrn (>10Pa) ist mit einer Schraube verstellbar. Daher resultieren auch die unterschiedlichen Werte im niedrigen Volumenstrombereich, der wiederum nur als Näherung zu interpretieren ist. Im Nennvolumenstrombereich weichen jedoch die Druckverlustdifferenzen unterschiedlicher Hersteller bis zu 25% (bei 150 m³/h) voneinander ab. Allgemein ist hier anzumerken, dass der Druckverlust einer Brandschutzeinheit, bestehend aus einem Feuerschutzabschluss und einer Kaltrauchsperrn, fast ausschließlich aus dem Druckverlust der Kaltrauchsperrn resultiert. Aus diesem Grund wird der Optimierung der Kaltrauchsperrn ein hohes Maß an Bedeutung zugeordnet.

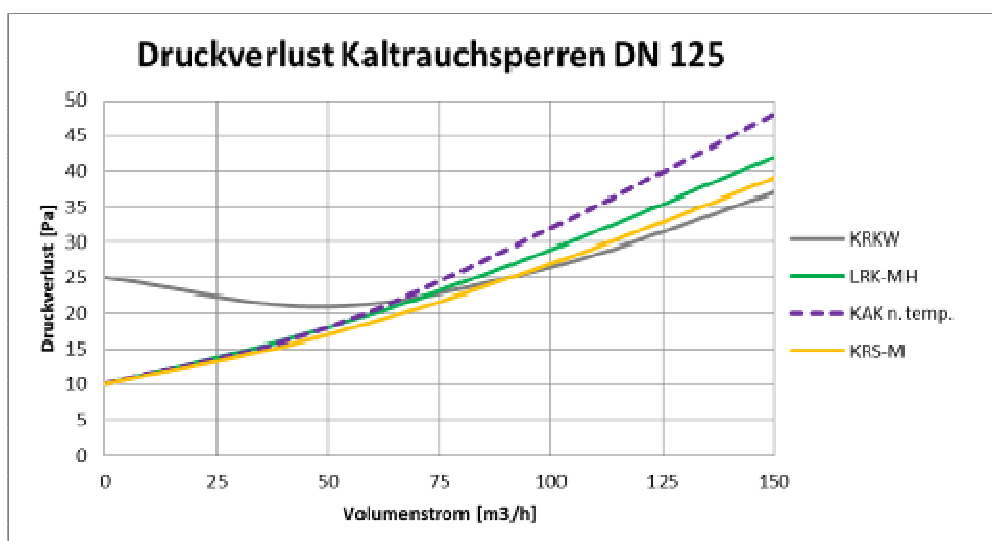


Abbildung 35 Druckverlustvergleich der Kaltrauchsperrn

Vergleichskriterium Kosten

Es wurden sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten innerhalb eines Zeitraumes von 25 Jahren gegenüber gestellt. Neben dem Vergleich der zwei Komponentengruppen (Brandschutzklappen/FLI-VE) konnten auch Produkte verschiedener Hersteller gegenübergestellt werden.

Um eine valide Gegenüberstellung der Komponentengruppen zur Erreichung beider Schutzziele zu gewährleisten, müsste eine Brandschutzklappe mit Federrücklaufmotor und entsprechender Ansteuerung kalkuliert werden. Da der finanzielle Aufwand für die Gebäudeleittechnik von Objekt zu Objekt stark variiert, wurde als Mechanismus für die Brandschutzklappe die thermische Auslösung mittels Schmelzlot bei 72°C gewählt – wohl bedacht, dass damit das Schutzziel „Vermeidung der Kaltrauchübertragung“ nicht erfüllt wird. Angemerkt sei an dieser Stelle, dass der Einbau von Brandschutzklappen auch in dieser Ausführung zulässig ist.

Die Betriebskosten setzen sich aus den Energiekosten für den Strombedarf und Wartungskosten (Kontrollprüfung) zusammen. Die Kosten für die periodische Kontrollprüfung von Brandschutzklappen belaufen sich auf bis zu EURO 30.- je Brandschutzklappe und Jahr⁸, was einen großen Anteil der Anlagenbetriebskosten verursacht.

Bezüglich Investitionskosten zeigt sich erst ab der Dimension DN160 ein Vorteil für die, wohlgemerkt kostengünstigste Variante der Brandschutzklappe. Es wird angemerkt, dass die Brandschutzeinheit mit freiem Querschnitt (FLI-VE opt) in der meist verwendeten Dimension DN125 die geringsten Investitionskosten aufweist.

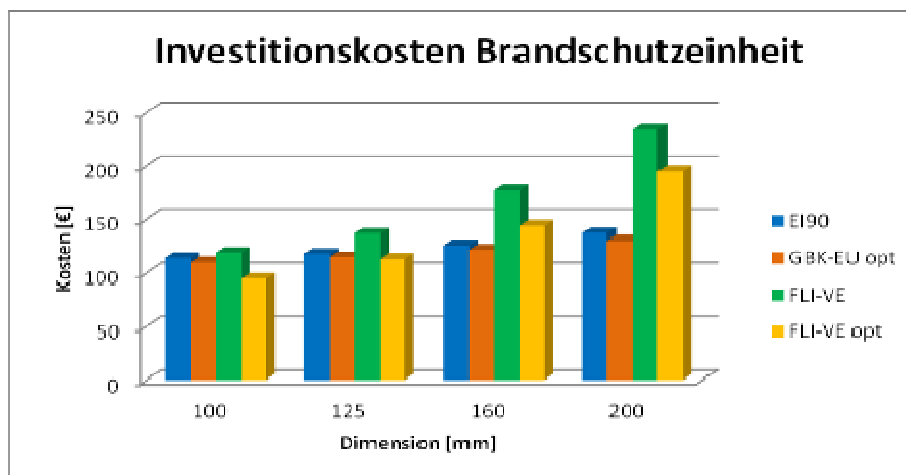


Abbildung 36 Investitionskostenvergleich der Brandschutzeinheiten

Für den Kostenvergleich über den Bezugszeitraum von 25 Jahren zeigt sich wiederum ein erheblicher Vorteil für den Einsatz von Feuerschutzabschlüssen mit freiem Querschnitt. Das ist ausschließlich auf die hohen Kosten für die Kontrollprüfung der Brandschutzklappen zurückzuführen.

⁸ Angaben der Wohnbauträger: Alpenländische Heimstätte, Neue Heimat Tirol

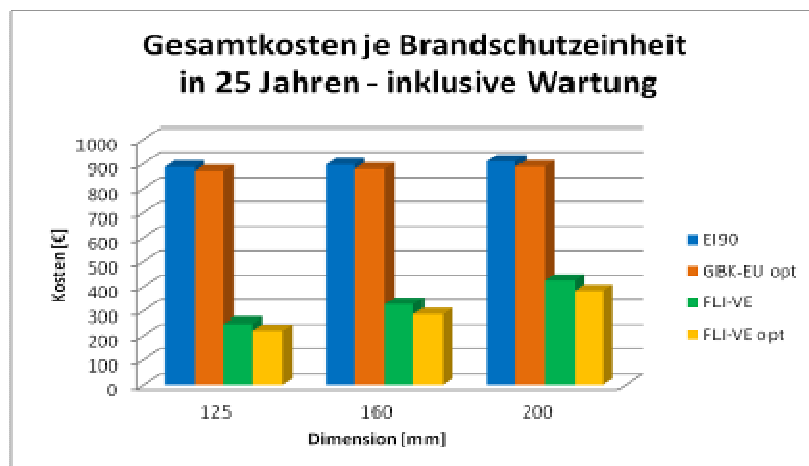


Abbildung 37 Gesamtkostenvergleich mit Wartung

Betrachtet man lediglich die Investitionskosten und Energiekosten im Betrachtungszeitraum, ergibt sich durch den Wegfall der Wartungskosten für die Brandschutzklappen eine Differenz von ca. € 1.300.- je Wohnungseinheit (Zuluft und Abluft in der Anschlussdimension DN125) zu der Ausführung mit Feuerschutzabschlüssen.

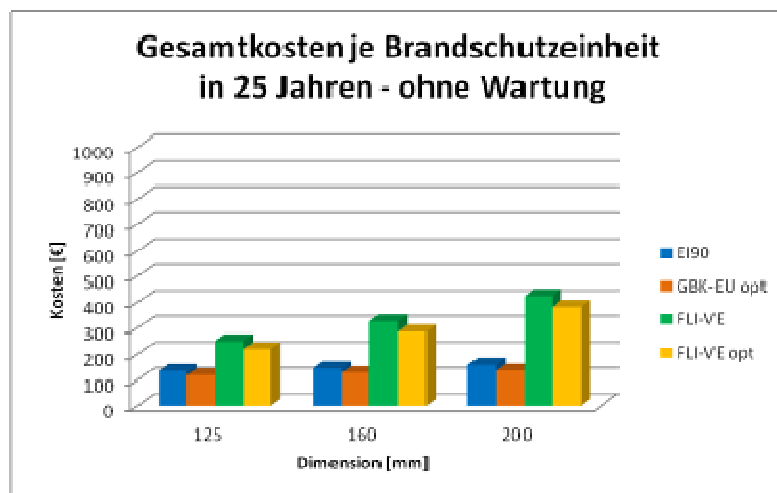


Abbildung 38 Gesamtkostenvergleich ohne Wartung

4.5.4 Drei Optimierte Varianten für Brandschutzlösungen

In Annäherung an die im Projekt ausgewählten und vermessenen Demogebäude wurde ein Mustergebäude spezifiziert. Für dieses Gebäude mit vier Wohngeschoßen wurden drei optimierte Varianten ausgearbeitet, die zur Erreichung der Brandschutzziele führen.

Als Brandabschnitte wurden der Installationsschacht und jede Wohnung als Einheit definiert. Das Zentrallüftungsgerät ist am Dach positioniert. Kein weiteres Gebäude steht in unmittelbarer Nähe. Sowohl die Plandarstellung des Gebäudes als auch jene der drei Brandschutzkonzepte sind im Anhang 7.1 abgebildet.

Variante 1 - Normkonforme Variante optimierter Produkte

Aus den vorangegangenen System- und Gesamtkostenvergleichen ist ersichtlich, dass sich durch den Einsatz optimierter, bereits verfügbarer Produkte, sowohl der Energieaufwand als auch die Kosten auf ein Minimum reduzieren lassen.

Diese Variante entspricht dem aktuellen Stand der Normen und Richtlinien und führt zur Erreichung der angestrebten Brandschutzziele.

Systemkomponenten:

- Feuerschutzabschlüsse mit freiem Querschnitt (FLI-VE opt) in jeder Wohnung
- Kaltrauchsperrern mit geringstem Druckverlust (KRKW) in jeder Wohnung
- Rauchdetektion, die zur Abschaltung des Zentrallüftungsgerätes führt

Variante 2 - Objektspezifische Variante mit Brandschutzkonzept

In Zusammenarbeit mit Brandschutzbehörden und Brandschutzsachverständigen wurden objektspezifische Lösungen gefunden, die trotz Einsparungen zur Erreichung der Schutzziele führen. Mithilfe eines Brandschutzkonzeptes wurden zwei, im Brandfall auftretende Szenarien betrachtet. Es wurden dementsprechend notwendige Systemkomponenten eingebaut, deren Wirkungsweise die Anforderungen an den Brandschutz erfüllen.

Die Wirkungsweise des Gesamtsystems wird durch einen Stromausfall nicht beeinträchtigt. Der Verzicht auf Feuerschutzabschlüsse und Brandschutzklappen reduziert die Gesamtkosten. Ein Teil der Investitionskosten wird jedoch durch die Kosten für die nicht brennbare Einblasdämmung aufgewogen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Einblasdämmung neben dem Brandschutz gleichzeitig auch die thermische Isolierung vieler haustechnischer Leitungen im Schacht gewährleistet.

Systemkomponenten:

- Schachtausflockung mit nicht brennbarer Einblasdämmung und Beplankung (EI90)
- Hochtemperaturbeständige Kaltrauchsperrern mit geringstem Druckverlust (KRKW) in jeder Wohnung
- Rauchdetektion, die zur Abschaltung des Zentrallüftungsgerätes führt

Szenario 1: Brand oder Rauchentwicklung auf dem Dach

Bei Kalt- oder Heißeintritt vom Dach in das System schaltet die Rauchdetektion im Zentrallüftungsgerät die Lüftungsanlage aus. Somit kann weder Kaltrauch- noch Heißeintritt in die Wohnungen eintreten. Die Tragfähigkeit des Bauwerkes bleibt durch die Ausführung des Schachtes über bestimmte Zeit erhalten.

Szenario 2: Brand oder Rauchentwicklung in einer Wohnung

Bei Kalt- oder Heißeintritt aus einer Wohnung in das System schaltet die Rauchdetektion im Zentrallüftungsgerät die Lüftungsanlage aus. Somit kann weder Kaltrauch- noch Heißeintritt in andere Wohnungen eintreten. Die Tragfähigkeit des Bauwerkes bleibt durch die Ausführung des Schachtes über bestimmte Zeit erhalten.

Variante 3 - Energieeffizienteste Variante

Legt man den Fokus lediglich auf den Energieverbrauch und die damit verbundenen Kosten, ergibt sich als effizienteste Variante die Ausführung mit optimierten Brandschutzklappen. Um auch dem Schutzziel der Vermeidung der Kaltrauchübertragung gerecht zu werden, ist jedoch die Ausstattung jeder Klappe mit Federrücklaufmotor und entsprechender Ansteuerung über eine Rauchmeldeanlage notwendig. Je nach regelungstechnischer Infrastruktur des Gebäudes (Gebäudeleittechnik) relativiert sich dieser finanzielle Mehraufwand für die Ansteuerung der Brandschutzklappen. Weiter könnte mit dieser Variante eine Funktionskontrolle der Brandschutzklappen zentral erfolgen und somit die Kosten für Wartung und Kontrolle reduziert werden. Wie bereits erwähnt ist jedoch in Österreich derzeit eine visuelle Kontrolle jeder Brandschutzklappe vorgesehen.

Systemkomponenten:

- Brandschutzklappen mit freiem Querschnitt (GBK-EU opt) in jeder Wohnung

- Federrücklaufmotor und Endschalter an jeder Brandschutzklappe

- Rauchdetektion zur Ansteuerung der Brandschutzklappen bzw. Abschaltung des Zentrallüftungsgerätes

4.5.5 Zusammenfassung zum Spezialthema Brandschutz

Es wurde im Zuge diverser Workshops und beim Normungsinstitut wiederholt eine Vereinfachung der Regulative (Normen, Richtlinien) angeregt. Viele Gespräche mit Planern und ausführenden Unternehmen zeigte, dass die Komplexität der Brandschutzverordnungen häufig zur Überforderung führt und daher oftmals unzureichende Lösungen zur Ausführung kommen, die den derzeitigen Regulativen teilweise nicht gerecht werden.

Weiter zeigte sich, dass objektspezifische Brandschutzkonzepte die Flexibilität erhöhen und individuelle Lösungen zulassen, die zur Erreichung der geforderten Schutzziele führen.

Alle drei vorgeschlagenen Lösungsvarianten sind auch umsetzbar, wenn das Zentrallüftungsgerät in einer Kellerzentrale situiert wird. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass dadurch zusätzliche Brandabschnitte entstehen, bei deren Durchdringung wiederum entsprechende Brandschutzkomponenten eingesetzt werden müssen. Es kommt in den überwiegenden Fällen zu einem Mehraufwand an Brandschutzklappen in der Technikzentrale und beim Eintritt in den Installationsschacht.

Allgemein gilt, dass eine frühzeitige Überlegung der Brandschutzstrategie zu deutlichen Vereinfachungen der Brandschutzlösungen führt. Die Aufstellung des Zentralgerätes auf dem Dach ist jedenfalls der Aufstellung in Kellerzentralen vorzuziehen. Im Hinblick auf Hygiene, Reinigung, Druckverlust und Kosten sind Produkte mit freiem Querschnitt immer von Vorteil. Bei den Kaltrauchsperrern zeigte sich jedoch noch ein großes Optimierungspotential bezüglich der Reduzierung des Druckverlustes.

4.5.6 Spezialthema Raumheizgeräte

Der Trend, biogene Brennstoffe in Form von Stückholz und Holzpresslingen (Briketts und Pellets) in entsprechenden Raumheizgeräten zu verbrennen, nimmt wieder zu. Jeder Verbrennungsprozess benötigt stets die Zufuhr von Luftsauerstoff. Bei Raumheizgeräten wurde bisher die Verbrennungsluft vorwiegend dem Aufstellungsraum entnommen, also raumluftabhängig betrieben. Besondere Vorsicht ist bei luftdichten Gebäudehüllen und/oder parallelem Betrieb der Feuerstätte und mechanischen Lüftungsanlagen geboten. Grund ist die unzureichende Nachströmung der Verbrennungsluft aus dem Freien, die zu einem Unterdruck im Gebäude führen kann. Die Folge kann der Austritt von Rauchgasen in den Innenraum sein, wodurch hohe Schadstoffkonzentrationen in der Atemluft möglich wären.

Daher wird der Einbau von raumluftunabhängigen Feuerstätten, die den Nachweis der Raumluftunabhängigkeit nach DIN 18897-1 erbringen, angeraten. Erst eine externe Verbrennungsluftzufuhr ermöglicht einen störungsfreien Betrieb des Raumheizgerätes. Besteht durch den parallelen Betrieb raumluftabsaugender Anlagen trotzdem die Gefahr, dass ein Unterdruck im Raum von 8 Pa unterschritten wird, so sind zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen, wie beispielsweise ein Differenzdruckwächter, erforderlich.

4.6 Systemvereinfachung und Weiterentwicklung der Komponenten

4.6.1 Entwicklung eines Koaxialrohres für die Außen- und Fortluftauslässe

Prinzip: Bei wohnungszentralen Anlagen müssen normalerweise zwei Kernlochbohrungen vorgenommen werden und es sind zwei verschiedene Rohre so wie ein Ein-/ und Auslass notwendig. Ziel der Entwicklung des Koaxialrohres war es, ein hochwertiges vorgefertigtes Produkt, zu gestalten, welches die Installation von Lüftungssystemen vereinfacht.

In [36] wurde das Prinzip bereits erläutert. Die rechnerische Auslegung der Durchmesser von Innen- und Außenrohr sowie die notwendige Leistung für den Frostschutz wurden ebenfalls schon hergeleitet. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde eine Skizze in SktechUp (Trimble) [51] gefertigt, die als Vorlage für die Fertigung eines Funktionsmusters an die Fa. Poloplast verschickt wurde (Abbildung 39 und Abbildung 40).

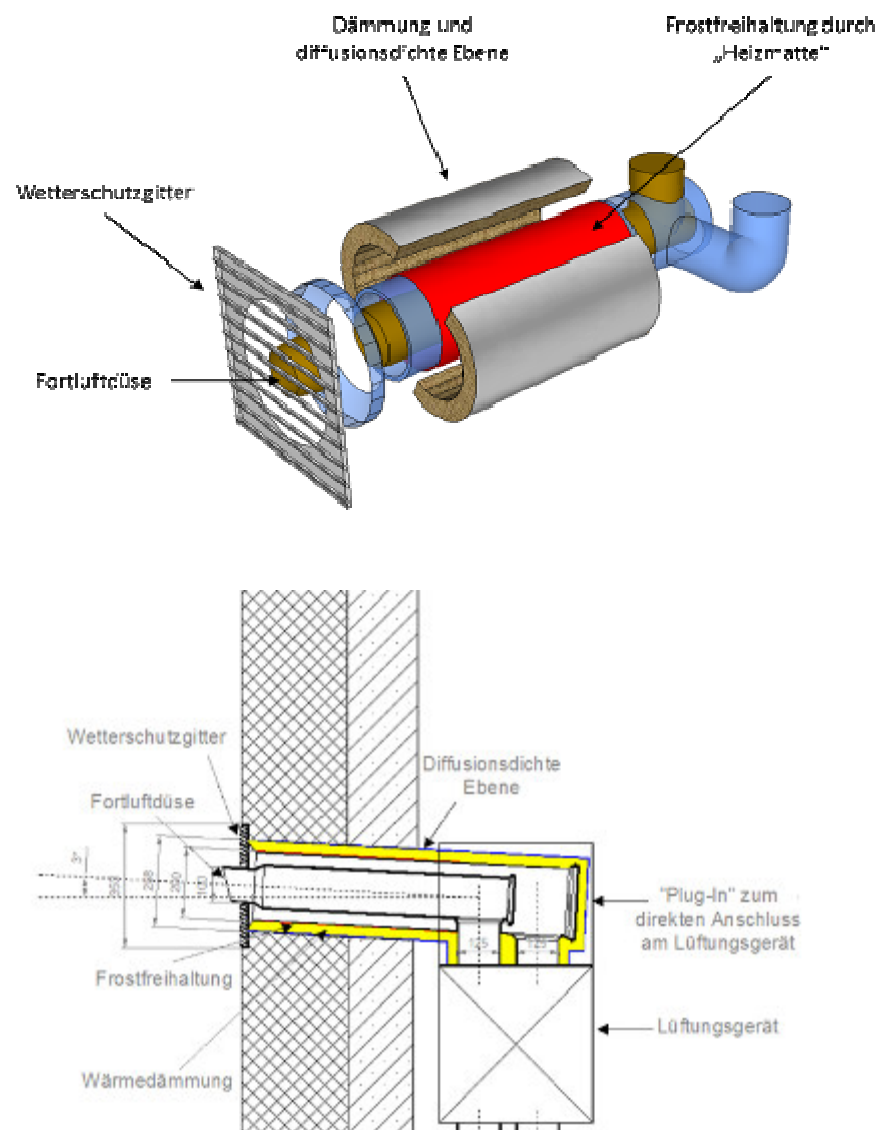


Abbildung 39 Skizzen des Koaxialrohres und der Frostschutz “Heizmatte” in SktechUp und in CAD als Vorlage für das Funktionsmuster.



Abbildung 40 Funktionsmuster des Koaxialrohres der Fa. Poloplast.

Untersuchung zur Kurzschlussströmung:

Bei einem gut funktionierenden Koaxialrohr sollte die Abluft nicht in signifikanten Anteilen durch das Zuluft-Gitter wieder eingesaugt werden (Geruchsübertragung durch Kurzschlussströmung). Neben anderen Details, beeinflusst die Gestaltung des Zuluft-Gitters das Risiko einer Kurzschlussströmung. Es wurden zwei verschiedene Arten von Gittern und Düsen mit typischen Volumenströmen ($65 \text{ m}^3/\text{h}$ und $120 \text{ m}^3/\text{h}$) getestet. Zuerst wurden Versuche im Labor mit Nebel zur Strömungsvisualisierung gemacht, um eine visuelle Überprüfung eventueller Rückströmung vornehmen zu können (Abbildung 41).



Abbildung 41 Visualisierung der Rückströmung mit Nebel in der Fortluft. Links bei $64 \text{ m}^3/\text{h}$, Rechts bei $120 \text{ m}^3/\text{h}$.

Zusätzlich zur qualitativen Visualisierung wurde eine quantitative Messung mit Tracergas durchgeführt um den Anteil von Rückströmung zu messen. Hierfür wurde CO_2 in einer hohen Konzentration in den

Fortluftkanal eingeleitet. Anschließend wurde die Konzentration an CO₂ in der Luft in der angesaugten Außenluft gemessen. Der Anstieg der CO₂-Konzentration über das Durchschnittsniveau der Außenluft konnte so als Indikator für Fortluftrückströmung genutzt werden.

Frostschutz:

Um das Gefrieren von Kondensat im Wärmeübertrager zu verhindern, muss die Außenluft vorgeheizt werden (typisch für Passivhaus-zertifizierte Lüftungs-Systeme sind sind Frostschutzgrenztemperaturen der Außenluft von -3°C). Für das Koaxialrohr wurde eine 1m lange elektrische Heizfolie als Prototyp entwickelt und um das Außenrohr (Lufteinlass) gewickelt. Die dafür benötigte Energie wurde vorab in einer Studie [36] auf 766 W berechnet. Messungen wurden in Klimakammern durchgeführt, um die berechnete Energie für die geforderte Vorerwärmung zu validieren. Das Verhalten der Lufttemperaturen im Außenrohr (Außenluft und Erhitzung) mit unterschiedlichen Regelungssystemen (on/off, Hysterese und PID-Regler) wurde in einem Simulink-Modell (Mathworks)[42] abgebildet. Ziel war es, zu erkennen, welches der Systeme das effizienteste ist. Mit Hilfe einer Implementierung dieser Regelungssysteme in LabView [53] wurden diese auch am Funktionsmuster ausprobiert, um das Simulationsmodell zu validieren.

4.6.2 Aktive Überströmer – Konzept, Produkte, Messung, Optimierungen

Aktive Überströmer eignen sich insbesondere für die Sanierung, werden aber auch im Neubau eingesetzt, wenn das Zuluftkanalnetz und der entsprechende Trockenbau für Deckenabhängung oder Abkofferung vermieden werden soll. In diesem Fall wird die Zuluft nicht mehr wie üblich in die Schlafräume, sondern nur in eine sog. „Mischluftzone“ eingebracht (Wohnzimmer oder Gang). Durch kleine, in der Wand, im Türsturz, im Türrahmen oder im Türblatt eingebaute Ventilatoren (aktive Überströmelemente) wird die Luft aus dieser Mischluftzone in die Zimmer verteilt. Die verbrauchte Luft strömt dann über „passive“ Überströmelemente (Türspalt, etc.) wieder in die Mischluftzone zurück und wird wie üblich in den Funktionsräumen mittels Abluftkanälen abgeführt (Abbildung 42).

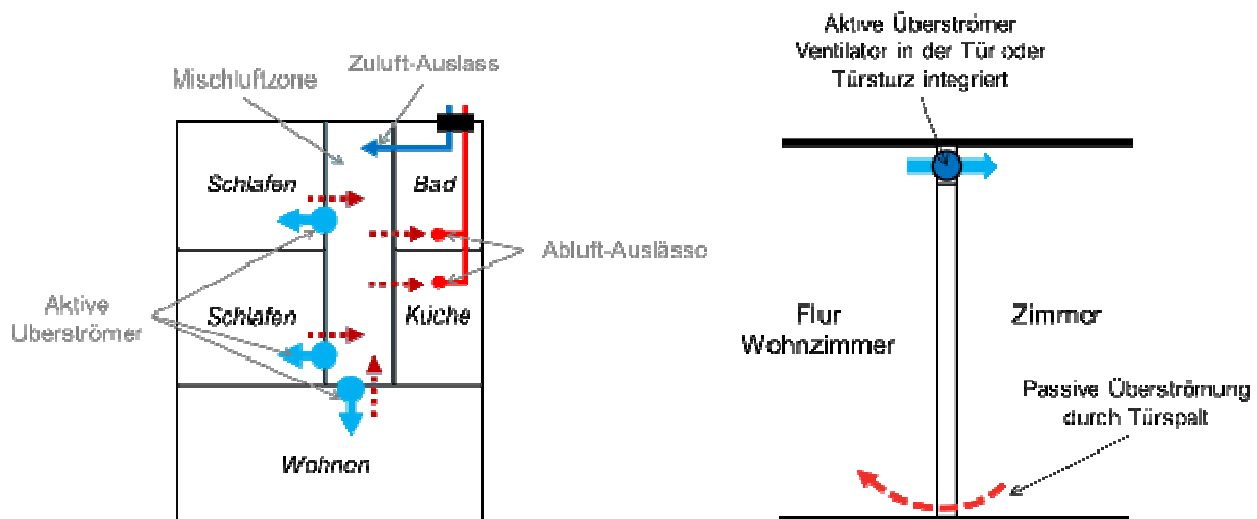


Abbildung 42 Lüftungskonzept mit aktiven Überströmer. Prinzipskizze.

Dieses Prinzip wurde schon als Alternative zum Zuluftnetz für die Belüftung von Wohn- und Büroräumen in der Schweiz identifiziert und es wurde ein Wettbewerb für die Produktentwicklung solcher Überströmer in 2008 ausgeschrieben [37].

Primäres Ziel der Messungen im Rahmen von low_vent.com war die Bewertung der Lüftungseffizienz, des Schallpegels und des Energieverbrauchs bei einem eingebauten Produkt unter realen Betriebsbedingungen. Anschließend wurde mit Hilfe von Simulationen ein Vergleich dieses Konzepts mit einer normalen Zuluftführung durchgeführt. Somit konnte der Einsatzbereich solcher Überströmer inklusive der Vor- und Nachteilen gegenüber konventionellen Systemen besser eingeschätzt werden.

Messung in der Musterwohnung:

Die Fa. Baufritz setzt in vielen ihrer Fertigteilhäuser das Lüftungskonzept mit selbstgefertigten aktiven Überströmern ein, um den Installationsaufwand der Lüftung zu verringern. Darüber hinaus ist die Akzeptanz bei den Kunden für aktive Überströmer höher als für die konventionelle Kanalführung. Die gemessenen Überströmelemente befinden sich über den Kinder- bzw. Schlafzimmertüren in einem Musterhaus, das über eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung verfügt. Der Gesamtvolumenstrom beträgt ca. 114 m³/h. Der Zuluftvolumenstrom wird nur an einer Stelle im EG in der „Mischluftzone“ durch ein Gitter zugeführt. Wie üblich sind das Bad, die Küche, und die weiteren Funktionsräume jeweils mit einem Abluftauslass ausgerüstet. Die Zu- und Abluftmengen sind somit in Balance.

Die folgenden Messungen wurden durchgeführt:

- Stromverbrauch in Abhängigkeit vom Volumenstrom

Die aktiven Überströmelemente sind mit Hilfe eines Drehknopfs (Potentiometer) direkt neben der Schlafzimmertür beim Lichtschalter manuell und stufenlos vom Nutzer einstellbar. Der Volumenstrom durch den Überströmer und die entsprechende Stromaufnahme des Ventilators wurde bei offener und geschlossener Tür gemessen.

- Schallemissionen

Für die Messung der Schallemissionen des Überströmers wurde der Schalldruckpegel an fünf verschiedenen Stellen im Raum in einer Höhe von ca. 90 cm mit Hilfe des Gerätes NC-110 von Norsonic gemessen. Die Aufnahme wurde für zwei Volumenstromstufen (30 m³/h und 42 m³/h) jeweils für eine Minute durchgeführt. Da das Fremdgeräusch der Autobahn signifikant war, wurde die Auswertung mit Hilfe der Korrekturfaktoren und der Gleichungen nach [54] umgesetzt.

- Luftqualität und Luftdurchmischung im Raum

Mit der Hilfe von Tracergas wurde die Raumlufbelastung durch Bewohner simuliert. Somit konnten verschiedene Indikatoren für die Effektivität der Luftverteilung in der Wohnung gemessen und daher Aussagen über die Luftqualität in den Räumen getroffen werden.

Ziel der Messung war es, drei solche Indikatoren aus den Messdaten zu abzuleiten:

- Luftqualität im Eltern- und dem Kinderzimmer, wenn sie belegt sind
- Luftqualität und Luftschichtung in der Mischluftzone, wenn sie belegt ist

- Luftqualität und Luftverteilung in den Eltern- und dem Kinderzimmer, wenn sie belegt sind
Für die Messung wurden die CO₂-Emissionen der schlafenden Menschen mit einer CO₂-Quelle aus einer CO₂ Flasche simuliert. Die durchschnittliche CO₂-Menge, welche der Mensch in der Nacht ausatmet beträgt 0,1 l/min für Kinder und 0,2 l/min für Erwachsene [9]. Mit Hilfe eines Massendurchflussreglers und zwei Schwebekörper-Durchflussmessern nach einem T-Stück wurden die CO₂-Quellen dementsprechend eingestellt und konstant gehalten (Abbildung 43):

- 0,1 l/min CO₂ im Kinderzimmer im Bereich des Bettes
- $2 \times 0,2 = 0,4$ l/min CO₂ im Elternzimmer (2 Erwachsene) im Bereich vom Bett

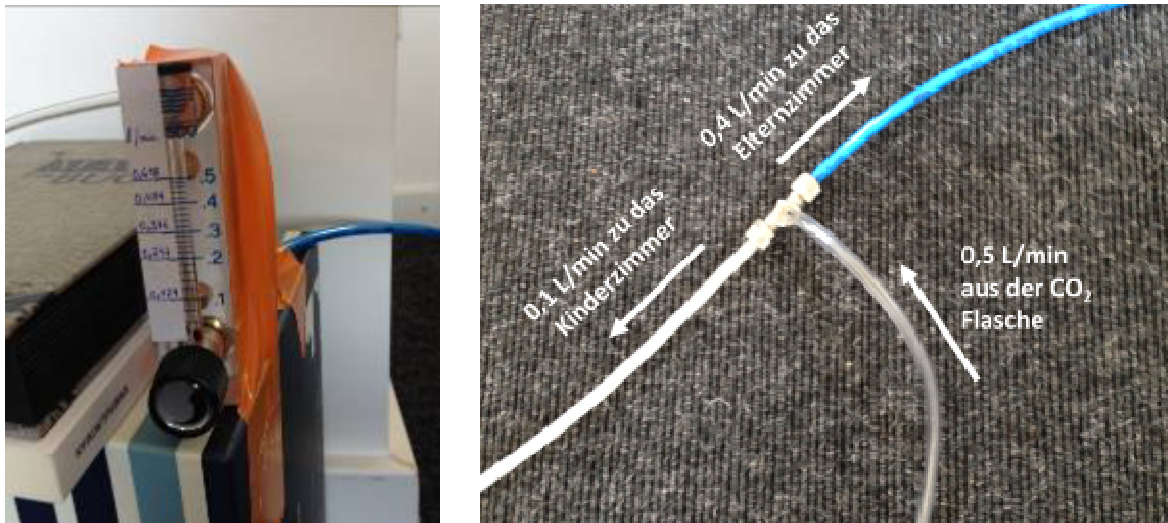


Abbildung 43 Schwebekörper-Durchflussmesser und T-Stück für die Verteilung der CO₂ Quelle aus der Flasche, diese wurde über einen elektronischen Massendurchflussregler (Fa. Bronkhorst, EL-Flow) konstant gehalten

Die CO₂-Konzentration, die Luftfeuchte und die Lufttemperatur im Raum wurden mit Hilfe von insgesamt 26 Data-Loggern an verschiedenen Stellen in der Wohnung und einmal im Freien (Außenluft) minütlich gemessen und abgespeichert (Abbildung 44).



Abbildung 44 Positionen der Data-Logger in dem Haus zur Aufnahme der CO₂-Konzentration, der Luftfeuchte und der Temperatur

Es wurden insgesamt während der zwei Tage drei Messungen unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

- Messung 1: vom 16.07.2014 14:30 bis 16.07.2014 20:00. CO₂-Quellen in den Schlafräumen (wie oben beschrieben). Das Gerät wurde auf Stufe 1 (soll 114 m³/h, gemessen 134 m³/h) eingestellt.
- Messung 2: vom 16.07.2014 20:30 bis 17.07.2014 08:30. CO₂-Quellen in den Schlafräumen (wie oben beschrieben). Das Gerät wurde auf die untere Stufe (Soll 70 m³/h, gemessen 102 m³/h) gestellt.
- Messung 3: vom 17.07.2014 12:30 bis 17.07.2014 17:30. Die CO₂-Quelle wurde im Wohnzimmer positioniert (Tagsituation, wenn die Bewohner wach sind und sich im Wohnzimmer befinden) mit einem Durchfluss von 0,8 l/min (entspricht der ausgeatmete CO₂-Menge von zwei Eltern und einem Kind untertags). Das Gerät wurde wieder auf Stufe 1 gestellt (soll 114 m³/h, gemessen 134 m³/h) eingestellt.

Die aktiven Überströmelemente wurden für alle Messungen zwischen Kinderzimmer und Mischluftzone auf 3,5 V (28 m³/h) sowie zwischen Elternzimmer und Mischluftzone auf 5 V (42 m³/h) eingestellt.

Für alle Messungen wurden alle Fenster und Innentüren geschlossen.

Der „Contaminant Removal Effectivness“ (Effektivität der Schadstoffentfernung, hier mit „CRE“ bzw. „ε“ abgekürzt) konnte mit den Messwerte ermittelt werden. Der CRE beschreibt, wie gut die Luft in einem Raum, in dem es eine Schadstoffquelle gibt, mit der frischen Luft durchmischt und abgeführt wird.

$$\varepsilon = \frac{CO_2 \text{ EXH} - CO_2 \text{ SUP}}{CO_2 \text{ Occup} - CO_2 \text{ SUP}}$$

Mit: ϵ : Effektivität der Schadstoffabfuhr (CRE); CO₂ EXH: CO₂ Konzentration in der Abluft; CO₂ SUP: CO₂ Konzentration in der Zuluft; CO₂ Occup: Arithmetische Mittelwert der CO₂ Konzentration an verschiedenen Stellen im betrachteten Raum.

Ein Wert über 1 für ϵ bedeutet eine vollständige Durchmischung. Wenn der Wert unter 1 sinkt und sich 0 nähert, bedeutet dies, dass der Schadstoff sich in einem schlecht durchströmten Raum befindet und dass es eine Kurzschlussströmung zwischen dem Zuluft-Einlass und dem Abluft-Auslass gibt [55].

Parallel zur Messung wurden verschiedene Luftströme und CO₂-Konzentrationsverläufe mit Hilfe der Software CONTAM(NIST) modelliert. Ziel war es, mit den Messergebnissen das Simulationsmodell zu validieren. Ziel davon war es, mit dem validierten Modell die resultierende Luftqualität mit Überströmern mit der einer üblichen Kaskadenlüftung zu vergleichen und Optimierungsmöglichkeiten zu untersuchen.

4.6.3 Untersuchung Konzept Heat Pipes für Frostschutz (Rainer) – Kostenanalyse, Skizze, EES Model, Prototyp und Messung

Prinzip:

Bei hocheffizienten Lüftungsanlagen mit Gegenstrom-Wärmeüberträgern ohne Feuchterückgewinnung würde das Kondensat bei geringen Außentemperaturen gefrieren. Um dies zu vermeiden sind unterschiedliche Frostschutzstrategien im Einsatz, [56] gibt einen Überblick der gängigen Methoden. Zu einer der am häufigsten eingesetzten Verfahren gehört das Vorheizen der Außenluft. Für einen typischen Gegenstrom-Wärmeüberträger mit einem Wärmebereitstellungsgrad von 80% ist eine Temperatur von ca. -3°C nötig, um eine Frostbildung an der Außenluftseite des Wärmeübertrages zu vermeiden. Frostschutz durch direktelektrische Vorheizung ist hinsichtlich Investitionskosten der günstigste Weg, jedoch ist der Verbrauch an Primärenergie, abhängig vom Winterklima am jeweiligen Standort meist sehr hoch. Daher werden bei größeren Anlagen häufig auch andere Wärmequellen mit einem geringeren Primärenergieverbrauch eingesetzt. Um hohe Investitions- und Wartungskosten zu vermeiden, kann das Heatpipe- (auch Thermosiphon) Prinzip angewendet werden (Abbildung 45).

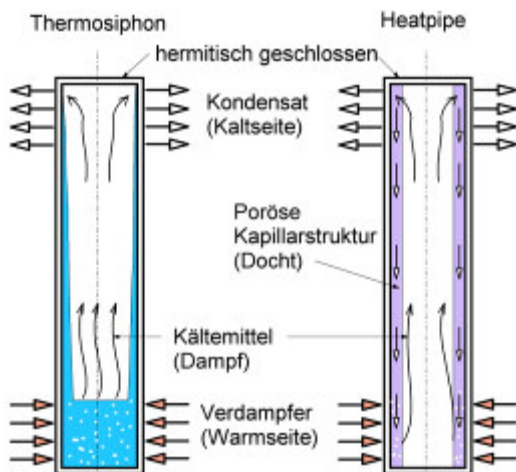


Abbildung 45 Prinzip eines Thermosiphons mit Kondensatrückfluss durch Schwerkraft (links) und Heatpipe mit Dochtstruktur an der Rohr-Wand für den kapillaren Kondensatrücktransport (rechts)



Abbildung 46 Heatpipe mit Kühlrippen (Quelle: DAU GmbH & Co KG)

Da der Wärmedurchgangskoeffizient für das Sieden und Kondensieren hundertmal höher ist als der Wärmedurchgangskoeffizient für den Austausch von der Oberfläche zur Lüftungsluft, sind Lamellen notwendig, um die Oberfläche an der Seite des Kondensators zu vergrößern. Abbildung 46 zeigt eine mit Lamellen bestückte Heatpipe für verschiedene Wärmeübertragungsanwendungen (z.B. Kühlung von elektronischen Bauteilen).

Sieden und Kondensieren kann nur in einer Zweiphasen-Region unter dem kritischen Punkt des Kältemittels stattfinden. Bei Temperaturen über dem kritischen Punkt, findet lediglich freie Konvektion statt. Der Mechanismus einer „überkritischen Heatpipe“ (das gesamte Volumen des Kältemittels ist in der Dampfphase) kann als Abschaltverhalten bezeichnet werden. Dieses Verhalten findet nur statt, wenn die Gesamtmenge des Kältemittels so berechnet ist, dass es dem Produkt der kritischen Dichte des Kältemittels und dem Volumen der Heatpipe entspricht. Je nach Füllniveau der Heatpipe, werden zwei verschiedene Typen von Abschaltverhalten beobachtet, die „schnelle“ und die „langsame“ Abschaltung (siehe [41]).

Technische Anwendung zum Frostschutz:

Einer der Vorteile eines Thermosiphons bzw. einer Heatpipe (folgend nur noch als „Heatpipe“ bezeichnet) im Vergleich zu einem konventionellen Frostschutzmittel-Kreislauf ist, dass keine Pumpe oder andere beweglichen Teile, wie z.B. ein Rückschlagventil, notwendig sind. Darüber hinaus wird auch kein Frostschutzmittel zum Verhindern des Einfrierens des Wasserkreislaufes benötigt. Im Fall einer Heatpipe wird ein Kältemittel gewählt, dessen Gefrierpunkt außerhalb des relevanten

Temperaturbereichs liegt (Z.B. Ammoniak (Tripelpunkt bei -94.65°C), Kohlendioxid (Tripelpunkt bei -56.56°C)). Wasser kann bei geringem Druck ebenfalls für Heatpipe-Anwendungen als Frostschutzsystem eingesetzt werden, wenn sich nur der Bereich des Kondensators in der Frostzone befindet. Diese Art von Heatpipe arbeitet im Temperaturbereich von $+5^{\circ}\text{C}$ bis 275°C . Bei kleinen Lüftungsgeräten (für Einfamilienhäusern oder Wohnungen) werden aufgrund der Investitionskosten meist direktelektrische Nachheizregister verwendet. Manche Fabrikate der sogenannten Kompaktgeräte, mit kleinen Wärmepumpen zum Heizen und TWW-Bereitung in Kombination mit Lüftungssystemen, nutzen bereits das Heatpipe-Prinzip zum Abtauen. Als Arbeitsmedium wird das Kältemittel des Wärmepumpensystems genutzt. Im Falle des Frostschutzbetriebes wirkt es als Thermosiphon.

Abhängig von der Außentemperatur variiert der für den Frostschutz notwendige Leistungsbedarf von Null bis zur Auslegungsleistung. Wenn keine Regelung vorhanden wäre, wäre die Leistungsübertragung bei Teillast zu hoch, und selbst bei Außentemperaturen über der Frostschutztemperatur würde ein Überschuss an Vorerwärmung verbleiben. Diese "Überheizung" würde in Folge also unnötigerweise die Ablufttemperatur des Gegenstrom Luft-Luft-Wärmeübertragers erhöhen und so die Gesamteffizienz des Systems reduzieren. Im Folgenden werden verschiedene Möglichkeiten der Leistungsregelung beschrieben.

Wie in Abbildung 47 und Abbildung 48 dargestellt, ermöglicht eine Heatpipe mit getrennter Dampf- und Kondensatrückleitung eine Leistungsregelung mittels Magnetventil im Kondensatrücklauf. Wenn der Rückfluss des Kondensats blockiert wird, ist auch die Verdampfung und damit die Wärmeübertragung unterbrochen. Dieses Prinzip kann zur Frostschutzregelung angewendet werden. Ein mit einer Kontrolleinheit verbundener Temperatursensor ist notwendig, um das Magnetventil zu schließen, wenn die Frostschutzgrenztemperatur überschritten wird.

In Abbildung 48 wird ein Anwendungsbeispiel gezeigt, bei welchem die Wärme aus dem zentralen Wärmeversorgungssystem des Gebäudes eingespeist wird, in diesem Fall ist es ein Wärmekreis für Raumheizung und Warmwasser (Zweileitersystem). Die Regelung der Wärmezufuhr für den Frostschutz wird mit einem 3-Wege Thermostatventil mit Fernfühler im Fortluftstrom der Wärmerückgewinnung gelöst.

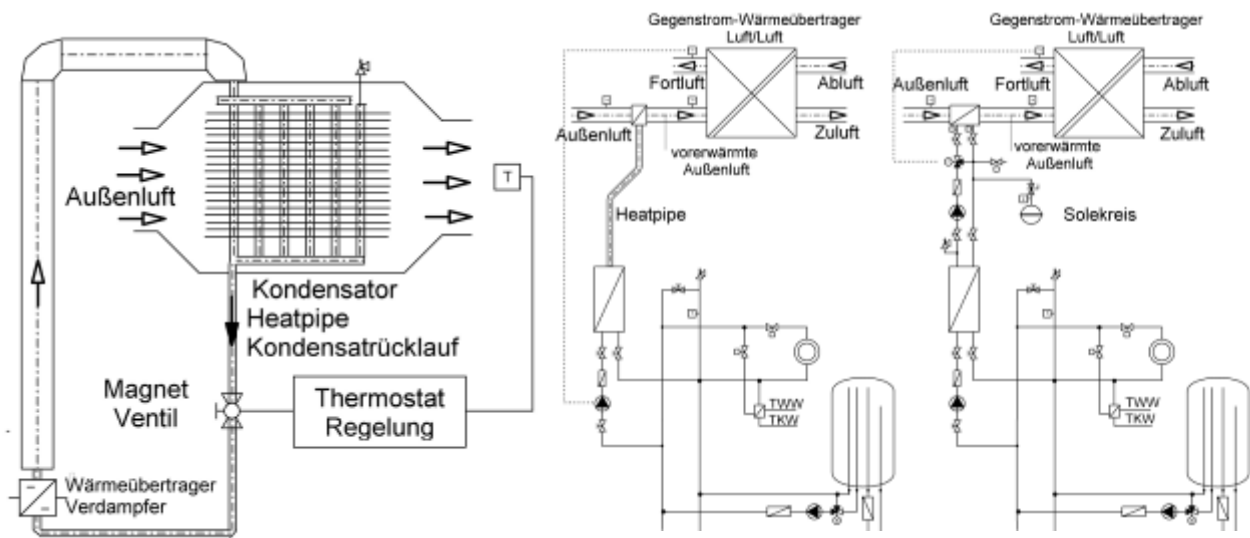


Abbildung 47 Getrennter Heatpipe-Typ mit Magnetventil im Kondensatrücklauf zur Leistungsregelung

Abbildung 48 Frostschutz Prinzipien unter Nutzung der Heatpipe-/ Thermosiphon-Technologie (links) oder Solekreis (rechts), die Wärme wird dem zentralen Heizsystems des Gebäudes entnommen (z.B. Wärmeleitung für Heizung und Warmwasser).

Eine Temperaturregelung, die alleine durch thermodynamische Prinzipien funktioniert, hätte den Vorteil, dass keine elektronischen Komponenten und Ventile benötigt werden, die Fehler verursachen können und mehr Wartungsarbeit erfordern. Mittels Heatpipe mit variabler Leitfähigkeit (engl. „variable conductance heat pipe“ (VCHP)) ist die Wärmeabgabe zwischen Verdampfer und Kondensator variabel. In einem VCHP wird zusätzlich zum Arbeitsmittel eine geringe Masse nicht-kondensierbaren Gases hinzugefügt. Der Dampf des Arbeitsmittels spült das nicht-kondensierbare Gas zum offenen Ende des Kondensators. Damit wird ein Teilabschnitt des Kondensators blockiert und der Leitwert der VCHP nimmt ab.

Dieser Effekt kann auch für eine automatische Konstanttemperaturregelung verwendet werden. Jedoch braucht man zur Nutzung einer Heatpipe für den Frostschutz keine konstante Temperatur der Heatpipe, sondern eine konstante Temperatur der Luft hinter dem Vorheizregister. Um dies zu erreichen, kann ein Sammelbehälter für das nicht-kondensierbare Gas angeschlossen und als Sensor in der Austrittsseite des Heatpipe- Wärmetauschers genutzt werden. Wenn die Temperatur hinter dem Wärmetauscher über die Frostschutzgrenze steigt (z.B. -3°C), wird durch die Expansion des nicht-kondensierbaren Gases die aktive Fläche des Kondensators, wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt, verringern. So wirkt das nicht-kondensierbare Gas in dem VCHP als Leistungsregelung für den Frostschutz und verhindert damit unnötige Vorerwärmung.

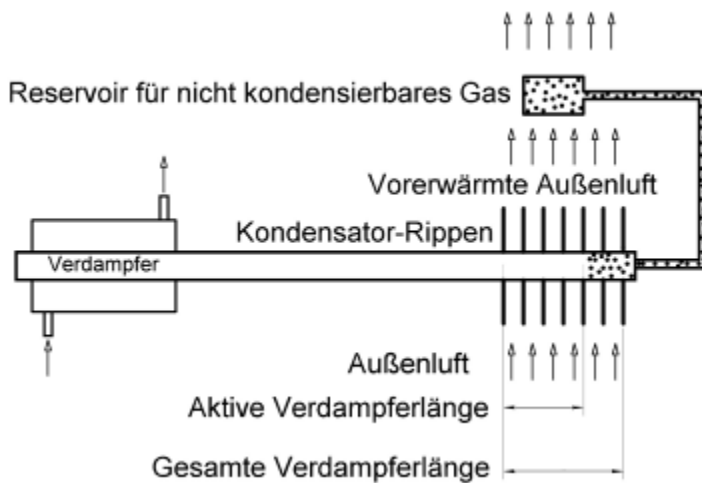


Abbildung 49 Nutzung einer Heatpipe mit variabler Leitfähigkeit für lufttemperaturabhängige Leistungsregelung. Ein Reservoir nicht-kondensierbaren Gases ist im austrittsseitigen Luftstrom des Wärmeübertragers am Kondensator angeordnet.

Entwicklung eines Heatpipe-Labormusters

Im Rahmen des Projektes low_vent.com wurde ein Labormuster eines Heatpipe-Frostschutzsystems entwickelt, getestet, messtechnisch untersucht und mit einem selbst entwickelten Simulationsmodell verglichen.

Zunächst stellt sich die Frage nach dem geeigneten Wärmeträger. Wie in nachfolgenden Überlegungen gezeigt wird, ist reines Wasser als Wärmeträger für Frostschutz-Heatpipes sehr gut geeignet und wurde daher auch für das Labormuster eingesetzt.

Bei der Auswahl des Wärmeträgers für Wärmerohre soll insbesondere auf möglichst hohe Verdampfungsenthalpie Δh_v , große Wärmeleitfähigkeit, niedrige kinematische Viskosität γ_l , gute Benetzungsfähigkeit und große Oberflächenspannung σ geachtet werden. Der Dampfdruck sollte weder extrem hoch noch extrem niedrig ausfallen. Die spezifische Leistungsgröße M („merit number“) nach [42] sollte im Temperaturbereich des Einsatzfalles möglichst groß sein.

$$M = \frac{\sigma \times \Delta h_v}{\gamma_l}$$

In sind die spezifischen Leistungsgrößen verschiedener Wärmeträger aufgetragen, dabei liegt Wasser nach Na an zweiter Stelle. Aus diesem Grund wurde H₂O für den Einsatz bei der Wärmeübertragung von der Wärmequelle zum Frostschutzheizregister gewählt. Auch Ammoniak und Methanol könnten prinzipiell zum Einsatz kommen. Eventuelle Einschränkungen werden nachfolgend erläutert.

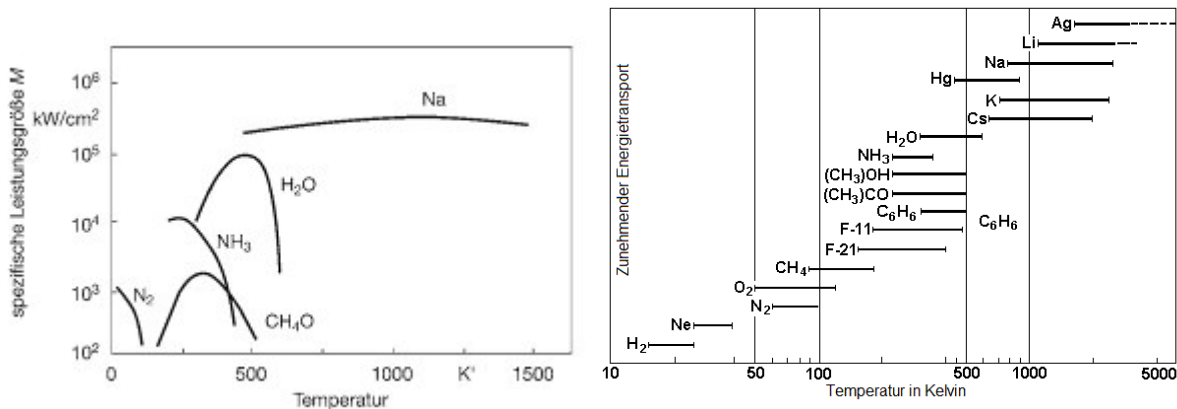


Abbildung 50 Spezifische Leistungsgrößen M und Temperaturbereich verschiedener Wärmeträger nach [42]

Auswahl des Werkstoffes des Wärmerohres

Der Werkstoff des Wärmerohres sollte so gewählt werden, dass er eine möglichst hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist und mit dem eingesetzten Wärmeträger verträglich ist (Vermeidung von Korrosion, Gasbildung und mangelhafte Benetzung). Kupfer ist hinsichtlich aller dieser Eigenschaften in Kombination mit dem Wärmeträger Wasser, Methanol und Aceton geeignet und wurde daher auch im Prototyp eingesetzt.

Leistungsgrenzen des Wärmerohres

Die mit Hilfe von EES [57] programmierte Auslegungshilfe ermöglicht die Leistungsberechnung für die Übertragung vom Heizmedium über das Wärmerohr auf den Außenluftstrom (Frostschutzheizregister) im stationären Betrieb. „Für die Auslegung der Wärmerohre sind jedoch auch die absoluten Grenzen des Wärmetransportes von Interesse. Die minimale Betriebstemperatur ist die Schmelztemperatur des Wärmeträgers, die maximale ist die kritische Temperatur. Innerhalb dieses Temperaturbereichs wird die maximale Wärmetransportleistung Q'_{max} durch verschiedene Phänomene begrenzt. Stationäre Betriebspunkte ($(Q)'$, T) können sich nur unterhalb der Grenzkurven einstellen.“ [43]

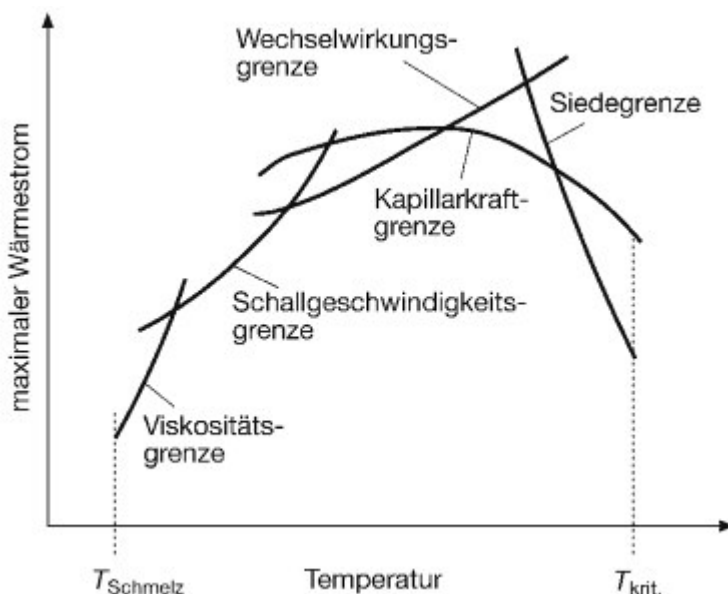


Abbildung 51 Leistungsgrenzen von Wärmerohren, Quelle [43]

Um die Zirkulation des Wärmeträgers aufrechtzuerhalten, muss die Kapillardruckdifferenz hoch genug sein (Kapillarkraftgrenze) um die Druckabfälle zu überwinden. Ist dies nicht der Fall, muss eine andere Kapillarstruktur oder ein anderer Wärmeträger gewählt werden. Mit Hilfe des Prototyps konnte im Laborversuch gezeigt werden, dass die Kapillarstruktur mit Wasser als Arbeitsmittel richtig kombiniert wurde.

Die Viskositätsgrenze wird dann erreicht, wenn die Betriebstemperatur nur wenig oberhalb der Schmelztemperatur des Wärmeträgers liegt. Bei geringem Dampfdruck und Dampfdichte dominieren viskose Kräfte die Dampfströmung. „Die Strömung kann jedoch nur aufrechterhalten werden, solange der Druckabfall nicht größer wird als der Absolutdruck am äußeren Verdampferende“ [44]. Nach Busse ist die Viskositätsgrenze (axiale Wärmestromdichte) unter der Annahme dass die Strömung als isotherm betrachtet werden kann und der Dampf sich wie ein ideales Gas verhält wie folgt zu berechnen:

$$\dot{q}_{\max} = \frac{d_g^2 \Delta h_v}{64 \nu_g l_{\text{eff}}} p_{g,\text{verd}}$$

mit

d_g	Innendurchmesser	[m]
$[\Delta h]_v$	spezifische Verdampfungsenthalpie	[J/kg]
ν_g	kinematische Viskosität	[m ² /s]
l_{eff}	effektive Länge des Strömungskanals	[m]
$p_{(g,\text{verd})}$	Dampfdruck am äußeren Ende des Verdampfers	[Pa]

Die Grenzleistung eines mit Wasser als Wärmeträger befüllten Wärmerohres mit einem Innendurchmesser von 16 mm ist in Abbildung 52 dargestellt. Je nach Vorlauftemperatur des Heizmediums kann demnach pro Wärmerohr eine maximale Heizleistung von über einem kW übertragen werden ohne die Viskositätsgrenze zu überschreiten. Im Versuchsaufbau wurden drei Wärmerohre parallel geschaltet, die Leistung liegt demnach in jedem Falle unter der Grenzleistung.

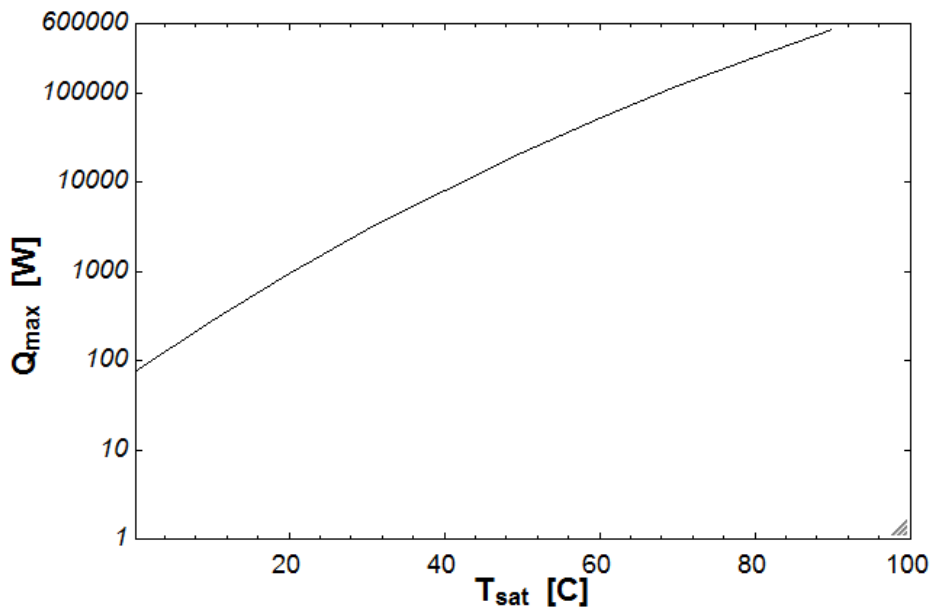


Abbildung 52 Grenzleistung eines mit Wasser als Wärmeträger befüllten Wärmerohres (Innendurchmesser 16 mm)

Die Schallgeschwindigkeitsgrenze ist für den Einsatzzweck der Frostschutzvorheizung nicht relevant (nur für Hochtemperaturwärmerohre mit metallischen Wärmeträgern).

Die Wechselwirkungsgrenze, auch „Entrainment“ genannt, wird erreicht, wenn Flüssigkeitströpfchen aus offenen Kapillarstrukturen durch die entgegengerichtete Strömung des Dampfes mitgerissen werden, also die Schwerkraft größer als die Oberflächenspannung sind. Auch diese Grenze wird bei der Frostschutzanwendung nicht erreicht.

Die Siedegrenze wird erreicht, wenn bei großen radialen Wärmestromdichten Blasensieden auftritt. Dies ist nur bei Sintermetallen oder Netzen als Kapillarstruktur der Fall, nicht aber bei offenen Kapillarrillen. Auch diese Grenze ist für die Anwendung der Frostschutzvorheizung beim Einsatz von Wasser als Wärmeträger nicht relevant, weil diese erst bei extrem hohen Wärmestromdichten und Temperaturen im Bereich der kritischen Temperatur (374 °C für Wasser) auftreten. Da als Heizmedium die Heizwärmeverteilung des Gebäudes genutzt wird treten keine Temperaturen über 60 °C auf.

Zusammenfassend kann für den Einsatz von Wärmerohren für die Frostschutzvorheizung mit Wasser als Wärmeträger die Viskositätsgrenze als einzig limitierende Grenzbedingung angesehen werden. Aber auch diese wird bei üblicher Auslegung mit mehreren Wärmerohren in Parallelschaltung nicht überschritten.

Versuchsaufbau und Validierung des Simulationsmodells:

Nach Skizzen und Entwürfen der UIBK wurde ein Funktionsmuster für eine Frostschutz-Vorheizung mit Heat-Pipe von Fa. Dau im Rahmen eines Unterauftrags gefertigt. Ziel des Versuchsaufbaus war es, die Übertragungsleistung der Heat-Pipe vom Verdampfer zum Kondensator, sowie die Übertragungsleistung von der Wärmequelle (Heizwasser) und der Wärmesenke (Wärmeübertragung an den Außenluftstrom) zu messen. Auf diese Weise konnte sowohl das Funktionsprinzip der Heat-Pipe für die

Wärmeübertragung zum überprüft als auch das zur Auslegung erstellte Simulationsmodell in EES (Engineering Equation Solver, F-Chart-Software) validiert werden.

Für die Untersuchung der Heat-Pipe wurde der folgende Versuchsaufbau konzipiert, der von Fa. Pichler gefertigt wurde (Abbildung 53).

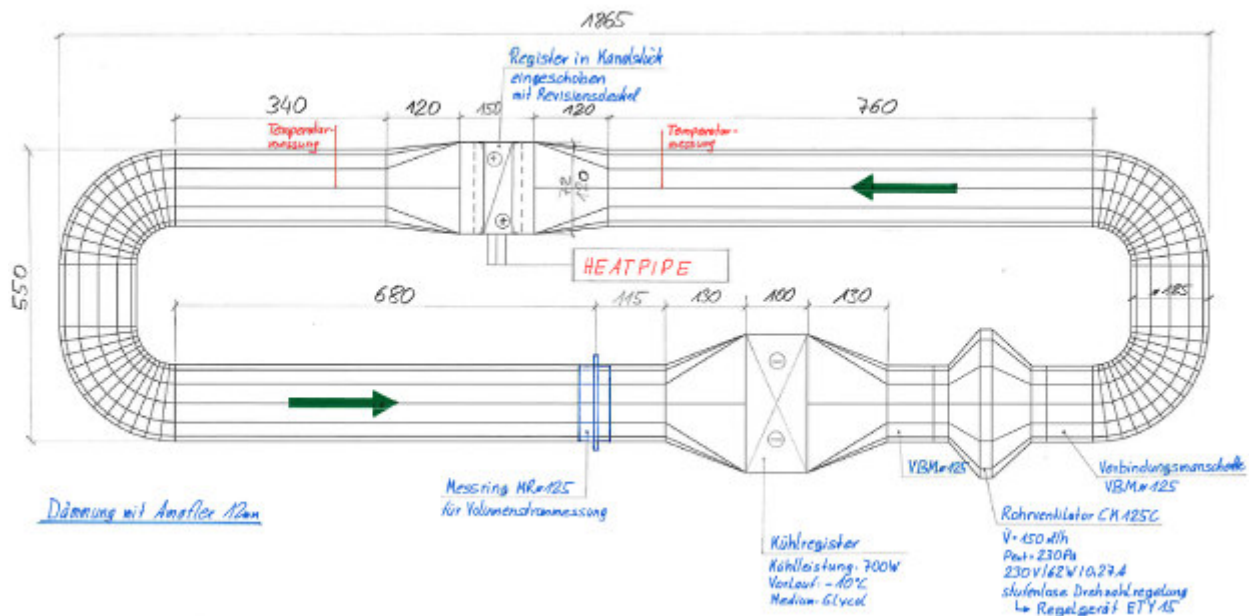


Abbildung 53 Skizze des Versuchsaufbaus

Es handelt sich dabei um einen geschlossenen Ringkanal, welcher die Luft auf die gewünschte Außenlufttemperatur vorkühlt, bevor sie über das Luftheizregister (Frostschutzheizregister mit Heatpipes) erwärmt wird.

Die Rückkühlung über das Kühlregisters erfolgt mit Sole aus einem Kühltermostat (Minichiller) damit werden typische Temperatur für einen Frostschutzbetrieb erreicht (von -3°C bis -12°C). Die Lufttemperatur vor und nach dem Frostschutz-Register sowie der Luftvolumenstrom wurde gemessen. Für die Volumenstrommessung wurden kalibrierte Messringe eingesetzt (Staudruckmessung). Die Beheizung des verdampferseitigen Wärmeübertragers an der Heatpipe erfolgte mittels Wasser als Heizmedium aus einem Heizthermostat. Der Heizwärmestrom wurde aus Temperaturdifferenz (Vorlauf, Rücklauf) und Massenstrom (Volumenstrommessung mittels Flügelradzähler) bestimmt. Die Steuerung erfolgt durch Variation der Vorlauftemperatur (zwischen 10 und 25°C). Das gesamte System ist mit diffusionsdichter Wärmedämmung (Armaflex) wärmegeklämt und in einem Raum mit ca. 5°C installiert (Abbildung 54). In nachfolgender Abbildung ist der Wärmeübertrager von Heizwasser auf Heatpipe (Verdampfer) sowie die Kupferrohre der Heatpipe noch ungedämmt sichtbar.

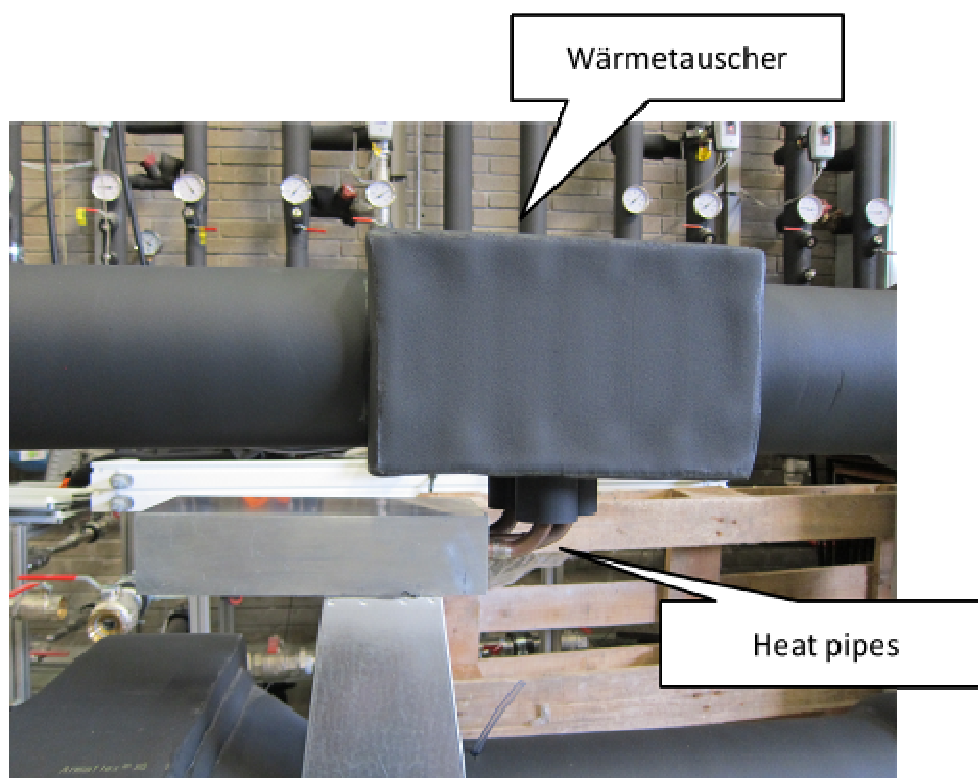
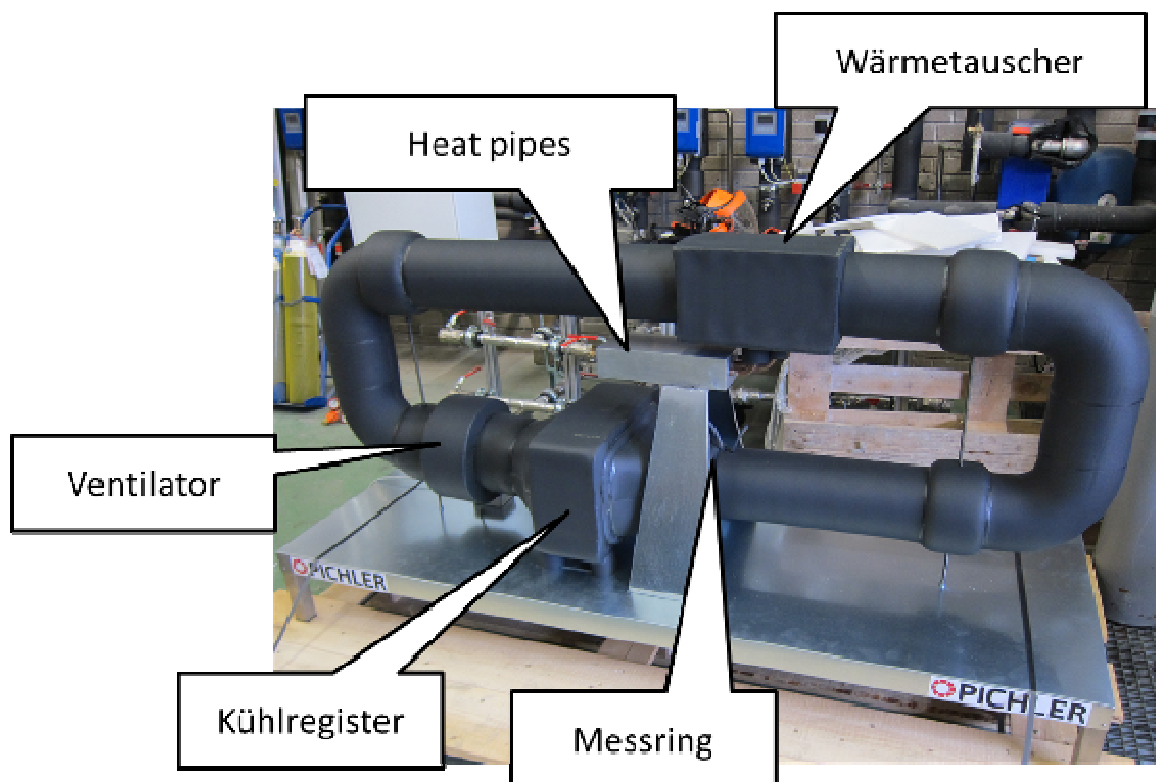


Abbildung 54 Fotos vom Versuchsaufbau. Der Wärmeübertragerblock sowie die Heatpipes sind darauf noch ungedämmt, die Befestigung wurde noch thermisch entkoppelt.

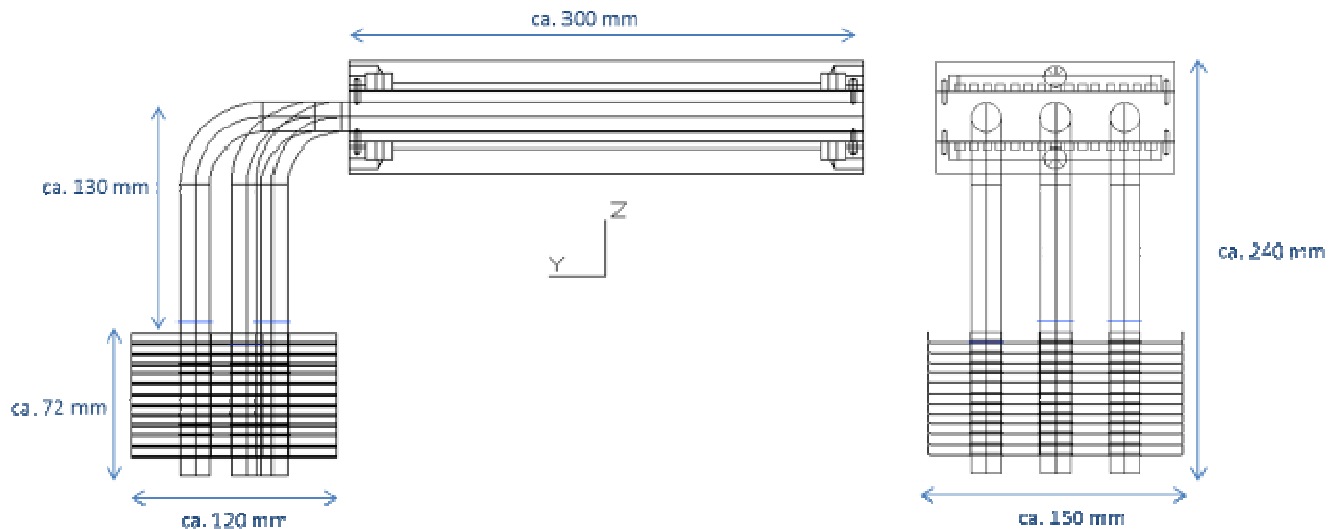


Abbildung 55 CAD Zeichnung vom Funktionsmuster der Heatpipe (Quelle: Fa. Dau).

Die Messung wurde für verschiedene Volumenströme und Vorlauftemperaturen durchgeführt. Bei den ersten Versuchen mit Luft im geschlossenen Ringkanal reichte für einige Versuchspunkte die Leistung der Rückkühlung nicht aus. Um auch tiefere Lufttemperaturen vor dem Wärmetauscher zu erreichen, wurde der Ringkanal geöffnet und die Außenluft direkt von außen angesaugt (da die Versuche in den Wintermonaten stattfanden, konnten Außentemperaturen von 0°C bis 8°C genutzt werden). Mittels zusätzlicher Vorkühlung über den Kühlthermostat konnte am Eintritt des Frostschutzheizregisters eine Lufttemperatur bis ca. -3°C erreicht werden.

In der Tabelle 11 sind alle Messergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 11 Messergebnisse Heat-Pipes

Aussenluft Temperatur [°C]	Vor HP (Luft)[°C]	Nach HP (Luft)[°C]	Differenz [°C]	Vor HP (Wasser)[°C]	Nach HP (Wasser)[°C]	Differenz (Wasser)[°C]	Durchfluss [l/s]
8.30	7.82	13.52	5.70	30.80	29.70	1.10	0.0375
9.40	8.55	14.18	5.63	30.90	29.80	1.10	0.0375
6.00	9.07	11.88	2.81	22.70	22.40	0.30	0.0375
5.20	8.42	11.52	3.10	22.80	22.30	0.50	0.0375
5.40	3.01	7.43	4.42	22.80	22.10	0.70	0.0375
1.80	0.87	5.44	4.57	20.90	20.40	0.50	0.0375
3.20	-1.29	6.47	7.76	20.60	20.00	0.60	0.0375
-0.30	-2.73	5.46	8.19	20.60	19.90	0.70	0.0375
-1.10	-2.60	5.36	7.96	20.70	19.60	1.10	0.0150
-0.50	-2.32	6.29	8.61	20.50	19.50	1.00	0.0150
1.50	4.98	9.28	4.30	25.00	23.80	1.20	0.0150
0.80	4.49	9.45	4.96	25.20	24.40	0.80	0.0375
-2.80	-1.82	2.63	4.45	20.30	19.60	0.70	0.0375
2.30	-1.02	3.11	4.13	20.30	19.60	0.70	0.0375

2.00	1.04	4.78	3.74	20.50	19.20	1.30	0.0150
4.60	-1.03	6.15	7.18	20.60	19.40	1.20	0.0150
5.80	-0.53	8.56	9.09	24.50	23.00	1.50	0.0150

Der Wärmestrom, der vom Wasser an den Verdampfer der heat-pipes abgegeben wird, sowie der von den heat-pipes über das Heizregister an die Luft konnte somit berechnet werden. Dafür wurden die Wärmeverluste und -Gewinne, die durch die gedämmten Oberflächen der Komponenten (Transmissionsverluste bzw. Gewinne an Wärmetauscher und heat-pipes) eintreten berücksichtigt (Vollständige Energiebilanz).

Nummer	Q _{total} Luft Messung	Q _{z-gv} zusätzliche Verluste oder Gewinne	Q _{total} Luft korrigiert	Q _{total} Wasser Messung	Fehler Energie- Bilanz
1	212.9	-4.0	216.8	171.7	26%
2	209.4	-2.9	212.3	171.7	24%
3	105.8	-0.3	106.1	46.9	126%
4	117.1	-1.2	118.2	78.2	51%
5	166.8	1.6	165.2	109.5	51%
6	174.7	-0.7	175.4	78.3	124%
7	104.4	2.5	101.9	93.9	8%
8	111.5	-1.6	113.2	109.6	3%
9	108.7	-2.9	111.6	68.8	62%
10	83.0	-2.0	85.0	62.5	36%
11	164.6	-6.6	171.2	75.0	128%
12	190.3	-7.6	197.9	125.1	58%
13	173.0	-5.2	178.2	109.6	63%
14	157.6	1.4	156.2	109.6	43%
15	142.9	-0.1	143.0	81.3	76%
16	96.1	4.3	91.8	75.0	22%
17	121.1	2.1	119.0	93.7	27%

Die vollständige Energiebilanz berechnet sich wie folgt:

$$Q_{\text{total Luft}} + Q_{\text{z-gv}} = Q_{\text{total Wasser}}$$

Mit

Q_{total Luft} Wärmestrom von Heat-Pipe zu der Luft

Q_{total Wasser} Wärmestrom von Wasser zu Heat-Pipes

Q_{z-gv}: Zusätzliche „Störungswärmestrom“ (Gewinne und Verluste) durch die Leitungen.

Der Energiebilanz ist für etwa die Hälfte der Messpunkte im Rahmen der Messgenauigkeit erfüllt (orange Markierung in der Tabelle). Bei den anderen Punkten sind weitere Störeffekte eingetreten, die hier nicht nachvollgezogen werden konnten.

Für die Punkte mit erfüllter Energiebilanz wurden mit dem Simulationsprogramm in EES die Wärmeströme für die gleichen Randbedingungen (u.a. Vorlauftemperatur und Massenstrom Wasser, Vorlauftemperatur und Volumenstrom Luft) berechnet und anschließend mit den Simulationsergebnissen verglichen.

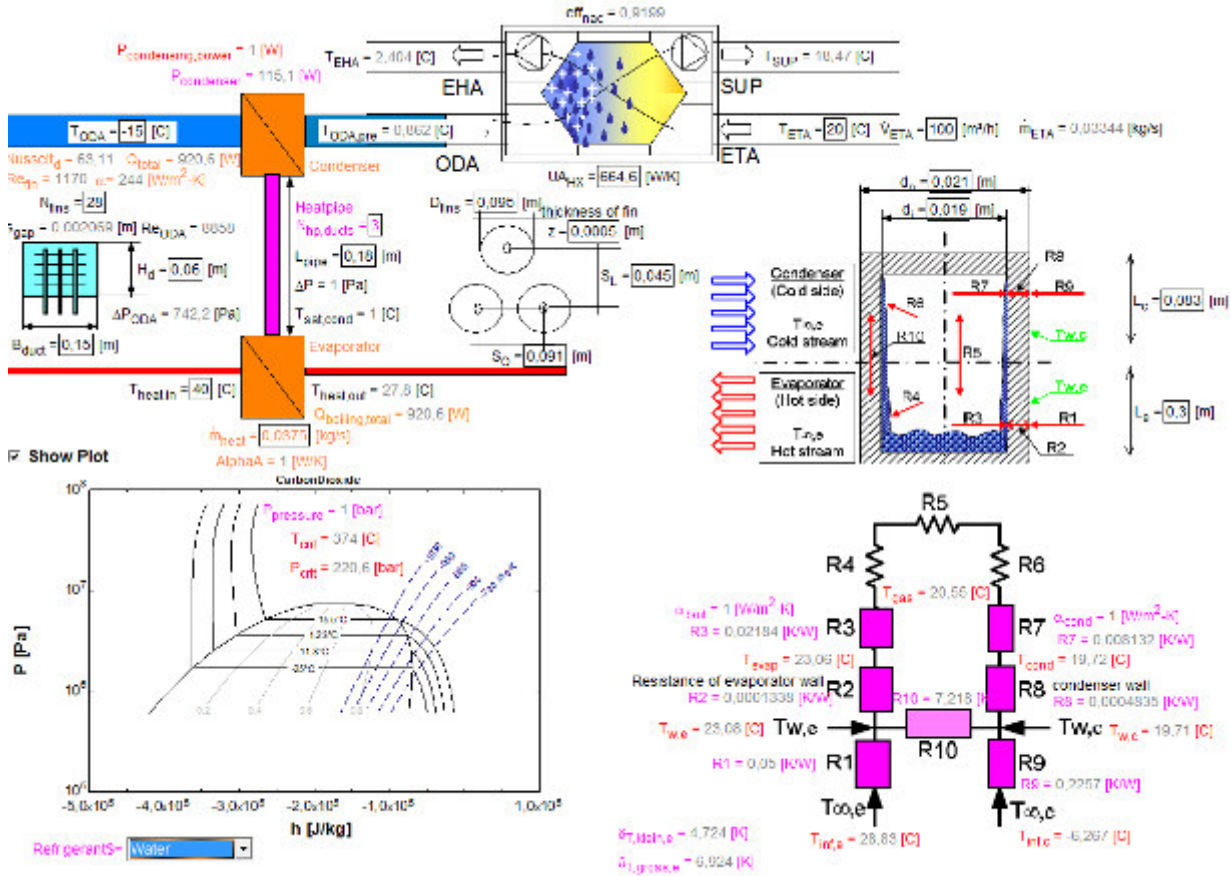


Abbildung 56 Diagramm-Oberfläche des Simulationsprogramm in EES

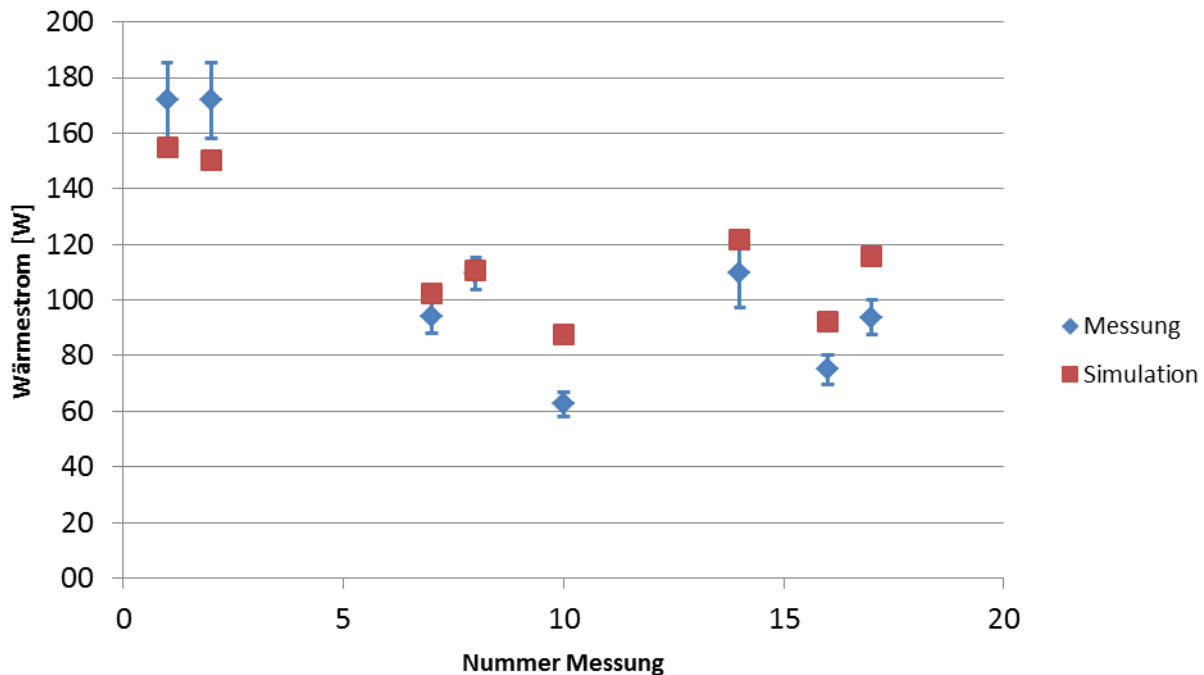


Abbildung 57: Vergleich der Messwerte mit den simulierten Werten (EES-Modell). Die Fehlerindikatoren zeigen die aus der Fehlerfortpflanzung ermittelten maximalen Abweichungen.

Die simulierten Ergebnisse liegen zwar nicht immer im Genauigkeitsbereich der Messpunkte. Tendenziell werden die Werte bei hohen Wärmeströmen überschätzt, bei geringeren Wärmeströmen dagegen unterschätzt. Die Unstimmigkeiten liegen vermutlich daran, dass das Modell für die Wärmeabgabe der Berippung am Kondensator der Heat-Pipes an die Luft vereinfacht nach der Modellgleichung für separate Kreisrippen berechnet wurden, in der Versuchsausführung wurden jedoch zusammenhängende Rippenflächen eingesetzt. Dennoch kann das Simulationsmodell als ausreichend validiert angenommen werden. Somit konnten mit dem Modell weitere Simulationen durchgeführt, insbesondere im tieferen Temperaturbereich für die Außenluft.

4.6.4 Ergebnisse Koaxial Rohr

Die Messung der Kurzschlussströmung ergab für alle untersuchten Kombinationen von Gitter und Düse, dass die gemessene Rückströmung geringer als 1% bleibt. Als effektivste Kombination hingegen wurde die gewählt, welche die Rückströmung ausreichend unterbindet, aber andererseits auch den geringsten Druckverlust aufweist.

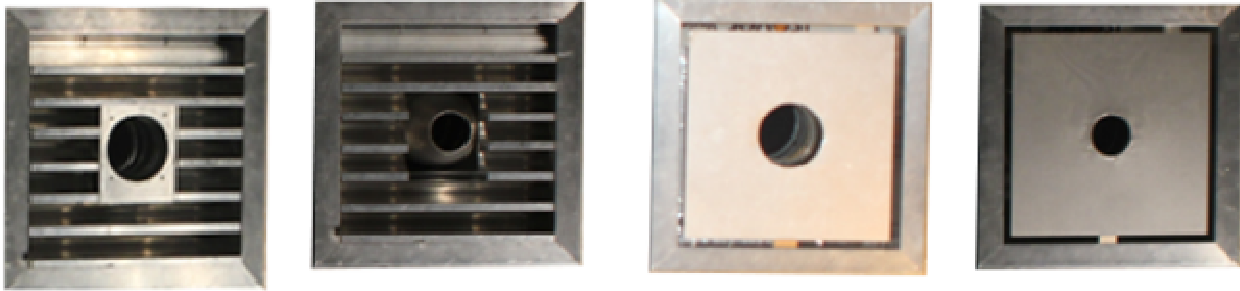


Abbildung 58 Bilder der vier untersuchten Varianten (zwei Gitter und zwei Düsen)

	Volumenstrom	Anteil Kurzschlussströmung zwischen Fortluft und Außenluft%	Druckverlust Außenluftleitung	Druckverlust Fortluftleitung
1	64	0.24	7.5	4.0
1	120	0.04	28.1	12.7
2	64	0.17	6.8	30.3
2	120	0.45	25.1	107.9
3	64	0.46	8.8	3.9
3	120	0.32	30.1	10.6
4	64	0.45	8.2	27.7
4	120	0.56	31.2	106.1

Abbildung 59 Anteil der Kurzschlussströmung und Druckverlust durch die Außen- und Fortluftleitungen für die vier untersuchten Kombinationen und bei zwei typischen Volumenströmen.

Mit Hilfe der Messungen zum Frostschutz konnten auch die Berechnung der Leistung für die geforderte Temperaturerhöhung validiert werden. Allerdings konnte keine Messung mit tiefen Temperaturen für den Frostschutz durchgeführt werden, weil die Außenlufttemperatur während dem Winter 2013/2014 selten unter -5°C gesunken ist. Die Untersuchung der Regelungsstrategie mit dem Simulationsmodell konnten nach der Validierung untersucht werden, damit wurde es möglich Ergebnisse auch bei tieferen Außenlufttemperaturen abzuleiten.

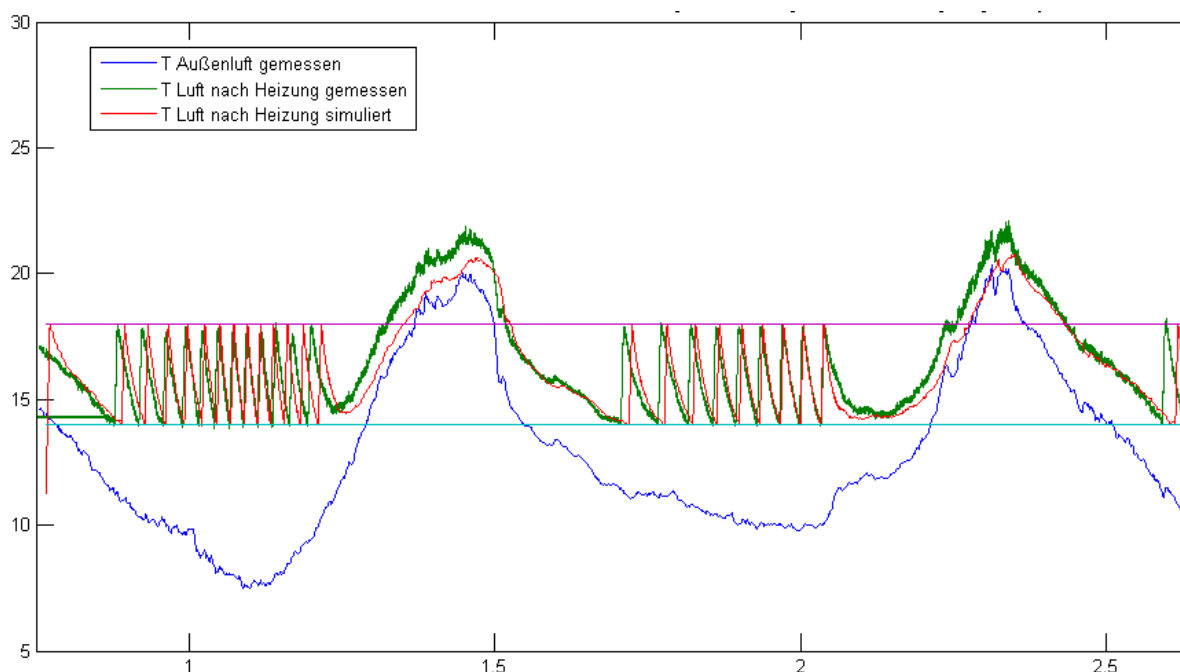


Abbildung 60 Vergleich der Mess- und Simulationsergebnisse für die Temperatur der Luft nach der Heizung.

Die Regelung mit geringer Hysterese oder mit PID-Regler stellten sich als die sparsamsten Varianten heraus (ungefähr 25 % Einsparung im Vergleich zu einer on/off Regelung). Diese Erkenntnis ist für die energetische Bewertung der Geräte von besonderer Bedeutung, geht bislang aber noch nicht in die Berechnungen zur Klassifizierung nach ecodesign-Richtlinie ein. Die Ergebnisse wurden in [60] publiziert.

4.6.5 Ergebnisse Aktive Überströmer

Messungen:

Die Messergebnisse zum untersuchten Überströmer sind in den folgenden Tabellen und Grafiken zusammengefaßt:

Stromverbrauch und Volumenstrom

Tabelle 12 Stromverbrauch und Volumenstrom

Steuer- spannung [V]	Strom- stärke [A] Tür offen	Strom- stärke [A] Tür zu	Leistungs- aufnahme [W] Tür offen	Leistungs- aufnahme [W] Tür zu	Volumen- strom [m³/h] Tür offen	Volumen- strom [m³/h] Tür zu
3.5	0.033	0.031	0.79	0.74	34	28
4	0.035	0.035	0.84	0.84	40	34

5	0.048	0.048	1.15	1.15	48	42
6	0.065	0.063	1.56	1.51	60	55
7	0.084	0.080	2.02	1.92	68	61
7.46	0.090	0.088	2.16	2.11	76	63

Die Leistungsaufnahme der Ventilatoren ist relativ gering (Stromeffizienz eines Überströmers: ca. 0,028 W/(m³/h)). Bei einem Volumenstrom von 55 m³/h für das Elternzimmer und von 28 m³/h für das Kinderzimmer, wenn die Überströmer 10 Stunden pro Tag eingeschaltet sind (bei Anwesenheit im Zimmer und Tür zu), bedeutet dieser Betrieb einen elektrischen Verbrauch von ca. 8,2 kWh im Jahr (Das Lüftungsgerät selber benötigt ca. 400 kWh pro Jahr). Allerdings sollten die Volumenströme in Bezug auf die Raumluftqualität nach Möglichkeit im Elternzimmer auf ca. 70 m³/h angehoben werden.

Schallemissionen

Die Messergebnisse (Tabelle 13) können als obere Grenze des Schalldruckpegels bzw. Schallleistungspegels des Überströmers betrachtet werden.

Tabelle 13 Messergebnisse Schall

Steuerspannung	Volumenstrom durch Überströmer	Mittlerer Schalldruckpegel im Raum	Mittlerer Schallleistungspegel des Überströmers
3,5 V	28 m³/h	22,5 dB(A)	23,5 dB(A)
5 V	42 m³/h	25,5 dB(A)	26,5 dB(A)

Ab 42 m³/h lag der mittlere Schalldruckpegel im Raum leicht über dem von der ÖNORM [62] vorgeschriebenen Grenzwert. Eine Optimierung des Einbaugesäßes mit Hilfe eines Schallabsorptionsmaterials könnte diesen Wert noch weiter reduzieren.

Luftqualität und Luftdurchmischung

Die Messergebnisse zeigen, dass die CO₂-Konzentrationen nach einem klassischen e^{-x}-Verhältnis bis zu einem quasi-stationären Zustand (nach 3-4 Stunden) ansteigen. Die CO₂-Konzentration liegt dann im Elternzimmer bei ca. 900-1.000 ppm über der Außenluftkonzentration (IDA Güteklasse 3 nach [63]) und im Kinderzimmer bei ca. 700 ppm über der Außenluftkonzentration (IDA-Güteklasse 2).

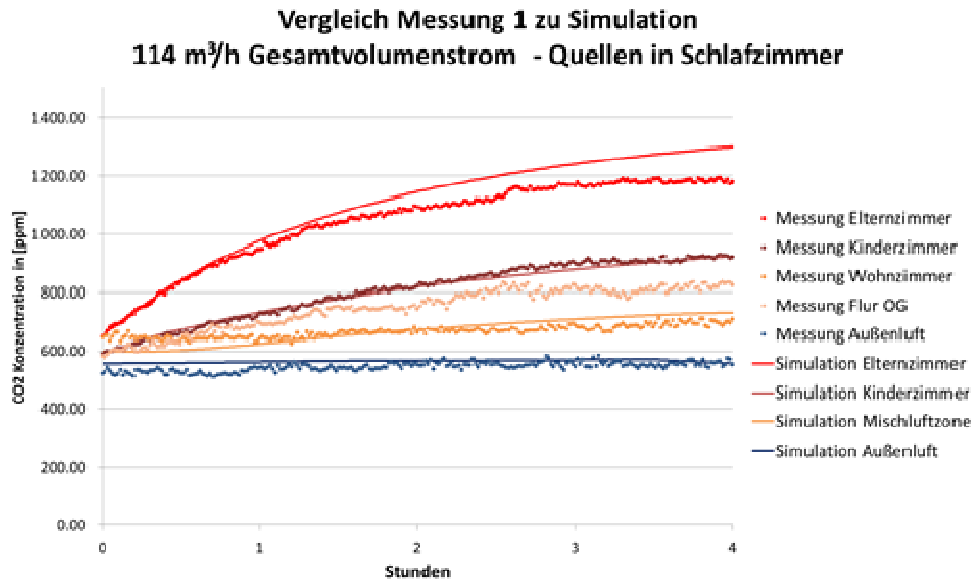


Abbildung 61 Vergleich Messwerte zu Simulationsergebnisse für die CO₂-Konzentration der Luft in Schlafzimmer.

Abbildung 61 zeigt den Vergleich zwischen Messung und Simulationsergebnissen (Mehrzonenmodell CONTAM, NIST). Für die Kinder- und Elternzimmer ist eine gute Korrelation (Korrelationsgrad von ca. 0,96) zwischen den Messdaten und der Simulation zu erkennen. In der Simulation wurde die Mischluftzone als perfekt durchmischt angenommen. Da sich der größte Teil des Volumens dieser Mischluftzone im Wohnzimmer (EG) befindet, ist es nachvollziehbar, dass die Simulationsergebnisse näher an den Messwerten des Wohnzimmers liegen. In Summe kann davon ausgegangen werden, dass das Modell valide genug ist, um darauf aufbauend Prognosen über die Luftqualität machen zu können.

Mit dem validierten Modell kann die resultierende Luftqualität mit Überströmern mit der einer üblichen Kaskadenlüftung verglichen werden. Die CO₂-Konzentrationen über der Außenluft bei Belegung der verschiedenen Räume wurden in den verschiedenen IDA Klassen (Innenraum-Luftqualitätsklassen nach EN 13779) nach Häufigkeit in Abbildung 62 dargestellt.

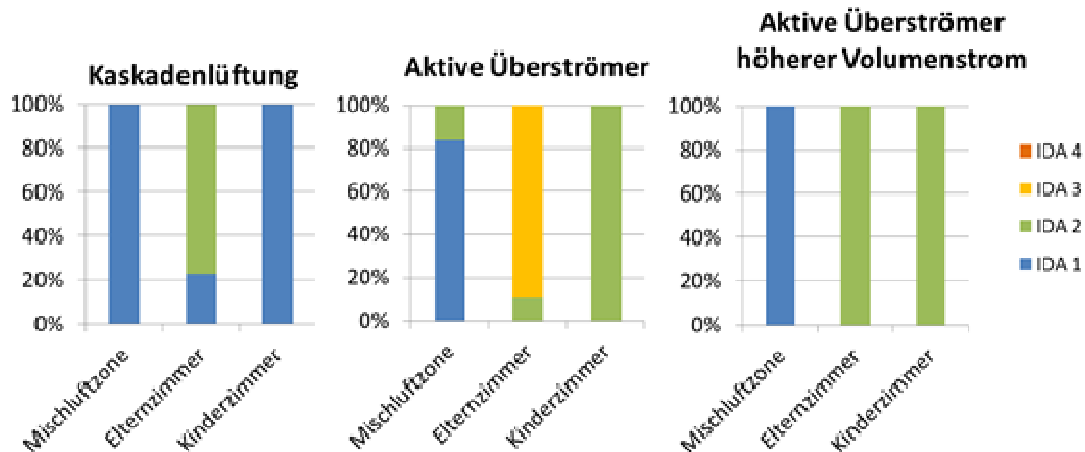


Abbildung 62 Simulationsergebnisse für die Luftqualität (CO₂-Konzentration) nach Häufigkeit in den jeweiligen 4 IDA-Klassen nach [63] klassifiziert, bei Belegung der jeweiligen Räume. Links für ein „übliches“ Kaskadenlüftungskonzept, Mitte für das gemessene Konzept mit aktiven Überströmelementen und rechts mit aktiven Überströmelementen und höheren Volumenströmen.

Die Prognosemodelle zeigen etwas schlechtere aber trotzdem vertretbare Luftqualitäten (IDA 3 bedeutet weniger als 1.000 ppm über der Außenluftkonzentration) für das Konzept mit aktiven Überströmelementen im Vergleich zur üblichen Kaskadenlüftung. Die dritte Simulation zeigt, dass eine Erhöhung des gesamten Volumenstroms (ca. 30%) sowie der Volumenströme der aktiven Überströmelemente die Luftqualität in den Schlafzimmern signifikant verbessert (100 % der Zeit in der IDA Klasse 2).

Investitions- und Betriebskosten

Der jährliche Stromverbrauch wurde für die drei Varianten gerechnet.

Tabelle 14 Berechnung der Stromaufnahme der drei Varianten

	Kaskadenlüftung	aktive Überströmer	aktive Überströmer höherer Volumenstrom
Gesamtvolumenstrom	114 m ³ /h	114 m ³ /h	137 m ³ /h
Volumenstrom aktive Überströmer	-	28 m ³ /h und 42 m ³ /h	28 m ³ /h und 63 m ³ /h
Stromverbrauch aktive Überströmer	-	0,8 W + 1,15 W (12 Std. am Tag)	0,8 W + 2,1 W (12 Std. am Tag)
Stromverbrauch Zuluftventilator	ca. 19,1 W	ca. 15,5 W	ca. 21 W
Gesamtstromverbrauch im Jahr	ca. 167 kWh/a	ca. 144 kWh/a	ca. 197 kWh/a

Mit den aktiven Überströmern reduziert sich der Druckverlust im Zuluftnetz (keine Kanäle mehr in der Wohnung) und dadurch auch die Stromaufnahme des Ventilators. Dies kompensiert die Stromaufnahme der Überströmer. Allerdings steigt mit zunehmendem Volumenstrom (für eine bessere Luftqualität) auch die gesamte Stromaufnahme etwas an. Die Auslegung des Volumenstroms sowie die Wahl der Produkte müssen deshalb sorgfältig geplant werden, um das Optimum zwischen Luftqualität und niedrigen Betriebskosten zu finden.

Die Investitionskosten betragen typischerweise für eine 3 Zimmerwohnung (Zuluftkanalnetz inkl. Abdeckung oder Abkofferung im Sanierungsfall) ca. 1000 €. Deshalb liegt der Zielpreis pro Überströmelement um ca. 330 €. Hierfür können „Low-tech“ Lösungen entwickelt werden, die zum Beispiel keine Bohrung in der Wand benötigen sondern in der bestehenden Tür eingebaut werden können.

Die Ergebnisse wurden in [64] publiziert.

4.6.6 Ergebnisse Heat pipe

Lebenszykluskostenbetrachtung einer Heatpipe im Vergleich mit Standard-Systemen

Um ein Standard-System mit Sole-Kreis (Frostschutzmittel) mit einem Heatpipe-System vergleichen zu können, ist eine vollständige Lebenszykluskostenbetrachtung notwendig, die sowohl die Investitions- und Installationskosten als auch die Betriebs- und Wartungskosten berücksichtigt. Die Tabelle 2 vergleicht alle notwendigen Bauteile und Wartungsarbeiten eines Standardsystems mit einem Heatpipe-System. Die Lebensdauer-Analyse wurde für durchschnittliche Energie, Wartungs- und Investitionskosten im Lebenszyklus für Lüftungssysteme mit einem Volumenstrom von 3500 m³/h durchgeführt. Die Investitionskosten basieren auf einem realen Projekt und wurden mit aktuellen Preisen berechnet. Die Parameter und Annahmen für die Lebenszykluskostenbetrachtung sind in Tabelle 1 vermerkt.

Tabelle 15 Annahmen für die Lebenszykluskostenberechnung

Nominalsatz	7.5 %
Inflationsrate	4.0 %
Realzinssatz	3.4 %
Lebensdauer Pumpe+Motorventil	16 a
Strom-Kosten	0.15 €/kWh
Lebensdauer der übrigen Installation	50 a
Betrachtete Zeitspanne	20 a

Um die Differenz eines Standardsystems und eines Heatpipe-System berechnen zu können, wurden nur die Einzelteile des Systems und deren Wartungskosten betrachtet. Als Ersatzteile wurden die Sole-Pumpe (410 €) und das Motorventil (600 €) angesetzt. Der Stromverbrauch der Sole-Pumpe (gemessene Jahresmittelwerte) liegt bei 165 kWh/a. Diese Ergebnisse wurden in [65] publiziert.

Bis jetzt wurde (nach Kenntnis des Autors) noch kein Heatpipe-System in dieser Größe für den Frostschutz hergestellt, daher konnten die Investitionskosten lediglich abgeschätzt werden. Wenn für das Heatpipe-System ähnliche Kosten wie für ein System mit Solekreis veranschlagt wird (konservative

Annahme), ergibt sich bereits eine jährliche Ersparnis von 134 € rechnen. Wenn man von 30% geringeren Kosten (im Vergleich zum Sole-Kreis) ausgeht, beträgt der jährliche Profit bereits 255 €.

Tabelle 16 Annahmen für eine Lebenszykluskostenbetrachtung für verschiedene Elemente der Frostschutzsysteme.

	Standard System (Solekreis)		Heatpipe-System	
	Komponente	Wartung/ Ersatz	Komponente	Wartung
Pumpe	Solepumpe	Nach 16Jahren zu ersetzen	-	-
Motorventil	Motorventil	Nach 16Jahren zu ersetzen	-	-
Wärmetauscher-Quelle	Wasser-Glycol/Luft	-	Kältemittel/Luft	-
Rückschlagklappe	Rückschlagklappe	Kontrolle	-	-
Sicherheitsventil	Sicherheitsventil	Kontrolle	-	-
Wärmeüberträger Wärmesenke	Sole/Luft	Kontrolle/ Reinigung	Kühlmittel zur Luft	Kontrolle/ Reinigung
Ausdehnungsgefäß	Ausdehnungsgefäß	Druckkontrolle	-	-
Regelung	Pumpenregelung	Kontrolle	Dreiwegeventil/ Magnetventil/ NCG-Behälter	Kontrolle
Solekreis	Solekreis	Kontrolle und Wartung	-	-

Ergebnisse Prognose mit validiertem Simulationsmodell:

Das Simulationsmodell wurde mit den Messergebnissen validiert. Damit wurden weitere Simulationen durchgeführt, insbesondere im tieferen Temperaturbereich für die Außenluft (-10 bis -15 °C).

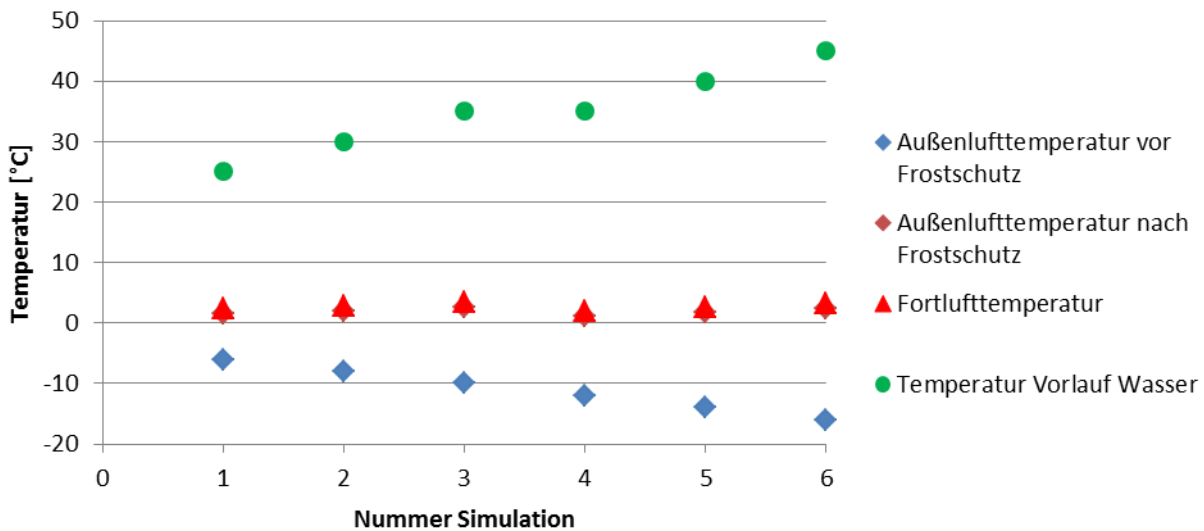


Abbildung 63 Simulation der Temperaturerhöhung durch Heatpipe für Außenlufttemperaturen bis -16°C bei einem Luftvolumenstrom von 100 m³/h.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Fortlufttemperaturen stets über 0°C bleiben, selbst bei tiefen Außenlufttemperaturen.

Fazit:

Heatpipes und Thermosiphone haben den Vorteil als passives System weder eine Pumpe noch einen Solekreis oder ein Ausdehnungsgefäß zu benötigen. Sie sind platzsparend im Lüftungssystem zu integrieren und während der Lebensdauer sind keine Reparaturen erforderlich. Damit wird gleichzeitig auch die Zuverlässigkeit der Anlage erhöht. Dies ergibt gemäß Lebenszykluskostenbetrachtung geringere Investitions- und Betriebskosten mit jährlichen Ersparnissen im Bereich von 134 bis 255 €/a pro Lüftungseinheit mit ca. 3.500 m³/h. Aus Gründen der Energieeffizienz ist eine Leistungsregelung notwendig, um unnötige Vorerwärmung zu vermeiden.

Dies kann entweder durch eine Temperaturregelung am Verdampfer (Wärmequelle) oder durch Regelung der Wärmeübertragung der Heatpipe erfolgen. In jedem Fall müssen das Heatpipe-System und dessen Regelung sorgfältig und in Abhängigkeit von der Wärmequelle, dem Luftvolumenstrom des Lüftungssystems sowie dem Wärmebereitstellungsgrad des Gegenstromwärmeübertragers geplant werden.

4.7 Ausgewählte Demonstrationsgebäude und lessons learned

4.7.1 Ausgewählte Demonstrationsgebäude

Nach einer Auswahl von Demonstrationsgebäuden wurde mit interessierten Wohnbauträgern und Bauunternehmen wie ennstal, GSWB, Linser, Riederbau, Neue Heimat Tirol, Partoll usw. Kontakt aufgenommen. Im Laufe des gesamten Projektes standen acht verschiedene Objekte in Tirol, Salzburg, OÖ und Steiermark zur Auswahl:

- Neubau „Punkthäuser“: Peter-Rosegger-Straße, Graz (Partoll)
- Neubau „Aktiv Klimahaus Wohnanlage“: Kramsach, Tirol (Partoll)
- Sanierung „e80^3“: Johann-Böhmstraße 34-36, Kapfenberg (ennstal)
- Sanierung „Harter-Plateau II“: Linz-Leonding (GIWOG/Aschauer)
- Neubau „Passiv-Wohnanlage“: Obermarkt 55, Reutte, Tirol (BM Linser)
- Neubau „Treidelstraße“: Kufstein (BM Rieder)
- Neubau „Vögelebichl“: Kranebitter Allee, Innsbruck (Neue Heimat Tirol)
- Neubau „Lexengasse/Baldehyofstraße“: Salzburg (Heimat Österreich)

Der Neubau in der Treidelstraße in Kufstein wurde vom Bauausschuss abgelehnt, fiel damit bald weg. Die restlichen 5 Objekte wurden nach den Kriterien und nach Umsetzungszeitplan bewertet und gereiht, dann vor allem zwei davon im Detail weiterverfolgt: Das Wohngebäude in der Johann-Böhmstraße 34-36 in Kapfenberg (Sanierung) – siehe - und die Aktivhaus Wohnanlage in Kramsach (Neubau). Bei beiden wurden im Frühjahr 2012 Arbeitstreffen und Besprechungen mit den technischen PlanerInnen und VertreterInnen der Gebäudeeigentümer abgehalten. Leider musste nach detaillierter Planung verschiedener Möglichkeiten für die Komfortlüftung die „Aktiv Klimahaus Wohnanlage“ in Kramsach wieder fallen gelassen werden, stattdessen sprang das Passivhausprojekt „Vögelebichl“ der Neuen Heimat Tirol ein, das aber erst 2014 fertig gestellt und damit für Vermessungen und Befragungen innerhalb der Projektdauer nicht zur Verfügung stand.



Abbildung 64 Johann-Böhmstraße 34-36 mit nahezu fertig gestelltem Bauabschnitt 1 im Frühjahr 2013

Das Gebäude Johann-Böhmstraße 34-36 in Kapfenberg ist auch Teil des Forschungs-Leitprojektes „e80³“ im Programm „Haus der Zukunft Plus“ und wurde als Plusenergiesanierung ausgeführt. In Abstimmung mit der GebäudeeigentümerIn ennstal wurden zwei Komfortlüftungsvarianten in Bauabschnitt 1 (16 Wohneinheiten) im Jahr 2013 eingebaut und vermessen. In der zweiten Gebäudehälfte wurden zum Vergleich zwei verschiedene Abluftsysteme eingebaut.

Für das Demogebäude „Vögelebichl“ in Innsbruck gab es seit Herbst 2012 Arbeitstreffen mit TechnikerInnen der Neuen Heimat Tirol. Folgende Punkte wurden von der Neuen Heimat Tirol für die Planung der Lüftung gewünscht:

- Frostschutzlösung mittels Heizregister über das Niedertemperaturnetz
- Leitungsführungen sollen entsprechend dem Vorschlag von UIBK geändert werden
- Für die Kellerentlüftung sollte für die Variante delta-x Regelung mit Ventilator und dem gegenüber die Kondensattrocknung angeboten werden
- FLI-VE Klappen müssen entsprechend der Einbausituation geprüft sein (MA39)
- Das Stiegenhaus wird nur dann be- und entlüftet wenn dies ohne gravierenden Mehraufwand ausgeführt werden kann

Später wurden nochmals die Wünsche seitens des Projektteams von „low_vent.com“ formuliert, die in der neuen Ausschreibung berücksichtigt werden sollten, wie:

- CO₂-Regelung: Stromversorgung und Regelung über die zentrale Leittechnik. Frei einstellbare CO₂-Grenzwerte für minimale und maximale Luftmenge und lineare Zwischenregelung
- Variable Druckregelung (Optimizerfunktion) mit max. externen Gesamtdruckverlust beim Betriebsluftvolumenstrom (Nennvolumenstrom), Außenluft - Zuluft max. 200 Pa bzw. Abluft-Fortluft max. 180Pa

- Stromeffizienz beim Betriebsluftvolumenstrom: max. 0,45 W/(m³/h) für die Gesamtanlage
- Automatischer Volumenstromabgleich zwischen Zuluft und Abluft für Gesamtvolumenstrom bzw. einzelnen Wohnungen, Abweichung max. 5% für Gesamtluftmenge bzw. 10% für einzelne Wohnungen
- Einzuhaltender Schallschutz: Schlafräume max. 23 dB(A) bzw. 43 dB(C)

Verbesserungsvorschläge aus dem Projektteam sollten dann teilweise umgesetzt werden, aber Messungen und Befragungen für das Projekt „low_vent.com“ würden keinen Sinn machen, weil erst Ende 2014 die Baufertigstellung und der Einzug in die Wohnungen erfolgt war. Damit doch ein Bauprojekt im „Westen“ Österreichs noch im Projekt vermessen werden konnte, wurden in Salzburg Objekte recherchiert.

Die Wohnbebauung „Baldenhofstrasse/Lexengasse“ in Salzburg Lieferung wäre, nachdem das Objekt „Vögelebichl“ in Innsbruck sich verzögerte, als möglicher Ersatz in Frage gekommen. Bei diesem Projekt wäre, neben der erweiterten Kaskadenlüftung und dem Vergleich einer konventionellen Einregulierung mit einer vereinfachten Einregulierung (Voreinstellung über die Verteilbox), vor allem die Vermessung des geplanten Rotationswärmetauschers mit Feuchterückgewinnung (ohne Kondensat – neuartige Beschichtung mit verringerter Geruchsübertagung) von besonderem Interesse gewesen. Leider verzögerte sich jedoch auch dieses Projekt und konnte daher nicht als Ersatzobjekt für „Vögelebichl“ herangezogen werden.

Zur Vermessung und Befragung als zweite Wohnhausanlage wurde dann doch die Plusenergiesiedlung „Reininghaus Süd“ in Graz ausgewählt (siehe Abbildung 65), wo ab 2014 zwei MFH genauer vermessen wurden. Dort waren bei weiteren Bauabschnitten Optimierungen im Lüftungssystem möglich.

12 „Punkthäuser“

143 Wohneinheiten (WE)

Haustyp E, D, G, I

4 Wohnungen/Geschoss

3-5 Geschosse

56 m²-61 m²

Haustyp C, J, F

5 Wohnungen/Geschoss

3-4 Geschosse

57 m²-89 m²

Haustyp A, B, H, L, K

3 Wohnungen/Geschoss + Penthaus

1-2 Geschosse + 2x Penthaus

203 m²-112 m²



9.955 m² Nettonutzfläche

Abbildung 65 Eines der neu gebauten „Punkthäuser“ in der Peter-Rosegger-Straße in Graz Reininghaus Süd

4.7.2 Lebenszyklusanalyse verschiedener Lüftungsstrategien und Materialien (Kramsach)

In dieser Studie wurden für die Wohnanlage „Aktivklimahaus Kramsach“ in Tirol (**Abbildung 66**) unterschiedliche Lösungen nach verschiedenen Kriterien bewertet und verglichen.

Dies bestehende Lösung (realisiert in den Bauteile A und B) wurde als Referenzfall bezeichnet und besteht aus einer semi-zentralen Verteilung zu den Wohneinheiten und eine Verteilung in den Wohnungen mit Wickelfalzrohr. Ziel dieser Studie ist es, eine Lösung für die Luftverteilung zu entwickeln, die eine gleichwertige Luftqualität in den Räumen erzielt, im Vergleich zu dem Referenzfall aber kostengünstiger und energieeffizienter ist.



Abbildung 66: Aktivklimahaus Anlage in Kramsach, Tirol. Bild aus [45]

Drei Hersteller aus Europa haben unterschiedliche Angebote für die Lüftungsanlage gelegt. Die Angebote wurden nach verschiedenen Positionen gegliedert, um sie vergleichbar zu machen. Zudem wurde auch der Einfluss der Umwandlung der Luftführung in eine erweiterte Kaskadenlüftung untersucht.

Die folgenden Varianten wurden untersucht:

Hersteller	Eigenschaften
K	„übliches“ Konzept mit Spiro-Rohr (Wickelfalz)
P	Starre Kunststoffrohre und Verteilkasten
S	Kombiniertes System Zuluft und Heizung
B	Kunststoffschauch und Verteilerkasten

Drei verschiedene Verteilungsmöglichkeiten (Zentral, Dezentral, Semi-zentral) und normale sowie erweiterte Kaskadenlüftung, in Summe also 18 Varianten wurden untersucht:

Tabelle 17 Verteilungsmöglichkeiten

Hersteller	Kaskadenlüftung	Zentrale Verteilung	Semi-zentrale Verteilung	Wohnungszentral
K	Standard	K_SL_Z	K_SL_SZ	K_SL_D
	Erweitert	K_KL_Z	K_KL_SZ	K_KL_D
P	Standard	P_SL_Z	P_SL_SZ	P_SL_D
	Erweitert	P_KL_Z	P_KL_SZ	P_KL_D
S	Standard	S_SL_Z	S_SL_SZ	S_SL_D
	Erweitert	S_KL_Z	S_KL_SZ	S_KL_D
B	Standard	B_SL_Z	B_SL_SZ	B_SL_D
	Erweitert	B_KL_Z	B_KL_SZ	B_KL_D

Die untersuchten Kriterien für den Vergleich der unterschiedlichen Lösungen sind:

- Luftqualität, insbesondere wurde die CO₂ Konzentration und die Luftfeuchtigkeit in den Wohnräumen untersucht
- Investitionskosten (Material und Montage) für:
 - Stromkosten
 - Wartungskosten
 - Nichterneuerbarer Primärenergieaufwand

Luftqualität: Die Luftqualität in den Wohnräumen wurde für die normale Kaskadenlüftung und die erweiterte Kaskadenlüftung untersucht. Dafür wurden drei unterschiedlichen Grundrisse als Mehrzonenmodell mit Hilfe der Software CONTAM (NIST) [46] simuliert. Die Grundrisse der Wohnungen 10 und 11 wurden nicht simuliert weil sie sehr ähnlich mit dem der Wohnung 1 sind.

Die resultierenden CO₂- und Feuchtekonzentrationen wurden über den Zeitraum eines Jahres sowie unter Berücksichtigung der Klimadaten in Innsbruck protokolliert (Quelle: Meteonorm [47]).

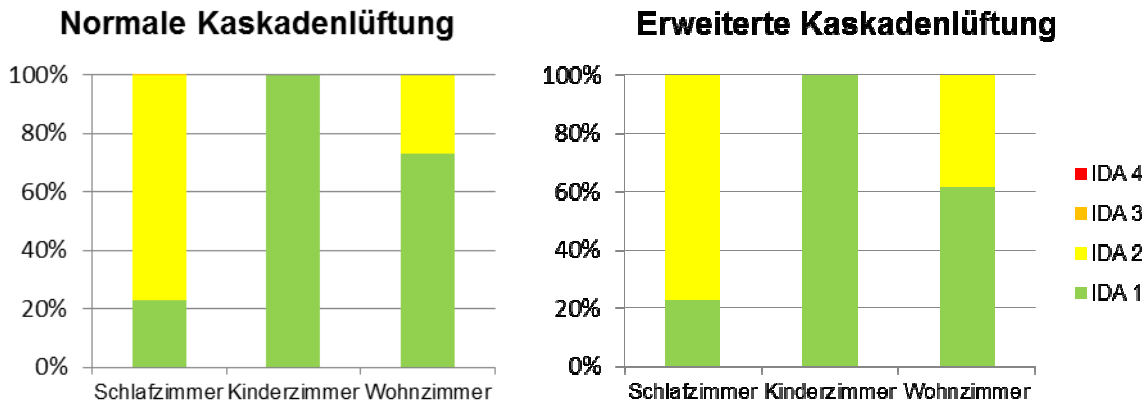


Abbildung 67: Anteil der Zeit in den jeweiligen Luftqualitätsklassen (IDA) für die Wohnung A1

Die Ergebnisse in **Abbildung 67** zeigen, dass die CO₂-Konzentration in den Schlafzimmern bei beiden Luftführungskonzepten fast identisch bleibt. Das liegt daran, dass sich der Zuluftvolumenstrom in den Zimmern kaum ändert. Durch den Wegfall des Zuluftauslasses im Wohnzimmer verschlechtert sich leicht die Luftqualität in diesem Raum. Jedoch ist diese Qualitätsänderung als geringfügig und problemlos einzustufen.

Abbildung 68 zeigt, dass sich die Luftfeuchtigkeit im Kernwinter bei Anwesenheit durch die Umverteilung auf erweiterte Kaskadenlüftung im Wohnzimmer verbessert und in den Schlafzimmer kaum ändert. Im Kinderzimmer ist in beiden Fälle die Luftfeuchtigkeit zu gering. Hier könnte eventuell der Volumenstrom weiter reduziert werden.

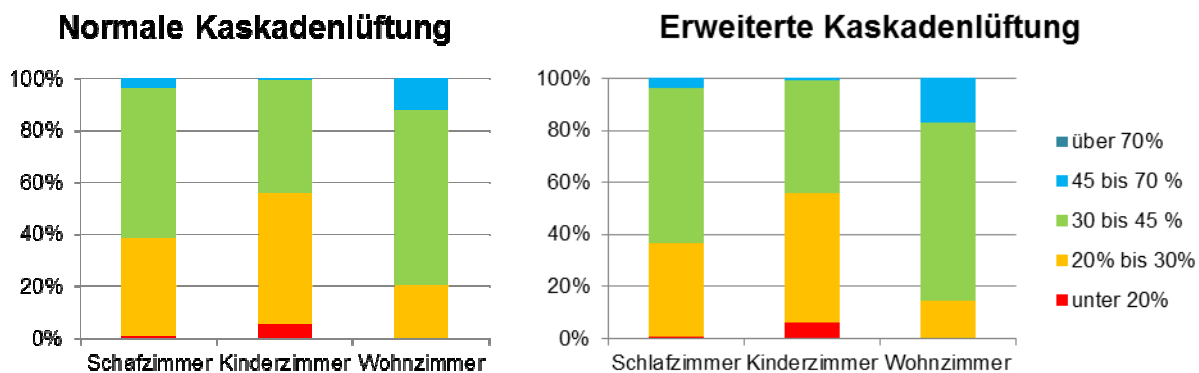


Abbildung 68: Anteil der Zeit in den jeweiligen Luftfeuchtigkeitsklassen (Relative Feuchte) im Kernwinter (01.01 bis 01.03) für die Wohnung A1

Die Luftfeuchtigkeit ist im Kinderzimmer gering, aber ändert sich kaum durch die erweiterte Kaskadenlüftung. Im Wohnzimmer hat sich jedoch dadurch die Luftfeuchtigkeit etwas erhöht. Deshalb bleibt die Lösung mit erweiterter Kaskadenlüftung im Vergleich vorteilhafter wie die normale Kaskadenlüftung: sie ist kostengünstiger und bringt eine gleichwertige Luftqualität. In dieser Situation wäre darüber hinaus eine Feuchterückgewinnung gut geeignet. In [48] wurde bereits der Einsatz von Feuchterückgewinnung quantitativ untersucht, es zeigte sich, dass bereits bei einer Feuchterückgewinnung von 13% bis 20 % die Raumluftfeuchte wieder im behaglichen Bereich gehalten werden kann.

Materialkosten: Die Materialkosten wurden aus den jeweiligen Angeboten entnommen und verschiedenen Positionen gegliedert:

- Gerät
- Luftverteilung von Gerät zur Wohnung
- Luftverteilung in der Wohnung + Fußbodenheizung

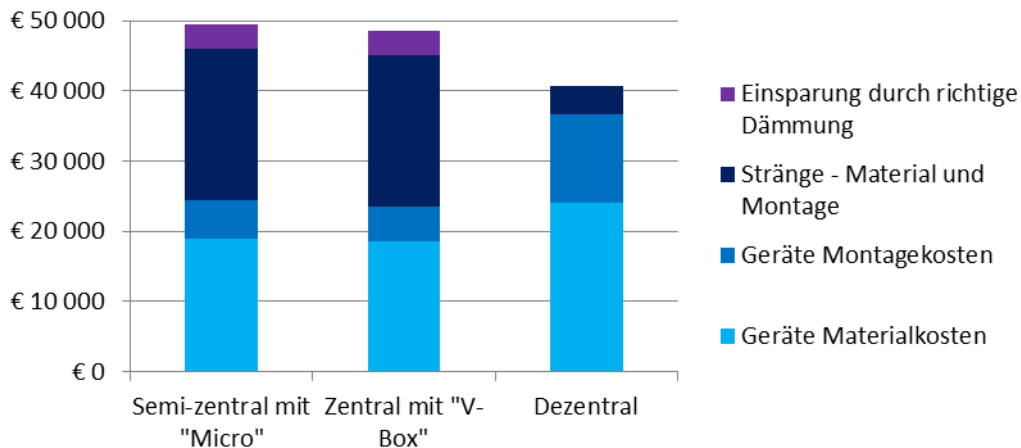


Abbildung 69 Investitionskosten für die Lüftung und die Heizung (ggf. Fußbodenheizung) nach der Art der Hauptverteilung: Semi-zentral mit „Micro“: Semizentrale wohnungsweise Ventilatoren, Zentral mit „V-Box“: Zentrale Lösung mit Volumenstromreglern, *Wohnungsweise Geräte*

Stromkosten: Die Berechnung der Stromkosten erfordert einerseits die Berechnung des Druckverlustes in den jeweiligen Systemen und andererseits die Kennlinienfelder der Ventilatoren:

In der Praxis wird der elektrische Verbrauch wie folgt gerechnet:

$$Le = \dot{V} \times \varphi(\Delta P)$$

Mit $\varphi(\Delta P)$ die Leistungsaufnahme eines Ventilators in [Wh/m³].

Mit Hilfe der Software CADVent Lindab® [49] wurde ein Modell der Luftleitungen vom Gerät bis zum Auslass (für die Zuluft) und von Auslass bis zum Gerät (für die Abluft) erstellt, um den Druckverlust für jede Wohnung genau zu berechnen (Abbildung 70).

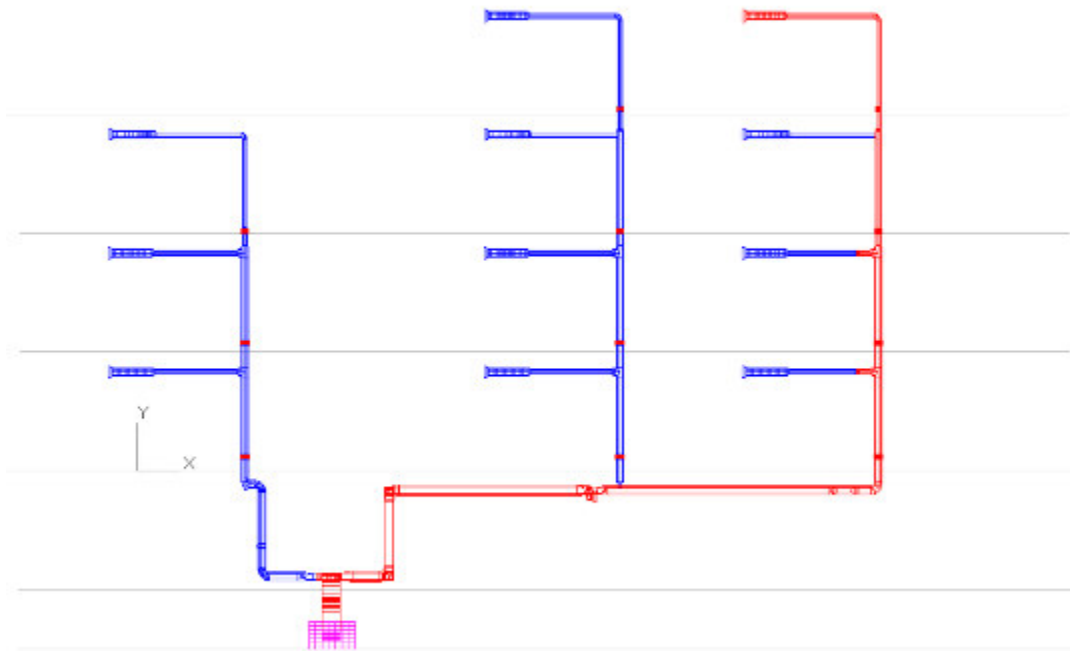


Abbildung 70 Seitenansicht der Strängen aus CAD Vent. In rot ist der kritische Strang (mit dem höchsten Druckabfall) dargestellt

Die Stromkosten wurden über den Zeitraum eines Jahres (Annahme: durchgehender Betrieb) berechnet:
 $24 \text{ Std.} \times 365 \text{ Tage} = 8760 \text{ Betriebsstunden.}$

Der Strompreis wurde mit $0,17 \text{ €/kWh}$ angenommen.

Der Preis pro m^2 pro Jahr wurde berechnet, um dem Vergleich mit den Empfehlungen aus dem [50] vornehmen zu können (Abbildung 71).

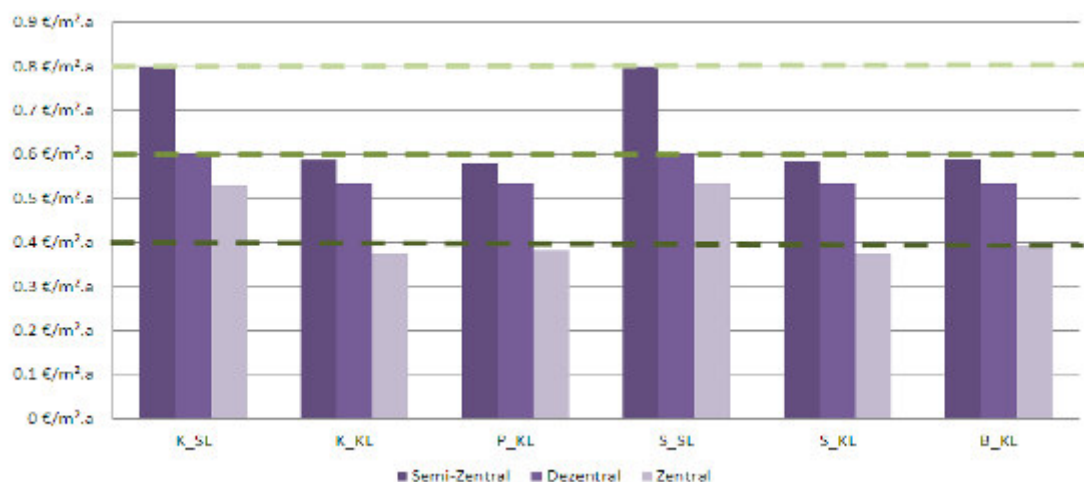


Abbildung 71 Geschätzte Stromkosten für die Wohnanlage

Die gestrichelten Linien stellen die Benchmarks des Strompreises pro Jahr entsprechend den drei verschiedenen Standards aus dem [50] dar.

Tabelle 18 Standards aus [50]

Standard	Voraussetzung / Kriterien
Minimale Stromkosten	Stromkosten < 0,4 €/m ² .a
Niedrige Stromkosten	Stromkosten < 0,6 €/m ² .a
Mittlere Stromkosten	Stromkosten < 0,8 €/m ² .a

Wartungskosten: Da noch kein Wartungsvertrag für die Wohnanlage vorliegt, wurden die theoretischen Wartungskosten für die verschiedenen Varianten geschätzt (Abbildung 72) [38].

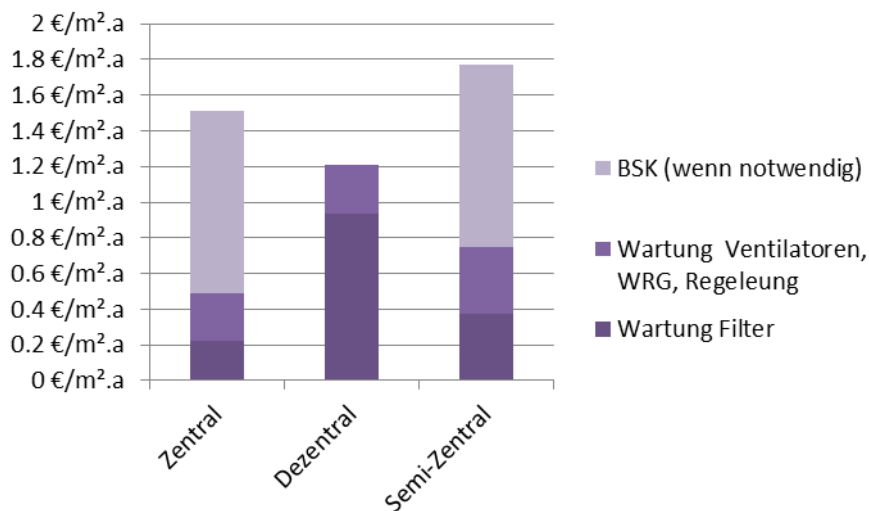


Abbildung 72 geschätzte Wartungskosten für die Wohnanlage

Graue Energie: In [40] ist eine Berechnungsmethode der grauen Energie eines Gebäudes vorgeschlagen. Die Lüftungsanlage gehört zu der Elementgruppe D7 in der Gebäudestruktur. In [39] wurden verschiedenen Systeme untersucht und bewertet. Die Ergebnisse dieses Projektes wurden auch erläutert und weiter für die Erstellung der Schweizer Norm [40] verwendet. Die Berechnung des nichterneuerbaren Primärenergieaufwandes erfolgt auf Basis der Angaben in MJ/kg (Abbildung 73).

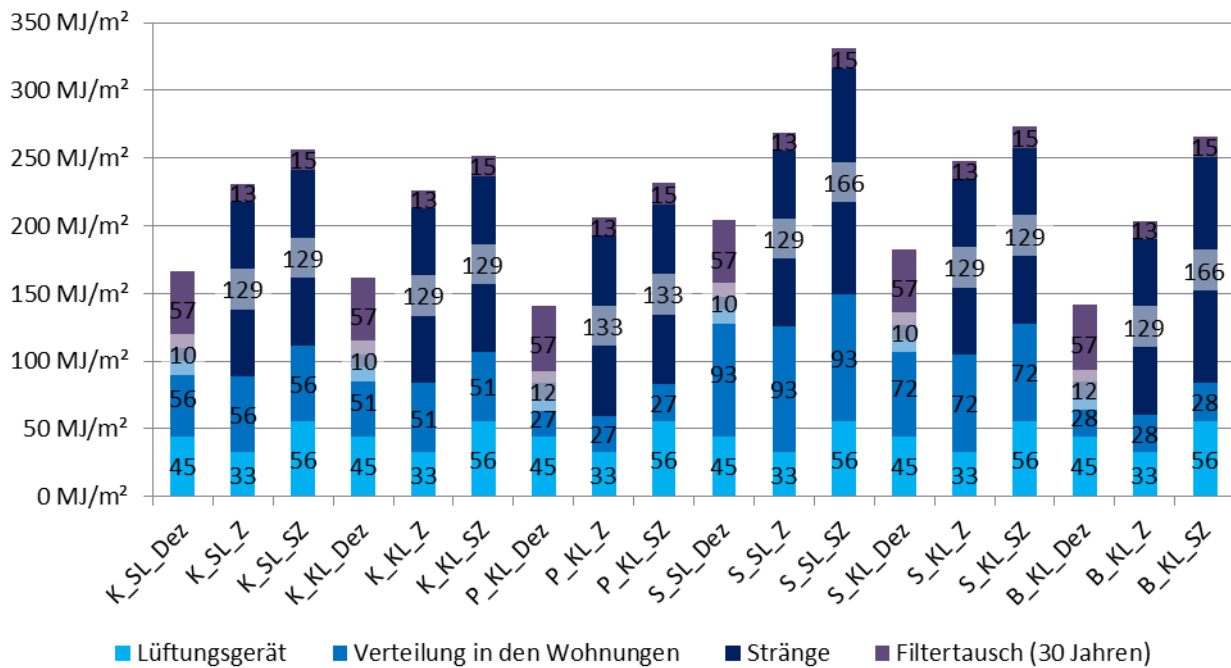


Abbildung 73 Nichterneuerbarer Primärenergieaufwand in [MJ/m².a] bezogen auf 30 Jahren [40].

Lebenszyklusanalyse verschiedener Lüftungsstrategien und Materialien (Kramsach)

Alle untersuchten Varianten wurden in einem Diagramm dargestellt, welches den gesamten nichterneuerbarer Primärenergiebedarf (Strom und graue Energie) in Abhängigkeit der Gesamtkosten pro Jahr bezogen auf den Quadratmeter Nutzfläche (Annuität der Investitionskosten, Wartung und Strom) ausweist (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

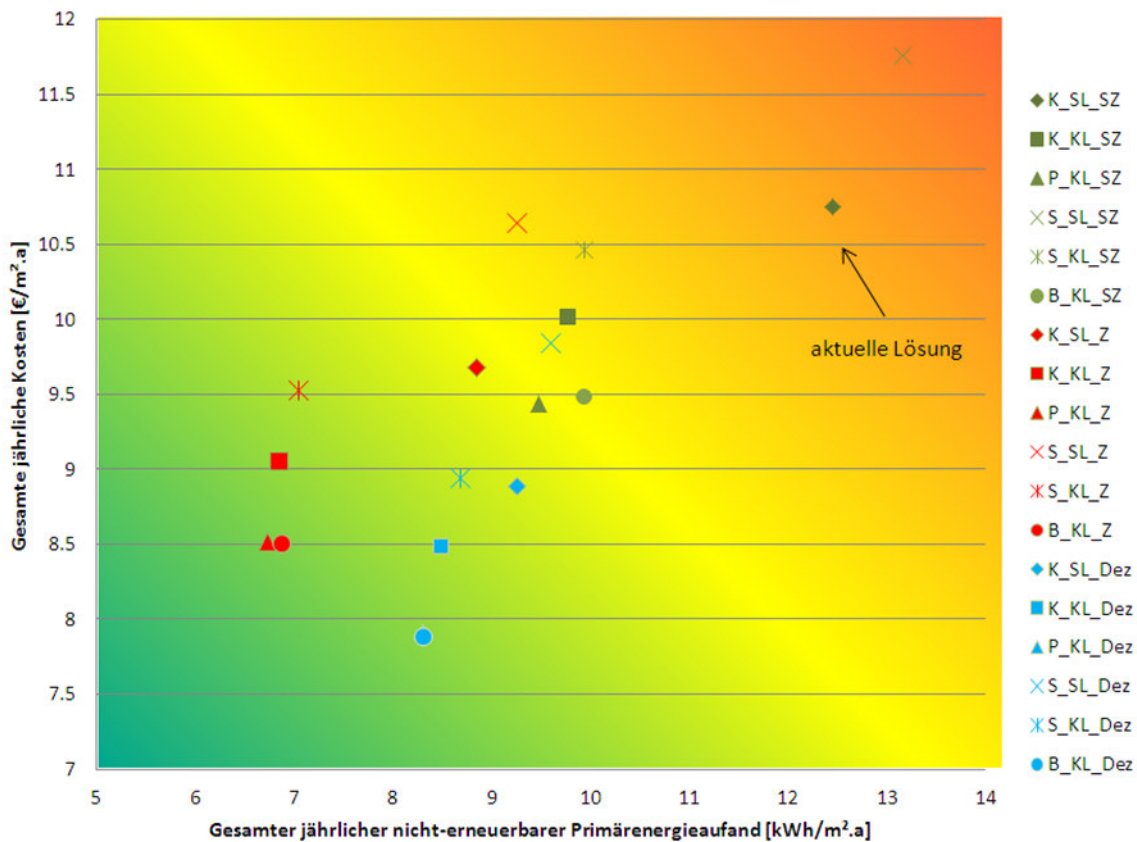


Abbildung 74 Jährliche Gesamtkosten der untersuchten Varianten aufgetragen über den gesamten jährlichen nicht-erneuerbaren Primärenergieverbrauch.

Anhand des Diagramms erkennt man drei Möglichkeiten die aktuelle Lösung zu optimieren:

- Metallkanäle gegen Kunststoffkanäle tauschen. Dies reduziert die Investitionskosten sowie den Primärenergieaufwand.
- Die Luftführung von normaler zur erweiterten Kaskadenlüftung zu ändern, ermöglicht ebenfalls signifikante Einsparungen in den jährlichen Betriebskosten (finanzielle und energetische Einsparungen). Dabei bleibt die Luftqualität befriedigend.
- Die semi-zentrale Verteilung gegen zentrale oder wohnungsweise Verteilung tauschen. Beide ermöglichen eine Kosten- und Energieeinsparung im Vergleich zu der semi-zentralen Lösung. Die wohnungsweisen Varianten sind im Vergleich zu den zentralen Varianten günstiger aber die zentralen Varianten ermöglichen größere Energieeinsparungen.

Die Lösungen mit integrierter Heizung (Hersteller „S“) scheinen insgesamt die mit den größten Aufwänden zu sein, bieten aber eventuell bei der Sanierung Vorteile weil keine Deckenabhängung benötigt wird. Die Ergebnisse der Studie wurden in [61] publiziert.

4.7.3 Projekt Vöglebichl - Beratung bei der Planung der Lüftung

Die Wohnanlage besteht aus zwei Teilen, einem nördlichen Baukörper mit E+3 und einem südlichen Baukörper mit E+2/3. Beide Baukörper verfügen über einen Keller und eine Tiefgarage. Die Anlage befindet sich in Innsbruck, zwischen den Straßen „Vöglebichl“ und Kranebitter Allee.

- Bauträger: Neue Heimat Tirol
- Lüftungsplaner: Fa. AlpSolar
- Neubau (Baubeginn: Herbst 2013 – Fertigstellung Frühjahr 2015)
- Insgesamt 26 Wohneinheiten – 1930 m² Nettonutzfläche
- Passivhaus-Zertifizierung nach Fertigstellung ist geplant



Abbildung 75 Wohnanlage Vöglebichl in Innsbruck [58]

Zur Lüftung wurde jeweils ein bzw. zwei zentrale(s) Geräte(n) mit Wärmerückgewinnung gewählt. Der südliche Baukörper ist mit einem zentralen Gerät in einem Technikraum im obersten Geschoss (OG. 2) ausgestattet. Für den nördlichen Baukörper wurden zwei Geräte geplant, die direkt auf dem Dach installiert wurden.

- Vorgeschlagene Maßnahmen zur Kostenreduzierung im Bereich Lüftung
Die Pläne wurden von der Planungsfirma an das Projekt-Team geschickt (UIBK; Andreas Greml; Andreas Troier, Energie Tirol). Dazu wurden Anmerkungen und Vorschläge zur Kostenreduzierung besprochen und im Anschluss dem Bauträger bzw. dem Lüftungsplaner sowie der ausführenden Firma übermittelt.

- Lüftungsgerät nördlicher Baukörper (E+3)

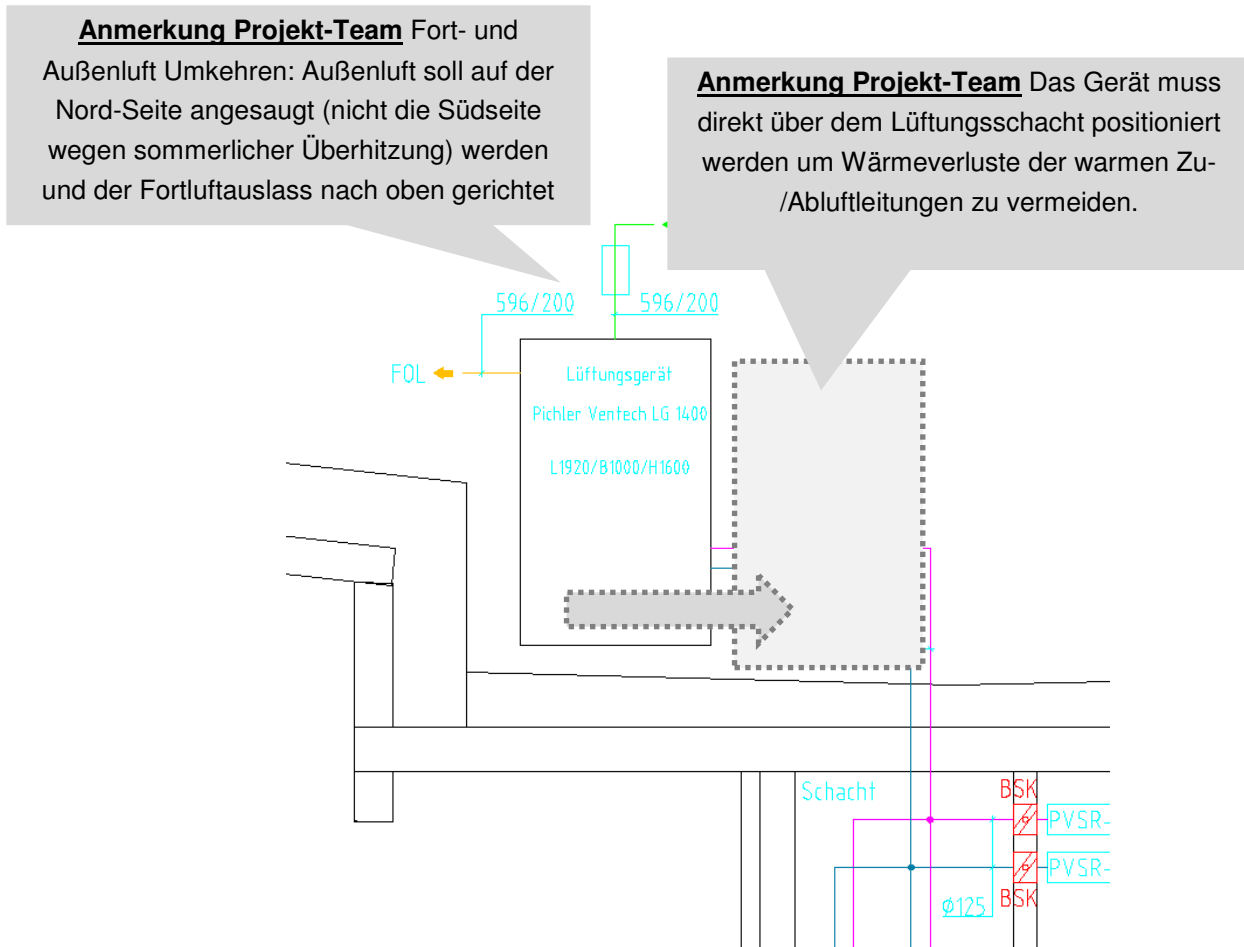


Abbildung 76 Detail aus dem Plan „Lüftungsschema Nordseite“ vom HLS Planung, Stand 07.03.2013

Die direkte Dachaufstellung des Gerätes wurde in Zusammenarbeit zwischen UIBK und der Fa. Pichler realisiert.

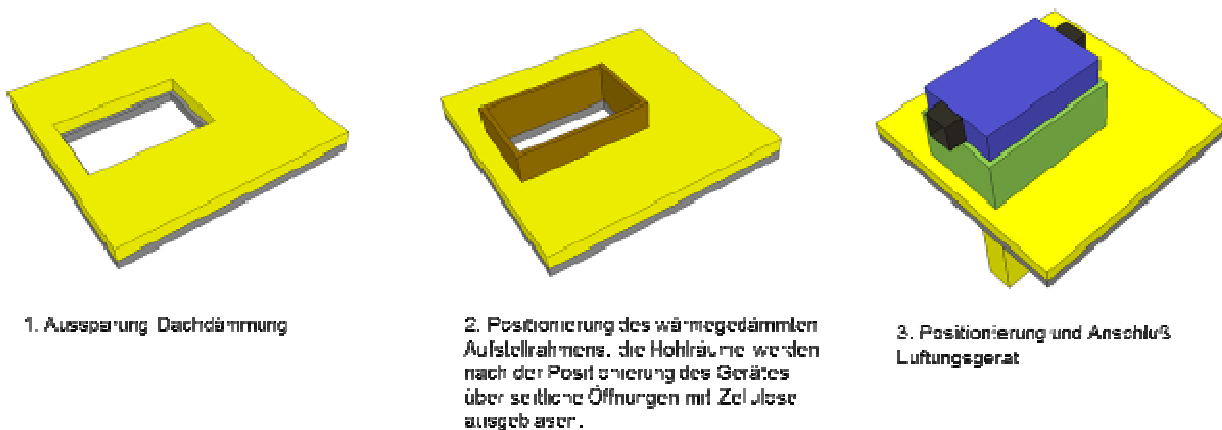


Abbildung 77 Skizze für die Dachaufstellung

Im Prinzip muss nur das warme Teil des Gerätes gedämmt werden, um die Verluste zu minimieren. Durch die Aufstellung direkt über dem Steigschacht können die Zu- und Abluftkanäle direkt in die wärmegeämmte Gebäudehülle geführt werden. Die Abdichtung der wasserführenden Ebene des Flachdaches wird direkt an den Aufstellrahmen (Hochzug) angeschlossen.

- Luftmengen und erweiterte Kaskadenlüftung

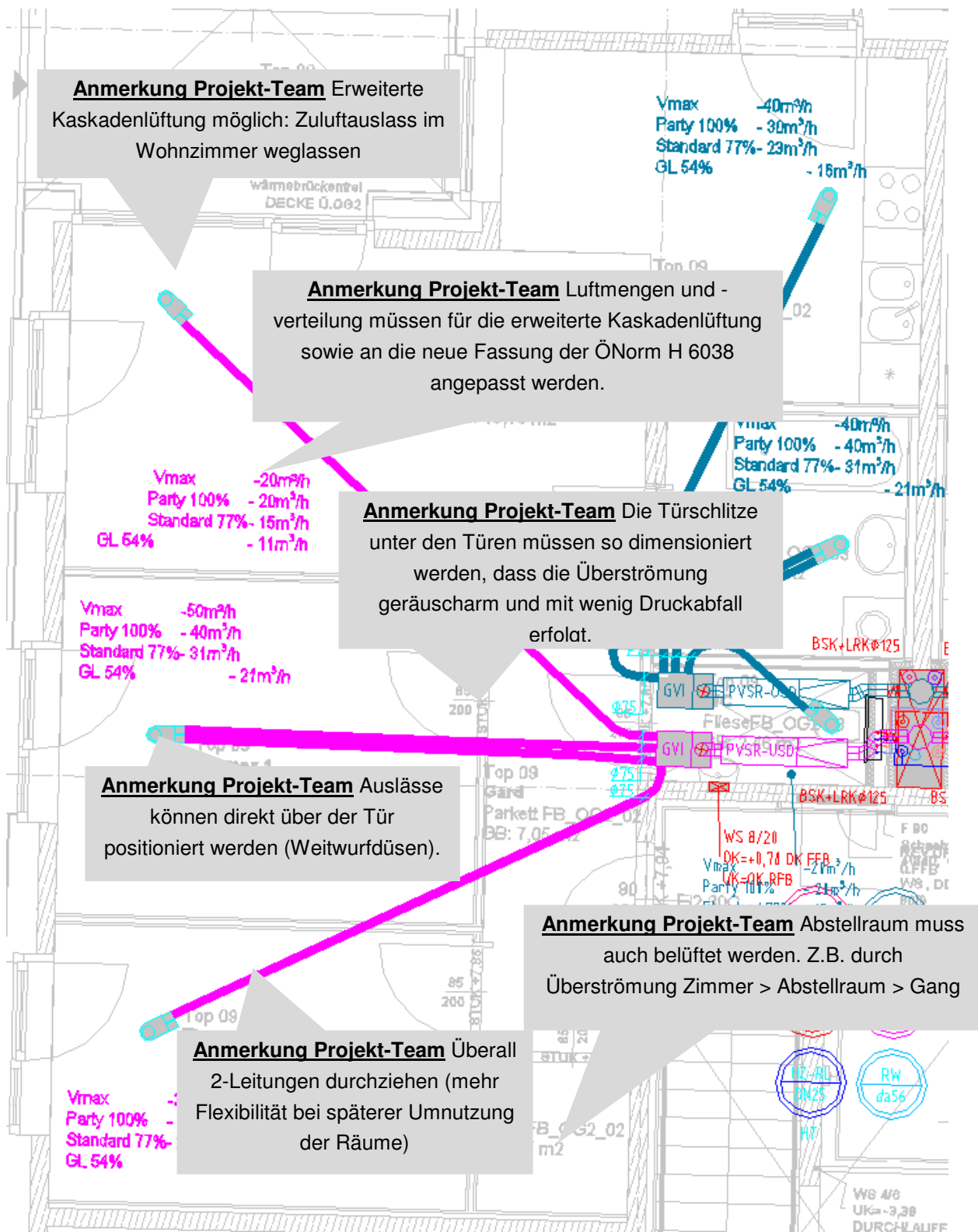


Abbildung 78 Detail aus dem Plan ACAD-3OG_HLS.dwg vom HLS Planung, Stand 10.04.2013

In allen 3- bis 4-Zimmer Wohnungen ermöglicht die Grundrissgestaltung eine erweiterte Kaskadenlüftung. Dabei kann die gesamte Luftmenge reduziert werden (entsprechend [71]).

	Vnenn [m³/h] nach HSL Plan	Vnenn [m³/h] nach Önorm 6038
3-Zimmer WE	77	60-75
2-Zimmer WE	77	40-50
4-Zimmer WE	92,4	60-90

Es wurde auch vorgeschlagen, die Zuluftleitungen bis ins Wohnzimmer trotzdem durchzuziehen, jedoch ohne Auslass (Abdeckung). Damit ist die Flexibilität des Grundrisses eingehalten und der Raum kann später getrennt und als weiterer Schlafrum verwendet werden. Auf diese Weise können die Vorteile der Kaskadenlüftung dennoch genutzt werden ohne die Flexibilität im Falle einer späteren Umnutzung zu verlieren.

Die Zuluft-Auslässe können direkt über der Tür mit Hilfe von Weitwurfdüsen positioniert werden. Diese ermöglichen eine effektive Anbringung der Luft im Raum durch eine gute Durchmischung. Außerdem ist die Positionierung des Auslasses über der Tür am wenigsten störend und die Gefahr, dass die Rohre als Versehen vom Nutzer angebohrt werden (Beleuchtungseinrichtungen...), ist viel geringer (über der Türe wird für gewöhnlich nichts verbaut).



Abbildung 79 Beispielprodukte Weitwurfdüsen. Quelle: [59]

- Keller

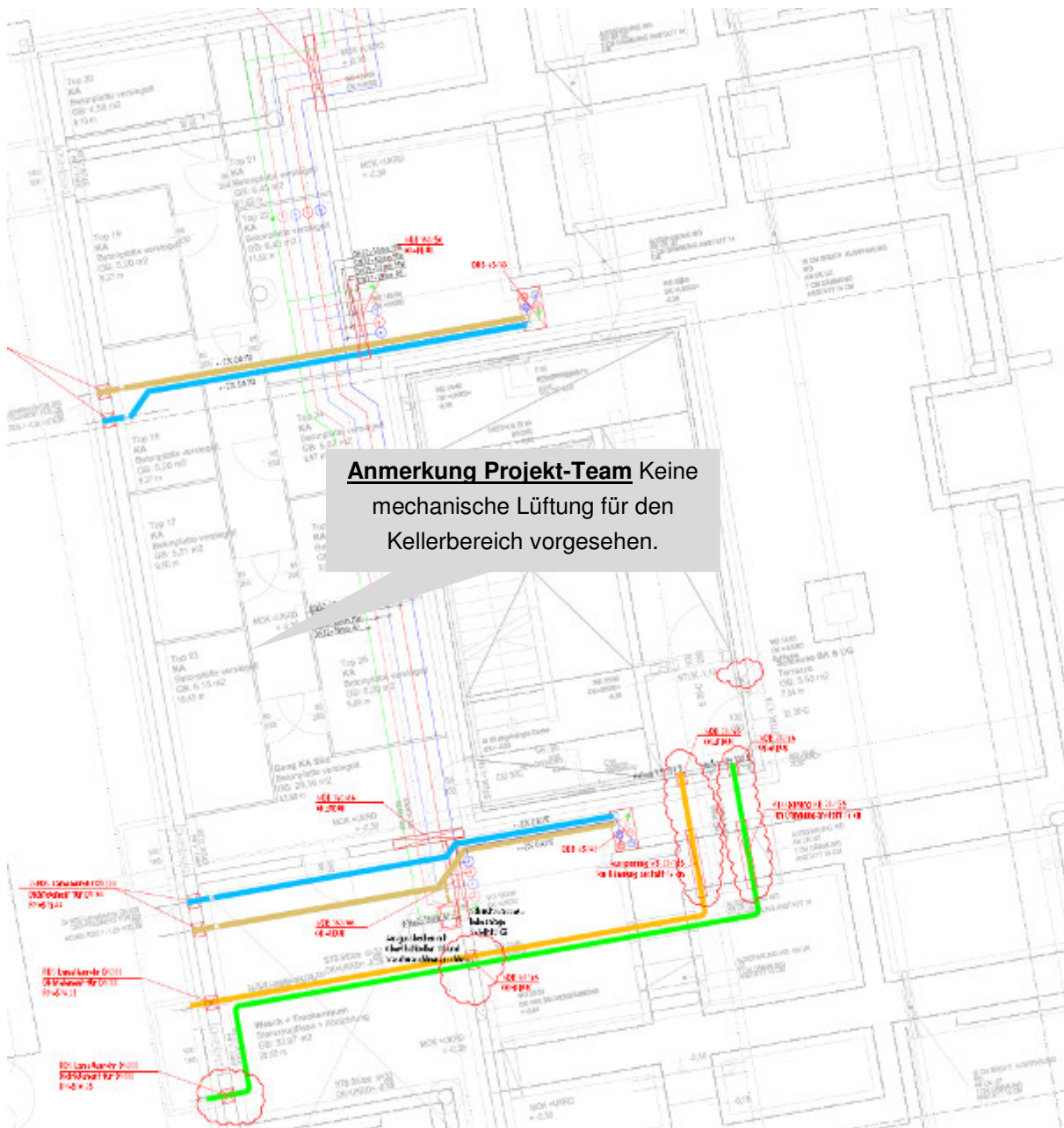


Abbildung 80 Detail aus dem Plan „121211_EG_BK Süd 1_50 Lüftung.pdf“ vom HLS Planung, Stand von 13.03.2013

Um die Bauschadengefahr wegen der Feuchte im Keller zu beseitigen hat der Bauträger einen Raumlüftentfeuchter vorgeschlagen. Als Alternative schlägt das Projekt-Team eine einfache Fortluftanlage, welche mit relativer Feuchtegrade geregelt wird, vor. Dazu wurde ein Angebot eingeholt. Ventilator mit Fortluftrohr und Feuchteregler: Kostenpunkt ca. 500 €.

4.7.4 Projekt Vöglebichl – Dachaufstellung (Ausführung – Bilder)

Die folgenden Vorschläge vom Forschungsteam wurden im Projekt Vöglebichl realisiert:

- Erweiterte Kaskadenlüftung mit reduzierten Luftmengen wurde in den 4-Zimmer Wohnungen realisiert.
- Die Geräte des Nordbauteils wurden als direkte Dachaufstellung installiert. Die Installation der Geräte am Dach wurde von UIBK Team begleitet und dokumentiert. Somit konnten Details über den Anschluss noch geklärt werden.
- Dichtungen: Die planseitig auf den Fotos erkennbaren Dichtungen bilden NICHT die „luftdichte Ebene“ und wären laut Fa. Pichler eigentlich nicht erforderlich. Ein Rohreinschub von innen verbindet das Lüftungsgerät mit dem Lüftungskanal und dichtet den Luftstrom gegen die Umgebung ab (siehe Darstellung).



Abbildung 81 Dichtung Anschluss Dach

- Unterbau und Durchführungen: Die Dämmstärke des Gehäuses ist so gewählt, dass kein Abzug nach OIB [66] wegen Dachaufstellung wirksam wird (als Teil der Gebäudehülle betrachtet). Der Lüftungsgerät-Unterbau wurde ähnlich abgedichtet wie z.B. Oberlicht. Bitumenbahn und Blechschutz wurde bauseits realisiert (siehe allgemeine Detailzeichnung von Fa. Pichler). Der Unterbau wird auch für die Dachdurchführung von Abwasserentlüftung, Solarthermie-Hydraulik und diverse Elektrokabel (Solarthermie, PV) verwendet. Die Hydraulik für Heizregister (Frostschutz) könnte /sollte idealerweise innerhalb des Gehäuses geführt werden.

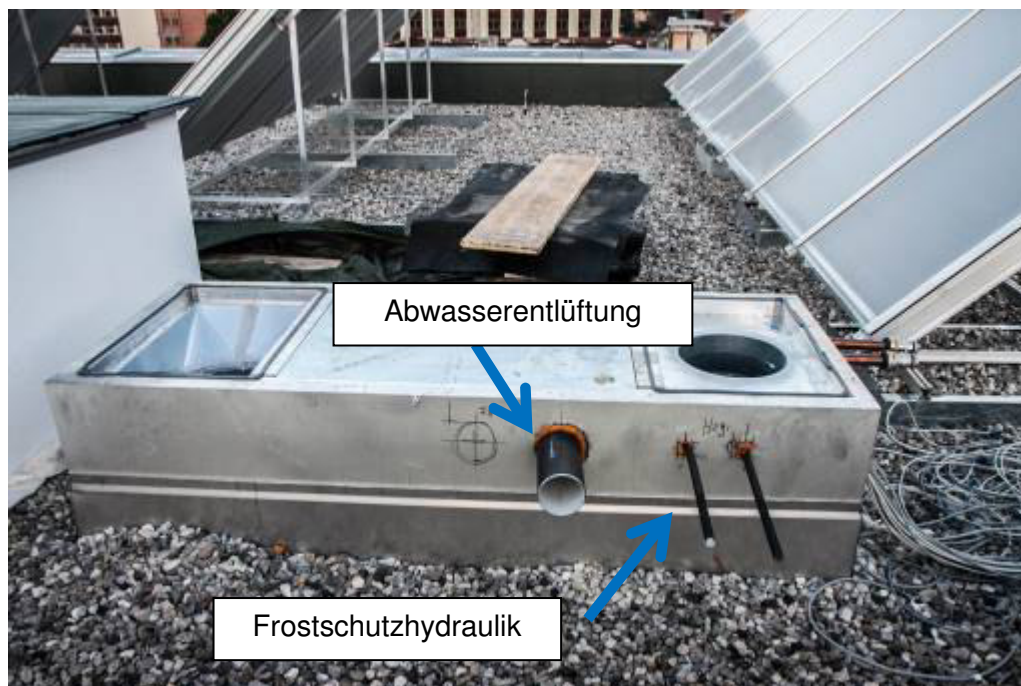


Abbildung 82 Sockelanschluss-Details I

- Sockelanschluss: Das Anschlussdetail über die Einfassung des Gerätesockels wurde fachgerecht von einem ortsansässigen Spenglermeister erstellt.

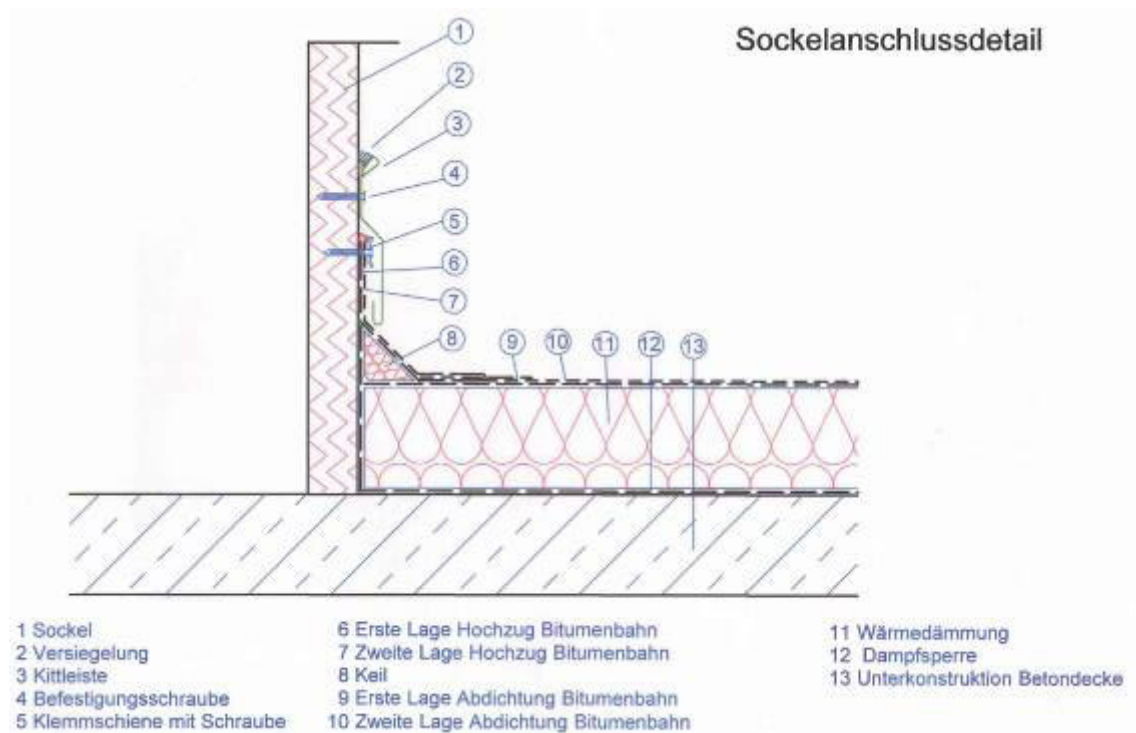


Abbildung 83 Sockelanschlussdetails II

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Montage:



Abbildung 84 Montage des Dachgeräts

4.8 Auswertung von Messungen in den realen Demonstrations-Wohnbauten

Da in den zwei „vermessenen“ Gebäuden der Einfluss auf die Planung der Lüftungssysteme und Änderungen aufgrund des Planungs- und Baufortschritts beschränkt war, dokumentieren die Messungen zwar nicht unbedingt den „Idealfall“ eines low-tech Lüftungssystems, zeigen jedoch anschaulich, dass die erreichbaren Komfortbedingungen und die Luftqualität sehr positiv bewertet werden können.

4.8.1 Johann-Böhmstraße 34-36, Kapfenberg – Bauabschnitt 1

Das Wohngebäude in der „Johann-Böhmstraße 34-36“ in Kapfenberg wurde in den 1960er Jahren errichtet. Das Ziel war eine umfassende „Plusenergie“-Sanierung mit vorgefertigten Holz-Fassadenelementen. Die Bruttogrundfläche nach der Sanierung beträgt gesamt 2.845 m²_{BGF}, wobei der erste Bauabschnitt genau die Hälfte dieser Fläche davon einnimmt. Der Bezug des 1. Bauabschnitts wurde im Mai 2013 abgeschlossen, der Bezug des 2. Bauabschnitts erfolgte im Juni 2014.

Im ersten Bauabschnitt (eigentlich die Hausnummer „36“) wurde eine Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung für insgesamt 16 Wohneinheiten umgesetzt. Die vorher über Blower-Door-Tst gemessene Luftdichtheit lag bei $n_{50} = 0,4$ 1/h, der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung sollte mind. 80% betragen.

Es wurden zwei Pichler-Geräte Type „LG 1400 System Ventech“ für je 8 Wohneinheiten eingesetzt. Die beiden Geräte versorgen somit zwei Lüftungssysteme, die dasselbe System der Spirorohr-Luftführung besitzen, aber sich vor allem in der Regelstrategie voneinander unterscheiden:

1. „Komfort-CO₂-Regelung“: Mechanische Be- und Entlüftung mit WRG, automatische CO₂-Regelung und Fan Optimizer (Anpassung der Luftmenge über CO₂-Konzentration kontinuierlich)
2. „Komfort-NutzerIn“: Mechanische Be- und Entlüftung mit WRG und Standardregelung durch Bediengerät für NutzerIn (Anpassung der Luftmenge über NutzerInnenanforderung in drei Stufen)

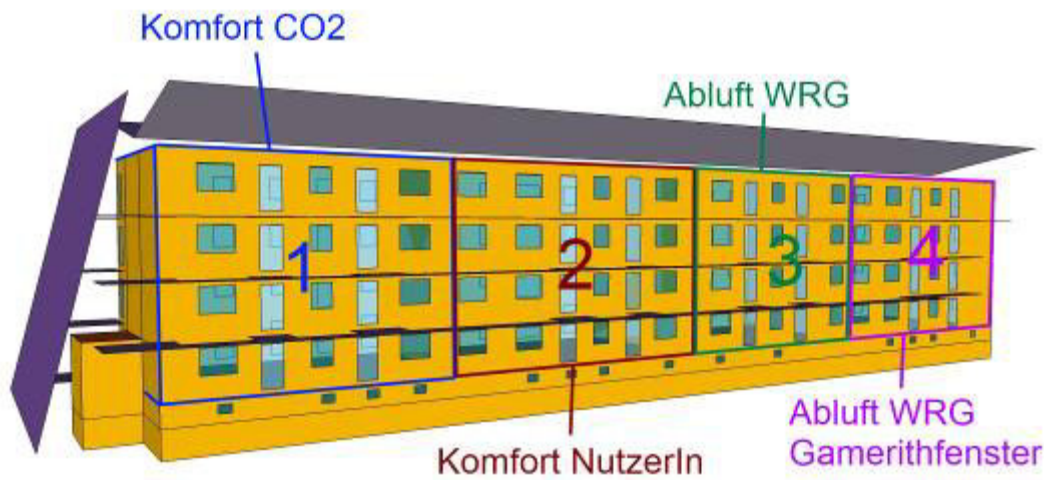


Abbildung 85 Die vier Lüftungssystemvarianten im Demonstrationsgebäude Johann-Böhmstraße 34-36 in Kapfenberg; die zwei „Komfort“-Varianten auf der linken Seite der Abbildung wurden für low_vent.com genau untersucht, die Abluftsysteme hatten sich in der Umsetzung noch geringfügig verändert

Die Abbildung 85 gibt einen Überblick über die vier in Kapfenberg geplanten Lüftungssystemvarianten, wovon die zwei Komfortlüftungsvarianten für „low_vent.com“ genau ausgewertet und analysiert wurden. In der Variante „Komfort-CO₂-Regelung“ wurde das Lüftungssystem in vier übereinanderliegenden Wohnungen des Typs „G“ für das erste Betriebsjahr so ausgeführt, dass die Funktion einer erweiterten Kaskadenlüftung untersucht werden konnte – siehe Abbildung 86.

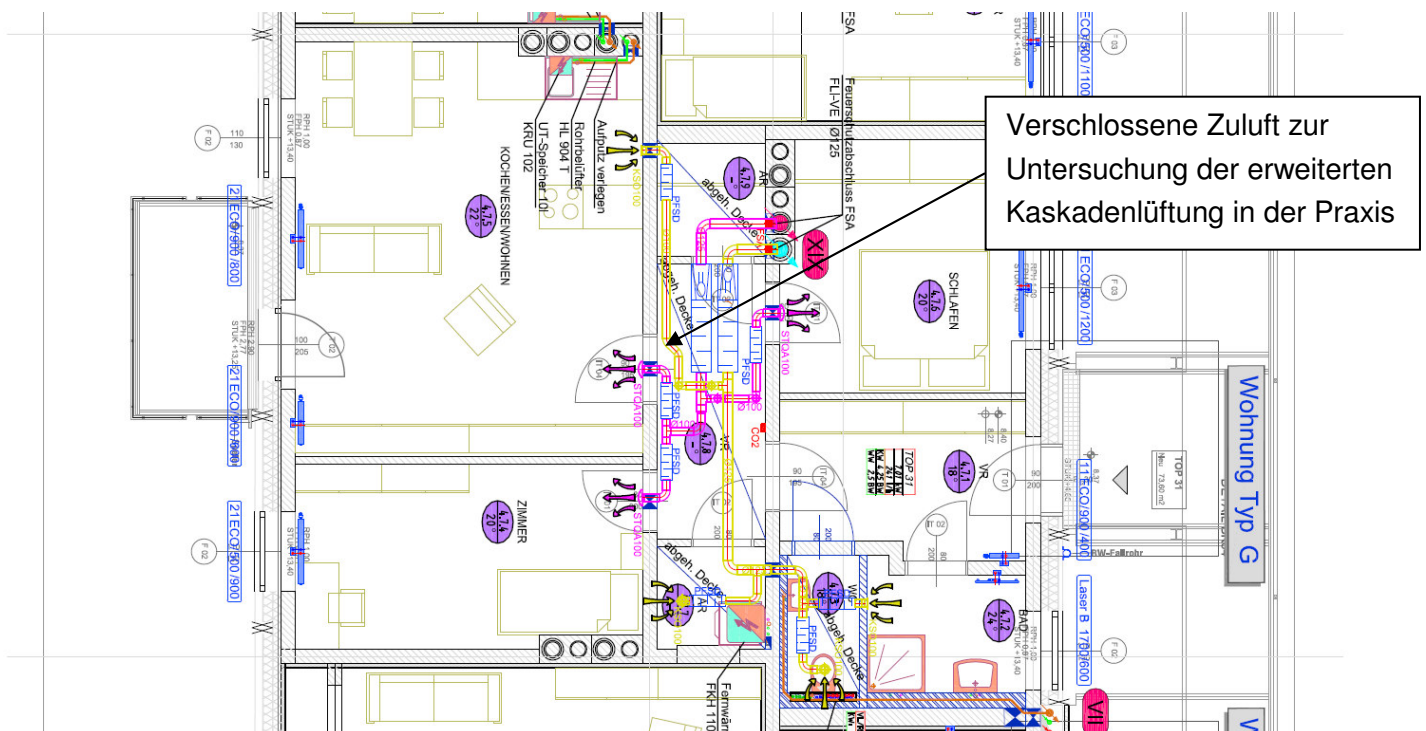


Abbildung 86 Grundrissplan der Wohnungen „Typ G“, bei denen die erweiterte Kaskadenlüftung in der Praxis vermessen wurde

Nach Einstellung der Luftmengen in den Wohnungen durch Fa. Pichler selbst (siehe Messprotokoll im elektronischen Anhang XX), wurde das Lüftungssystem nach Einbau aller relevanten Messsensoren und Adjustierungen ab Herbst 2013 vermessen. In der Ergebnisdarstellung wird vor allem auf das erste Messjahr eingegangen, da das zweite erst im Herbst 2014 startete und nur zum Teil schon Ergebnisse dazu vorliegen. Im ersten Messjahr zeigte sich, dass die parallel laufenden Arbeiten am Bauabschnitt 2 einige der Werte wie den Gesamt-Stromverbrauch geringfügig verfälschten. Dennoch soll dieser in der Ergebnisdarstellung nicht fehlen.

Ergebnisse

Allgemein ist zu den Ergebnissen zu sagen, dass sie über große Strecken das bestätigen, was vorher erwartet wurde. Die Luftqualität und die Komfortbedingungen sind generell sehr gut, was einige Grafiken zeigen. Aber natürlich gibt es Nuancen und Besonderheiten, die im Folgenden auch erwähnt sind.

Zu Beginn seien die Komfortparameter Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit in den Räumen beleuchtet. Die Temperaturen sind relativ konstant über das Jahr im behaglichen Bereich (Abbildung 87), wobei die Durchschnittstemperatur im Winter des ersten Messjahres sehr hoch liegt (siehe Abbildung 88). Das ist das vorläufige Ende einer Entwicklung im großvolumigen Wohnbau, die zeigt, dass immer höhere Raumtemperaturen im Wohnbau nicht nur realisiert, sondern auch von den BewohnerInnen gut geheißen werden, was auch die Befragungen vor Ort bestätigt haben. Im Sommer liegen die Stundenmittelwerte über 26°C bei 6% der Gesamtstundenanzahl, auch wenn es sehr hohe Abweichungen zwischen den Wohnungen gibt, was Abbildung 89 sehr gut zeigt.

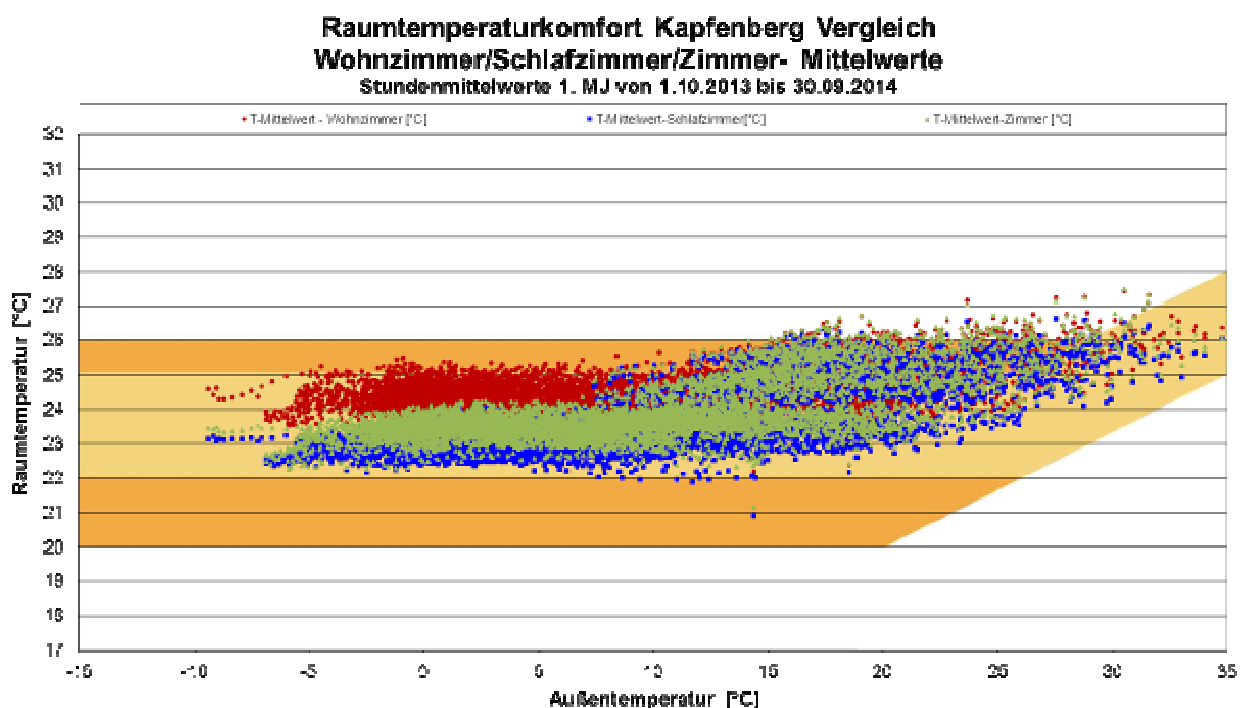


Abbildung 87 Stundenmittelwerte der Raumtemperatur als Mittelwerte der jeweiligen Zimmer aller 16 Wohnungen in Abhängigkeit der Außentemperatur (erstes Messjahr)

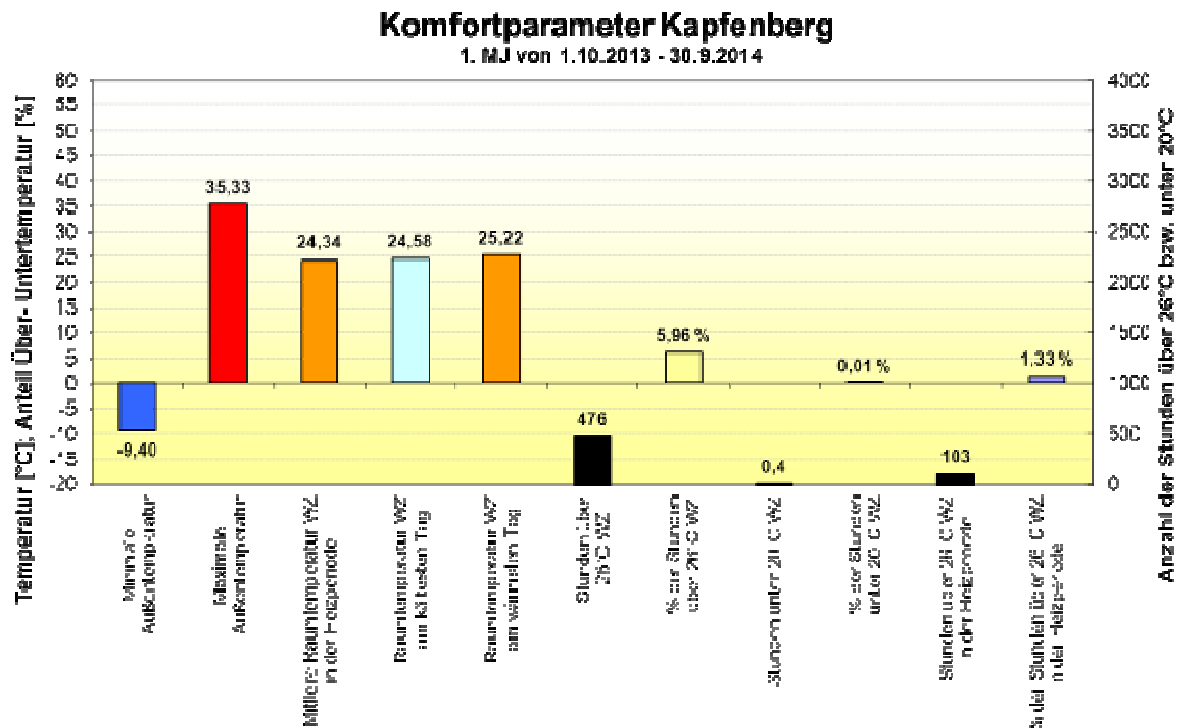


Abbildung 88 Überblick über die Komfortparameter in den Wohnzimmern der Johann-Böhmstraße 36 in Kapfenberg; gut ersichtlich ist die hohe Durchschnittstemperatur während der Heizperiode und die relativ geringe Stundenanzahl mit Temperaturen über 26°C im Sommer

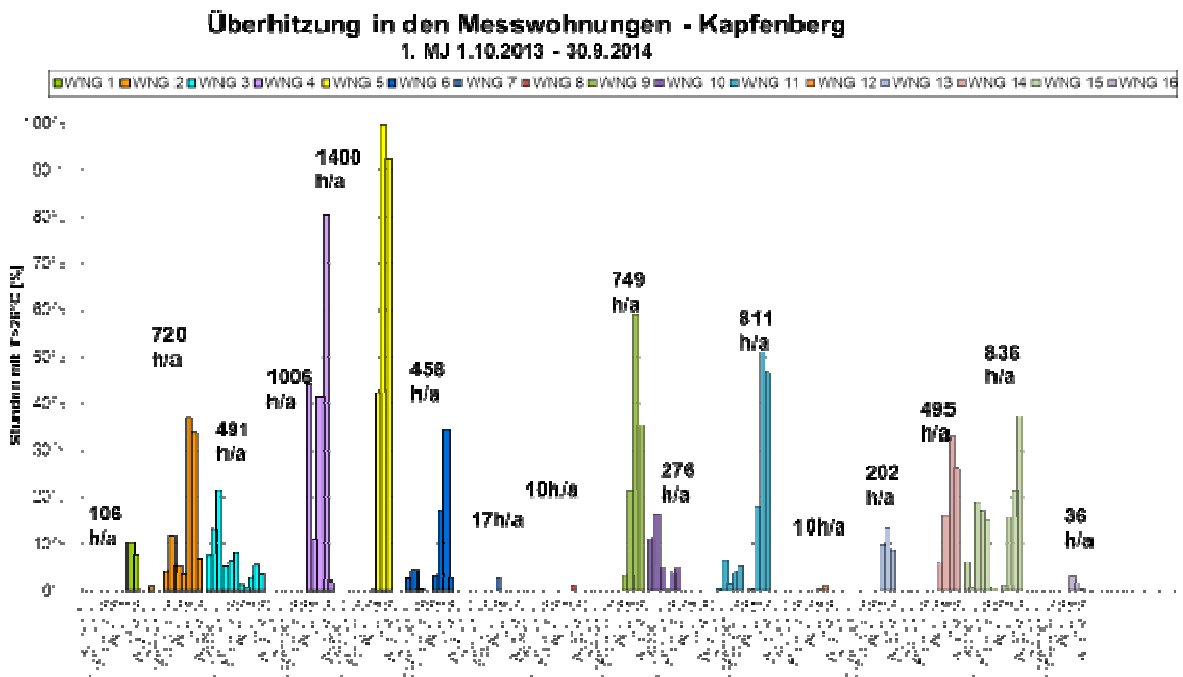


Abbildung 89 Stunden mit Raumtemperatur über 26°C pro jeweiligem Monat absolut und relativ zur monatlichen Gesamtstundenanzahl nach Messwohnungen (unterschiedliche Farben) aufgetragen; je nach Belegung und NutzerInnenverhalten sind ähnliche Wohnungstypen nicht oder sehr überhitzt

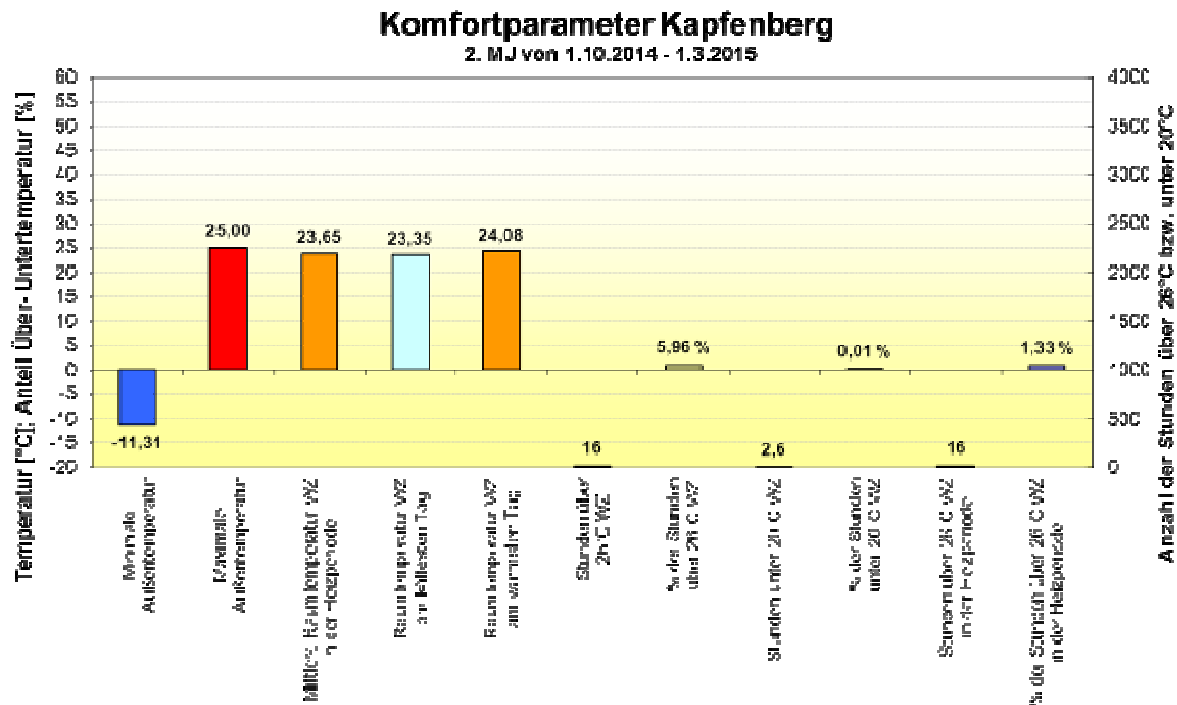


Abbildung 90 Überblick über die Komfortparameter in den Wohnzimmern der Johann-Böhmstraße 36 in Kapfenberg, im Winter des 2. Messjahres; die Durchschnittstemperatur während der Heizperiode entspricht nun wieder „üblichen“ Werten, die heutzutage gemessen werden

Im Winter des 2. Messjahres sind nach Anpassung des Heizsystems und einer Technik-Eingewöhnungsphase wieder „normale“ Durchschnittswerte für den Winter gemessen (Abbildung 90).

Zum Nachweis, ob Fenster selten oder öfters geöffnet oder geschlossen werden, wurden einige mit Fensterkontakten ausgestattet. Das Ergebnis zeigt, dass es dabei große Unterschiede zwischen den Wohnungen gibt – einige halten die Fenster auch im Winter sehr lange geöffnet. Es gibt auch zwischen Winter und Sommer gut erkennbare Unterschiede im „Fensterlüftungsverhalten“ der BewohnerInnen – im Winter werden die Fenster zu etwa 80% der Zeit geschlossen (vgl. Abbildung 91), und das umso mehr wenn es draußen kälter ist (Abbildung 92); im Sommer sind sie 30% bis 50% der Zeit gekippt oder ganz geöffnet (siehe Abbildung 93).

Alleine aufgrund dieser Fensterkontakt-Aufzeichnungen ist aber der Grund für die extreme Überwärmung einzelner Wohnungen nicht fest zu machen, auch wenn im Sommer bei hohen Außentemperaturen die Fenster annähernd zu 50% ganz offen oder gekippt sind (Abbildung 94). Die Ursachen liegen (wie auch die vor Ort-Begehungen und Befragungen zeigten) zusätzlich zu offenen Fenstern in einem Mix aus hoher Wohnungsbelegung (bis zu 6 Personen in einzelnen Wohnungen!) und damit hohen internen Lasten, geringer Nutzung der außenliegenden Beschattung und teilweise in der noch verbesserungswürdigen Regelung der Heizung und Warmwasserversorgung der Wohnungen im ersten Messjahr.

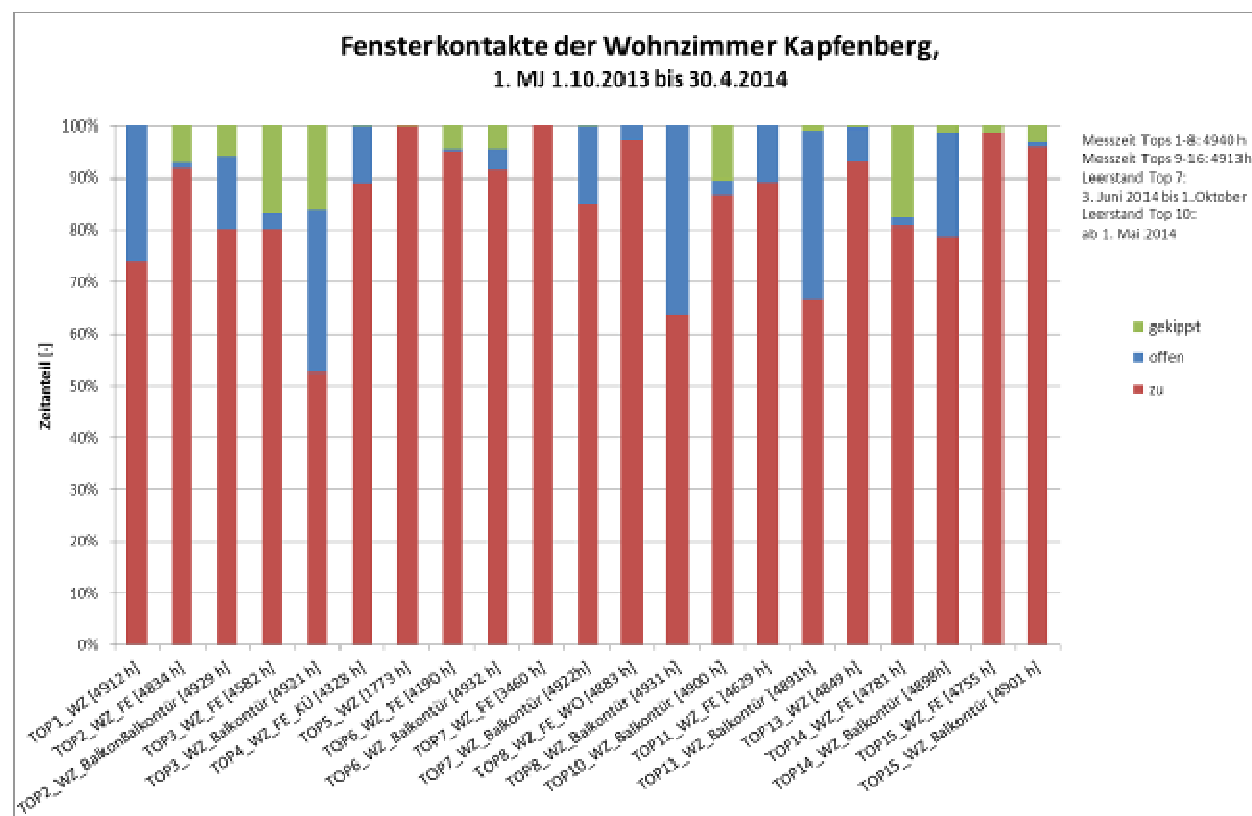


Abbildung 91 Fensteröffnungsverhalten im Winter, erstes Messjahr

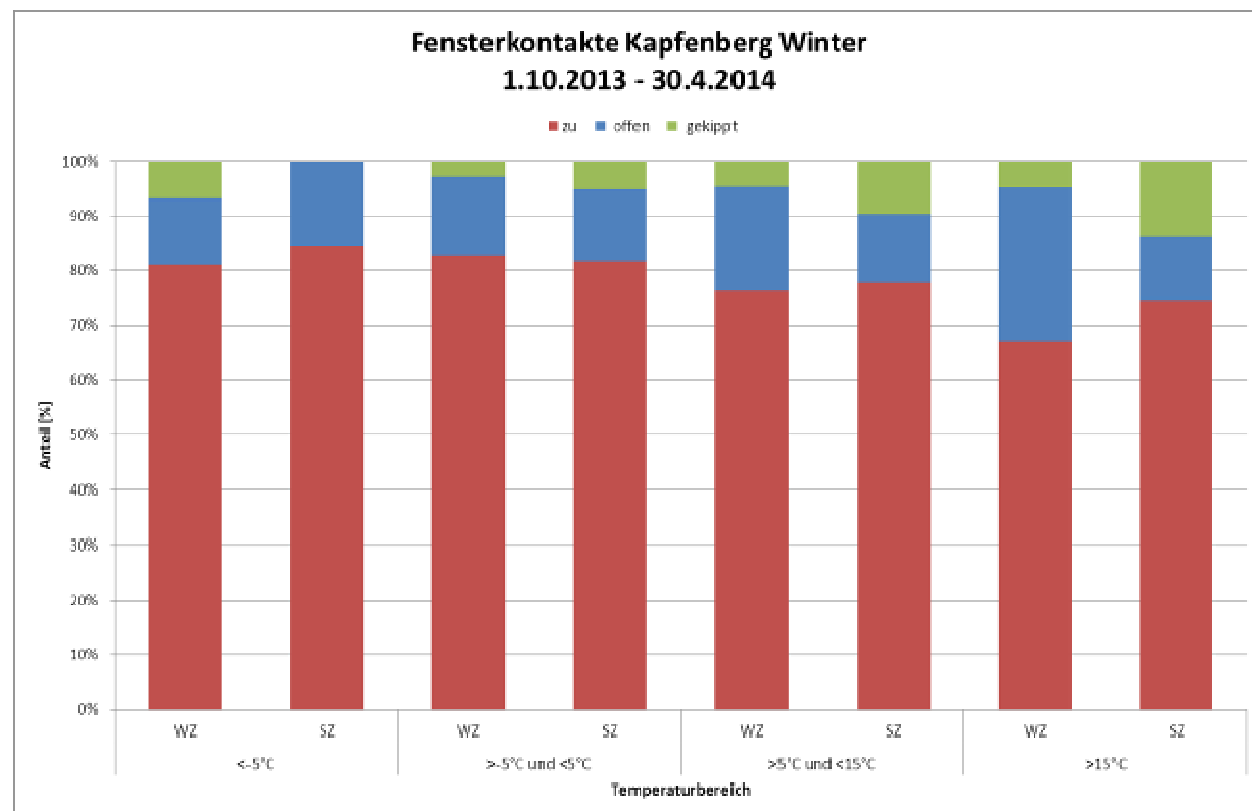


Abbildung 92 Anteil geöffneter Fenster an der Gesamtzeit, geordnet nach Außentemperaturbereichen im Winter, erstes Messjahr

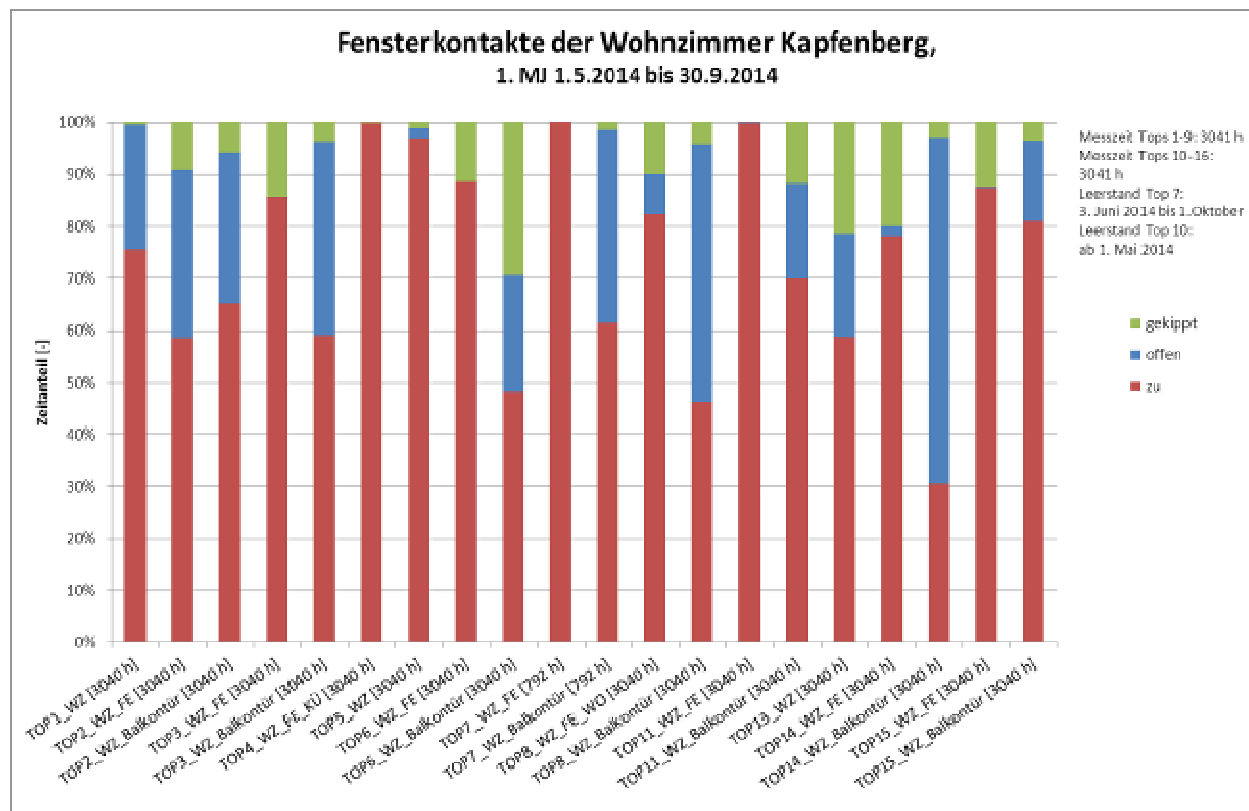


Abbildung 93 Fensteröffnungsverhalten im Sommer, erstes Messjahr

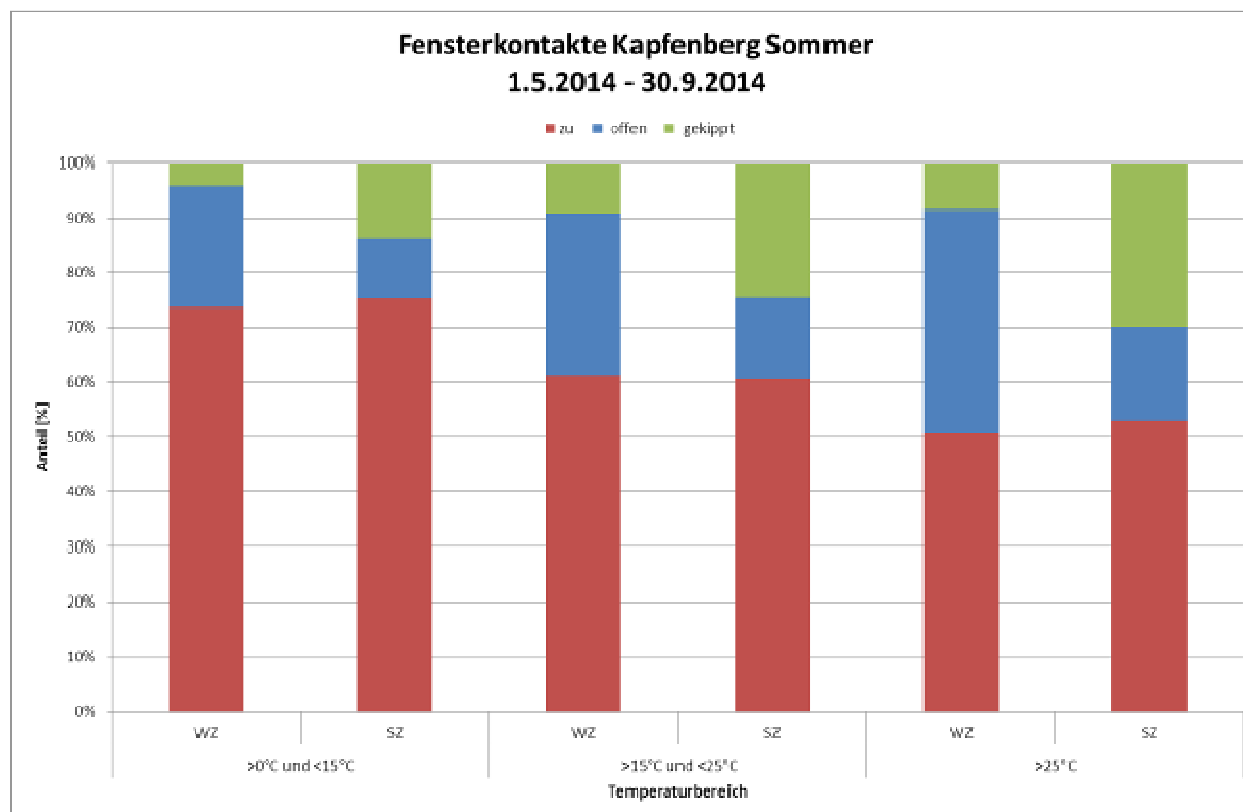


Abbildung 94 Anteil geöffneter Fenster an der Gesamtzeit, geordnet nach Außentemperaturbereichen im Sommer, erstes Messjahr

Die relative Luftfeuchtigkeit ist ganzes Jahr über eher im „schwülen“ Bereich, wobei der Winter noch eher im äußeren Behaglichkeitsfeld liegt und die relative Feuchte in einzelnen Wohnzimmern die 20%-Grenze zwar kurzfristig erreicht, aber nicht unterschreitet (Abbildung 95). Im Sommer liegen die Werte aber teilweise weit außerhalb des Behaglichkeitsfeldes, was nach den hohen Überhitzungsstunden einzelner Wohnungen auch zu erwarten war. Das Ergebnis zeigt aber, dass zu trockene Luft im Vergleich zur Schwüle in diesem Wohnhaus kaum eine Rolle spielt, was auch die Befragungen bestätigten.

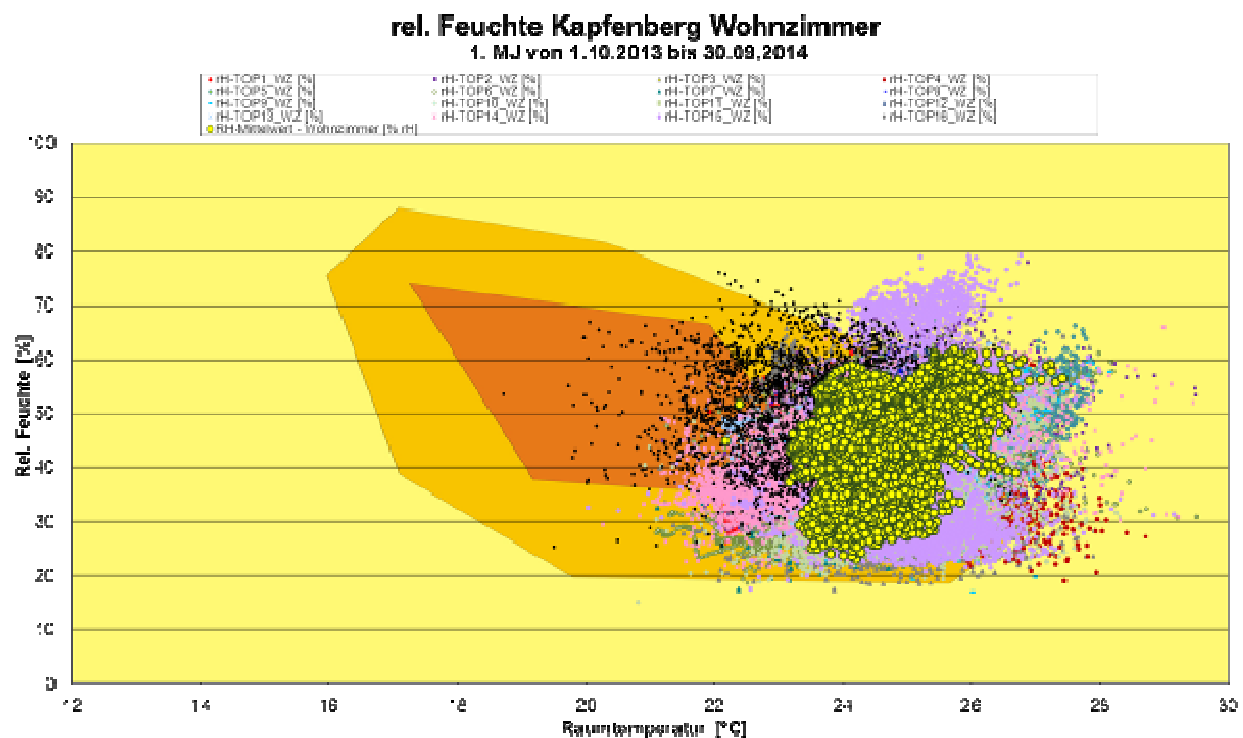


Abbildung 95 Stundenmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit in den Wohnzimmern in Abhängigkeit der Raumtemperatur im ersten Messjahr; die gelbe Punktwolke in der Mitte zeigt die Mittelwerte über alle 16 Wohnzimmer

Die Luftqualität wurde natürlich in Bezug auf die Funktion der Komfortlüftung genauer betrachtet, dabei wurden generell erwartbar geringe CO₂-Konzentrationen gemessen (Abbildung 96). Die relative Luftfeuchtigkeit ist tendenziell natürlich bei niedrigen CO₂-Konzentrationen geringer als bei höheren, wo mehr Personen anwesend sind und höhere Aktivität und damit höherer Wasserdampfgehalt in den Räumen angenommen werden kann (Abbildung 97).

Geordnete CO₂-Konzentration in den Wohnzimmern Kapfenberg von 1.10.2013 bis 30.9.2014

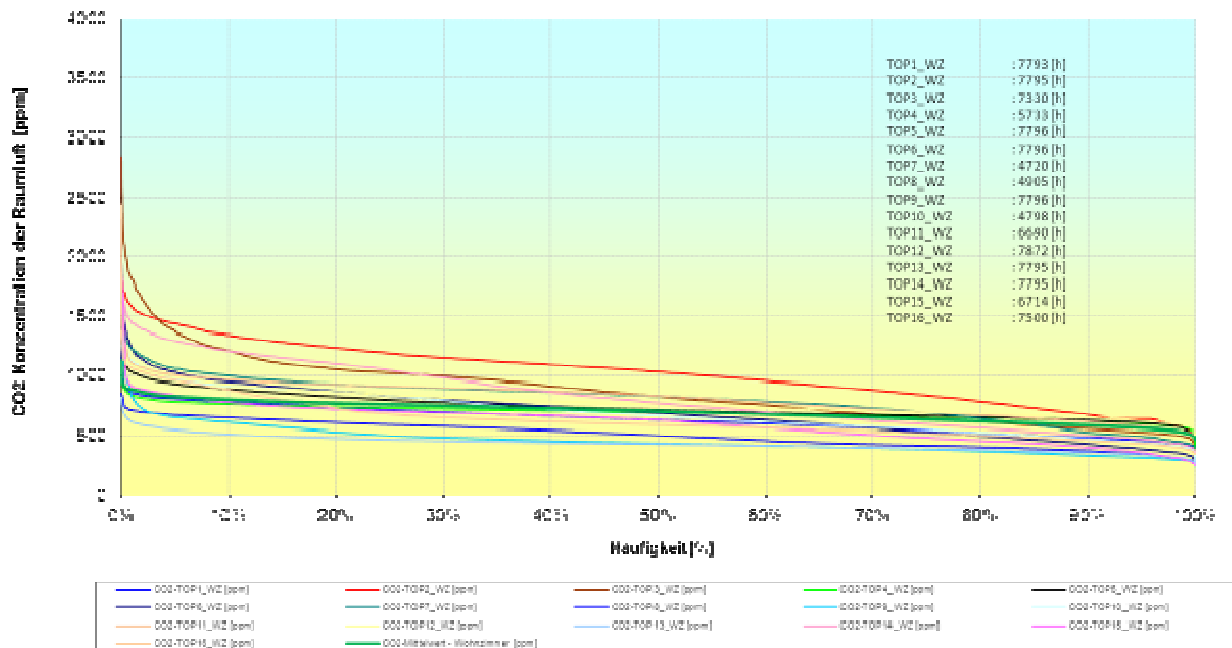


Abbildung 96 Häufigkeitsverteilung der CO₂-Konzentration in ppm der einzelnen Wohnzimmer während des ersten Messjahres; gut ersichtlich sind die min. 400 ppm als „Ausgangswert“ und die sehr kurzen Zeiten, in denen die Konzentration die „kritische“ Marke 1.500 ppm übersteigt

rel. Luftfeuchtigkeit über CO₂-Konzentration Wohnzimmer Kapfenberg 1. MJ von 1.10.2013 bis 30.09.2014, Stundenmittelwerte

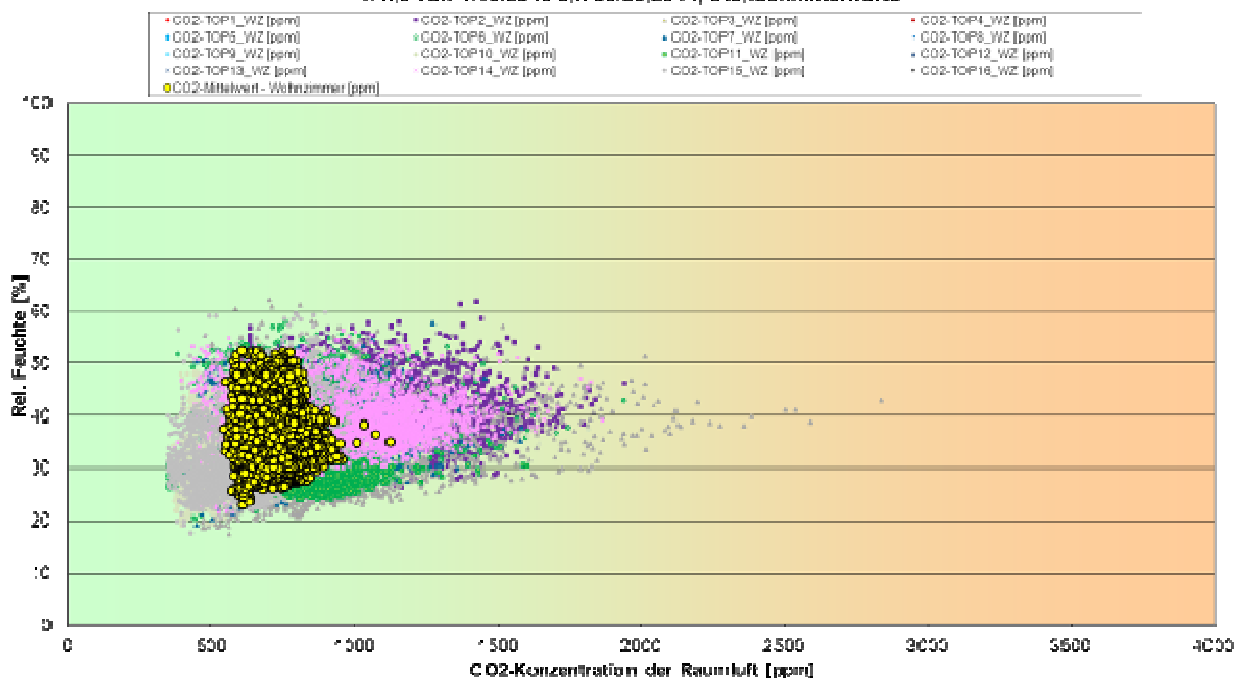


Abbildung 97 Stundenmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit der CO₂-Konzentration in den jeweiligen (anonymisierten) Wohnzimmern

Ganz klar sollte der Vorteil des Lüftungssystems in den Wohnungstypen „G“ und „H“ zeigen, dass es sich auszahlt, den Volumenstrom mittels CO₂-Sensoren zu kontrollieren, d.h. bei Anwesenheit höheren Luftvolumenstrom bereit zu stellen als bei Abwesenheit. Das zeigt die Abbildung 98 auch deutlich und macht sich dann am Ende auch in geringerem Stromverbrauch bemerkbar, obwohl in dieser Lüftungsanlage auch nicht alle Stromeinsparpotenziale bei der Luftführung ausgereizt wurden (Abbildung 99).

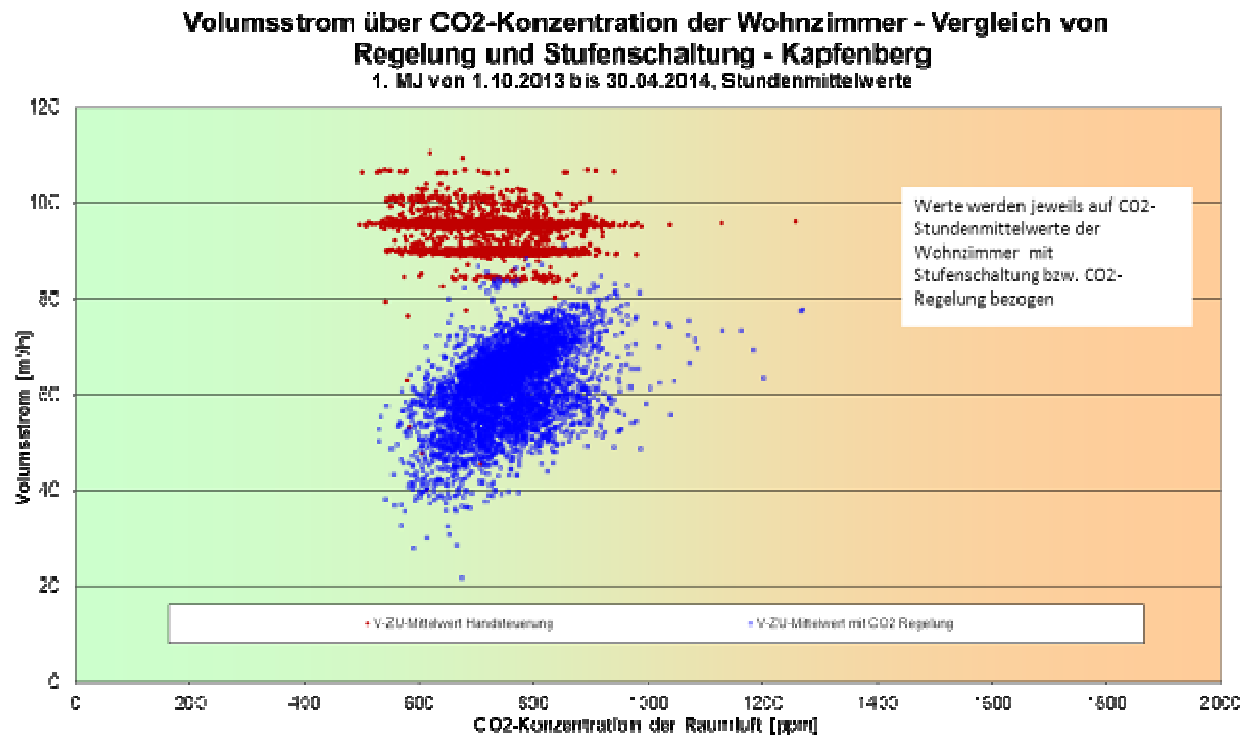


Abbildung 98 Stundenmittelwerte der Zuluft-Volumenströme in Abhängigkeit der CO₂-Konzentration in den Wohnungen (Wohnzimmern) mit Bedienelement für die NutzerInnen (rot) und mit CO₂-Steuerung ohne Eingriff der NutzerInnen (blau)

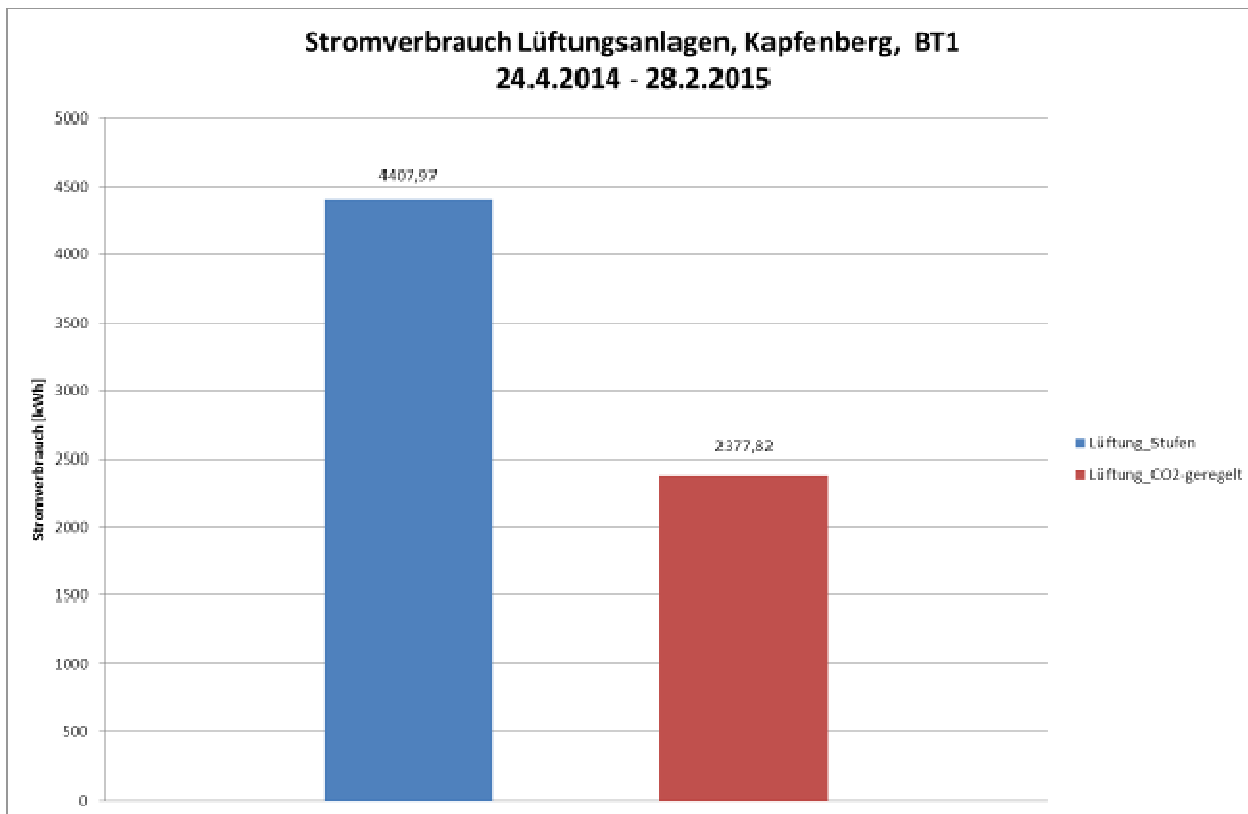


Abbildung 99 Vergleich des Stromverbrauchs der zwei Be- und Entlüftungssysteme mit WRG in Kapfenberg über etwa 10 Monate – links (blau) mit Stufenschalter als Bediengerät in den Wohnungen und rechts (rot) das System mit CO₂-Regelung

Dass die Luftqualität unter der automatischen CO₂-Regelung nicht leidet zeigt die Abbildung 100, wo die CO₂-geregelten Zimmer allesamt in niedrigeren und damit „optimaleren“ IDA-Klassen liegen, und die Abbildung 101, wo sich zeigt, dass natürlich die kleineren Wohnungen des Typs „H“ (61 m²), in denen weniger Personen wohnen, im Vergleich zu den größeren und dichter belegten Wohnungen des Typs „G“ (73 m²) noch besser klassifiziert abschneiden. Die CO₂-geregelten

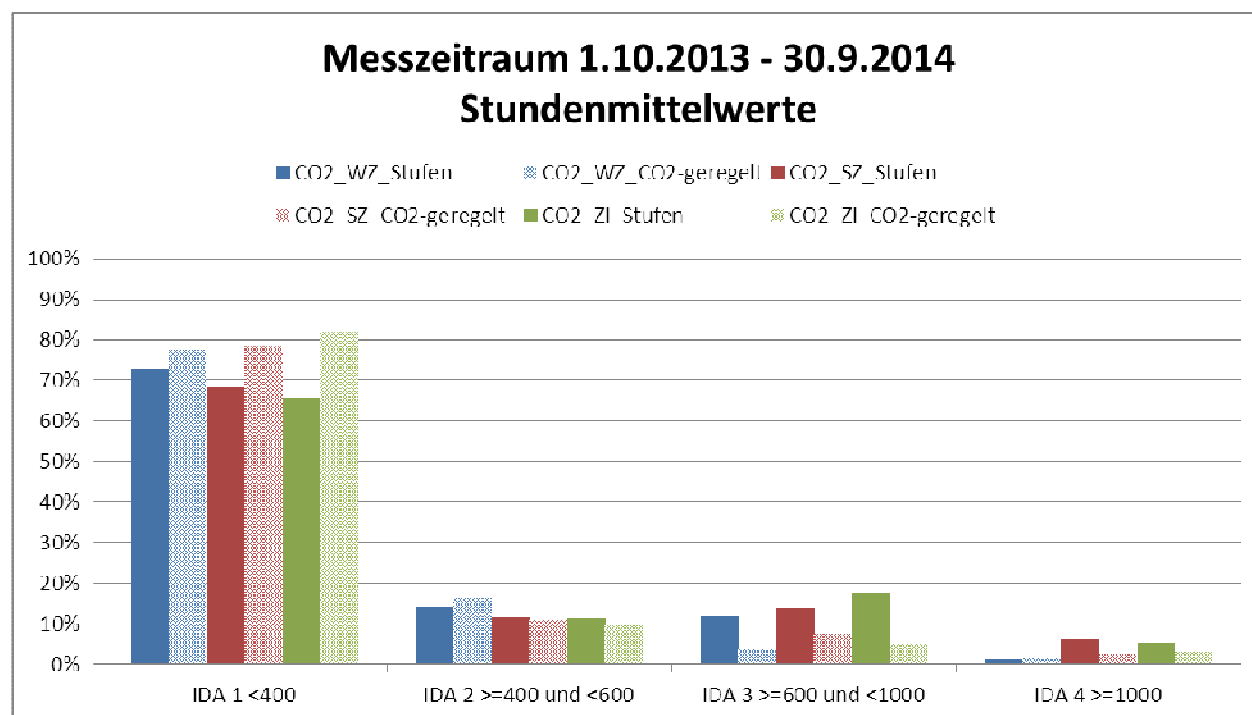


Abbildung 100 Stundenmittelwerte der CO₂-Konzentration im Vergleich zwischen Stufen- mit den CO₂-geregelten Wohn- (WZ), Schlaf- (SZ) und (Kinder)Zimmern (Zi) nach IDA Klassen **der EN 13779**, erstes Messjahr

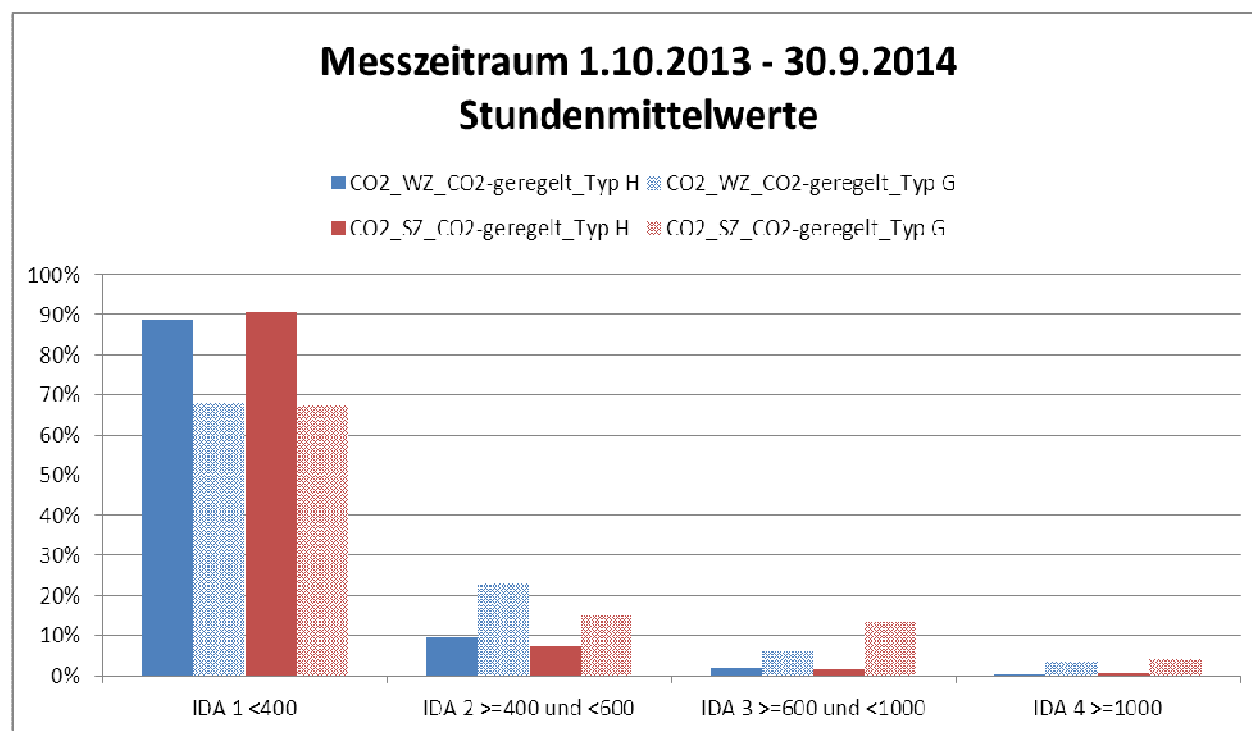


Abbildung 101 Stundenmittelwerte der CO₂-Konzentration im Vergleich zwischen den zwei CO₂-geregelten Wohnungstypen „G“ und „H“ in Wohn- (WZ) und Schlafzimmern (SZ) nach IDA Klassen der EN 13779, erstes Messjahr

Zu den Wohnungen des Typs „G“ ist zusätzlich noch zu sagen, dass diese auch mit erweiterter Kaskadenlüftung - keine eigene Zuluft im Wohnzimmer, d.h. Zuluft über die beiden Schlafzimmer der Eltern und des Kindes – nahezu keine Einschränkung der Luftqualität zeigen (Abbildung 102). Die Werte ab IDA Klasse 3 (600 bis 1.000 ppm über der Referenz-CO₂-Konzentration) sind vor allem durch hohe Belegung in den Wohnungen zu erklären.

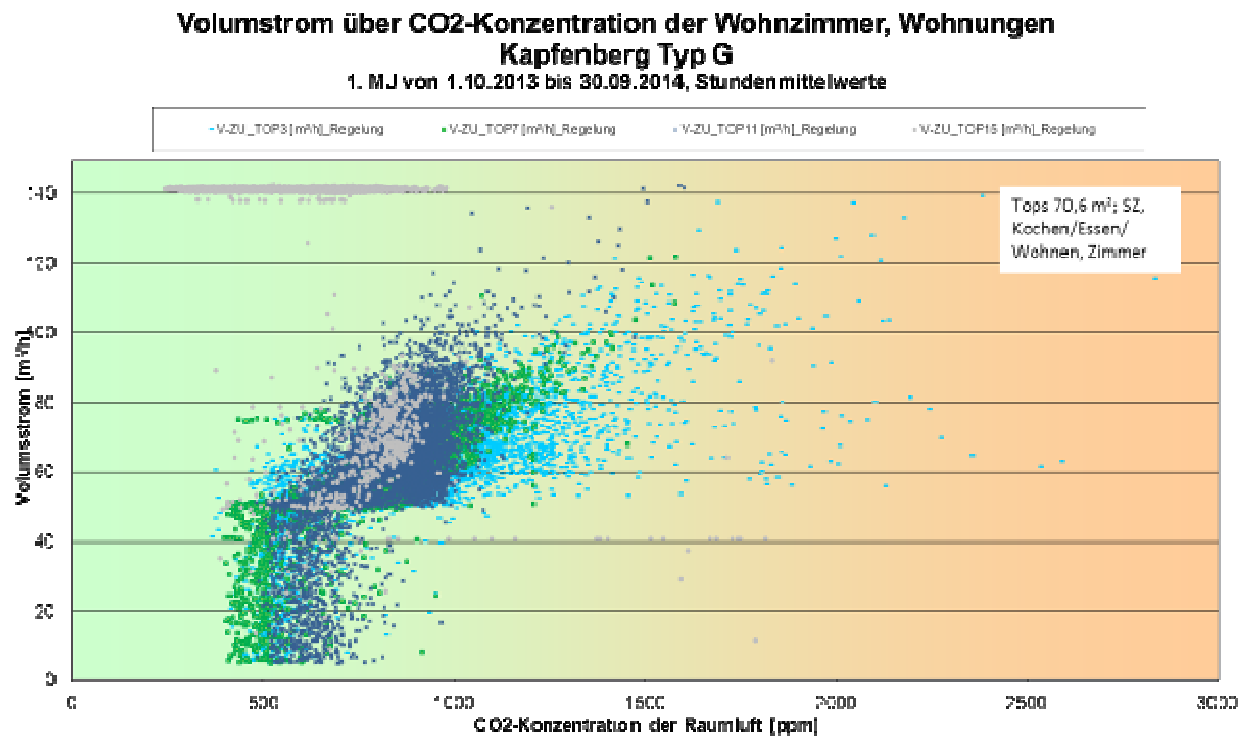


Abbildung 102 Stundenmittelwerte des Zuluft-Volumenstroms in Abhängigkeit der CO₂-Konzentration der Typ „G“ Wohnzimmer; die grauen Werte bei 140 m³/h sind aufgrund einer Fehleinstellung passiert, die dann behoben wurde

Es wurden in zwei Typ „G“ Wohnungen auch die Türkontakte der inneren Tür vom Wohnzimmer zum Gang kontrolliert, um zu sehen, ob die erweiterte Kaskadenlüftung auch bei geschlossener Tür zum Wohnzimmer hin und ohne eigene Zuluftöffnung funktionieren würde. Eine Abluftöffnung gibt es ja sehr wohl im Wohnzimmer über dem Küchenteil. Die Ergebnisse aus Abbildung 103 zeigen, dass die Belegung in der gemessenen Praxis einen höheren Einfluss auf die Luftqualität hat, als eine offene oder geschlossene Innentür, und dass die erweiterte Kaskadennutzung in der Praxis hier sehr gut funktioniert.

Als Conclusio heißt das aber auch, und das gilt auch für die anderen Ergebnisse, dass es in Zukunft sicherlich noch mehr Anstrengungen in der Planung und Umsetzung bedarf, die Luftmengen bedarfsgerecht bereit zu stellen. Darin liegt großer Komfort und geringer Stromverbrauch. Dass dies unterschiedlich erreicht werden kann, zeigen ja die restlichen Projektergebnisse in „low_vent.com“ sehr gut.

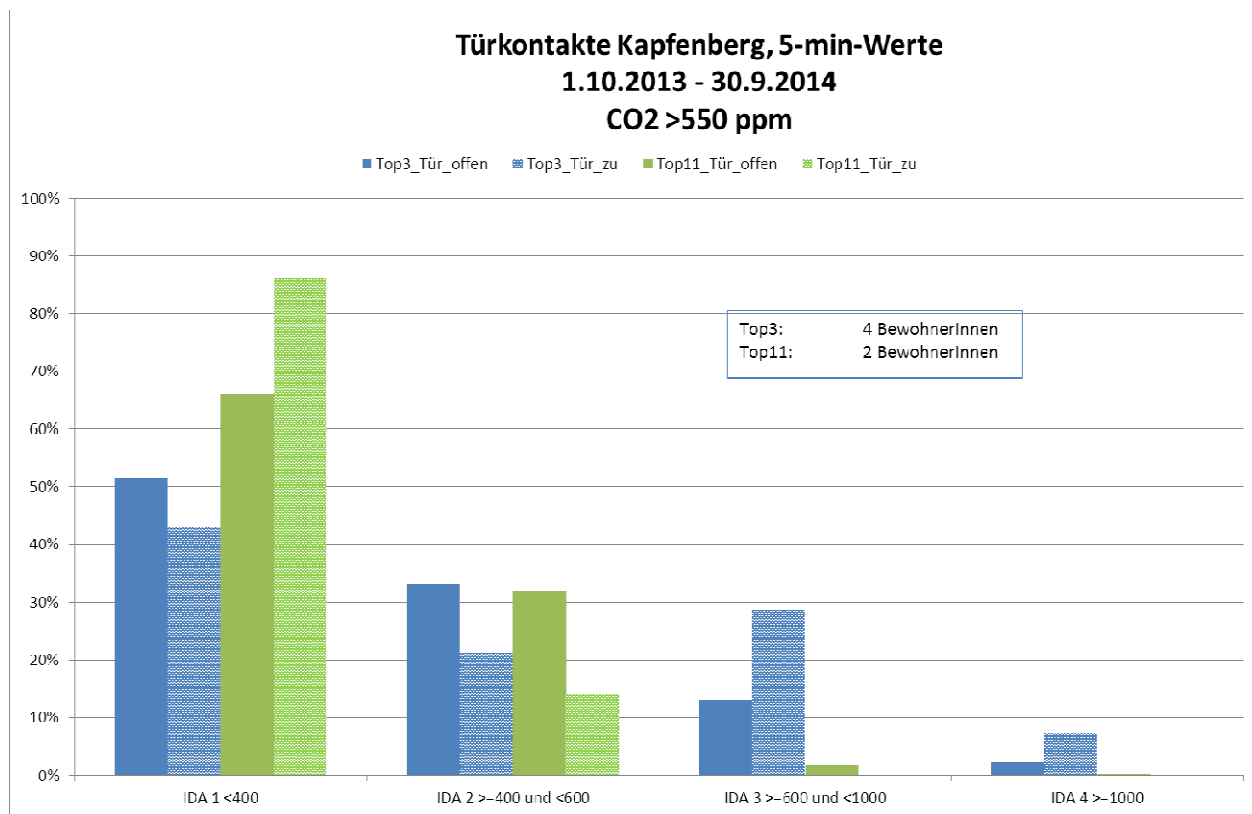


Abbildung 103 Stundenmittelwerte der CO₂-Konzentration über 550 ppm (Annahme Anwesenheit) anteilmäßig je IDA-Klasse nach EN 13779 in zwei Wohnungen des Typs „G“, je nachdem ob die Wohnzimmertür offen oder geschlossen war

4.8.2 Peter-Rosegger-Straße 31a, Graz - Haus J

Um die Lüftungswärmeverluste auf ein Minimum zu reduzieren werden alle Häuser dort als Passivhäuser mit kontrollierter Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung ausgeführt.

Es wurde eine mechanische Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung im Kellergeschoss von Haus J eingebaut (**Abbildung 104**). In den Nassgruppen, sowie in den Küchen der Wohnungen werden Abluftventile eingebaut. Die Frischluft wird über Zuluftelemente in die Wohnbereiche eingebracht. Die Lüftung wird über ein Zentralgerät von Bösch „ZG centro 2000“ im Keller gespeist und über Volumenstromregler (vboxen) verteilt, sie ist über eine Zeitautomatik geregelt.

Die eingestellte Luftmenge für die Normalstufe beträgt 85m³/h – damit sollten 800 ppm CO₂-Konzentration erreicht werden, minimale Stufe 30% darunter, maximale 30% darüber (schaltet nach 60 Minuten auf Normalstufe zurück).

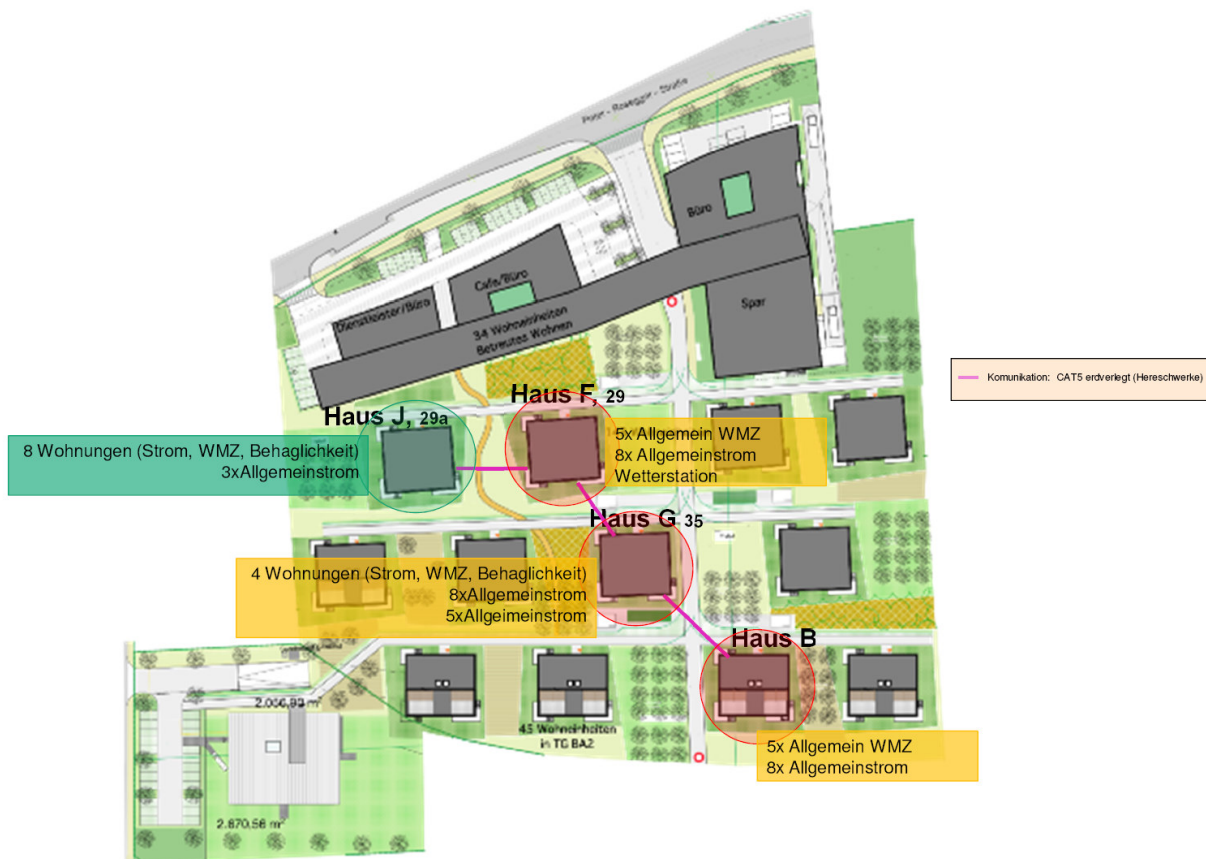


Abbildung 104 Übersicht über die Messdatenerfassung in den „Punkthäusern“ in der Peter-Rosegger-Straße, Stand Ende 2014

Ergebnisse

Wie in Kapfenberg zeigen sich hohe Luftqualität und hohe Raumtemperaturen (Abbildung 105). Auch die relative Luftfeuchtigkeit, die Raumtemperaturen und die CO₂-Konzentrationen bewegen sich in sehr ähnlichem Rahmen (Abbildung 106 und Abbildung 107), obwohl hier nur 131 Tage im letzten Winter dargestellt werden konnten – die Adjustierung und Instandsetzung aller Messgeräte dauerte auch hier bis Herbst 2014. Der Stromverbrauch der Lüftungsanlage ist hier ohne Bedarfssteuerung relativ hoch – es gibt hier noch Potenzial für die Einjustierungsphase (Abbildung 108) – und es wurde noch lange kein erstes Messjahr beendet.

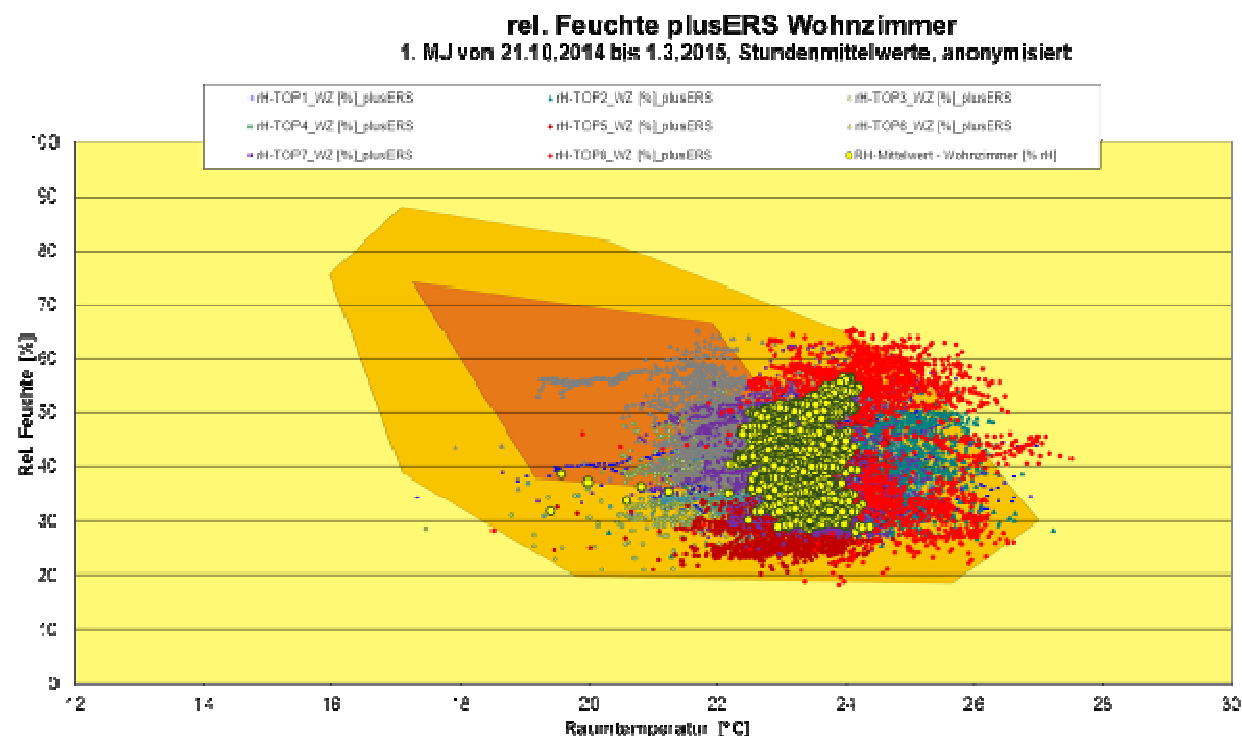


Abbildung 105 Stundenmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit in den Wohnzimmern in Abhängigkeit der Raumtemperatur (Messdauer 131 Tage); die gelbe Punktvolke in der Mitte zeigt die Mittelwerte über alle 16 Wohnzimmer

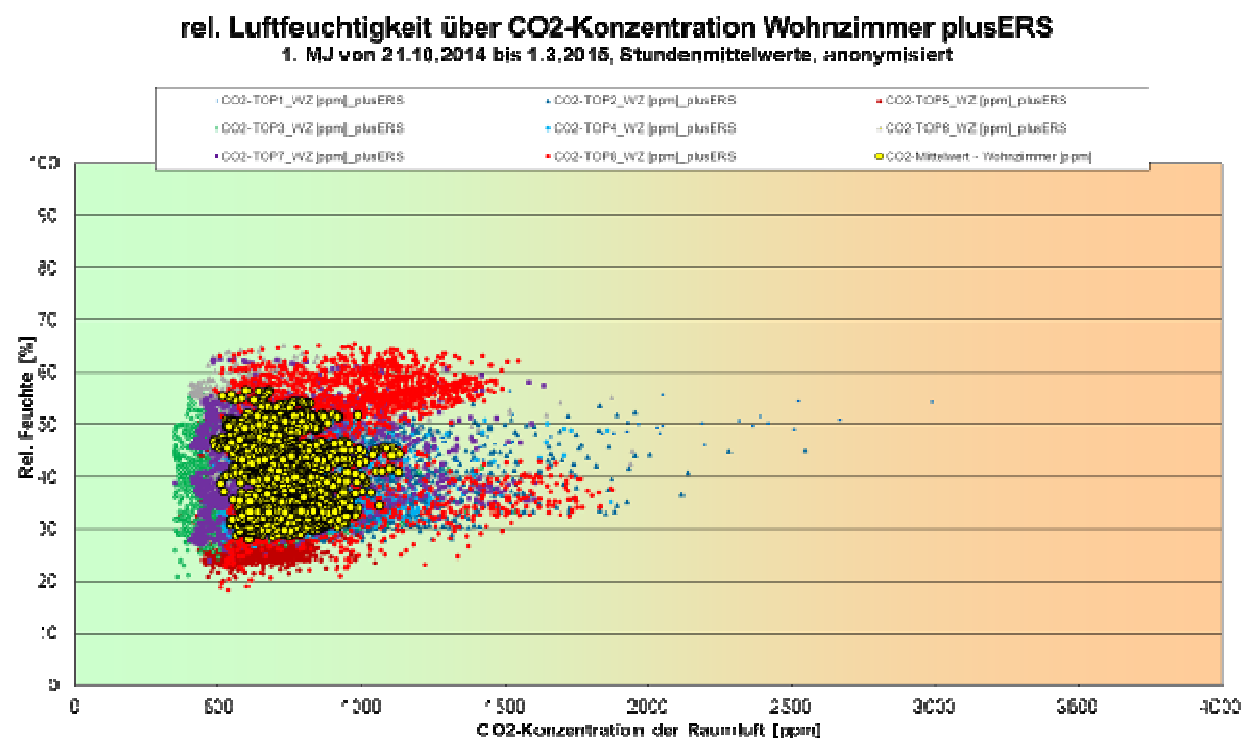


Abbildung 106 Stundenmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit der CO₂-Konzentration in den jeweiligen (anonymisierten) Wohnzimmern der 8 Wohnungen (131 Messtage)

Geordneter Temperaturverlauf in den Wohnzimmern - plusERS Stunden mittellwerte, MJ 1 von 21.10.2014 bis 1.3.2015, anonymisiert

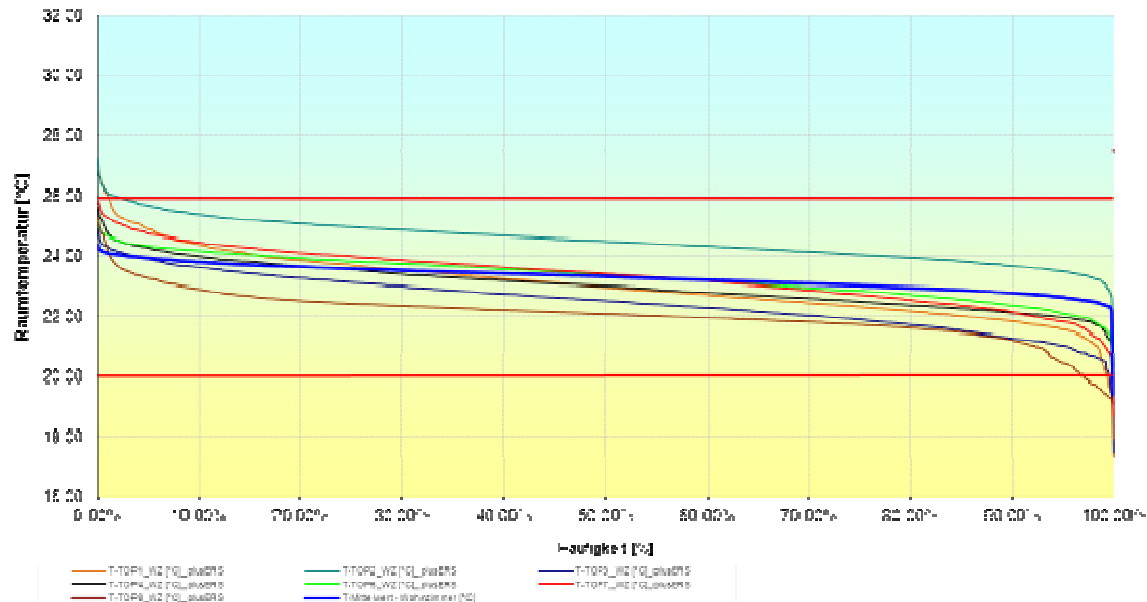


Abbildung 107 Häufigkeitsverteilung der Raumtemperaturen der einzelnen Wohnzimmer während 131 Messtage; für den Winter wieder recht hohe Werte in °C

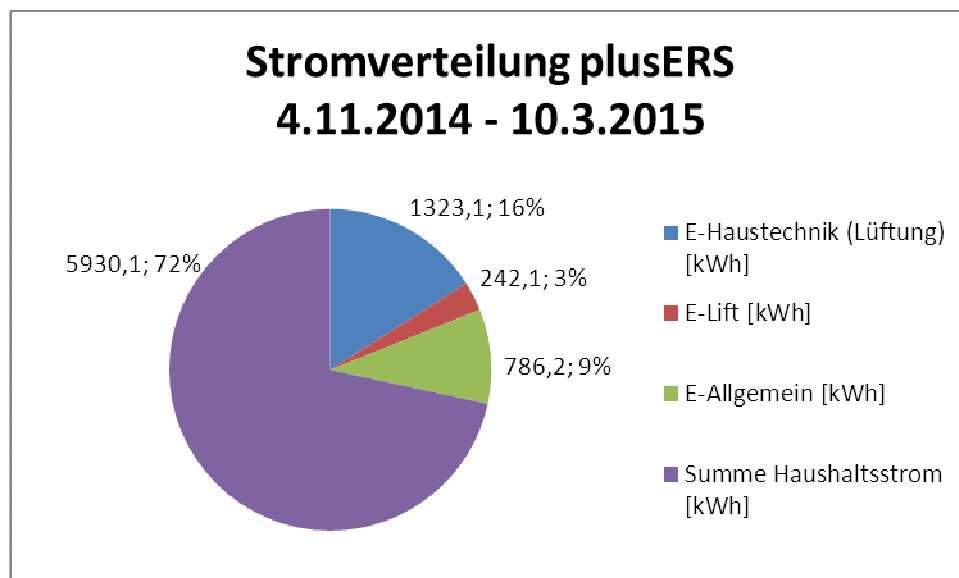


Abbildung 108 Verteilung des Gesamtstromverbrauchs in kWh und anteilmäßig; die Lüftung benötigt hier noch 16% des Gesamtstroms – hier fehlt noch eine „Einjustierungsphase“ bezüglich der Luftmengen und Einbauten im Lüftungssystem

4.9 Sozialwissenschaftliche Begleitforschung

4.9.1 Die Befragung in Kapfenberg

Im Rahmen des Projektes low_vent.com wurden in den untersuchten Wohngebäuden Befragungen mit BewohnerInnen durchgeführt. Im Jahr 2013 fanden zwei Befragungen in der Johann Böhm-Straße 36 in Kapfenberg statt. Die abschließende Befragung in Kapfenberg fand im Oktober 2014 statt. Alle Befragungen wurden face-to-face vor Ort persönlich mit den BewohnerInnen durchgeführt. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser drei Befragungen dargestellt und verglichen.

Die erste Befragung in Kapfenberg im Mai 2013

Die erste Befragung fand im Mai 2013 zur Zeit des Umzugs der BewohnerInnen von der einen Hälfte des Gebäudes (die dann saniert wurde) in die bereits sanierte erste Hälfte des Gebäudes (Bauabschnitt 1) statt. Einige waren zu diesem Zeitpunkt ganz kurz in ihren neuen Wohnungen, einige waren gerade dabei einzuziehen.

Zu diesem Zeitpunkt konnten acht Interviews von 16 Parteien (also 50% der damaligen BewohnerInnen) erreicht werden.

Auf die Frage, wie wichtig ihnen die Sanierung gewesen sei, antworteten fünf Befragte mit „sehr wichtig“ und drei Befragte mit „eher wichtig“, niemand war diese Sanierung unwichtig. Die schnelle Montage der Fassade und der Fenster (und die damit verbundene kurze Bauzeit) war vier Befragten „sehr wichtig“ und drei Befragten „eher wichtig“, niemand war dies unwichtig. Informationen zur Wohnraumlüftung hat die Hälfte der befragten BewohnerInnen bekommen (vgl. zu diesen Fragen Abbildung 109). Die Betreuung und Information vor und während der Bauphase wird von fast allen Befragten als „sehr gut“ bewertet.

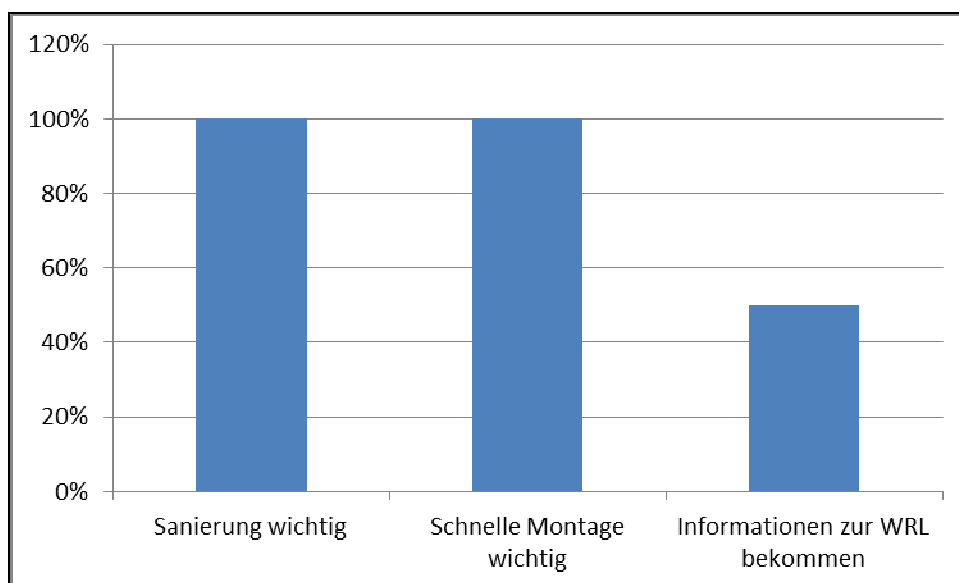


Abbildung 109 Erste Befragung Kapfenberg

Die Befragten wurden weiters um eine Einschätzung der Wohnsituation in ihrer alten Wohnung gebeten.

In einem Polaritätsprofil, also einer Gegenüberstellung von positiven und negativen Eigenschaften, die die BewohnerInnen ihrer alten Wohnung zuordnen sollten (z.B. „angenehm – unangenehm“ oder „hell – dunkel“), wurden die alten Wohnungen in der Mehrzahl als eher feucht und kalt, dafür aber auch als hell, freundlich und leise beschrieben. Bei den Attributen „angenehm – unangenehm“, „groß – klein“ und „viel Luftzug – wenig Luftzug“ halten sich die positiven und negativen Einschätzungen eher die Waage. Als Vorteile, die es in der alten Wohnung gab, werden hauptsächlich „keine“ (vier Nennungen) angeführt, aber auch vereinzelt, dass die Wohnung heller war, die Küche in einem eigenen Raum war, der Mobiltelefonempfang besser und die Miete billiger war.

Als Nachteile der alten Wohnung werden „alle“ genannt (zwei Nennungen), Schimmel (zwei Nennungen), vereinzelt zugig, kalt, klein.

Mit der Temperatur im Winter in der alten Wohnung war jeweils die Hälfte der Befragten entweder sehr oder eher zufrieden oder eher oder sehr unzufrieden, auch bei der Zufriedenheit bzw. Unzufriedenheit mit der Temperatur im Sommer ist die Einschätzung ähnlich ausgeglichen (vgl. Abbildung 110 und Abbildung 111).

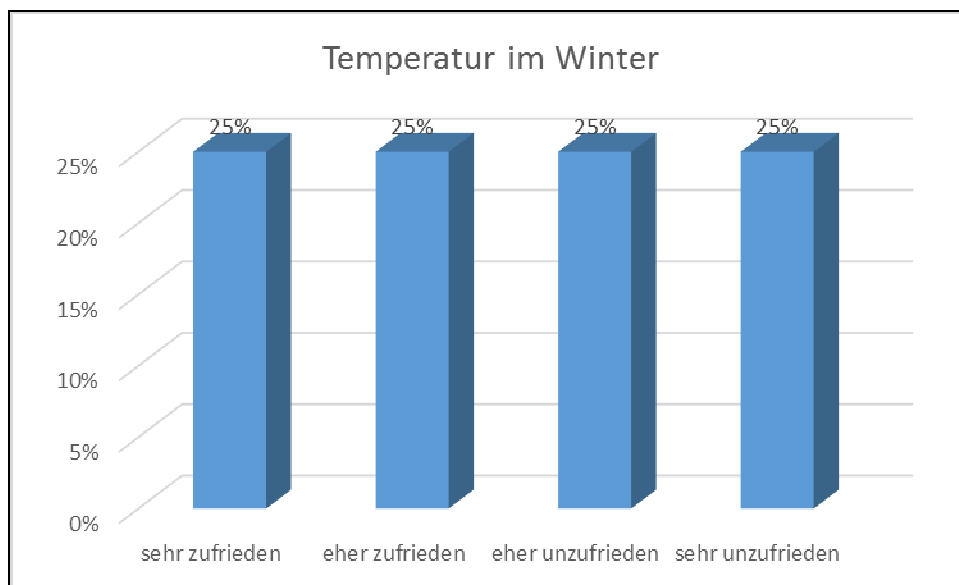


Abbildung 110: Temperatur im Winter (alte Wohnung)

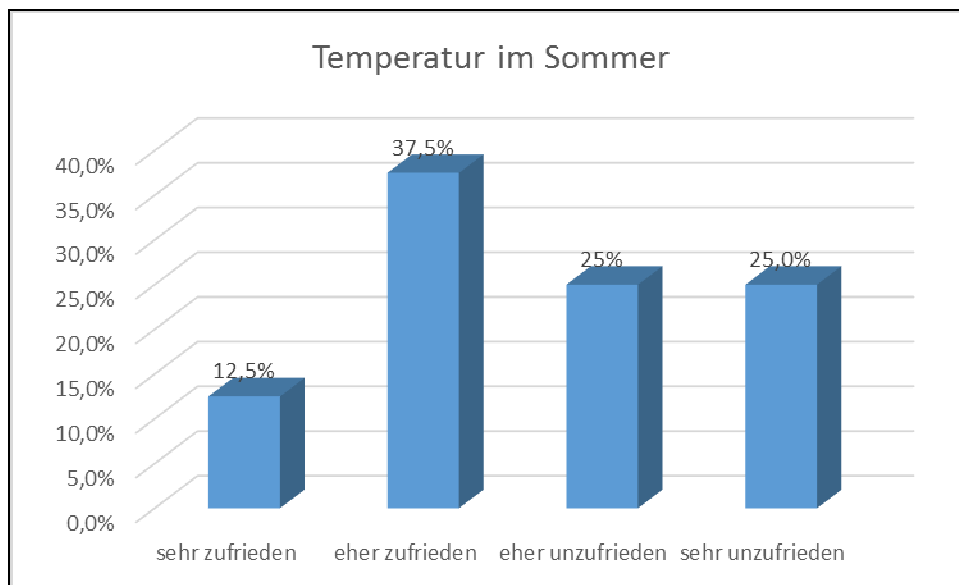


Abbildung 111: Temperatur im Sommer (alte Wohnung)

Die Luftqualität wird in der alten Wohnung sowohl im Sommer als auch im Winter entweder als normal (zwei Nennungen), als stickig (zwei Nennungen) oder mit einem „komischen Geruch“ beschrieben (zwei Nennungen).

Eine abschließende Gesamt-Schulnotenbewertung für die alten Wohnungen ergibt eine Durchschnittsnote von 3,4.

Im zweiten Teil dieser Befragung wurde eine Bewertung der neuen nun gerade bezogenen Wohnungen vorgenommen, die sich vor allem auf Erwartungen an diese Wohnungen bezog, da sie von den BewohnerInnen ja gerade erst besiedelt wurden.

Im gleichen Polaritätsprofil wie oben wird die neue Wohnung von den BewohnerInnen in großer Mehrzahl als angenehm, trocken, freundlich und gemütlich geschildert, auch, dass es in der Wohnung wenig Luftzug gibt. Sie wird als eher hell, eher leise, aber auch als eher kalt beschrieben. Beim Gegensatzpaar „groß – klein“ halten sich die Einschätzungen die Waage.

An Vorteilen werden für die neue Wohnung „alle“ genannt (viermal) sowie die bessere Luftqualität. An Nachteilen „keine“ (zweimal), dass Küche und Wohnzimmer in einem Raum sind (zwei Nennungen), dass es zwei zu große Vorräume gibt sowie dass die außerliegenden Laubengänge dunkel sind, die Briefkästen im Freien und dass es nun eine Eisenstiege gibt, die die Laubengänge erschließt. Darüber, dass ihre neue Wohnung eine Lüftungsanlage hat, haben fünf der Befragten Bescheid gewusst, über den Zweck dieser Lüftungsanlage war die Hälfte der Befragten informiert (vgl. Abbildung 112 und Abbildung 113).

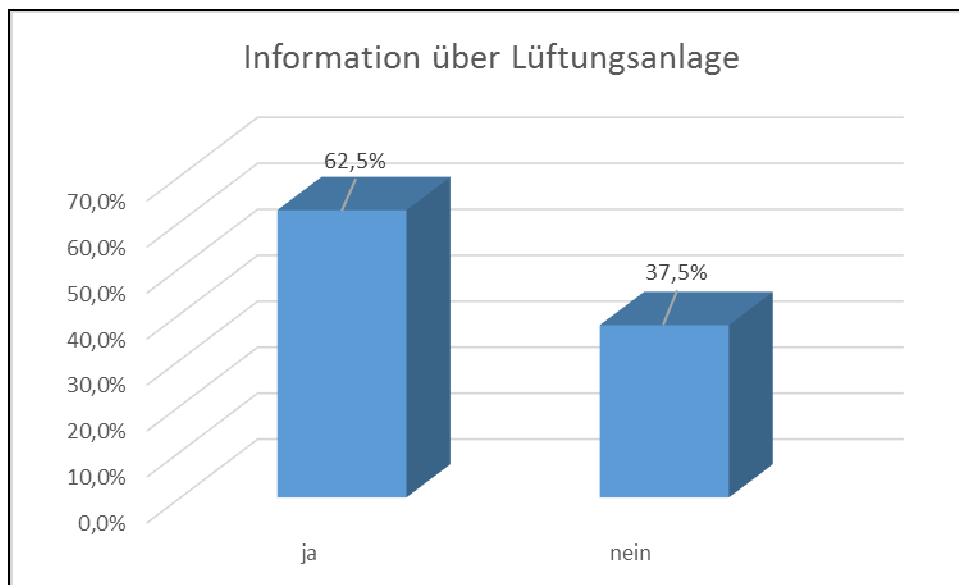


Abbildung 112: Information über Lüftungsanlage vor Einzug

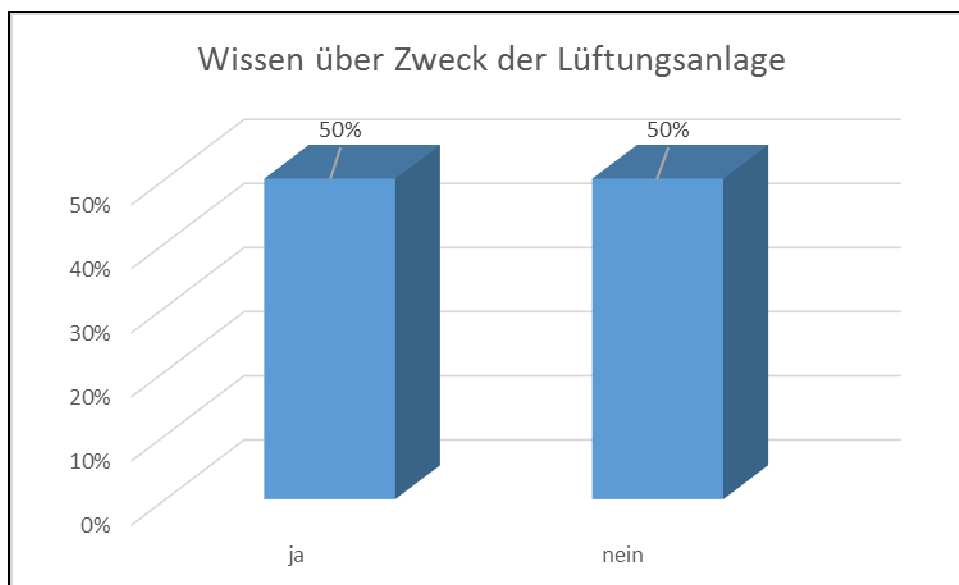


Abbildung 113: Wissen über Zweck der Lüftungsanlage

Allerdings wurden alle acht Befragten vor dem Einzug in diese Wohnung über die Technologien und deren Verwendung informiert.

Die Einschätzung der Luftqualität in der neuen Wohnung ist für den Sommer gut (3 Nennungen), ebenso für den Winter (2 Nennungen). Es wird nach Einschätzung der Befragten angenehmer und besser werden als in der alten Wohnung.

Bei der voraussichtlichen Temperatur wird die Situation im Sommer besser eingeschätzt als im Winter, wo von einigen BewohnerInnen befürchtet wird, dass es in den Wohnungen kalt werden könnte.

Über Möglichkeiten, in der neuen Wohnung Energie zu sparen, wurde fast keiner der Befragten informiert.

Eine abschließende Gesamt-Schulnotenbewertung für die neuen Wohnungen ergibt eine Durchschnittsnote von 1,4.

Die zweite Befragung in Kapfenberg im November 2013

Im November 2013, also einige Monate nach Bezug der neuen Wohnungen, wurde eine zweite Befragung durchgeführt. Bei dieser Befragung konnten 13 ausgefüllte Fragebögen von 16 Wohnparteien erreicht werden, also 81,2%.

Auch bei dieser Befragung wurden die BewohnerInnen um eine Einschätzung ihrer Wohnung anhand eines Polaritätsprofils gebeten. Es zeigt sich, dass die neuen Wohnungen als angenehm, groß, trocken, warm, freundlich, gemütlich und durch wenig Luftzug gekennzeichnet wahrgenommen werden, auch eher als leise. Negativ wird von ca. der Hälfte der Befragten bemängelt, dass die Wohnungen eher dunkel sind. Als Vorteile werden genannt, dass alles neu sei, die Wohnung warm und groß ist und dass es jetzt einen Lift gibt.

Aber auch Nachteile werden genannt. So, dass bei Regen Wasser vom Dach auf die Balkone fließt (5 Nennungen), dass die Heizkörper nicht richtig funktionieren (2 Nennungen) und dass die Handwerkerarbeiten in der Wohnung (Putz-, Malerarbeiten, Türstöcke) teilweise schlampig gemacht wurden. Die Wohnungseingangstüren verziehen sich bei Feuchtigkeit (3 Nennungen). Der Keller wurde nicht saniert und ist feucht, wird dreimal bemängelt. Zwei BewohnerInnen bemerken auch unangenehme Gerüche, die über die kontrollierten Wohnraumlüftungen in die Wohnungen eindringen. Auch, dass es keine den Wohnungen fix zugeteilten Parkplätze mehr gibt, stößt bei zwei BewohnerInnen auf Unmut. Die Luftqualität wird im Sommer in der Wohnung als gut (4 Nennungen) oder sehr gut (1 Nennung) eingestuft, in einer Wohnung habe die Lüftungsanlage nicht funktioniert, in einer sei sie ausgeschaltet gewesen.

Die Temperatur wird im Sommer in der Wohnung als teilweise kühl und angenehm beschrieben (insgesamt vier Nennungen), von sechs anderen Befragten wiederum als warm, sehr warm, heiß und sehr heiß.

Die Behaglichkeit in der Wohnung wird allerdings von fast allen als viel besser oder besser als in der alten Wohnung und vor der Sanierung eingestuft, die gleiche Einschätzung gilt für das Raumklima (vgl. Abbildung 114 und Abbildung 115).

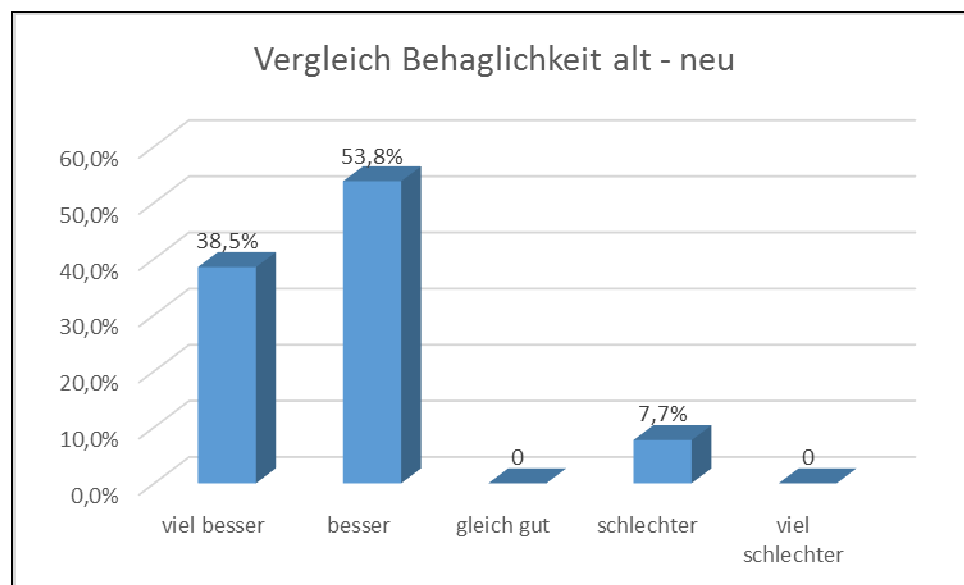


Abbildung 114: Vergleich Behaglichkeit alte und neue Wohnung

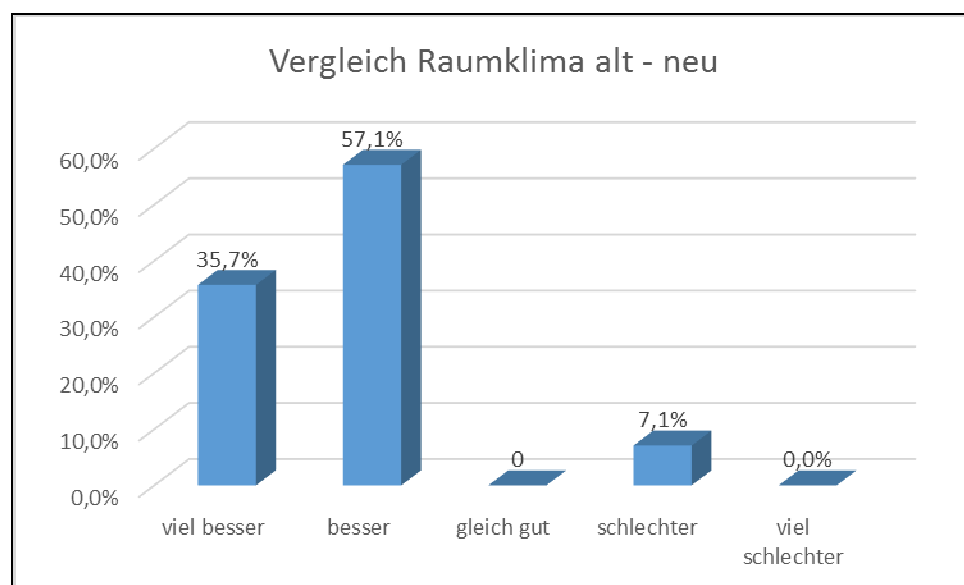


Abbildung 115: Vergleich Raumklima alte und neue Wohnung

Sieben der 13 Befragten (53,8%) meinten, sie hätten im Sommer zu hohe Raumtemperaturen in der Wohnung gehabt, allerdings stellt dies nur für vier von ihnen ein großes Problem dar, für alle anderen nur ein kleines oder sehr kleines Problem (vgl. Abbildung 116 und Abbildung 117).

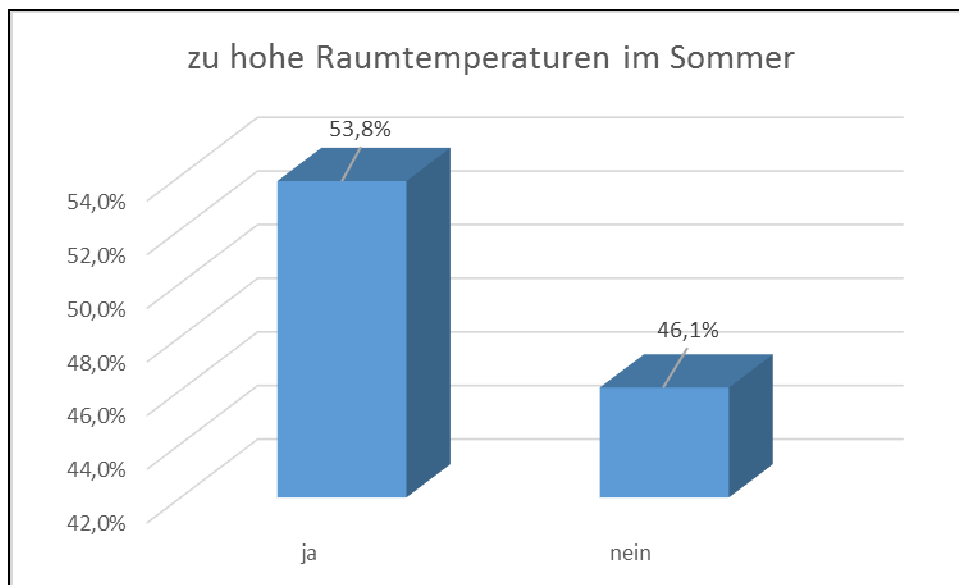


Abbildung 116: Zu hohe Raumtemperaturen im Sommer

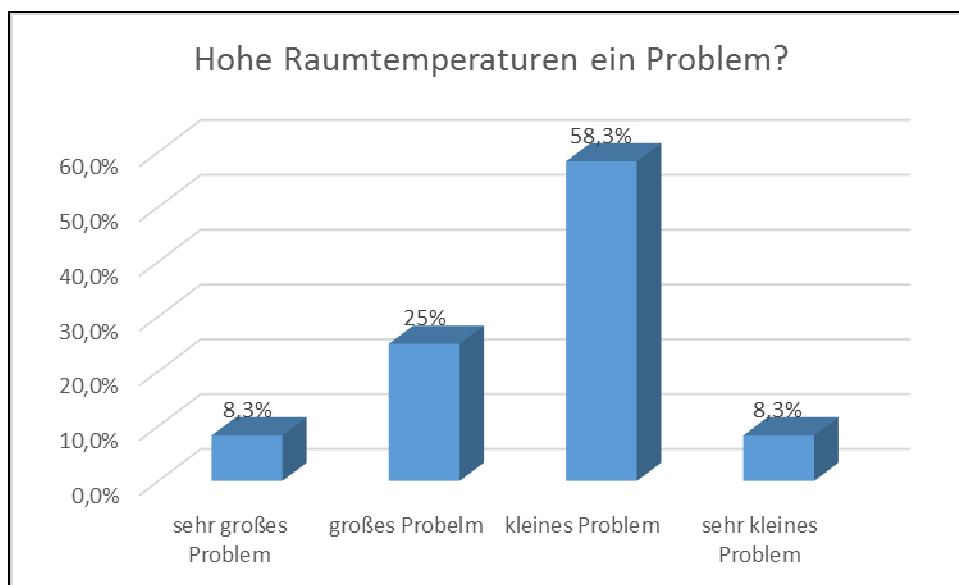


Abbildung 117: Sind zu hohe Raumtemperaturen für Sie ein Problem?

Sechs der Befragten können bei der Regelung ihrer Lüftungsanlage selbst nichts einstellen, zwei von denen, die etwas regeln können, betreiben die Anlage auf der Stufe „MIN“, vier auf der Stufe „COM“. Die Bedienungsfreundlichkeit der Lüftungsanlage wird von diesen als sehr gut (zweimal) bzw. gut (dreimal) eingeschätzt, nur einmal als schlecht (vgl. Abbildung 118).

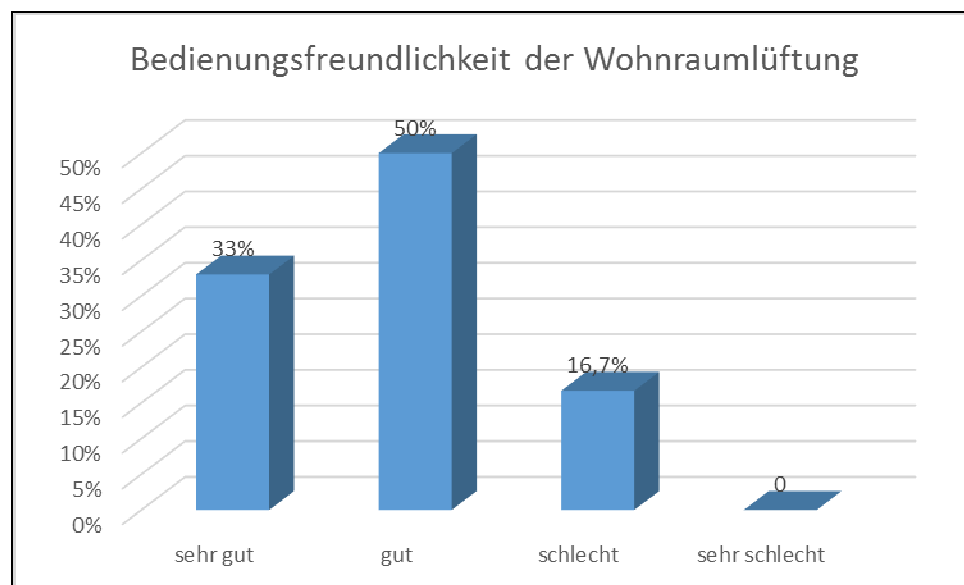


Abbildung 118: Bedienungsfreundlichkeit der Wohnraumlüftung

Die Geräuscentwicklung der Lüftungsanlage im Normalbetrieb ist für sechs Befragte, also ca. die Hälfte, gar nicht wahrnehmbar, für zwei wahrnehmbar, aber nicht störend und nur für drei eher störend (vgl. **Abbildung 119**).

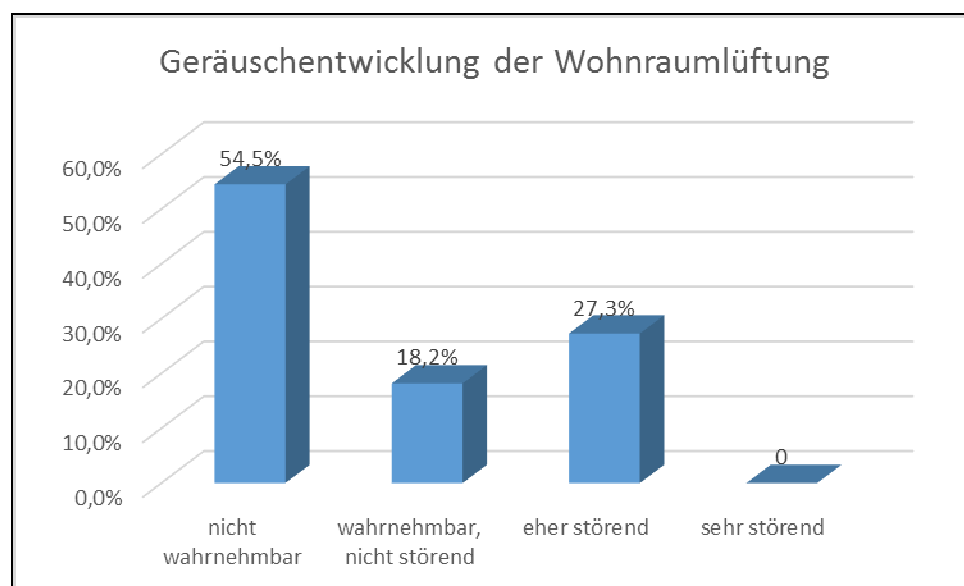


Abbildung 119: Geräuscentwicklung der Wohnraumlüftung

Einen Luftzug durch die Lüftungsanlage spüren nur vier (28,6%) der 14 Befragten (vgl. **Abbildung 120**), nur für zwei von ihnen ist er eher störend.

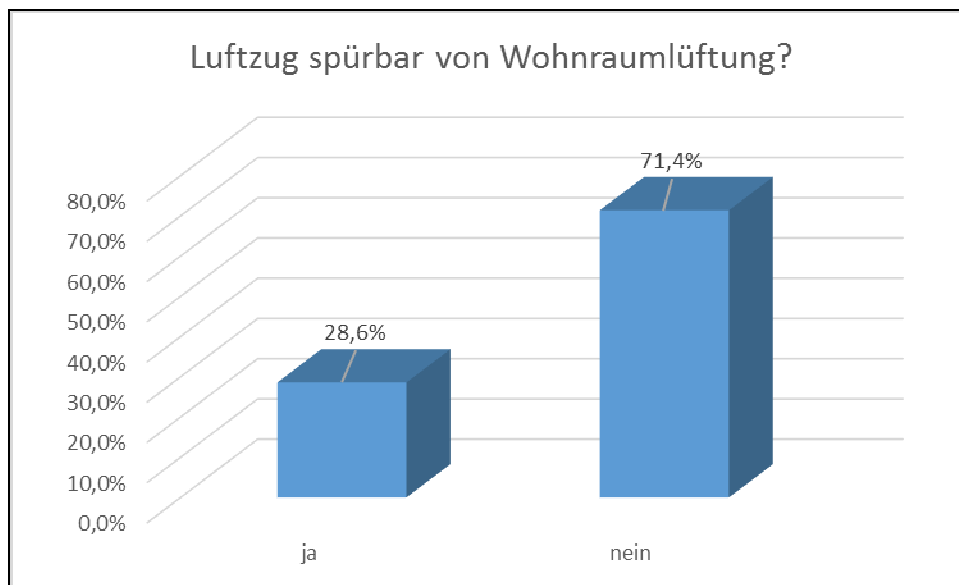


Abbildung 120: Luftzug spürbar von Wohnraumlüftung?

Probleme mit der kontrollierten Wohnraumlüftung hatten bisher nur vier Parteien, diese Probleme äußerten sich darin, dass die Lüftungsanlage ausgeschaltet war, dass warme Luft aus der Anlage kam und dass sich durch die Lüftungsanlage Gerüche in der Wohnung verbreiteten.

Elf der Befragten lüften trotz der kontrollierten Wohnraumlüftung auch über die Fenster (vgl. Abbildung 121), dies zumeist am Morgen oder zu Mittag. In den meisten Fällen werden die Fenster dabei ganz geöffnet und dies länger als für 20 Minuten.

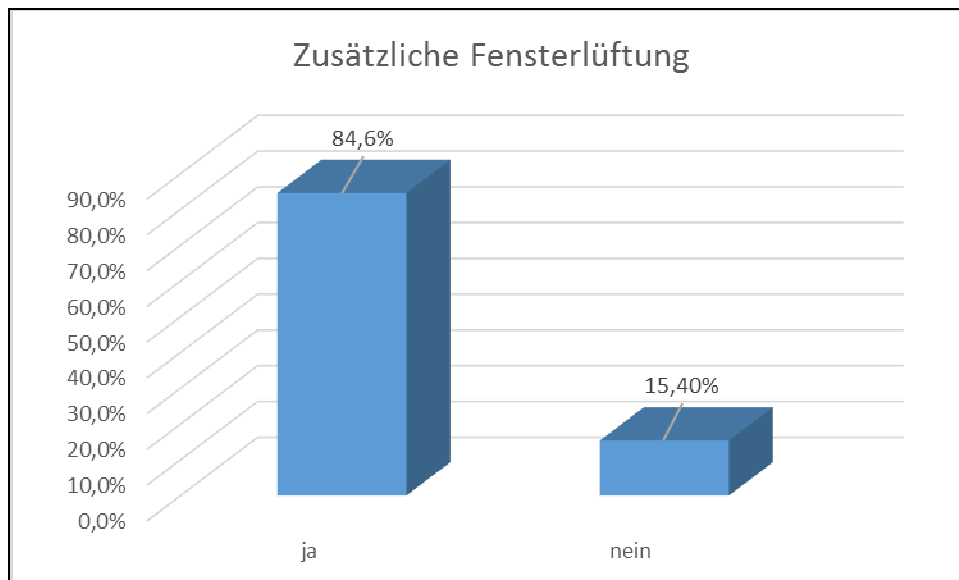


Abbildung 121: Zusätzliche Fensterlüftung zur Wohnraumlüftung?

Fast alle BewohnerInnen haben die Außenjalousien als Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung im Sommer eingesetzt.

Die Durchschnittsnote für die neuen Wohnungen liegt nach der Bewertung der BewohnerInnen bei 2.

Die dritte Befragung in Kapfenberg im Oktober 2014

Im Oktober 2014 wurde in Kapfenberg eine letzte und abschließende Befragungsrunde durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt war das Gebäude bereits vollständig saniert, die BewohnerInnen des nun auch fertig gestellten zweiten Bauabschnittes waren seit kurzem in ihren neuen Wohnungen oder gerade dabei, diese zu beziehen. Damit gab es neben den ursprünglichen BewohnerInnen des Hauses, die während der Sanierungsphase im Haus umgesiedelt waren auch einige neue BewohnerInnen.

Bei der Befragung im Oktober 2014 konnten 23 Interviews (von insgesamt 32 Hausparteien) erreicht werden, also 72% der BewohnerInnen. Davon befanden sich 12 Wohnungen im ersten Bauabschnitt (von 16), 11 Wohnungen im zweiten Bauabschnitt (von ebenfalls 16). Da die Wohnungen im zweiten Bauabschnitt mit keiner kontrollierten Wohnraumlüftung ausgestattet sind, sondern mit einem Speziallüftungsschlitze, die in die Fensterrahmen eingebaut wurde und viele der BewohnerInnen des zweiten Bauabschnittes erst seit kurzem in ihren Wohnungen leben, konzentriert sich die weitere Darstellung auf den ersten Bauabschnitt.

Die Wohnungen werden bei der Befragung im Gesamten als sehr positiv beschrieben. An Vorteilen wird genannt, dass das Wohngebäude zentral liege (zwei Nennungen), das alles neu sei und gut funktioniere (zwei Nennungen), dass das Gebäude gut isoliert sei (zwei Nennungen) sowie dass die Lüftungsanlage gut funktioniere (zwei Nennungen). An Nachteilen wird bemängelt, dass die Miete nach der Sanierung gestiegen und nun zu teuer sei (drei Nennungen), dass es durch zu kleine Boiler zu wenig Warmwasser gebe (zwei Nennungen), dass die Lüftungsanlage schlecht funktioniere (zwei Nennungen), und dass man den Lärm von den Nachbarn höre (eine Nennung). Auch fehlende Parkplätze werden wieder bemängelt. Die Luftqualität im vergangenen Sommer wird mit „angenehm“ (vier Nennungen), „gut“ (zwei Nennungen), „perfekt“ (eine Nennung), „normal“ (eine Nennung), aber auch mit „nicht so gut“ (zwei Nennungen) und „stickig“ (zwei Nennungen) beschrieben.

Die Temperatur im Sommer 2014 wird von fünf Parteien als „unangenehm“ bzw. „zu heiß“ beschrieben (die Temperaturangaben schwanken dabei zwischen 25 und 28 Grad), von vier Parteien als „angenehm“, einmal auch als „perfekt“, einmal mit „gut“ einmal mit „manchmal warm, manchmal nicht“. Das Behaglichkeitsgefühl wird von allen BewohnerInnen in den neuen Wohnungen als „viel besser“ oder „besser“ als in den alten Wohnungen beschrieben (vgl. Abbildung 122).

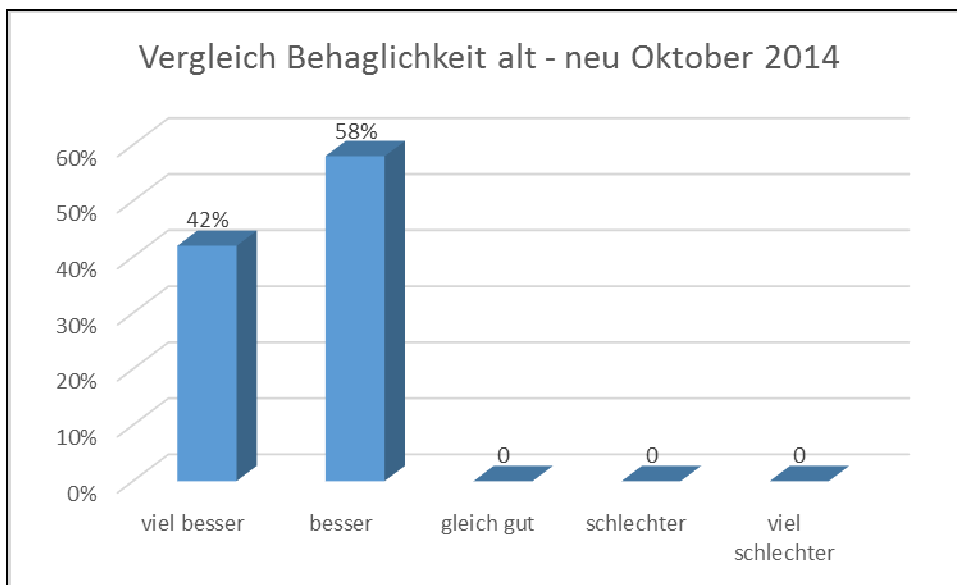


Abbildung 122: Vergleich Behaglichkeit alte – neue Wohnung (Oktober 2014)

Auch das Raumklima wird von allen Befragten als „viel besser“ oder „besser“ als vor der Sanierung eingestuft (vgl. **Abbildung 123**).

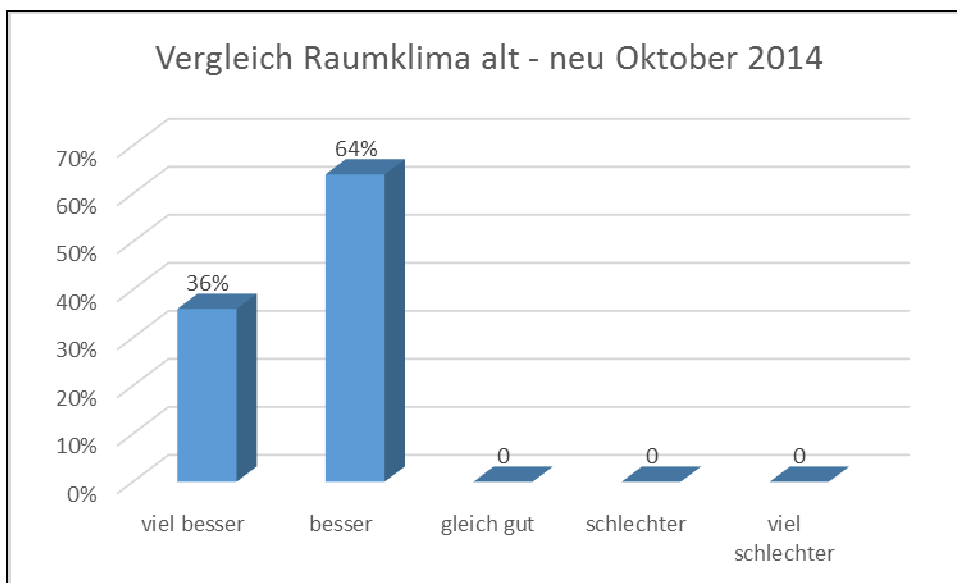


Abbildung 123: Vergleich Raumklima alte – neue Wohnung (Oktober 2014)

Die Frage danach, ob zu hohe Raumtemperaturen im Sommer in der Wohnung geherrscht haben, beantworten beantwortet ungefähr jeweils die Hälfte der BewohnerInnen mit ja bzw. nein (vgl. **Abbildung 124**).

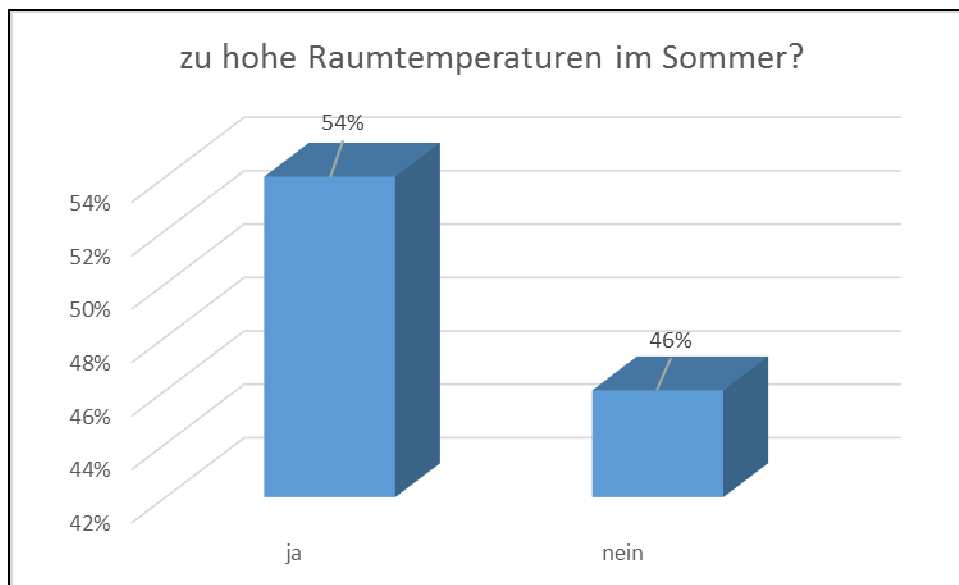


Abbildung 124: Zu hohe Raumtemperaturen im Sommer (Oktober 2014)

Zur kontrollierten Wohnraumlüftung befragt, geben sechs der Befragten an, dass sie diese die meiste Zeit auf der Stufe „COM“, also „Komfort“ betreiben, zwei Befragte die meiste Zeit auf „COM“ und „MAX“. Die weiteren fünf Befragten können die Lüftungsanlage nicht selbst regeln (vgl. Abbildung 125). Von denjenigen, die die Lüftungsanlage selbst regeln können, wird deren Bedienungsfreundlichkeit von allen als „sehr gut“ bewertet.

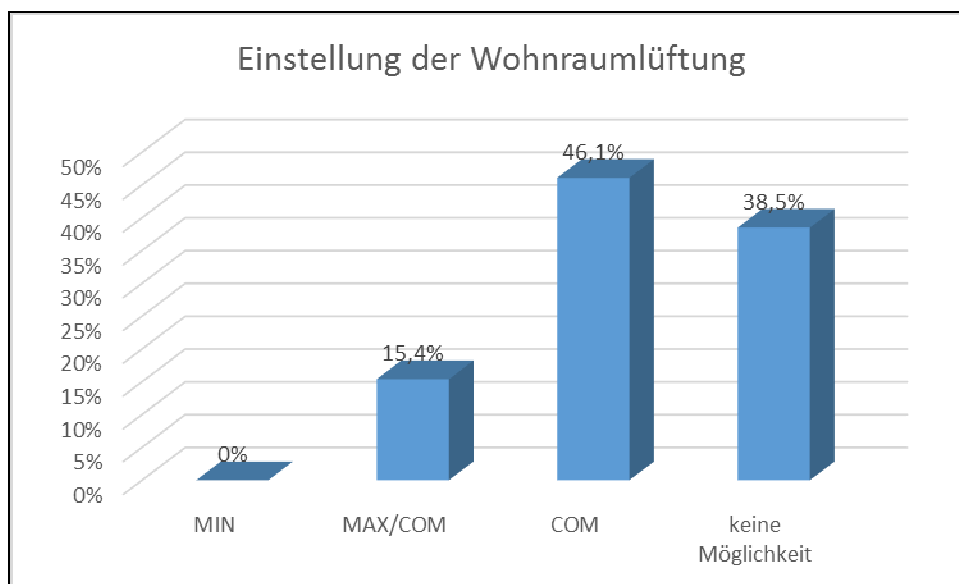


Abbildung 125: Hauptsächlich Einstellung der kontrollierten Wohnraumlüftung (Oktober 2014)

Die Geräuscentwicklung der Lüftungsanlage wird von fast allen Befragten als „nicht wahrnehmbar“ bezeichnet, nur eine Person empfindet das Geräusch der kontrollierten Wohnraumlüftung als „sehr störend“.

Einen Luftzug aus der Lüftungsanlage bemerken neun der BewohnerInnen überhaupt nicht, vier der BewohnerInnen nehmen einen solchen Luftzug wahr. Zwei von diesen vieren stört dieser Luftzug, während er für die anderen beiden auch nicht störend ist (vgl. Abbildung 126).

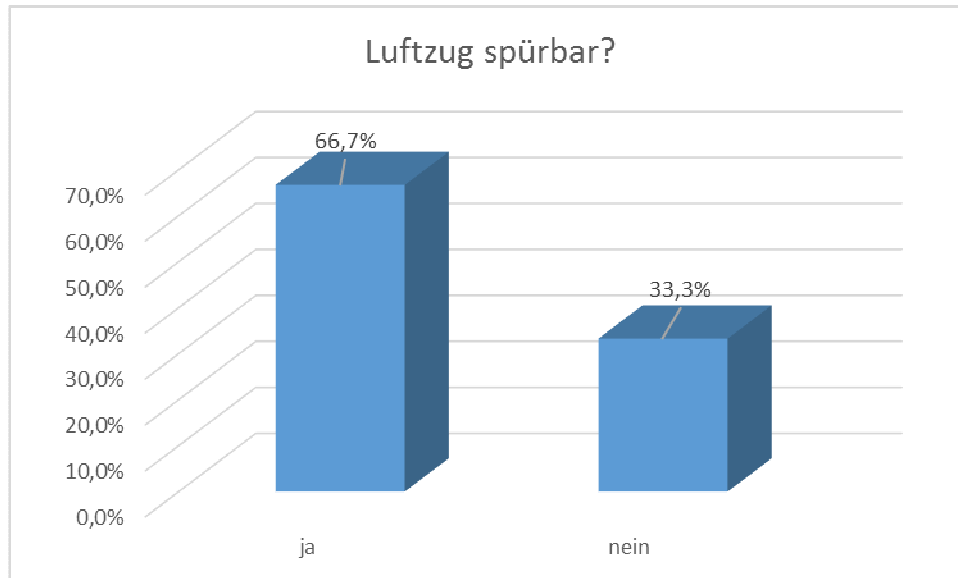


Abbildung 126: Luftzug spürbar von Wohnraumlüftung? (Oktober 2014)

Vier der 12 Befragten hatten bisher Probleme mit der kontrollierten Wohnraumlüftung. Bei zweien funktionierte die Lüftungsanlage beim Einzug nicht, bei einem wurde ein Schalter falsch eingebaut, ein Befragter nimmt Rauchgeruch durch die Lüftungsanlage wahr.

Fast alle Befragten geben auch bei dieser Befragung an, dass sie ihre Wohnung im Sommer händisch über die Fenster zusätzlich zur kontrollierten Wohnraumlüftung lüften (vgl. Abbildung 127). Knapp die Hälfte tut dies den ganzen Tag über, ca. ein Drittel am Morgen und ein weiteres Drittel am Morgen und am Abend. Bei mehr als der Hälfte der Befragten werden die Fenster dazu ganz geöffnet, zwei Parteien kippen die Fenster, weitere zwei Parteien kippen und öffnen die Fenster sowohl als auch. Von fast allen Befragten werden die Fenster dabei mehr als 20 Minuten geöffnet.

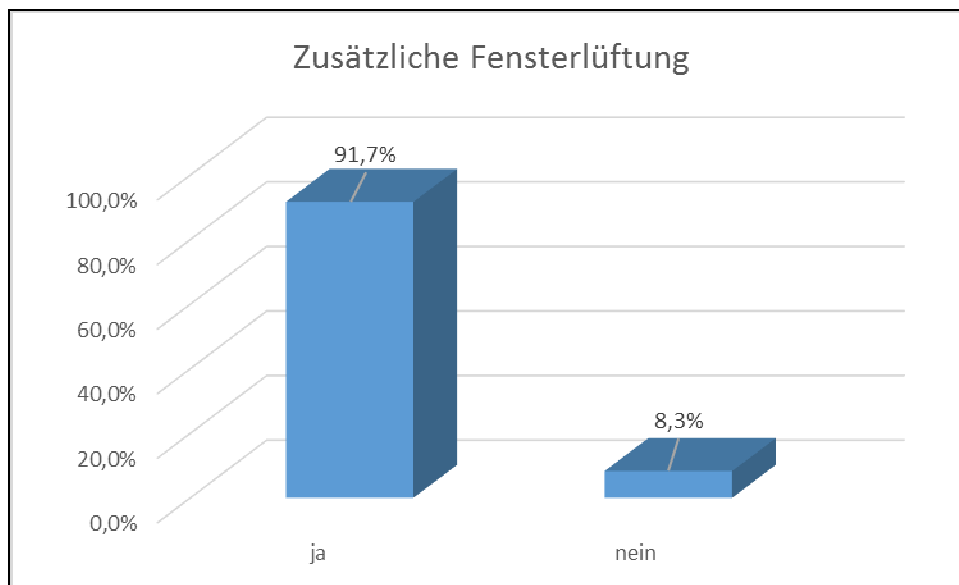


Abbildung 127: Zusätzliche Fensterlüftung zur Wohnraumlüftung? (Oktober 2014)

Fast alle Befragten verwenden im Sommer ihre Jalousien als Sonnenschutz (vgl. Abbildung 128).

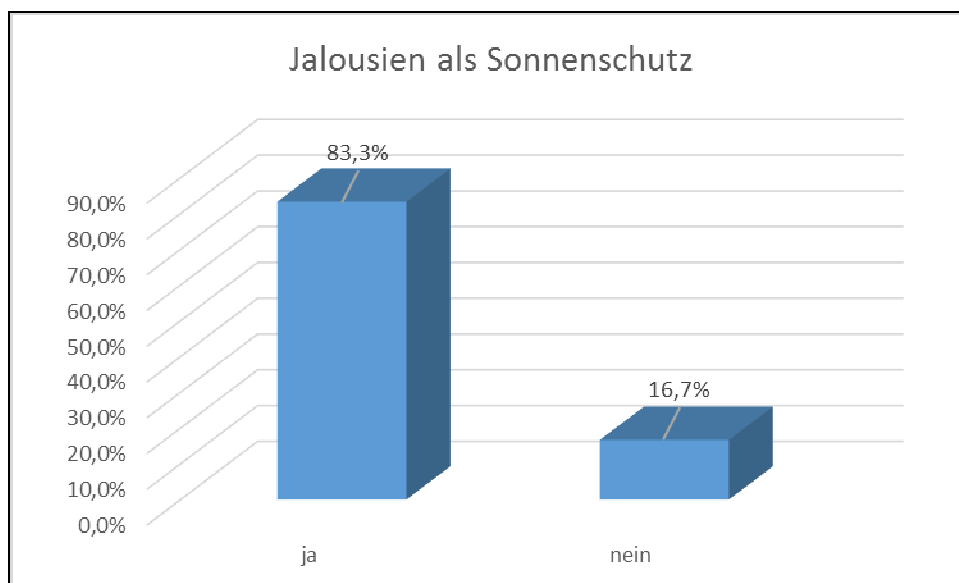


Abbildung 128: Verwendung der Jalousien als Sonnenschutz (Oktober 2014)

Die durchschnittliche Schulnote, mit der die Wohnungen von ihren BewohnerInnen bewertet werden, beträgt im Oktober 2014 1,8.

Zusammenfassend sei hier auch noch auf die Befragung im zweiten Bauabschnitt eingegangen. Nur zwei der 11 Befragten im zweiten Bauabschnitt waren auch bereits vor der Sanierung im Haus und damit in der Lage, einen Vergleich zur vorherigen Situation zu ziehen, der auf jeden Fall positiv für die neuen Wohnungen ausfällt.

Bei den Vorteilen der neuen Wohnungen wird vor allem die gute Raumaufteilung (drei Nennungen), die gute Lage des Gebäudes (zwei Nennungen) bzw. überhaupt ein allgemeines Zufriedenheitsgefühl von den meisten Befragten geäußert.

Bei den Nachteilen der Wohnung wird geäußert, dass die Malerarbeiten in der Wohnung schlecht ausgeführt wurden (zwei Nennungen) und dass der Boiler in der Wohnung zu klein ist (eine Nennung). Die Luftqualität in der Wohnung wird von allen Befragten als gut oder angenehm eingestuft, die Temperatur im Sommer in der Wohnung von „normal“ über „passt“ und „in Ordnung“ bis „angenehm“. Fast alle Befragten geben auch an, dass sie keine zu hohen Raumtemperaturen im Sommer in der Wohnung hatten.

Eine Geräuscentwicklung durch die Lüftung im Fensterrahmen nimmt keine/r der Befragten wahr, einen Luftzug immerhin vier Personen. Die meisten Befragten hatten auch noch keine Probleme mit dem Lüftungsschlitz im Fensterrahmen.

Auch im zweiten Bauabschnitt wird von fast allen BewohnerInnen zusätzlich händisch gelüftet, am Morgen oder den ganzen Tag über und dies hauptsächlich bei geöffneten Fenstern und über zwanzig Minuten lang.

Die Durchschnittsnote für die Wohnungen in Bauabschnitt 2 beträgt 1,5.

Zusammenfassung Befragung Kapfenberg

Bzgl. der Zufriedenheit der BewohnerInnen in Kapfenberg kann festgestellt werden, dass der Umzug in die neuen Wohnungen nach der Sanierung sicher ein Gewinn war. Die Bewertung der Wohnungen verbesserte sich von 3,4 für die alten Wohnungen in der ersten Befragung über 1,4 und 2 bis 1,8 für die neuen Wohnungen in der letzten Befragung.

In den alten Wohnungen war es eher feucht und kalt, die neuen Wohnungen werden fast durchgehend mit positiven Eigenschaften verbunden. Bemängelt werden noch die Tatsache, dass die Wohnungen eher dunkel sind, bei Regen vom Dach aus die Balkone der Wohnungen überschwemmt werden und dass die handwerklichen Arbeiten in den Wohnungen zum Teil schlecht ausgeführt wurden.

Die Durchführung der Sanierung und die Information und Betreuung während der Sanierungsphase wird als sehr gut beurteilt. Über die neuen Technologien in den neuen Wohnungen wurden die BewohnerInnen auch informiert, mehr als die Hälfte der BewohnerInnen wusste auch, dass es eine Lüftungsanlage in der neuen Wohnung geben wird.

Bei der Einschätzung von Temperatur und Luftqualität halten sich die negativen und positiven Wertungen in den alten Wohnungen die Waage, in den neuen Wohnungen wird die Luftqualität im Sommer zum Großteil als gut eingeschätzt, die Temperatur einerseits als kühl, von anderen BewohnerInnen aber auch als warm oder sogar heiß. Dies setzt sich in den weiteren Befragungen fort – ca. die Hälfte der BewohnerInnen beklagt zu hohe Temperaturen in den Wohnungen. Die Behaglichkeit in den Wohnungen ist aber für alle Befragten besser als vor der Sanierung.

Die kontrollierten Wohnraumlüftungen funktionieren zum Großteil recht gut, es gibt nur vereinzelt Probleme. So werden z.B. in zwei Wohnungen Geruchsübertragungen über die Lüftungsanlage angesprochen, die sich bis zur letzten Befragung nicht verbesserten. Ebenso wird die Regelung der

Lüftungsanlage als bedienungsfreundlich und die Anlage selbst zum Großteil als geräuscharm eingestuft, sie verursacht bei den meisten BewohnerInnen auch keinen spürbaren Luftzug. Interessant ist, dass trotz der kontrollierten Wohnraumlüftungen fast alle BewohnerInnen auch über die Fenster lüften (sowohl intensiv im Sommer als auch – natürlich weniger intensiv - im Winter).

4.9.2 Die Befragung in Graz Reininghaus Süd

In der Wohnsiedlung Peter-Rosegger-Straße in Graz konnte einige Monate nach dem Einzug zumindest in zwei Gebäuden eine BewohnerInnenbefragung durchgeführt werden. Dabei konnten von 16 Wohnungen allerdings nur fünf erreicht werden (ca. 31%). Da dies eine sehr kleine Fallzahl ist, werden die Ergebnisse hier nur kurz zusammenfassend dargestellt. Der Fragebogen findet sich im Anhang. Die Befragten wohnen zwischen neun und zehn Monaten im Haus.

Als Vorteile der jetzigen Wohnung werden die ruhige Lage der Gebäude, die ökologische Bauweise, die gute Raumaufteilung und die gute Infrastruktur der Umgebung angegeben. An Nachteilen wird angeführt, dass es wenig Natur in der Umgebung gibt, keinen Abstellraum im Wohnbereich, dass ein Telefonmast in unmittelbarer Nähe ist, dass es keinen direkten Zugang zur Tiefgarage gibt, dass es zu wenig Sonne in der Wohnung gibt und dass die Wohnungen zu teuer wären.

Zu hohe Raumtemperaturen im Sommer beklagt nur einer der fünf Befragten, zu trockene Luft im Winter allerdings drei der fünf Befragten. Die Behaglichkeit in der Wohnung wird von allen Befragten zumindest als gleich gut bzw. besser als in ihrer alten Wohnung beschrieben, ebenso das Raumklima.

Die Jalousien wurden von zwei der Befragten im letzten Sommer zum Schutz vor der Sonne eingesetzt. Die Bedienungsfreundlichkeit der Lüftungsanlage wird von fast allen BewohnerInnen als sehr gut oder gut eingestuft, nur einmal als schlecht. Störende Geräusche durch die Lüftungsanlage gibt nur eine/r der Befragten an, Zugluft durch die kontrollierte Wohnraumlüftung wird fast überhaupt nicht wahrgenommen. Probleme mit der kontrollierten Wohnraumlüftung gab es bei mehreren Befragten, zwei Mal wird Geruchsbelästigung genannt, einmal eine falsche Programmierung der Anlage und einmal Geräuschübertragungen über die Lüftungsanlage durch die Stockwerke des Hauses.

Alle Befragten haben zusätzlich zur kontrollierten Wohnraumlüftung auch die Fenster geöffnet, vor allem im Sommer. Die Fenster werden dabei hauptsächlich gekippt, oft über den ganzen Tag.

Für die Wohnzufriedenheit wird vier Mal die Note 2, einmal die Note 4 vergeben.

4.9.3 Die Befragung von KundInnen bei Energieberatungen und BesucherInnen von Energiesparmessen

Um einen Eindruck davon zu bekommen, wie die „interessierte Öffentlichkeit“ – in unserem Fall BesucherInnen von Energiesparmessen oder KundInnen von Energieberatungen - das Thema „kontrollierte Wohnraumlüftung“ bzw. „Passivhauskonzepte“ sehen, wurden bei mehreren derartigen Gelegenheiten Fragebögen zu diesem Thema verteilt. Im Folgenden wird eine Auswertung dieser Befragungsergebnisse dargestellt.

Insgesamt konnten 104 Fragebögen erreicht werden. Die Zusammensetzung der Stichprobe gestaltet sich folgendermaßen: 59% der Befragten sind männlich, 41% sind weiblich (vgl. Abbildung 129).

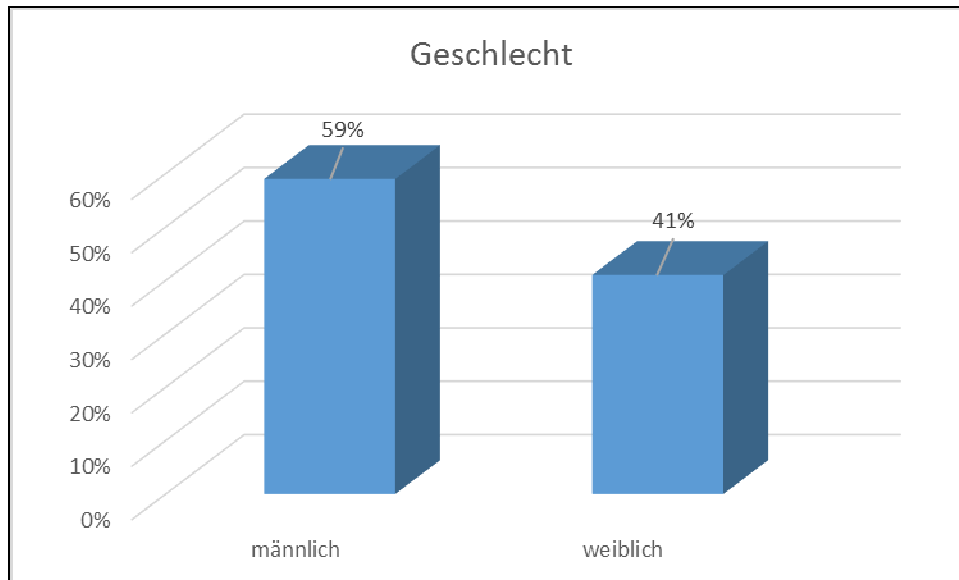


Abbildung 129: Geschlecht der Befragten

Die meisten der Befragten befinden sich im Alterssegment zwischen 30 und 39 Jahren (31,3%), dann folgen die 40- bis 49-Jährigen (23,2%), die 50 bis 59-Jährigen (21,2%), die 20- bis 29-Jährigen (13,1%) und die über 60-Jährigen (11,1%) (vgl. Abbildung 130).

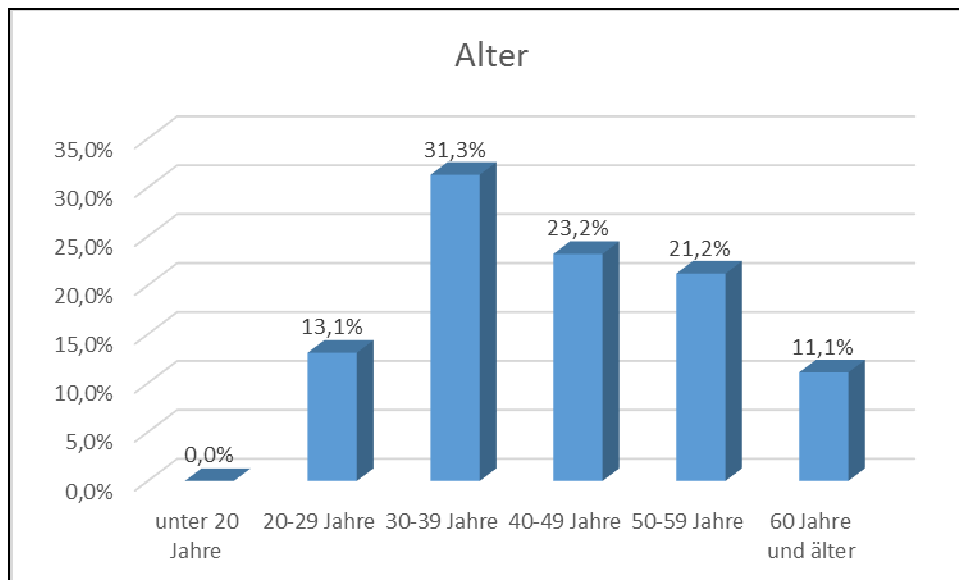


Abbildung 130: Alter der Befragten

Von der Wohnform her handelt es sich bei den Befragten in der großen Mehrzahl um Besitzer von Ein- oder Zweifamilienhäusern (56,4%), gefolgt von Mietwohnungen (22,8%) und Eigentumswohnungen (14,8%) (vgl. Abbildung 131).

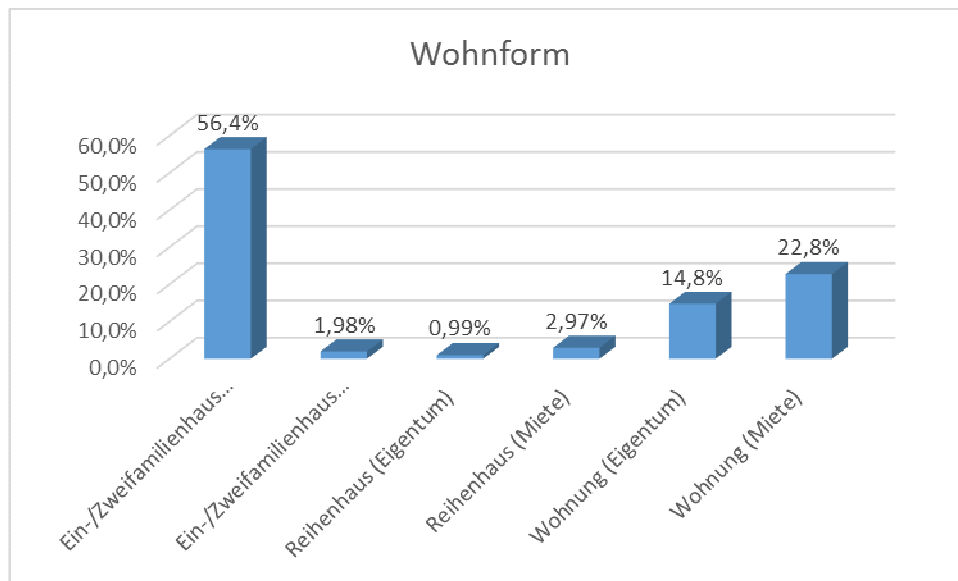


Abbildung 131: Wohnform der Befragten

Die Befragten wurden zu Beginn des Fragebogens gebeten zu definieren, was sie unter dem Begriff „Komfortlüftung“ verstehen. Die Antwortmöglichkeiten dafür wurden vorgegeben und von den Befragten in folgendem Ausmaß gewählt (Mehrfachnennungen waren möglich):

Der größte Teil versteht darunter „eine Lüftungsanlage, die in einem Haus oder einer Wohnung für frische Luft sorgt“ (71,1%). 16 Befragte (14,4%) verstehen darunter „eine Luftheizung im Passivhaus“, acht Personen (7,2%) „eine nicht notwendige Anlage, weil ich ja mit den Fenstern lüften kann“. Nur vier Befragte (3,6%) verstehen darunter eine „Klimaanlage“ und überhaupt nur zwei (2%) „eine Anlage, die für Zugluft sorgt“ (vgl. Abbildung 132).

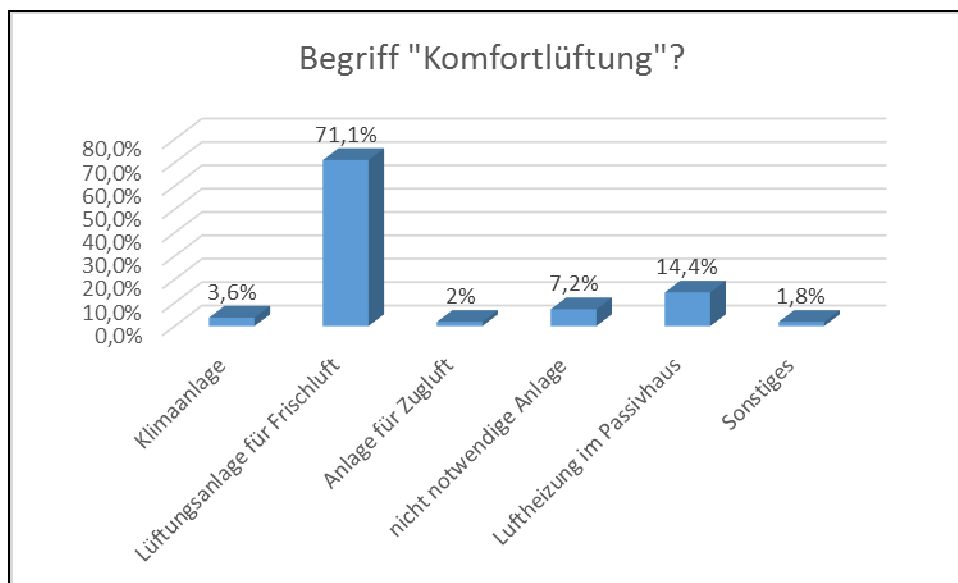


Abbildung 132: Was verstehen Sie unter dem Begriff Komfortlüftung?

Insgesamt 26 der Befragten (25,2%) wohnen selbst in einem Haus oder in einer Wohnung mit einer Komfortlüftung (davon jeweils die Hälfte in einem Haus bzw. in einer Wohnung) (vgl. Abbildung 133).

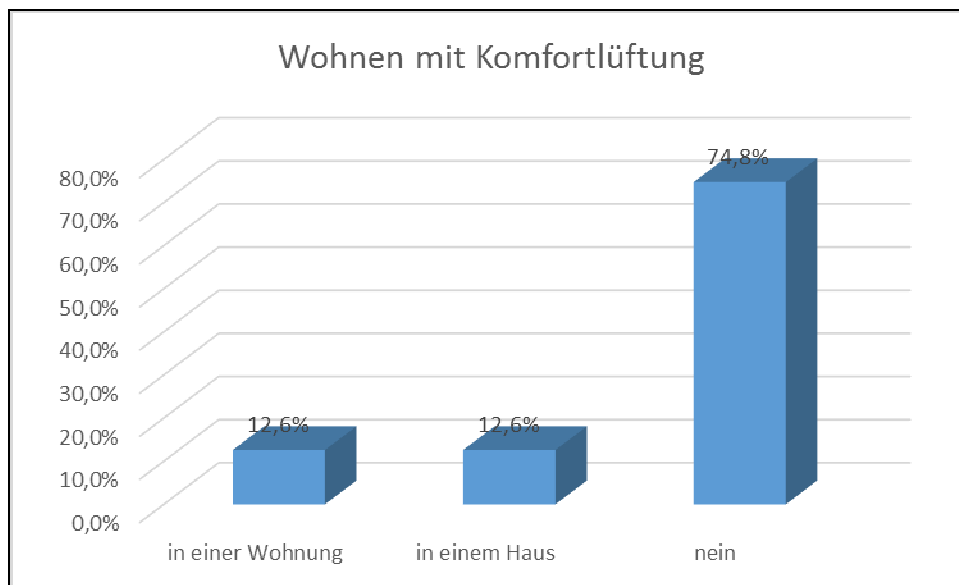


Abbildung 133: Wohnen Sie selbst in einem Haus/einer Wohnung mit Komfortlüftung?

Bei diesen 26 Befragten handelt es sich in 62,5% der Fälle um eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung und in 20,8% der Fälle um eine reine Abluftanlage (vgl. Abbildung 134).

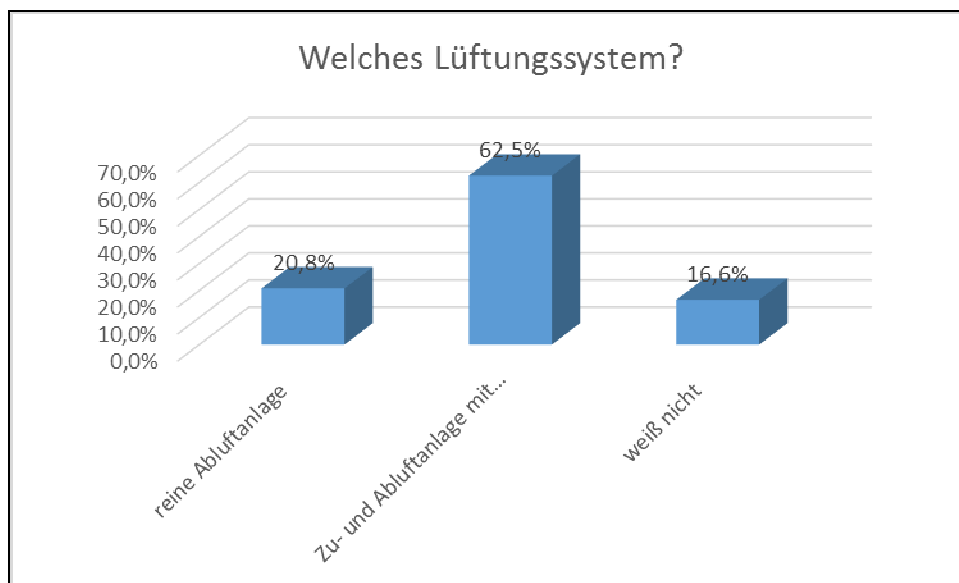


Abbildung 134: Um welches Lüftungssystem handelt es sich?

Bei 10 der Anlagen (41,6%) handelt es sich um eine zentrale Anlage im Gebäude, bei sieben um wohnungsweise Anlagen (29,2%), bei vier (16,7%) um raumweise (vgl. Abbildung 135). Nur in drei Fällen wird über das Lüftungssystem auch geheizt.

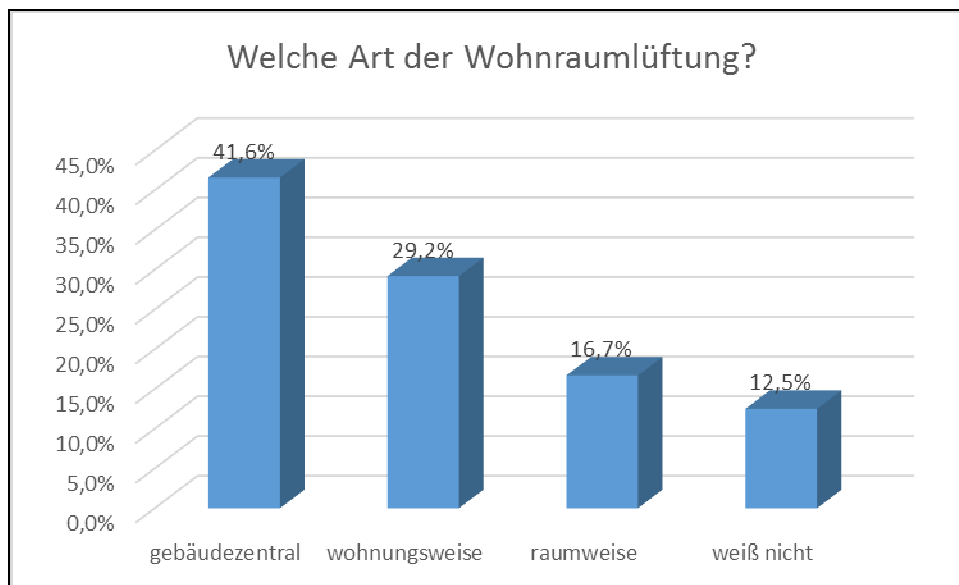


Abbildung 135: Um welche Art der Wohnraumlüftung handelt es sich?

Die Befragten, die über eine Komfortlüftung verfügen, wurden auch gebeten, eine Schulnote für die Anlage zu vergeben. Dabei ergibt sich eine Durchschnittsnote von 2,6. Als Begründung für schlechte Bewertungen werden Lärmbelästigung (zwei Nennungen), Schimmelprobleme (zwei Nennungen) oder Zugluft (zwei Nennungen) angegeben.

Würden die Befragten gerne in einem Haus bzw. einer Wohnung mit Komfortlüftung wohnen – bzw. in ein solches oder in eine solche wieder einziehen, wenn sie in ihren Heim schon über eine Komfortlüftung verfügen?

In einem Haus mit Komfortlüftung würden gerne 56,4% der Befragten (wieder) wohnen, 30,8% nicht (12,8% wissen es nicht) (vgl. Abbildung 136).

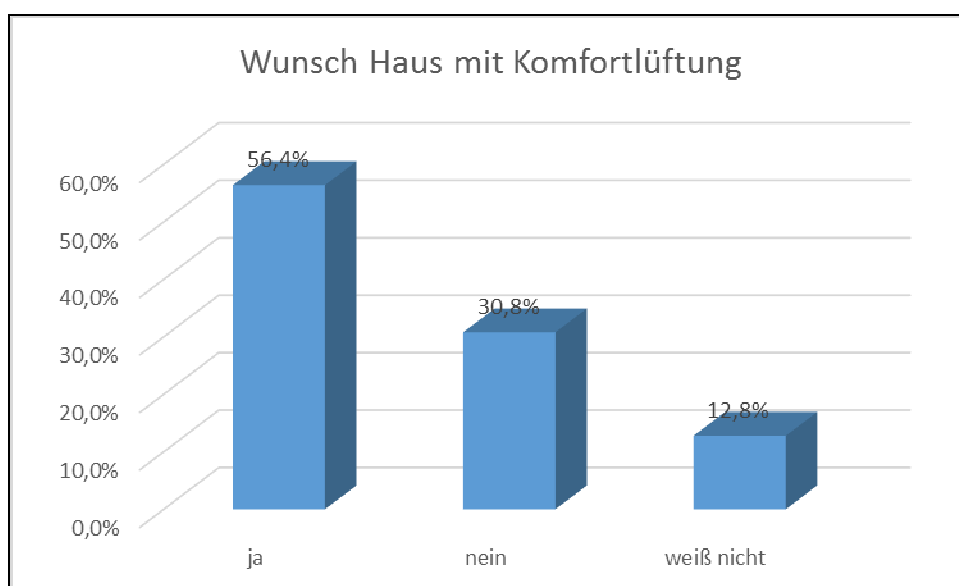


Abbildung 136: Würden Sie gerne (wieder) in einem Haus mit Komfortlüftung wohnen?

Bei der Wohnung mit Komfortlüftung sind es 34% der Befragten (30,8% möchten es nicht, 35,2% wissen es nicht) (vgl. Abbildung 137).

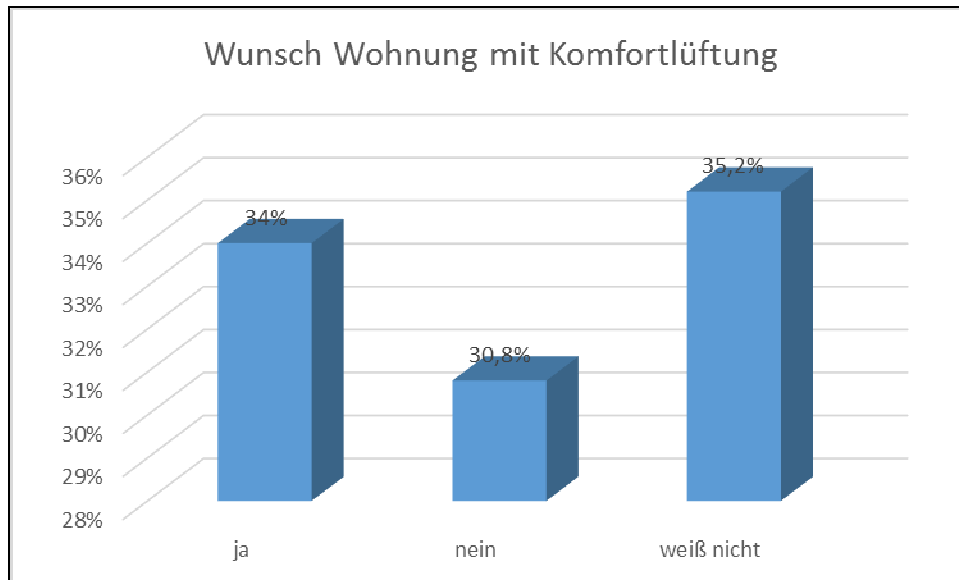


Abbildung 137: Würden Sie gerne (wieder) in einer Wohnung mit Komfortlüftung wohnen?

Welche Gründe geben die Befragten dafür an, dass sie dies möchten bzw. nicht möchten?

An positiven Gründen werden hier genannt (und diese gelten sowohl für Haus- als auch WohnungsbewohnerInnen): Die meisten begründen dies mit der Möglichkeit, immer frische und angenehme Luft zu haben, auch im Winter oder in der Nacht, wo es nicht so gut möglich ist, die Fenster zu öffnen. Einige verweisen auf ein besseres Raumklima oder besseres Wohngefühl, einige weitere auf den Bequemlichkeitsaspekt, die Fenster nicht öffnen zu müssen. Zwei der Befragten führen die Energieersparnis ins Treffen.

Bei den negativen Einschätzungen wird vor allem genannt, dass eine händische Fensterlüftung vollkommen ausreichend und eine kontrollierte Wohnraumlüftung daher nicht notwendig sei, einige sprechen ihre Freiheit an, die Fenster öffnen zu können, wann sie es wollen. Die Abhängigkeit von der Technik wird von einem Befragten angeführt, die völlige Abdichtung des Hauses von einem anderen. Einmal wird auch Zugluft als negativer Faktor genannt und dass eine Lüftungsanlage zu teuer sei. Die BesucherInnen der Energiesparmassen und KundInnen der Energieberatungen wurden auch gefragt, ob sie den Begriff „Passivhaus“ schon einmal gehört haben? Den Begriff kennen alle Befragten (100%). Was assoziieren sie aber damit?

Auch hier wurden wieder Möglichkeiten zur Auswahl vorgegeben (Mehrfachnennungen waren möglich): Die meisten der Befragten verstehen darunter ein Haus, das wenig Energie verbraucht (44,5%), 39 verstehen darunter ein gut gedämmtes Haus (23,8%), 29 ein Haus mit Lüftungsanlage (17,7%) und 23 ein Haus, das keine Heizung hat (14%) (vgl. Abbildung 138).

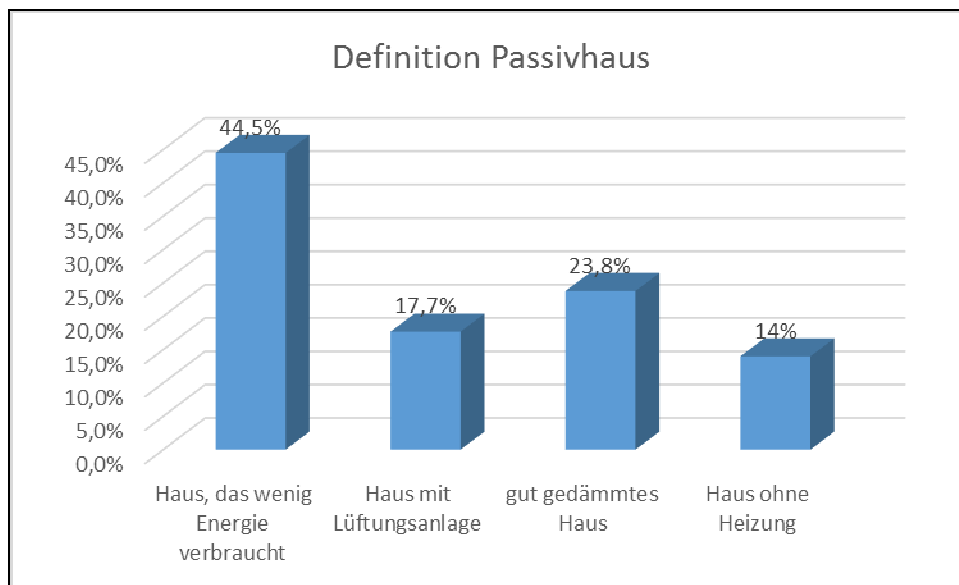


Abbildung 138: Was ist ein Passivhaus?

Zusammenfassung der BesucherInnen-/KundInnenbefragung

Die Befragung der KundInnen von Energieberatungen und der BesucherInnen von Energiesparmassen, wurde durchgeführt, um einen Eindruck davon zu bekommen, wie die Themen „Kontrollierte Wohnraumlüftung“ und „Passivhaus“ in der – allerdings an Energiefragen interessierten und für diese sensibilisierten – Öffentlichkeit wahrgenommen werden.

Dabei zeigte sich, dass viele Befragte den Begriff „Komfortlüftung“ kennen und diesem auch eine richtige Bedeutung zuweisen können. Das Gleiche gilt für den Begriff „Passivhaus“, der allen Befragten bekannt ist und auch richtig erklärt werden kann. Ca. 25% der Befragten wohnen selbst in einem Haus oder einer Wohnung mit Komfortlüftung, die Durchschnittsnote für diese Anlagen liegt allerdings bei relativ hohen 2,6. Mehr als die Hälfte der Befragten, die in einem Haus leben, würden auch wieder in ein Haus mit Lüftungsanlage einziehen wollen, bei den Befragten, die in einer Wohnung leben, sind es ca. 40%. Als Gründe für eine Komfortlüftung werden vor allem die Möglichkeit, ständig frische Luft zur Verfügung zu haben und der Komfort, die Fenster nicht öffnen zu müssen, angeführt. Dagegen spricht für die Befragten, dass sie das Gefühl haben, die Fenster dann nicht mehr öffnen zu dürfen oder eine Lüftungsanlage einfach für nicht notwendig erachten, weil ja ausreichend über die Fenster gelüftet werden kann.

4.9.4 Schlussbetrachtung

Die Befragungen in Kapfenberg und in Graz zeigen eine große Zufriedenheit mit der Wohnsituation, den Energiekonzepten und auch mit den kontrollierten Wohnraumlüftungen. Die eingesetzten Systeme für die Wohnraumlüftung werden gut bewertet, auch die Bedienungsfreundlichkeit der Regelungen. Möglichkeiten zur Regelung der kontrollierten Wohnraumlüftung sollten den BewohnerInnen gegeben werden, diese müssen aber nicht zu differenziert sein. Es zeigt sich, dass selbst wenn es die Möglichkeit zur Regelung gibt, diese von den BewohnerInnen nicht sehr intensiv genutzt werden.

An Problemen mit den kontrollierten Wohnraumlüftungen werden von wenigen BewohnerInnen Geruchs- oder Probleme mit Zugluft angesprochen. Es gibt auch immer wieder einmal Überhitzungsprobleme im Sommer in den Wohnungen oder Probleme mit trockener Luft im Winter. Ein Phänomen ist, dass fast alle BewohnerInnen sowohl in Kapfenberg als auch in Graz zusätzlich zur Wohnraumlüftung auch über die Fenster lüften – was im Sommer noch zusätzlich zur Überhitzung der Wohnungen beitragen kann, wenn die meisten Befragten auch angeben, dass sie ihre Jalousien als Sonnenschutz benutzen. Das zeigt, dass BewohnerInnen ein Bedürfnis haben, über die Fenster zu lüften und dies auch tun – dies sollte auch in Informationsblättern oder Handbüchern zum Umgang mit der kontrollierten Wohnraumlüftung berücksichtigt werden.

Es zeigt sich aber auch, dass die BewohnerInnen sich nicht in erster Linie mit der Lüftungsanlage auseinander setzen, sondern ihnen andere Themen, die ihre Wohnungen betreffen, wichtiger sind. Oft beschäftigen die BewohnerInnen auch Probleme, die nichts mit der kontrollierten Wohnraumlüftung zu tun haben, aber die sie für diese Probleme verantwortlich machen (z.B. Überhitzungsprobleme). BewohnerInnen brauchen Betreuung, Information und Kommunikation zur kontrollierten Wohnraumlüftung vor, bei und vor allem auch noch nach Bezug des Gebäudes über alle möglichen Kanäle – schriftlich, mündlich und im wahrsten Sinne des Wortes „angreifbar“. Technische, ökologische, soziale und kommunikative Elemente müssen gut zusammenspielen und ineinandergreifen, damit potentielle Konflikte von vorneherein vermieden werden.

Allgemein betrachtet zeigt sich, dass die Themen „Passivhaus“ und „kontrollierte Wohnraumlüftungen“ auch in der – zumindest an Energiefragen interessierten – Öffentlichkeit angekommen sind. Die Begriffe können von vielen Befragten richtig erklärt werden und haben auch ein relativ gutes Image. Wichtig ist hier, noch in einigen Belangen Aufklärungsarbeit zu leisten – z.B., dass es auch im Passivhaus durchaus erlaubt ist, die Fenster zu öffnen oder dass ein Passivhaus nicht unbedingt ohne ein Heizsystem auskommen muss. Der Vorteil der ständig frischen Luftzufuhr muss propagiert werden und auch das Thema, welche Energieeinsparung (und damit verbunden welche finanzielle Einsparung) ein Passivhaus oder eine kontrollierte Wohnraumlüftung bringt.

4.10 Aufbereitung und Verbreitung der Ergebnisse

Hinweise für Integrale Planung

Die hohe Bedeutung einer möglichst frühzeitigen Integration der Lüftung im Planungsablauf des Bauprojektes wurde insbesondere bei der Zusammenarbeit mit ArchitektInnen, PlanerInnen und Wohnbauträgern während der Begleitung verschiedener Projekte (z.B. Vögelebichl) erkannt. Schon im Architekturentwurf sollte der Platzbedarf und die Installation des Lüftungsgerätes in der Gestaltung der Geschosse und Grundrisse berücksichtigt werden, um dann günstige Lösungen zu ermöglichen (erweiterte Kaskadenlüftung, Dachaufstellung, usw.). Deshalb wurde einerseits eine Liste von Kriterien vorgeschlagen, die bei Architekturwettbewerben als Beilage angefügt werden soll, um sicherzustellen, dass die wichtigsten Positionen der Lüftungsanlage schon im Konzept berücksichtigt werden (siehe Anhang 7.2). Zusätzlich wurde eine Info-Broschüre entworfen, die die wichtigsten Prinzipien und Tipps für die Installation einer effizienten und kostengünstigen Lüftungsanlage beschreibt (siehe Kap. 4.11 Schlussfolgerungen unten).

Die Ergebnisse des Projektes, die für PlanerInnen am meisten relevant sind wurden in einer praxisgerechten Form zusammengefasst und auf ausgewählten Internetseiten dargestellt (siehe Visualisierung weiter unten). Unter <http://www.phi-ibk.at/luftfuehrung/> können PlanerInnen zusätzliche Hinweise zur erweiterten Kaskadenlüftung und zu reduzierten Luftmengen abrufen. Unter [http://passipedia.de/planung/haustechnik/lueftung/grundlagen/planungshinweise_fuer_komfort-_und_kostenoptimierte_luftfuehrungskonzepte?s\[\]=kaskadenl%C3%BCftung&s\[\]=tool](http://passipedia.de/planung/haustechnik/lueftung/grundlagen/planungshinweise_fuer_komfort-_und_kostenoptimierte_luftfuehrungskonzepte?s[]=kaskadenl%C3%BCftung&s[]=tool) wurden diese Ergebnisse sowie auch die Info-Broschüre für ArchitektInnen zur Verfügung gestellt.

Artikel in Journalen, Tagungsbände und Präsentationen

Die Methodik und Ergebnisse von verschiedenen Studien wurden im Rahmen von internationalen Tagungen, Arbeitskreisen und Konferenzen präsentiert. Die Beiträge können in den jeweiligen Tagungsbänden gefunden werden, hier ein Auszug:

- Sibille, E.; Pfluger, R. (2015): „Anwendung aktiver Überströmer für die Verteilung der Zuluft in Wohnungen“. In: Proceedings of the 19th International Passive House Conference 2015, Leipzig; wird demnächst veröffentlicht [64]
- Sibille, E. (2014): Lüftungskonzepte in der Wohnung. In: Protokollband Nr. 51: Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser Phase V: „Kostengünstige Lüftungslösungen für den Wohnbau“, Passivhaus Institut, Darmstadt; wird demnächst veröffentlicht [67]
- Sibille, E.; Pfluger, R. (2014): Comparaison de multicritère de quatre solutions de ventilation en résidentiel. In: Congrès PassiBat 2014 l'Essentiel [68]
- Sibille, E.; Gritzer F.; Happach, A.; Pfluger, R. (2014): Development of a coaxial-duct as outdoor air inlet and exhaust air outlet for ventilation units. In: Proceedings of the 18th International Passive House Conference 2014, Aachen; Session II: Ventilation, pp. 139-141, ISBN: 978-3-00-045216-1 [60]

- Sibille, E.; Pfluger, R. (2013): Comparison of Innovative Ducting Concepts for Ventilation with Heat Recovery for an Residential Building. In: Session 7 Paper 2, CIBSE Technical Symposium, Liverpool; John Moores University, Liverpool; <http://www.cibse.org> [61]
- Rojas G, Pfluger R, Feist W. Raumluftqualitätsbewertung nach multiplen Kriterien für die Optimierung von Lüftungssystemen. Umwelt, Gebäude & Gesundheit - Ergebnisse des 10. Fachkongresses, Nürnberg: AGÖF - Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute; 2013, p. 250–9
- Rojas G, Pfluger R, Feist W. Cascade ventilation – Air exchange efficiency in living rooms without separate supply air. e-nova 2013, Nachhaltige Gebäude, Band 17, vol. 1, Pinkafeld, Austria: Fachhochschule Burgenland GmbH; 2013, p. 281–8.
- Rojas G, Pfluger R. Kaskadenlüftung – Luftaustauschwirkungsgrad in Wohnzimmern ohne eigene Zu- und Abluft. In: Feist W, editor. Tagungsband: 18. Int. Passivhaus-Tagung, Aachen: Passivhaus Institut; 2014
- Rojas G, Pfluger R. Cascade ventilation - Planning considerations for living rooms without supply and extract air outlets. In: Barta J, editor. PASIVNÍ DOMY 2014 - SBORNÍK Z 10. ROČNÍKU MEZINÁRODNÍ KONFERENCE, Brno: Centrum Pasivního Domu; 2014, p. 103–13 (czech); 114–23 (engl)
- Veröffentlichungen in nationalen und internationalen Fachjournalen:
 - Rojas G, Pfluger R, Feist W.: Cascade ventilation – Air exchange efficiency in living rooms without separate supply air. Energy and Buildings 2015
DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.02.014
 - Rojas G, Sibille E, Pfluger R. Im Fokus: Kaskadenlüftung - Komfort- und kostenoptimierte Luftführungskonzepte für energieeffiziente Wohnbauten. In: Skupin K, Editor. TGA-Planung 2014, Wien: WEKA-Verlag; 2014, p. 32–33
 - Rojas G, Ochs F, Pfluger R, Sibille E, Speer C.: Lüftungslösungen kostengünstig und kompakt? - Neues aus der Forschung. Erneuerbare Energie – Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft 2015;01:p.12–15
 - Höfler K., Knotzer A., Venus D.: Renovation concepts for net zero energy buildings – best practice residential building Kapfenberg/Austria, Advances in Building Energy Research 2014. DOI: 10.1080/17512549.2014.941007

Beiträge in weiteren Fachzeitschriften

In mehreren Fachzeitschriften wurden Projektergebnisse veröffentlicht.

Allgemeine Beiträge zum Projekt erschienen in:

- Zeitschrift erneuerbare energie: „Optimierte zentrale Lüftungssysteme für den Wohnbau“ (A. Greml, A. Knotzer), Ausgabe 1-2015 Seiten 4 bis 7
- WEKA – Planerjahrbuch, Die grossen Zukunftstrends – TGA-Planung 2015: „Kostenoptimierte Komfortlüftungen für den Wohnbau – Wozu Wohnraumlüftung?“ (A. Greml), Seiten 2 und 3
- Energieperspektiven Tirol – Die Zeitung von Energie Tirol: „low_vent.com - Optimierung hochwertiger Lüftungssysteme“ (A. Trojer), Ausgabe 1/2014 Seiten 4 und 5

Beiträge zu „Brandschutzlösungen für Lüftungsanlagen im mehrgeschossigen Wohnbau“:

Neben den aktuellen Regulativen konnten die bestehenden Systeme gegenübergestellt und Potentiale aufgezeigt werden. Auch erste Ergebnisse aus den Systemoptimierungen und die Ankündigung der Ergebnisworkshops konnten dabei veröffentlicht werden.

Beiträge erschienen in:

- Der österreichische Installateur: „Mehr Klarheit im Brandschutz; Brandschutzanlagen für Lüftungsanlagen im mehrgeschossigen Wohnbau: kostengünstig, wartungsarm, und energieeffizient“ (A. Trojer), Ausgabe 9/2013 Seiten 58 und 59
- IKZ – Magazin für Planer, Berater u. Entscheider d. Gebäudetechnik: „Brandschutzlösungen für Lüftungsanlagen mehrgeschossiger Wohnbauten“ (A. Trojer), Heft 3/2013 Seiten 20 bis 22
- WEKA – Planerjahrbuch, Die grossen Zukunftstrends – TGA-Planung 2014: „Energieeffiziente, kostengünstige und wartungsarme Brandschutzlösungen; Lüftungsanlagen für mehrgeschossige Wohnbauten“ (A. Trojer), Seiten 2 bis 4

Workshop „Wohnraumlüftungsupdate“

Im Zuge zweier Fortbildungsveranstaltungen (25.06.2014 und 24.09.2014) „Kostenloses Update – Komfortlüftung“ zu den aktuellen Entwicklungen der Wohnraumlüftungen wurden insgesamt rund 60 TeilnehmerInnen u.a. über neue Komponenten für Lüftungssysteme, Vereinfachungen und Regelstrategien als Ergebnisse von „low_vent.com“ informiert. Neben den erhöhten Anforderungen an Hygiene (Lüftungskanalinspektion mittels Kanalkamera), Gesundheit und Umweltschutz wies man dem Stromverbrauch ein hohes Maß an Bedeutung zu. Weitere Themen der Fortbildungsveranstaltung waren:

- OIB-Richtlinie 2011 - Ist ein Gebäude ohne Lüftung noch zulässig?
- Die wichtigsten Änderungen in der ÖNORM H6038:2014
- Strategie der Luftmengenauslegung – erweiterte Kaskade
- Auswahlkriterien für das Lüftungsgerät – Prüfzeugnisse
- Feuchterückgewinnung und CO₂-Regelung vermeiden trockene Raumluft
- Effiziente Brandschutzlösungen

Aus- und Fortbildung

Die aktuellen Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt low_vent.com, insbesondere neue Komponenten, Messergebnisse und Visualisierungen durch die Luftkanalinspektion, werden im Zuge der Fort- und Ausbildung an der Höheren Technischen Lehranstalt für Gebäudetechnik in Jenbach verbreitet. Dadurch wird der Stand der Technik im Bereich der Wohnraumlüftung jungen TechnikerInnen näher gebracht. Dort wird der Wert des Projekts über die Nennung in Präsentationen deutlich.

Ergebnisworkshops in Wien und Innsbruck

Den „öffentlichen“ Abschluss des Projekts bildeten ein Ergebnisworkshop am 18. November 2014 in Wien und ein zweiter in Innsbruck am 3. Dezember 2014 in Innsbruck, in dem die Ergebnisse aus der

Sicht des Projektteams einem breiten Publikum präsentiert wurden. Jeweils 58 Personen in Innsbruck und 66 VertreterInnen von Wohnbaugesellschaften, Herstellerfirmen von Komponenten und Systemen, ausführenden Unternehmen, ArchitektInnen und PlanerInnen in Wien nahmen an den Veranstaltungen teil. Die Inhalte bezogen sich auf:

- Optimierungsmatrix für zentrale Lüftungssysteme und Vorstellung des Planungstools
- Neue Konzepte, Komponenten und Simulationen für effiziente Wohnraumlüftungen
- Messergebnisse diverser Ausführungsvarianten in den Demoprojekten
- Ergebnisse aus den Befragungen der BewohnerInnen energieeffizienter Gebäude
- Variantenvergleich und Alternativlösungen für den Brandschutz in Lüftungsanlagen

Die Vortragsfolien des Diskussionsforums wurden allen TeilnehmerInnen zur Verfügung gestellt und stehen zum Download auf der Homepage von AEE INTEC unter <http://aee-intec.at/index.php?seitenId=11&publikationenId=285> und von Energie Tirol unter <http://www.energie-tirol.at/nc/energie-tirol/aktuelles/detailansicht/article/das-lueftungssystem-der-zukunft/> zur Verfügung. Rege Diskussionen und Austausch mit HaustechnikplanerInnen, vor allem in Tirol mit der Landesstelle für Brandschutz im Hinblick auf alternative Brandschutzlösungen mit weniger Brandschutzkomponenten, waren die Folge der Workshops. Auch die Ausführungsvariante einer Lüftungstechnischen Anlage ohne Brandschutzkomponenten wurde in Erwägung gezogen. Der fachliche Austausch innerhalb der betroffenen Institutionen wird jedenfalls fortgesetzt.

Visualisierung für EndkundInnen und ProfessionistInnen und LCC Abschätzungstool

Um eine einfache Abschätzung bzw. einen Vergleich der Lebenszykluskosten der Systeme zu ermöglichen wurde im Rahmen des Projektes ein Excel Tool entwickelt welches auf der Homepage www.komfortlüftung.at im Bereich „MFH“ zum Download zur Verfügung steht.

Während der letzten Phase des Projektes wurde zur besseren und verständlicheren Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse in Teilbereichen eine animierte Grafik erarbeitet, die die wichtigsten Punkte per Click auf den Partnerwebsites und auf www.komfortlüftung.at visualisieren soll. Die Darstellung ist in drei „Vertiefungs-Ebenen“ gegliedert:

1. Ebene: Komponenten- bzw. Systemteil-Bezeichnung zur Orientierung, welcher Teil des Lüftungssystems beschrieben wird
2. Ebene: Allgemeingültige Kurzbeschreibung der Funktion des angeklickten Teils/der Komponente
3. Ebene: Vertiefende Information und Möglichkeit, diese je nach geändertem Wissensstand später leicht anzupassen

Die Links dazu finden sich hier: <http://www.komfortlüftung.at/mehrfamilienhaus/info-nutzerinnen/visualisierung/> für EndkundInnen bzw. <http://www.komfortlüftung.at/mehrfamilienhaus/info-planerbautraeger/optimierung/> für Bauträger und PlanerInnen

Die Projektpartner bieten die grundlegende Visualisierung mit Stand Projektende ebenfalls auf ihren Websites an.

4.11 Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Forschungsprojektes low_vent.com wurden zahlreiche Optimierungsmöglichkeiten für zentrale Lüftungssysteme erkannt und ausgearbeitet, welche zu signifikanten Kosteneinsparungen bei Investition, Betrieb und Wartung führen. Dabei handelt es sich sowohl um optimierte Planung, Luftführung, Kanalnetze und Lüftungssysteme inklusive Zubehör. Im Einzelnen sind dies:

- Integrale Planung, Berücksichtigung der Lüftung bereits in der Wettbewerbsphase (Planungsleitfaden, Visualisierung und Beilage zu den Wettbewerbsunterlagen)
- Innovative Luftführung (erweiterte Kaskadenlüftung, aktive Überströmer)
- Innovative und kostengünstige Komponenten
- Kostengünstige Volumenstromregler
- Demand-Control (CO₂-Regelung)
- Vereinfachte Volumenstrom-Voreinstellung (personenbezogen)
- Optimierte Brandschutzsysteme
- Koaxialrohr für die Außen-/Fortluftführung mit Potenzial für MFH
- Heatpipesysteme für die Frostschutzvorheizung
- Zentralgeräte zur Dachaufstellung (Außenaufstellung, wetterfestes Gehäuse) mit Zu-/Abluftkanalführung direkt unter dem Gerät

Die Integration der Lüftung muss schon in der Phase des Architektur-Wettbewerbs in einem integralen Planungsprozess berücksichtigt werden. Die Leitungswege und der Platzbedarf sollten schon mit der Planung der Grundrisse definiert werden um an Investitions- und später auch an Betriebskosten zu sparen. Zur Hilfe wurden eine Liste von Kriterien sowie eine Info-Broschüre erstellt (online unter <http://www.komfortlüftung.at/mehrfamilienhaus/info-planerbautraeger/architektenwettbewerb/>). Die wesentlichen Entscheidungen betreffend die Lüftung, die schon in der Wettbewerbsphase getroffen werden müssen, wie z.B. die Position des Geräts und der Hauptleitungen, sind dort zusammengefasst und erklärt.

Um die Diskussion, mit welchem technischen Ausstattungsgrad eine zentrale mechanische Lüftung in großvolumigen Wohnbauten am besten umgesetzt wird, zu verkürzen und um einheitlichere, kostengünstigere Systeme zu bekommen, wurden im Rahmen des Projektes low_vent.com drei Systeme vorgeschlagen:

1. Optimiertes Low-Tech System
2. Optimiertes Standard System
3. Optimiertes Komfort System

Die drei Systemvarianten unterscheiden sich insbesondere in den drei Bereichen:

- Volumenstromregelung für die einzelne Wohnung
- Eingriffsmöglichkeit der NutzerInnen
- Regelung der Zentraleinheit (konstante/variable Druckregelung)

Die Forderung der ÖNORM H 6038:2014 [71] auf Anpassung des Volumenstromes an die tatsächliche Belegung der Wohnung wird bei allen drei Systemen durch einstellbare Volumenstromregler, die zugänglich sein müssen, eingehalten. Die in derselben Norm geforderten zwei Betriebsstufen und die Möglichkeit der Abschaltung - Volumenstromregler schließt, Luftmenge ist bzw. muss aber nicht Null sein - bedarf beim Low-Tech System zumindest einer zugänglichen, händischen Regelklappe in der Wohnung, um das System formal konform dieser ÖNORM zu machen.

Eine spezielle Intensiv- bzw. Partystufe ist aus Kostengründen bei keinem der kostenoptimierten Systeme vorgesehen. Diese erfolgt über eine zusätzliche Fensterlüftung. Nur beim Komfort-System ist eine Intensivstufe indirekt inkludiert, da die CO₂-Regelung den Volumenstrom z.B. bei einem Besuch u.ä. bis auf das eingestellte Maximum hochregelt.

Befragungen von BewohnerInnen im Rahmen des Projektes low-vent.com haben gezeigt, dass sich die BewohnerInnen Regelungsmöglichkeiten des Lüftungssystems wünschen, diese aber nicht zu differenziert sein müssen. Wenn die Lüftungsanlage den Bedürfnissen der BewohnerInnen entsprechend gut voreingestellt ist, werden Regelungsmöglichkeiten auch kaum verwendet. Selbst dann ist es den BewohnerInnen aber oft ein Bedürfnis, zusätzlich zur mechanischen Lüftung aus Gewohnheit die Fenster zu öffnen.

Die größten Sparpotenziale liegen in der schon angesprochenen integralen Planung lüftungsfreundlicher Gebäudekonzepte und (Wohnungs-)Grundrisse, die für eine erweiterte Kaskadenlüftung geeignet sind, in einem Brandschutzkonzept, das ohne Brandschutzklappen nur mit Feuerschutzabschlüssen (FLI-VE) in Verbindung mit Kaltrauchsperrern auskommt und der Dachaufstellung eines einzigen Lüftungsgerätes pro Gebäude. Die erweiterte Kaskadenlüftung ermöglicht durch das Weglassen der Zuluft(ventile) im Wohnzimmer neben geringeren Investitionskosten vor allem auch geringe Gesamt-Volumenströme. Daraus resultieren ein geringerer Strombedarf und eine geringe Gefahr von trockener Raumluft.

Die frühzeitige Abstimmung von Brandschutz und Lüftungskonzept spart durch die Verringerung der Anzahl von Brandschutzkomponenten einerseits Investitionskosten und andererseits laufende teure Inspektionskosten. Beim Brandschutzkonzept ist zu beachten, dass die Brandschutzeinheit „FLI-VE und Kaltrauchsperrern“ zwar die derzeit kostengünstigste, nicht immer aber die energetisch günstigste Variante ist; die energetisch günstigste wäre derzeit der Einsatz von Brandschutzklappen mit freiem Querschnitt, die über ein Automationssystem und Stellmotor ausgelöst werden können. Ein System gänzlich ohne Brandschutzklappen ist nur bei einer Aufstellung des Lüftungsgerätes am Flachdach möglich, da nur in diesem Fall keine Brandschutzklappen zwischen Schacht und Gerät notwendig sind. Die Wohnungen werden dann mit FLI-VE und Kaltrauchsperrern vom Versorgungsschacht getrennt. Drei optimierte Möglichkeiten von Brandschutzlösungen wurden ebenfalls im Projekt beschrieben.

Um bei der Situierung von Lüftungsgeräten am Dach keine Abschlüsse gemäß derzeit noch gültiger B 8110-6 [66] für die Wärmerückgewinnung (-10%) ansetzen zu müssen, ist die Ausführung als dachintegriertes Gerät ohne Luftleitungen im Freien notwendig. Bei größeren Gebäuden mit mehreren Versorgungsschächten soll die Luftführung zwischen den Schächten unter der Dämmung des Daches

erfolgen. Diese Luftverteilung ist im Normalfall immer günstiger als ein zweites Gerät oder eine gedämmte Luftführung im Freien.

5 Ausblick und Empfehlungen

Warum ist eine Wohnraumlüftung überhaupt notwendig?

Die Notwendigkeit einer mechanischen Lüftung ergibt sich vor allem aus drei Aspekten, die auch in den OIB-Richtlinien 2011 [72] bzw. in den Bauordnungen der Länder ihren Niederschlag finden:

- Gesundes Raumklima
- Schimmelfreie Gebäude
- Energieeffizienz

Die Forderungen nach ausreichender Luftqualität und schimmelfreien Gebäuden sind in der OIB-Richtlinie 3 [70] verankert. Eine gesicherte Schimmelfreiheit ohne Einfluss des NutzerInnenverhaltens ist nur mit einer mechanischen Lüftung möglich. Auch die Einhaltung eines gesunden Raumklimas mit maximal 1.400 ppm CO₂-Konzentration (max. IDA-Kategorie 3 [63]) lässt sich zumindest im Schlafzimmer in der Realität ohne mechanische Lüftung nicht einhalten. Der von der EU ab 2020 geforderte Gebäudestandard „Niedrigstenergiegebäude“ ist ohne Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung schwer realisierbar. Gesamtheitlich betrachtet führt an einer Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung im Mehrfamilienhaus kein Weg vorbei.

Optimierungspotenziale ausschöpfen

Wenn im Wohnbau bei der Lüftung von Kostenoptimierung gesprochen wird, sind meist nur die Investitionskosten gemeint. Unter Einbeziehung von Schimmelbeseitigungskosten, Wärmeenergieeinsparung und Förderungen ist eine Lüftung mit WRG über den Lebenszyklus jedoch auch ohne die Einrechnung von direkten gesundheitlichen Aspekten und indirekt volkswirtschaftlichen Aspekten wie weniger Krankenstandtage eine lohnende Investition.

Eine zentrale Komfortlüftung sollte in Zukunft nicht mehr als EURO 3.500,- exkl. USt. pro Wohnung kosten. Im Projekt low_vent.com wurden Kostenoptimierungspotenziale systematisch untersucht. Die Ergebnisse sind über die Homepages der Projektpartner bzw. auf www.komfortlüftung.at im Bereich Mehrfamilienhaus über ein Visualisierungsmodell auch ohne das Studium dieses Forschungsberichtes leicht zugänglich. Die Summe der gefundenen Optimierungspotenziale und die vorgeschlagenen drei Systemvorschläge gilt es nun in der Praxis zu „heben“ und auszuschöpfen. Erste Ansätze in der praktischen Umsetzung einiger Wohngebäude sind zu erkennen und werden als Referenzprojekte dienen.

Ein Beispiel: Ein bedarfsgeregelter, Volumenstrom-optimierter Anlagenbetrieb mit variabler Druckregelung und kommunizierenden Volumenstromreglern ist heute im Wohnbau noch eher die Ausnahme. Im Test einer sanierten Wohnanlage wurden damit Stromeinsparungen von nahezu 50% gegenüber konventionell (Stufen-)geregelten Systemen erreicht. Die Luftqualität ist mit erweiterter Kaskadennutzung und an die Belegung und Tagesnutzung der Wohnungen angepasstem Luftvolumenstrom sehr gut, wie gezeigt werden konnte.

Wem die Kosten für ein komfort- und effizienzoptimiertes System zu hoch sind, kann auch ein Low-Tech System umsetzen, welches auch noch aktuelle Normen erfüllt, und sinnvollerweise die Voraussetzungen erfüllen sollte, bei der nächsten größeren Sanierung auf ein Komfort-System aufgerüstet zu werden.

Weitere Aktivitäten und Ausblick

Die Visualisierung für EndkundInnen und ProfessionistInnen auf www.komfortlüftung.at soll vom Verein komfortlüftung.at über die Projektdauer hinaus betreut und gewartet werden, d.h. dieses in low_vent.com entwickelte Tool wird bleibenden Nutzen für das Verständnis von zentralen Lüftungsanlagen haben. Die Aktivitäten in verschiedenen Demonstrationsgebäuden werden teilweise durch Projektpartner weitergeführt und aus den gewonnenen Erkenntnissen weitere Projekte entstehen bzw. Praxishinweise für die „Lüftung der Zukunft“ abgeleitet werden.

Den Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung stehen, trotz derzeitiger Kostenskepsis und praktischer Umsetzungsmängel dieser doch relativ jungen Technologie im Einsatz für die Energieeffizienz, in Zukunft noch große Potenziale offen, vor allem wegen dem erhöhten Komfort und hygienischer Notwendigkeiten wie Schimmelfreiheit. Die Entwicklungen der letzten Jahre, auch wegen dem Projekt low_vent.com, stimmen sehr positiv, was Systemvereinfachungen und Grad der Vorfertigung und damit Kostenreduktion betrifft. Das Ende dieser Entwicklung bezüglich weiterer Optimierungen, Gesamt-Energieeffizienz bzw. Ökobilanz (LCA), Kostenreduktion (LCC) und praktischem Einsatz in Gebäuden ist aber noch nicht erreicht, daher sollte diesen Themen zukünftig spezielle Aufmerksamkeit gewidmet werden. Dies ergänzt durch Analysen möglichst vieler zentraler Lüftungsanlagen neuer Demonstrationsgebäude im D-A-CH Raum und darüber hinaus.

Die mechanische Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung hat jedenfalls Zukunft, das ist bei vielen ExpertInnengesprächen auch während diesem Projekt klar geworden. Da die Lüftungstechnologie aus der Anwendung in Nichtwohngebäuden kommt, muss sie, wie bei vielen technisch eher anspruchsvollen Systemen auch, erst die Technikaufbauphase mitsamt einer einwandfreien Umsetzung in Wohngebäuden noch meistern; das kostet eben Zeit und Evaluierungsschleifen. Es gibt noch immer eine Vielzahl von Entwicklungsmöglichkeiten für die mechanische Lüftung, bei den Komponenten, Wartung und Hygiene, und vor allem im Know-how-Austausch und Zusammenspiel mit den GebäudetechnikplanerInnen. Das gleiche gilt für tatsächliche Kostensenkungen im Zusammenspiel mit ArchitektInnen und Wohnbauträgern. Daran zu arbeiten lohnt sich in den nächsten Jahren.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Sibille E, Rojas G, Rothbacher M, Pfluger R, Malzer HK. "Doppelnutzen" - Komfort- und kostenoptimierte Luftführungskonzepte für energieeffiziente Wohnbauten [Final report: Extended cascade ventilation - "Double use"] 2013.
- [2] Sibille E, Pfluger R. Optimization of dwelling floor-plan configuration for cascade ventilation. In: Feist W, editor. Tagungsband:17. Int. Passivhaus-Tagung, Passivhaus Institut; 2013.
- [3] Sibille E, Rojas G, Pfluger R. Planungshinweise für komfort- und kostenoptimierte Luftführungskonzepte - Erweiterte Kaskadenlüftung 2013.
- [4] Etheridge D, Sandberg M. Definition of air-exchange efficiency. Building Ventilation - Theory and Measurement, John Wiley & Sons; 1996, p. 267.
- [5] Schnieders J. Wirkung von Position und Art der Lüftungsöffnungen auf den Schadstoffabtransport. In: Feist W, editor. AKKP 23: Einfluss der Lüftungsstrategie auf die Schadstoffkonzentration und -ausbreitung im Raum, Passivhaus Institut; 2003, p. 85–123.
- [6] Rojas G, Pfluger R. Kaskadenlüftung – Luftaustauschwirkungsgrad in Wohnzimmern ohne eigene Zu- und Abluft. In: Feist W, editor. Tagungsband: 18. Int. Passivhaus-Tagung, Aachen: Passivhaus Institut; 2014.
- [7] Rojas G, Pfluger R, Feist W. Cascade ventilation – Air exchange efficiency in living rooms without separate supply air. Energy and Buildings 2015.
- [8] Hahne E, Pfluger R. Improvements on PASSYS test cells. Solar Energy 1996;58:239–46.
- [9] Rojas G, Sibille E, Pfluger R. Sensitivitätsanalyse zur Raumluftqualität mit Wohnraumlüftung. enova - Nachhaltige Gebäude, Pinkafeld, Austria: Forschungs- und Studienzentrum Pinkafeld; 2012, p. 323–30.
- [10] Rojas G, Pfluger R. Parameterstudie zur Außenluftwechselrate im Schlafzimmer (Internes Dokument als Empfehlung für Normenausschuss). 2012.
- [11] Rojas G, Pfluger R, Feist W. Raumluftqualitätsbewertung nach multiplen Kriterien für die Optimierung von Lüftungssystemen. Umwelt, Gebäude & Gesundheit - Ergebnisse des 10. Fachkongresses, Nuernberg: AGÖF - Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute; 2013, p. 250–9.
- [12] Baldinger S, Baumann R, Damberger B, Hanus-Ilmar A, Hutter H-P, Kundi M, et al. Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft 2011.
- [13] EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage 2008.
- [14] Heinzow B, Sagunski H. Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten [Evaluation of indoor air contaminants based on reference and guide values]. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 2007;50:990–1005.
- [15] Lahrz T, Bischof W, Sagunski H. Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 2008;51:1358–69.

- [16] Hahn N Von. „Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. Gefahrstoffe - Reinhaltung Der Luft 2007;67:103–7.
- [17] Wolkoff P, Kjærgaard SK. The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. Environment International 2007;33:850–7.
- [18] Walton GN, Dols WS. CONTAM User Guide and Program Documentation. NIST; 2010.
- [19] Janik W, Vollmann K. Wohnungen nach Haushaltsmerkmalen: GWZ-VZ 2001 2001.
- [20] Ghassemi-Bönisch S, Kronsteiner-Mann C. Zeitverwendungserhebung 2008/09. 2011.
- [21] Hartmann T, Gritzki R, Bolsius J, Kremonke A, Perschk A, Richter W. Bedarfslüftung im Wohnungsbau 2001.
- [22] Månsson (Ed.) L-G. Simplified Tools Handbook-Annex 27. FaberMaunsel Ltd on behalf of the International Energy Agency; 2002.
- [23] Tappler P, Hutter H-P, Hengsberger H, Ringer W. Lüftung 3.0 - Bewohnergesundheit und Raumluftqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern [Ventilation 3.0- Occupant health and indoor air quality in newly build energy efficient housing]. Vienna: Institut Für Baubiologie Und Bauökologie; 2014.
- [24] Feist W, Nagel M. Klimaneutrale Passivhaussiedlung Analyse im dritten Betriebsjahr Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg Analyse im dritten Betriebsjahr 2002.
- [25] Feist W, Peper S, Kah O. CEPHEUS-Projektinformation Nr 19: Meßtechnische Untersuchung und Auswertung-Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg [Measurement and analysis of climate neutral Passive House estate Hannover-Kronsberg] 2001.
- [26] Kapferer R. Messtechnische Evaluierung Passivhauswohnanlage Lodenareal/Innsbruck: Präsentation erster Ergebnisse. Tagungsband:15. Int. Passivhaus-Tagung, Passivhaus Institut; 2011.
- [27] Peper S, Feist W. Gebäudesanierung „Passivhaus im Bestand“ in Ludwigshafen / Mundenheim 2008.
- [28] Peper S, Schnieders J, Feist W. Mehrgeschoss-Passivhaus Hamburg Pinnaßberg [Multi-storey Passive House Hamburg Pinnaßberg]. Darmstadt: Passivhaus Institut: Passivhaus Institut; 2005.
- [29] Peper S, Feist W, Pfluger R. Ein nordorientiertes Passivhaus 2004.
- [30] Pfluger R, Feist W. CEPHEUS Nr 15: Meßtechnische Untersuchung und Auswertung - Kassel Marbachshöhe [Measurement and analysis - Kassel Marbachshöhe]. Darmstadt: Passivhaus Institut: 2001.
- [31] Schnieders J. Energetische Bewertung von Wohnungslüftungsgeräten mit Feuchterückgewinnung. Darmstadt: 2008.
- [32] Pfluger R, Feist W, Tietjen A, Neher A. Physiological impairments at low indoor air humidity. Gefahrstoffe - Reinhaltung Der Luft 2013;03:107–8.
- [33] Sedlbauer K. Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen . TU Muenchen, 2001.
- [34] Schulz C, Ulrich D, Pick-Fuß H, Seiwert M, Conrad A, Brenske K-R, et al. Kinder-Umwelt-Survey (KUS) 2003/06. 2010.
- [35] HealthVent - Presentation of Guidelines of Health Based Ventilation from the Event in Brussels on February 20 2013
- [36] Pfluger, Feist, Hasper: „The use of coaxial duct in ventilation systems“. In: Pollack Periodika Vol.8 No.1, pp89-96 (2013)

- [37] Sprecher, Estévez: „Produktwettbewerb: Aktive Überströmer – Bericht des Preisgerichtes“ Zürich Mai 2011
- [38] Schöberl, Hofer: „Reduktion von Wartungskosten in Plus-Energiehäuser“. Endbericht des Projektes Reduktion von Wartungskosten in Plus-Energiehäuser, Haus der Zukunft. 2012
- [39] Hässig, Primas „Ökologische Aspekte der Komfortlüftung im Wohnbereich“, Bundesamtes für Energie, Bern 2004.
- [40] SIA (schweizerische ingenieur- und Architektenverein) „Graue Energie von Gebäuden“ – Merkblatt 2032
- [41] Stanzel, B. Experimentelle und theoretische Untersuchung einer Gebäudefassade mit wandintegrierten Wärmerohren, VDI Fortschritt-Berichte, Düsseldorf: VDI-Verlag, Reihe 6: Energieerzeugung, Nr. 384, 1998, S. 33-38.
- [42] Dunn, P.D., u. D. A. Reay: heat pipes, 4. Auflage, Pergamon Press, Oxford, 1994
- [43] VDI-Wärmeatlas, 2006: P. Stephan, Wärmerohre, Abschnitt MI 1, 2006
- [44] Busse, C.A.: Theory of the ultimate heat transfer limit of cylindrical heat pipes, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 23, pp. 643/54, 1980.
- [45] <http://www.aktivklimahaus.at/de/projekte/kramsach> am 25.02.2015
- [46] George N. Walton, W. Stuart Dols October 2005 “CONTAM User Guide and Program Documentation”, Building Environment Division, Building and Fire Research Laboratory , National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899-8633
- [47] Meteonorm: global meteorological database. Version 7 – Handbook part 1 Sept 2014.
http://meteonorm.com/images/uploads/downloads/mn71_software.pdf am 25.02.2015
- [48] Pfluger, 2011. Ventilation rates and indoor air humidity depending on local climates - simulation and measurments of 9 Europeean countries. Tight Vent conference Brussel 2011 : s.n., 2011.
- [49] CAD Vent 6.x Manual
Lindab.<http://www.lindab.com/fr/pro/software/ventilation/Pages/CADvent.aspx> Am 25.02.2015
- [50] Planungsleitfaden für Wohnungslüftung im Mehrfamilienhaus. 2011. s.l. :
www.komfortlueftung.at, 2011
- [51] <http://www.sketchup.com/> am 25.02.2015
- [52] Matlab (Mathworks) http://de.mathworks.com/index.html?s_tid=gn_logo am 25.02.2015
- [53] Labview (National Instruments) <http://www.ni.com/labview/d/> am 25.02.2015
- [54] ISO 13032:2004 1201: Akustik - Messung des Schalldruckpegels von haustechnischen Anlagen in Gebäuden – Standardverfahren
- [55] Novoselac, S. (2003). Comparison of Air Exchange Efficiency and Contaminant Removal Effectivness as IAQ Indices. ASHRAE
- [56] Pfluger, R., Feist, W., Hasper, W., Kopeinig, G.R. Energy and cost efficient ventilation systems with heat recovery – state of the art and enhancement, ASHRAE Transactions Vol. 119, Part 2, 2013.
- [57] EES: Engineering Equation Solver for Microsoft Windows Operating Systems. F-Chart Software
http://www.fchart.com/assets/downloads/ees_manual.pdf am 25.02.2015
- [58] Projekt Vögelebichl – Neue Heimat Tirol:
<http://www.neueheimattirol.at/extras/projekte/details/168/innsbruck+voegelebichl.aspx> Am 25.02.2015

- [59] Luftverteilung. Pichler Ventile
http://www.pichlerluft.at/tl_files/pichlerluft/content/downloads/Komfort-Lueftung/Technische_Daten/Ventile_Uebersicht.pdf pp.8 am 25.02.2015
- [60] Sibille, E.; Gritzer F.; Happach, A.; Pfluger, R. (2014): Development of a coaxial-duct as outdoor air inlet and exhaust air outlet for ventilation units. In: Proceedings of the 18th International Passive House Conference 2014, Aachen; Session II: Ventilation, pp. 139-141, ISBN: 978-3-00-045216-1
- [61] Sibille, E.; Pfluger, R. (2013): Comparison of Innovative Ducting Concepts for Ventilation with Heat Recovery for an Residential Building. In: Session 7 Paper 2, CIBSE Technical Symposium, Liverpool; John Moores University, Liverpool; <http://www.cibse.org>.
- [62] ÖNorm B8115-2 (2006): Schallschutz und Raumakustik im Hochbau- Teil 2 Anforderungen an den Schallschutz
- [63] Ö-Norm EN 13779 -. (2008). Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Raumkühlsysteme - Tabelle A.10 — CO₂-Gehalt in den Räumen (pp 58). Austrian Standards Institute.
- [64] Sibille, E.; Pfluger, R.(2015): „Anwendung aktiver Überströmer für die Verteilung der Zuluft in Wohnungen“. In: Proceedings of the 19th International Passive House Conference 2015, Leipzig; wird demnächst veröffentlicht
- [65] Pfluger „Heatpipes for frosts protection in PH ventilation systems“.Proceedings of the 18th International Passive House Conference 2014, Aachen; Session II: Ventilation, pp. 121-129, ISBN: 978-3-00-045216-1
- [66] ÖNORM B 8110-6 -Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Nationale Festlegungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN ISO 13790
- [67] Sibille, E. (2014): Lüftungskonzepte in der Wohnung. In: Protokollband Nr. 51: Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser Phase V: „Kostengünstige Lüftungslösungen für den Wohnbau“, Passivhaus Institut, Darmstadt; wird demnächst veröffentlicht
- [68] Sibille, E.; Pfluger, R. (2014): Comparaison de multicritère de quatre solutions de ventilation en résidentiel. In: Congrès PassiBat 2014 l'Essentiel
- [69] Siehe Österreichische Institut für Bautechnik (OIB): <http://www.oib.or.at/oib-richtlinien/richtlinien/2011>
- [70] OIB-Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz, Oktober 2011
- [71] ÖNORM H 6038: Lüftungstechnische Anlagen – Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Wohnungen mit Wärmerückgewinnung – Planung, Ausführung, Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung, 15. Februar 2014
- [72] OIB-Richtlinien 2011 unter <http://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2011>, abgerufen am 31.3.2015

7 Anhang

7.1 Plandarstellungen der Brandschutzlösungen

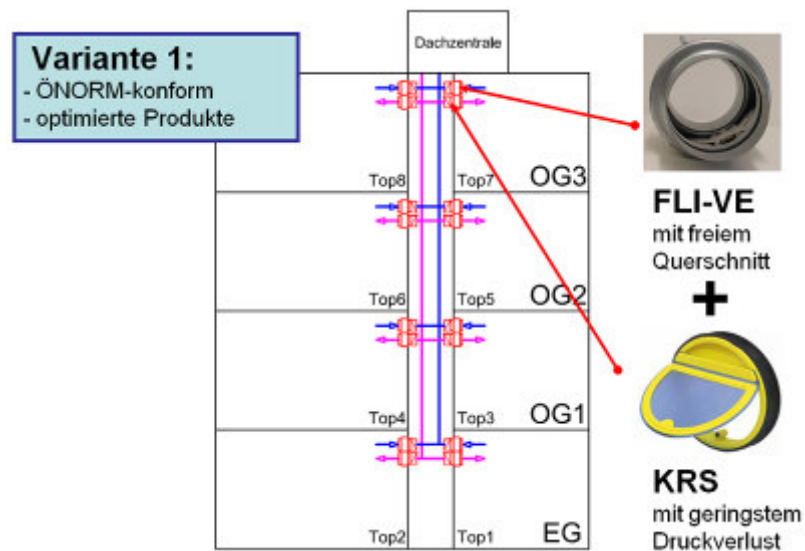


Abbildung 139 Brandschutzlösung - Variante 1

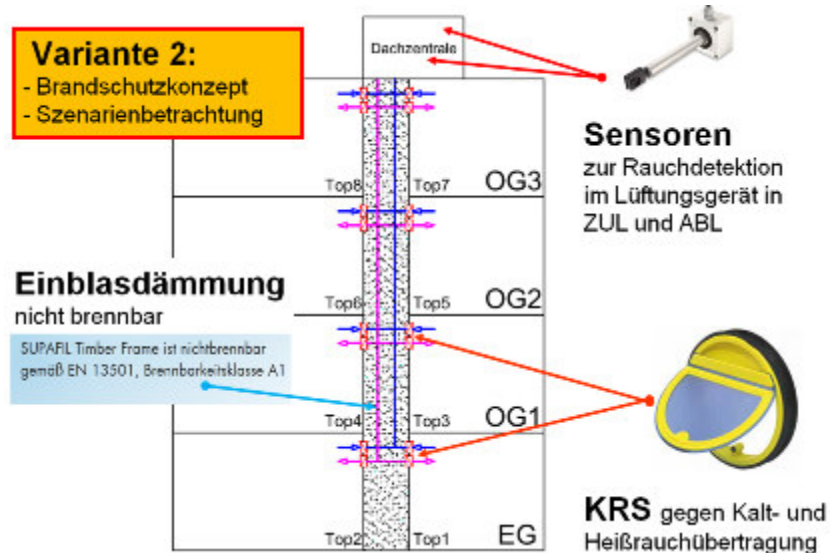


Abbildung 140 Brandschutzlösung - Variante 2

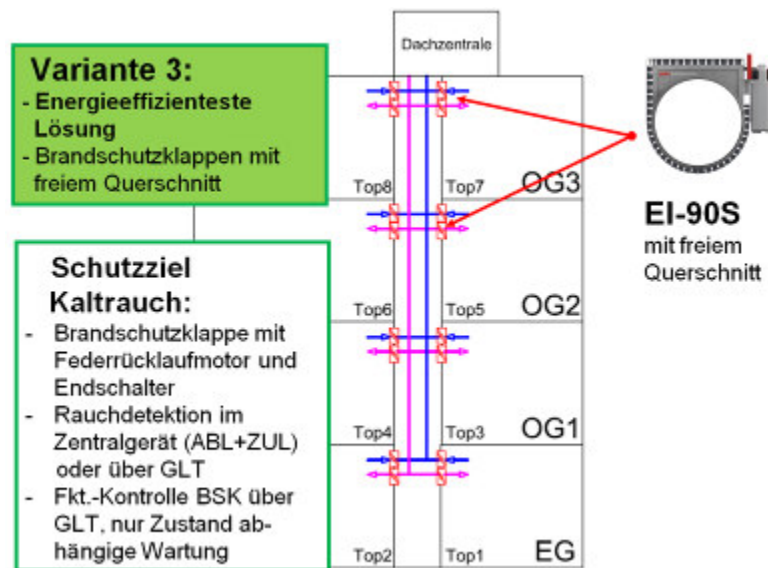


Abbildung 141 Brandschutzlösung – Variante 3

7.2 Architekturwettbewerb – Kriterien für die Lüftung

1. Entscheidung für die Anlage:

- ☐ Zentral (bevorzugt)
- ☐ Semizentral
- ☐ Wohnungsweise

Begründung:

2. Entscheidung für die Installation:

- ☐ Direkte Dachaufstellung – Dachzentrale (bevorzugt)
- ☐ Kellerzentrale
- ☐ Sonstiges:.....

Begründung:

3. Entscheidung Steigstränge:

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

☐ Eine oder mehrere Steigstränge mit einmaliger Querverteilung (bevorzugt)

☐ Querverteilung jeweils in den Stockwerken

Begründung:

4. Entscheidung für die Bildung der Brandabschnitte und Brandschutzlösungen:

Kommentar:

5. Berücksichtigung des Platzbedarfs für die Steigstränge:

Platzbedarf (m²):

6. Empfehlung: Wohnungsgrundrisse geeignet für erweiterte Kaskadenlüftung

Kommentar:

Sonstige Anmerkungen zur Integration der Lüftung:

.....
.....

Weitere Dokumente und Präsentationen finden sich als elektronische Anhänge zu diesem Bericht!

8 Kontaktdaten

Projektleiter: DI Armin Knotzer

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)

Feldgasse 19, 8200 Gleisdorf, Tel. 03112/5886-0/Fax DW-18, e-mail: office@aee.at; www.aee-intec.at

Auflistung der weiteren Projekt- bzw. KooperationspartnerInnen Name / Institut oder Unternehmen:

Universität Innsbruck – Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen / Bauphysik (UIBK), <http://www.uibk.ac.at/bauphysik>

Energie Tirol, <http://www.energie-tirol.at>

Technisches Büro Dipl.-Ing. Andreas Greml (TB Greml), <http://www.andreasgreml.at>

IFZ – Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur, <http://www.ifz.tugraz.at>

IMPRESSUM

Verfasser

Universität Innsbruck, Institut für
Konstruktion und Materialwissenschaften,
Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen /
Bauphysik (UIBK)
– Elisabeth Sibille
– Gabriel Rojas-Kopeinig
– Rainer Pfluger

Technisches Büro Dipl. Ing. Andreas Greml
– Andreas Greml

Energie Tirol
– Andreas Trojer

IFZ – Interuniversitäres Forschungszentrum
für Technik, Arbeit und Kultur
– Jürgen Suschek-Berger

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien
(AEE INTEC)
– Monika Spörk-Dür
– Waldemar Wagner
– Armin Knotzer

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch
die Forschungsförderungsgesellschaft
(FFG) sind für die Weiternutzung der hier
enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH