

Energieforschungsprogramm

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

20/12/2016

Projekttitle: ACTune

Methodenentwicklung einer semi-automatisierten Luftmengeneinregulierung
mit energetischer Betriebsoptimierung

Projektnummer: 848874

Ausschreibung	1. Ausschreibung Energieforschungsprogramm
Projektstart	01/05/2015
Projektende	30/06/2016
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	14 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	AIT Austrian Institute of Technology GmbH
AnsprechpartnerIn	DI Tim Selke
Postadresse	Giefinggasse 2, 1210 Wien
Telefon	+43 664 825 1008
Fax	+43 50550-6311
E-mail	Tim.selke@ait.ac.at
Website	www.ait.ac.at

ACTune

Methodenentwicklung einer semi-automatisierten Luftmengeneinregulierung
mit energetischer Betriebsoptimierung

AutorInnen:

*Tim Selke (Koordination), Barbara Beigelböck, Ines Lindmeier,
Franz Helminger, Philipp Selitsch*

AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Donau-City-Straße 1, A-1220 Wien

Bertram Hübner, Ulrike Wernhart
myWarm gmbh, Heumühlgasse 11, 1040 Wien

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
2	Inhaltliche Darstellung.....	8
2.1	Umfeldanalyse	8
2.1.1	Normative und gesetzliche Grundlagen für RLT-Anlagen.....	9
2.1.2	Raumlufotechnischen (RLT) Anlagen.....	13
2.1.3	Energieeffiziente Betriebsweise in der Praxis.....	22
2.1.4	Einregulierung und Inbetriebnahme.....	27
2.2	Messtechnische Überprüfung ausgewählter Komponenten.....	31
2.2.1	Funktionstest zu Luftmengeneinregulierung.....	34
2.2.2	Überprüfung der Signalübertragung in typischen Einbausituationen.....	40
2.3	Minimal invasive Methode zur energetischen Bewertung	42
2.3.1	Verfahren und Abfolge	43
2.3.2	Fehleranalyse	43
2.3.3	Prognose.....	44
2.3.4	Betrachtungsgrenzen	45
2.3.5	CASE STUDY	46
3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	50
3.1	Umfeldanalyse	50
3.2	Messtechnische Funktionsüberprüfungen	55
3.3	Technische und nicht-technische Barrieren.....	56
3.4	Entwickeltes Funktionsmuster zur energetischen Diagnose	58
3.5	Allgemein	59
4	Ausblick und Empfehlungen.....	61
5	Literaturverzeichnis.....	62
6	Anhang	63
7	Kontaktdaten.....	65

1 Einleitung

Entsprechend der **RL 2006/32/EG (Endenergieeffizienz- und Energiedienstleistungsrichtlinie [ESD])** hat Österreich einen Einsparrichtwert für 2016 berechnet. Bis 2016 sollen demnach mindestens 80,4 PJ Endenergieverbrauch durch Energieeffizienzmaßnahmen eingespart werden. Das indikative nationale Energieeffizienzziel laut **RL 2012/27/EU (Energieeffizienzrichtlinie – [EED2012])** sieht einen Endenergieverbrauch von 1.100 PJ bezogen auf die österreichische Energiebilanz vor. Nur durch das konsequente Verfolgen dieser Zielsetzungen können die von der EU für 2020 gesetzten Ziele für die Reduktion der Treibhausgase und die Erhöhung des Anteils an Erneuerbaren Energieträgern auf 34 Prozent am Bruttoendenergieverbrauch für Österreich erreicht werden.¹

Das Sondierungsvorhaben ACTune adressiert die verbesserte Energieeffizienz von Raumlufttechnischen (**RLT**) Anlagen im Betrieb. Der Betrieb solcher Anlagen bedarf großen Energieeinsatzes und Schätzungen gehen davon aus, dass in Österreich im Jahr 2007 für den Betrieb mechanischer Lüftungsanlagen rund 800.000 MWh (2007) eingesetzt wurden. Die Betreiber von RLT-Anlagen schöpfen aus unterschiedlichsten technischen und nicht-technischen Gründen das vorhandene wirtschaftliche Energieeinsparpotenzial von etwa 40 Prozent nicht aus. Mit Umsetzung verschiedener Effizienz steigernder Maßnahmen in Lüftungsanlagen können über 300.000 MWh Strom eingespart, bzw. die CO₂-Emissionen um 210.000 t reduziert werden².

Zur Erreichung eines energieeffizienten Betriebs von RLT-Anlagen sind die zentralen Ansatzpunkte bekannt: Eine wesentliche Maßnahme zur Reduktion des Energieverbrauchs von RLT-Anlagen ist der Abgleich der Volumenströme bei minimaler Ventilator-Leistung zur Luftförderung. Die Überprüfung der tatsächlichen Luftmengen im Kanalnetz bei der Inbetriebnahme der RLT-Anlagen wird im Leistungsumfang der Fertigstellung durch Einregulierungsarbeiten durchgeführt. Dazu gibt es regulatorische Vorgaben und es sind hinsichtlich der Einregulierung Inbetriebnahmeprotokolle anzufertigen. Die Einregulierung von Luftmengen erfolgt somit einmalig durch manuelle lokale Messungen und Nachjustierungen, die Abstimmung hinsichtlich eines energieoptimierten Anlagenbetriebs erfolgt nicht. Die Sondierung legt Grundlagen zu den Funktionsprinzipien, erforderlichen Geräten und einer geeigneten Systemlösungen vor, um die Energiedienstleistung ‚Energieeffizienz in RLT-Anlagen‘ zukünftig in neuartiger Weise bereitzustellen.

¹ NEEAP 2014 Erster Nationaler Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich 2014 gemäß Energieeffizienzrichtlinie 2012/27/EU

² Zitat aus Energieeffizienz bei Lüftungsanlagen, Ein Ratgeber für die Praxis, MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung, Wien, November 2008

Das Sondierungsprojekt behandelt somit prioritär den Ausschreibungsschwerpunkt *Energieeffizienz und Energieeinsparungen* und adressiert den Unterpunkt *TF 2/2.2 Energieeffiziente Produkte und Systemlösungen*. Das im Themenfeld ‚*Energieeffiziente Produkte und Systemlösungen*‘ formulierte Ziel mindestens **20 Prozent** über den Werten einer inkrementellen industriellen Weiterentwicklung liegende Steigerung der Energieeffizienz bzw. Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erreichen, lässt sich bei Ausschöpfung des obengenannten wirtschaftlichen Energieeinsparpotenzials gut erreichen. Das Sondierungsvorhaben leistet somit einen Beitrag zur Erfüllung der Energie-, Klima- und Technologiepolitischen Vorgaben der österreichischen Bundesregierung.

Zentrale Aufgabenstellung

Das abgeschlossene Sondierungsvorhaben hat die technische Machbarkeit bzw. Durchführbarkeit einer semi-automatisierter Luftmengeneinregulierung mit energetischer Betriebsoptimierung und minimal invasiven Maßnahmen von RLT-Anlagen in Gebäuden überprüft. In Analogie zum automatisierten hydraulischen Abgleich und der Optimierung des wassergeführten Wärmeverteilsystems wurde die Übertragbarkeit auf Raumluftechnische Anlagen sondiert. Die wesentlichen Erkenntnisse des Projektes sind Grundlagen für die Formulierung von identifizierten Inhalten und Schwerpunkten für nachfolgende F&E Projekte. Das Sondierungsprojekt liefert gezielt Antworten auf die Kernfrage:

Lässt sich mit vertretbarem technischem und wirtschaftlichem Aufwand die Energieeffizienz von RLT-Anlagen durch eine semi-automatisierte Luftmengeneinregulierung und energetische Diagnose mit minimal invasiven Maßnahmen erreichen?

Inhaltliche Schwerpunkte und Problemstellungen

In der Entwicklungsphase des Sondierungsvorhabens wurden nachfolgende wesentliche Problemstellungen identifiziert, die Beantwortung bzw. Lösungsfindung dazu war zentrale Aufgabe des kooperativen F&E-Projektes:

- A) Qualitätssicherungsmaßnahmen** zur Erreichung der Energie- und Komfortziele für Gebäude fokussieren sich überwiegend auf die Herstellungs- und Planungsphase zu wenig auf die Betriebsphase. Einsparpotenziale von bis zu 30 Prozent durch gering investive Maßnahmen werden in der Regel nicht genutzt. Die Problematik liegt in einer der folgenden Punkte bzw. in der Kombination davon:
- Wenig bis keine kontinuierliche Überwachung des Gebäudebetriebs,
 - keine einheitliche Systematik zur Fehlererkennung, -diagnose und Optimierung
 - oftmals überlastetes / überfordertes Bedienpersonal, lediglich Anpassungen werden umgesetzt, um Störungen und Beschwerden zu beseitigen

Lösungsansatz: Die Sondierung untersucht Systemlösungen zur semi-automatisierten Luftmengeneinregulierung bei energieoptimierter Betriebsweise. D.h. hier wird der Inspektionsprozess oder die Vorgehensweise zu Optimierung automatisiert.

B) Problemstellung - Multiplizierbarkeit des zu entwickelnden Konzepts – Am Markt sind zahlreiche Lüftungs- und Klimatisierungssysteme für unterschiedlichste Gebäudetypen und in zahlreichen Bauarten verfügbar. Die Luftführungskanäle sind in den unterschiedlichsten Durchmessern und Querschnittsgeometrien erhältlich und die Luftauslässe sind je nach Einbauart und gewünschter Raumströmung sehr unterschiedlich auszuwählen. D.h. es gibt hinsichtlich der Ausführungen und Bauarten der RLT-Anlagen (Lüftungs- bzw.- Klimatisierungsanlagen) einer große Vielfalt.

Lösungsansatz: Innerhalb der Sondierungsarbeiten ist ein wesentlicher Punkt standardisierte Komponenten zu identifizieren, die die Umsetzbarkeit und Multiplizierbarkeit einer semi-automatisierten Luftmengeneinregulierung mit energetischer Betriebsoptimierung ermöglichen.

C) Problemstellung - Welche technischen Feldgeräte eignen sich um eine minimal invasive messtechnische Beobachtung und semi-automatisierte Einregulierungen zu ermöglichen.

Lösungsansatz: Aufbauend auf einem existierenden System zum automatisierten hydraulischen Abgleich im wasserbasierte Heizungssystem wird die Übertragbarkeit dieses Gerätepakets auf die semi-automatisierte Luftmengeneinregulierung geprüft.

D) Problemstellung – Regelmäßige Inspektionen werden regulatorisch für Klimaanlage eingefordert. Mit der ÖNORM EN 15239, die die nationale Umsetzung der EN 15239 mit dem Titel „Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Leitlinie für die Inspektion von Lüftungsanlagen“ beschreibt, werden Leitlinien vorgegeben, die bei der Inspektion von Lüftungsanlagen berücksichtigt werden können. Die spezifische Anpassung bzw. die Überarbeitung der europäischen Norm an österreichische Gegebenheiten ist noch in Ausarbeitung. Typischerweise erfolgenden Sichtprüfungen, stichprobenartige Messungen und Verbesserungen, die nicht das energetische Optimum des RLT-Anlagenbetriebs sicherstellen.

Lösungsansatz: Bei erfolgreicher zukünftiger Weiterentwicklung der semi-automatisierten Luftmengeneinregulierung mit energetischer Betriebsoptimierung wird eine Dienstleistung geschaffen, die bei Inbetriebnahmen und Inspektionen von RLT-Anlagen mit einem geeigneten Tool-set umgesetzt werden kann.

E) Problemstellung - Praxis der Einregulierung: Die Inbetriebnahme, Inspektionen, Einregulierung von RLT-Anlagen werden in der Praxis nach Vorschriften durchgeführt und protokolliert. Es bleibt die Frage mit welcher Genauigkeit wird einreguliert? Dies wird in der Übergabe des Gebäudes nur unzureichend als Mangel erkannt. Die Folge sind erhöhter Energieeinsatz im Betrieb und unzureichende thermische Behaglichkeit der Gebäudenutzer.

Lösungsansatz: Bei positiven Sondierungsergebnissen zur semi-automatisierte Luftmengenregulierung soll die Qualitätssicherung in der Betriebsphase erhöhen und

mit automatisierten Methoden eine möglichst hohe Genauigkeit erreichen. Datenaufzeichnungen vor und nach der Einregulierung schaffen Transparenz.

F) Problemstellung - Dynamische Anpassung von Luftmengen: Die Wärmelieferung zur Luftaufbereitung wird immer bedeutsamer, da die thermische Qualität der Gebäudehülle bei Neubauten hochwertig ist. Es liegt ein großes Energieeinsparpotential darin, mit einer bedarfsgerechte Luftmengenregulierung, die Luftmenge ins/in Gebäude/-teile/Räume zu bringen, die auch tatsächlich benötigt wird.

Lösungsansatz: Das Forschungsvorhaben sondiert die Möglichkeiten, inwiefern mit geeigneten, automatischen Reguliereinheiten und geeigneten Sensoren, die erforderlichen Luftmengen unter dynamischen Bedingungen automatisch reguliert werden können.

Der vorliegende Endbericht beschreibt einfürend in Kapitel 2 das Umfeld zur Luftmengeneinregulierung und zu einem energieoptimierten RLT-Anlagenbetrieb. Das Projektteam hat eine umfangreiche Umfeldanalyse zu den technischen Ausführungen von RLT-Anlagen, zu den regulativen und gesetzlichen Rahmenbedingungen und zu den in der Praxis üblichen Vorgehensweisen der energetischen Inspektion und Luftmengeneinregulierung durchgeführt. Die wesentlichen Inhalte und durchgeführten Tätigkeiten werden dazu vorgestellt. Ausgewählte Marktverfügbare technische Komponenten zur Luftmengeneinregulierung und Signalübertragung wurden im Labor vermessen und deren Verwendungseignung für die angestrebte Methode zu einer semi-automatisierten Luftmengeneinregulierung sondiert. Weiters wurde inhaltlich ein Nutzerfreundliches Berechnungsmodell entwickelt und evaluiert. Dieses liefert bei minimal invasiven Eingriffen in die RLT-Anlage und durch die Verwendung einer geringer Betriebsdatenmenge aus der Gebäudeleittechnik GLT oder von zusätzlichen mobilen Messinstrumenten belastbare Aussagen zur Energieeffizienz von RLT-Anlagen im Betrieb und zeigt Optimierungspotenziale auf. Kapitel 3 umfasst die Beschreibung der Ergebnisse der einzelnen Projektaktivitätsfelder, Schlussfolgerungen werden gezogen. Abschließend wird in Kapitel 4 ein Ausblick gegeben und Empfehlungen für eine Weiterentwicklung im Rahmen eines nachfolgenden F&E-Projektes werden formuliert.

2 Inhaltliche Darstellung

2.1 Umfeldanalyse

Ein wesentlicher Arbeitsschritt im Sondierungsprojekt war die vertiefende Erhebung zum Stand der Technik und des Wissens hinsichtlich nachfolgender Themengebiete:

- Normative und gesetzliche Grundlagen für RLT-Anlagen,
- Raumluftechnische Anlagen (Anlagenarten, Betriebsweise; Luftmengen-einregulierung und Energieeffizienz)
- RLT-Anlagen in der Praxis

Basisdaten und essentielle Informationen zu den Kernthemen des Projektes wurden gesammelt und durch die durchgeführte Umfeldanalyse können wesentliche Antworten zu den Kernfragen hinsichtlich der Machbarkeit zu einer semi-automatisierten Luftmengeneinregulierung in Raumluftechnischen (RLT) Anlagen abgeleitet werden.

2.1.1 Normative und gesetzliche Grundlagen für RLT-Anlagen

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über vorhandene Vorgaben (normativ und gesetzlich) in Bezug auf raumluftechnische Anlagen.

Planung, Errichtung und Betrieb von RLT Anlagen

Für Lüftungstechnische Anlagen existiert eine Vielzahl an Normen und Richtlinien. Diese Normativen und gesetzlichen Grundlagen für RLT-Anlagen decken die verschiedenen Projektierungsphasen Planung, Errichtung, Überprüfung, Betrieb, Wartung und Inspektion ab. Eine klare Abgrenzung nach einzelnen Aspekten ist folglich nicht möglich. Die folgenden auszugsweise angeführten Normen und Anforderungen gelten lediglich für Lüftungsanlagen, die sich im Betrieb befinden, ab. Analog zur Gliederung im Energieausweis werden auch die relevanten Vorgaben und Normen bei der Errichtung von Raumluftechnischen Anlagen in Abhängigkeit der Gebäudenutzung unterschieden.

Für *Wohngebäude* ist der Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage nicht notwendig. Um Passivhausstandard zu erreichen ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erforderlich, diese kann jedoch auch in jedem herkömmlichen Wohnbau errichtet werden. Die Grundlage dazu liefert die ÖNORM H 6038 (2014 02 15) Lüftungstechnische Anlagen – Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Wohnungen mit Wärmerückgewinnung - Planung, Ausführung, Abnahme, Betrieb und Wartung. Ersichtlich ist, dass diese Norm den vollständigen Lebenszyklus der Anlage abdeckt.

So wird in **Punkt 10.2.1** angemerkt, dass die Luftvolumenströme an jedem Auslass zu messen sind, möglichst mit druckkompensierten Messgeräten. Eine genauere Angabe, wie die Volumenstrommessungen zu erfolgen hat, bzw. der Verweis auf eine weitere Norm ist nicht angeführt.

In der **ÖNORM EN 14134 (2004 03 01) Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfung und Einbaukontrollen von Lüftungsanlagen von Wohnungen** werden Kontroll- und Prüfverfahren zum Nachweis der Eignung für eingebaute Lüftungsanlagen in Wohnungen festgelegt. Es wird zwischen einfachen Prüfverfahren und aufwändigeren Sondermessungen unterschieden. Die Norm gilt für mechanische und nichtmechanische (freie) Lüftungssysteme, die folgendes umfassen: Luftleitungen für passive Schächte; Luftdurchlässe (Zuluft-, Abluft-); Luftdurchlässe (außen befestigt, innen befestigt); Regeleinrichtungen; Luftleitungen; Ventilatoren; Filter; Wärmerückgewinnung; Heizung/Kühlung von Zuluft; Umluft; Dunstabzugshauben; Hauben; Klappen; Schalldämpfungseinrichtungen. Der Zweck dieser Norm ist die Festlegung des Verfahrens zum Überprüfen und Bewerten der Anlage vor der Übergabe.

Auch für Bürogebäude ist eine mechanische Lüftungsanlage nicht zwingend vorgeschrieben, sondern gem. **Arbeitsstättenverordnung (AStV) § 27** nur dann wenn die natürliche Lüftung nicht ausreicht. Mindest-Volumenströme werden bei ausschließlich mechanischer Be- und Entlüftung vorgegeben. Diese Verordnung ist eine für den Arbeitnehmerschutz wichtige Grundlage, die zusätzlich sicherstellt, dass die Lüftungsanlage allen Anforderungen der Hygiene und Sauberkeit entspricht. Laut BGBL II Nr.: 386/1999 §27 und §13 muss diese Inspektion einmal jährlich und kann bei Bedarf auch öfters durchgeführt werden.

In der ÖNORM EN 13779 (2008 01 01) Lüftung von Nichtwohngebäuden werden Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme geregelt.

Die **ÖNORM EN 12599 (2012 12 15) Lüftung von Gebäuden - Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen** legt Prüfungen, Prüfverfahren und Messgeräte zur Feststellung der Gebrauchstauglichkeit von installierten Anlagen bei der Übergabe fest, die teilweise vor, während und nach der Übergabe durchgeführt werden. Diese Europäische Norm ermöglicht die Wahl zwischen einfachen Prüfverfahren, wenn ausreichend, und aufwendigen Messungen, wenn erforderlich.

Weitere Nutzungsarten von Nicht-Wohngebäuden bzw. für gewerbliche Anwendung werden in spezifischen Normen geregelt. Dazu werden folgend beispielhaft die Normen für Garagen, Küchen und medizinisch genutzte Räume angeführt:

ÖNORM H 6003 (2012 11 01) Lüftungstechnische Anlagen für Garagen – Grundlagen, Planung, Dimensionierung

ÖNORM H 6020 (2015 03 15) Lüftungstechnische Anlagen für medizinisch genutzte Räume – Projektierung, Errichtung, Betrieb, Instandhaltung, technische und hygienische Kontrollen

ÖNORM H 6030 (2006 09 01) Lüftungstechnische Anlagen für Küchen – Anforderungen, Auslegungskriterien, Betrieb

ÖNORM EN 16282 (2014 11 01) Großküchengeräte –

Einrichtungen zur Be- und Entlüftung von gewerblichen Küchen

Lüftungsanlagen in Gebäuden erfüllen den Zweck, ein für den Menschen angenehmes Raumklima zu schaffen und konstant zu halten. Dabei gelten im Betrieb auch dementsprechende Anforderungen an die Sauberkeit und Funktion der Anlage.

Um die zentralen Faktoren, Sauberkeit und Reinigungsverfahren, für Lüftungstechnische Anlagen einheitlich beschreiben zu können, wird die **ÖNORM EN 15780 (2011 12 01)**

Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen - Sauberkeit von Lüftungsanlagen angewandt.

Diese Norm gilt sowohl für neue als auch für bereits vorhandene Lüftungs- und Klimaanlageanlagen. Kriterien für die Beurteilung der Sauberkeit sowie die Reinigungsverfahren sind klar definiert. Zu den technischen Anforderungen hinzukommend, kann schon als Grundlage für die Planung und den Betrieb nach hygienischen und physiologischen Anforderung,

ÖNORM H 6000-3 (1989 01 01) Lüftungstechnische Anlagen – Grundregeln; hygienische und physiologische Anforderungen für den Aufenthaltsbereich von Personen angewandt werden.

Die ÖNORM EN 15726 (2011 11 15) Lüftung von Gebäuden – Luftverteilung - Messungen im Aufenthaltsbereich von klimatisierten/belüfteten Räumen zur Bewertung der thermischen und akustischen Bedingungen beschreibt zwei aufeinander aufbauende Verfahren zur Messung und zum Nachweis von Luftgeschwindigkeiten, Lufttemperaturen und Schalldruckpegeln in belüfteten Räumen, die zum Nachweis der thermischen Behaglichkeit notwendig sind (zum Beispiel gemäß DIN EN 15251 und DIN EN ISO 7730). Die Norm gilt ausschließlich für Komfortanlagen und nicht für RLT- und Klimaanlage in Gewerbe und Industrie.

Auch wenn eine Vielzahl an Normen (nicht verbindlich) in Bezug auf Lüftungsanlagen existiert, so gibt es in Österreich keine konkrete Anforderungsdefinition, wie und in welchem Ausmaß Abnahmeprüfungen von Lüftungsanlagen zu erfolgen haben.

In Deutschland wird in den der DIN 18379, Ausgabe 2012-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Raumluftechnische Anlagen, folgendes definiert:

„Es ist eine Abnahmeprüfung nach DIN EN 12599 "Lüftung von Gebäuden - Prüf- und Messverfahren für die Übergabe ...“

3.4 Einstellen der Anlage

3.4.1 *Der Auftraggeber hat die Anlagenteile so einzustellen, dass die geplanten Funktionen und Leistungen erbracht und die gesetzlichen Bedingungen erfüllt werden.*

Der Abgleich der Luftvolumenströme ist den rechnerisch ermittelten Einstellwerten entsprechend vorzunehmen. Gemessene Werte sind zu dokumentieren.

Energieeffizienz in Raumluftechnischen (RLT) Anlagen

Ziel der EU-Richtlinie 2012/27/EU zur Energieeffizienz ist es, einen maximalen Endenergieverbrauch der europäischen Union im Jahr 2020 von 1.474 Mio. t RÖE Primärenergie oder 1.078 Mio. t RÖE Endenergie nicht zu überschreiten. Ein Teil der Effizienzsteigerungen zur Erlangung dieses Zieles haben durch Energieeinsparverpflichtungen im Bereich des öffentlichen Sektors, Energielieferanten und Großunternehmen zu erfolgen (Europäische Union 2012).

Abbildung 2.1 gibt einen Überblick über Europäische Normen, die sich mit dem Energieverbrauch von Lüftungsanlagen beschäftigen und Abbildung 2.2 gibt Auskunft über deren Zusammenhang und notwendigen Datentransfer zur Berechnung.

EN 15217 Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings

EN 13790 Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling

EN 15242 Ventilation of buildings – Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration

EN 15241 Ventilation of buildings – Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in commercial buildings

EN 15243 Ventilation of buildings – Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditioning systems

EN 13779 Ventilation for non- residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems

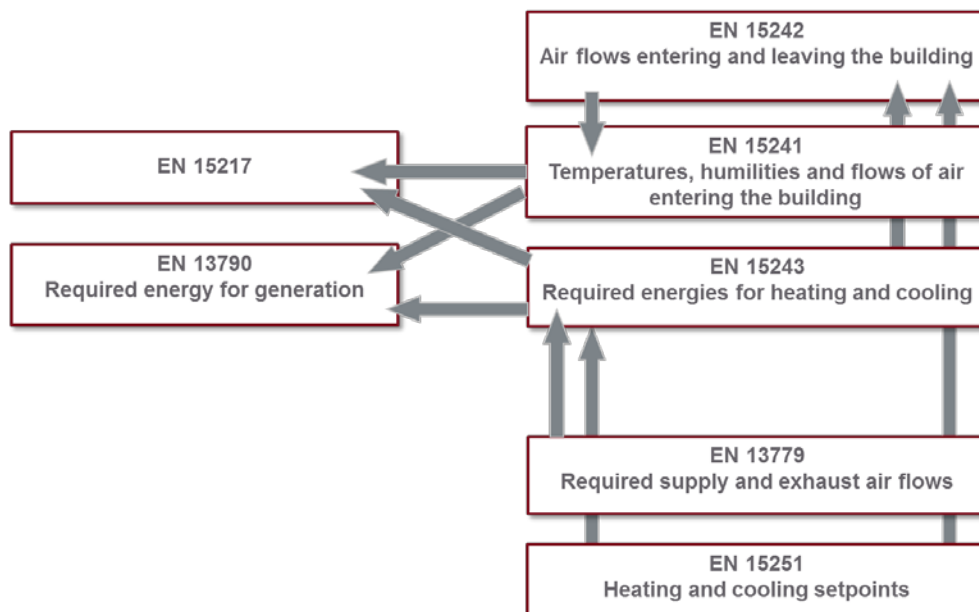
EN 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics

Source: EN15242

Abbildung 2.1: Überblick relevanter Europäischer Normen, im Hinblick auf Energiebedarf von Lüftungsanlagen (Datengrundlage: EN 15242)

Die in ÖNORM EN 15242 (2009 03 01) - Lüftung von Gebäuden – Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration beschriebenen Verfahren zur Berechnung, der durch die Lüftung verursachten, Luftvolumenströme in Gebäuden enthalten grundsätzliche Rechenregeln, jedoch keine eigenen Vorgaben zu den Auslegungsgrößen.

Dasselbe gilt für die ÖNORMEN EN 15241 (2011 04 01) Lüftung von Gebäuden – Berechnungsverfahren für den Energieverlust aufgrund der Lüftung und Infiltration in Gebäuden und EN 15243 (2007 11 01) Lüftung von Gebäuden - Berechnung der Raumtemperaturen, der Last und Energie von Gebäuden mit Klimaanlage, die sich mit Berechnungsverfahren befassen, sowie für ÖNORM EN 15239 (2007 07 01) Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen und EN 15240 (2007 08 01) - Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Klimaanlage, welche die energetische Inspektion von Lüftungs- beziehungsweise Klimaanlage behandeln und ebenso keine Auslegungsparameter vorgeben.



Source: EN15242

Abbildung 2.2: Zusammenhänge und Datentransfer zwischen den Europäischen Normen in Bezug auf Energiebedarf von Lüftungsanlagen (Datengrundlage: EN15242)

Um Auswirkungen auf den Energieverbrauch durch die in einem Gebäude verbauten Gewerke zur Steuerung der gebäudetechnischen Anlagen, i.a. der Lüftungsanlage, sichtbar zu machen, können Methoden für die Erstellung von Kennzahlen aus **ÖNORM EN 15232 (2016 01 01) Energieeffizienz von Gebäuden** verwendet werden. Diese Kennzahlen können nicht nur im Betrieb den Energieverbrauch darstellen, sondern bieten Planern auch die Möglichkeit des Vergleichs der geplanten Werte. Mit diesem Verfahren kann sichergestellt werden, dass die installierten Gebäudeautomationssysteme den Mindestanforderungen entsprechen. Durch die Bewertung kann abgeschätzt werden welche Auswirkungen die Änderung einzelner Parameter auf den gesamten Lüftungsbetrieb hat.

In Österreich werden zur Bewertungen des raumluftechnischen Energieverbrauchs im Allgemeinen die in **ÖNORM H 5057 (2011 03 01) Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumluftechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude** enthaltenen Methoden angewendet.

2.1.2 Raumluftechnischen (RLT) Anlagen

Typische RLT Anlagen

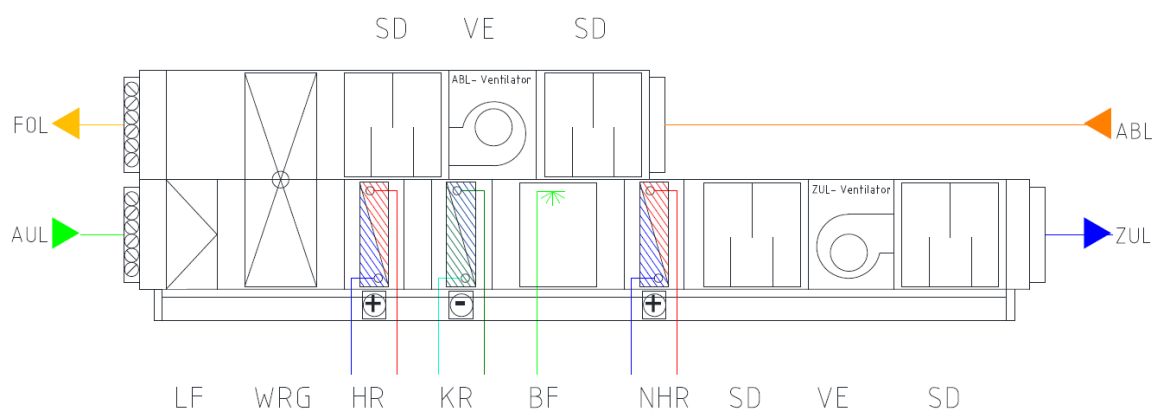
RLT- Anlagen haben das Ziel die Zustandsgrößen der Raumluft (Temperatur, Feuchte und Reinheit) innerhalb bestimmter Grenzen zu halten. Diese Grenzen bzw. Anforderungen sind in einschlägigen Normen und Richtlinien festgehalten. Sie kommen primär dann zum Einsatz, wenn die Belüftung der Räumlichkeiten durch natürliche Lüftung (Fensterlüftung) nicht in ausreichender Menge und oder Qualität sichergestellt werden kann. Je nach Situation müssen eine oder mehrere der folgenden Anforderungen erfüllt werden:

- **Außenluftversorgung:** Austausch der durch die Personenatmung erhöhten CO₂-Konzentration der Innenraumluft gegen Außenluft.

- **Thermische Lasten:** Zur Einhaltung von Raumlufttemperaturen müssen thermische Lasten, zu oder abgeführt werden (Heizlast, Kühllast).
- **Abfuhr von Feuchtelasten:** Zur Einhaltung von Raumluftfeuchten muss je nach Feuchtequelle- oder Senke be- oder entfeuchtet werden.
- **Luftreinhaltung:** Zur Erreichung der zulässigen Konzentration an Schadstoffen (z.B.: MAK- Werte (maximale Arbeitsplatz Konzentration)) in Innenräumen muss die kontaminierte Innenraumluft gegen schadstofffreie Außenluft getauscht werden.
- **Schutzdruckhaltung:** Um z.B. in einem Reinraum einen ungewollten Luftaustausch mit der Umgebung zu unterbinden, wird dieser in einem Überdruck gehalten werden – siehe [RECK2011].

Ein weiterer wichtiger Aspekt für Lüftungsanlagen ist die Wärmerückgewinnung, welche im Vergleich zur natürlichen Fensterlüftung, die Lüftungswärmeverluste signifikant reduzieren kann. Dabei gilt es zwischen sensibler und latenter Wärmerückgewinnung zu unterscheiden. Der Aufbau einer Lüftungsanlage ist einerseits abhängig von der Lüftungsfunktion, zum anderen von den geforderten thermodynamischen Funktionen. Die Lüftungsfunktion unterscheidet sich nach dem Anteil der Außenluft. Anlagen welche ohne Außenluft, also nur mit Umluft betrieben werden, haben keine Lüftungsfunktion und umgekehrt. Die thermodynamischen Behandlungsfunktionen sind Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten. Je nach Kombination der thermodynamischen Behandlungsfunktionen unterscheidet man zwischen Lüftungs-, Teilklima- und Vollklimaanlage.

Lüftungsanlagen besitzen keine, Teilklimaanlagen zwei oder drei, und Klimaanlagen alle vier thermodynamischen Funktionen. Die Anlagen können als Lüftungsanlage (mit Lüftungsfunktion) oder als Umluftanlage, d.h. ohne Lüftungsfunktion betrieben werden. Der Anteil der Lüftungs- und Teilklimaanlagen ohne Kühlfunktion wurde in einer Marktanalysen durch Kaup [Kaup2009] mit ca. 60 Prozent ermittelt. Das heißt, dass weniger als die Hälfte der installierten Anlagen mit Luftkühlern ausgestattet sind.



Legende=

AUL= Außenluft

ZUL= Zuluft

ABL= Abluft

FOL= Fortluft

LF= Luftfilter

HR= Heizregister

KR= Kühlregister

BF= Befeuchter

NHR= Nachheizregister

SD= Schalldämpfer

VE= Ventilator

WRG= Wärmerückgewinnung

Abbildung 2.3: Terminologie einer Vollklimaanlage mit WRG (Quelle Selitsch)

Die wichtigsten Komponenten und der Aufbau einer Vollklimaanlage mit Lüftungsfunktion ist in Abbildung 2.3 dargestellt. Zu Beginn wird Außenluft angesaugt. Diese Ansaugung sollte wenn möglich am Dach oder anderen geeigneten Orten mit niedrigen Emissionsbelastungen erfolgen. Danach wird die Außenluft in einem Luftfilter (LF) von Staub und anderen Partikeln befreit. Nun erfolgt in Abhängigkeit des Anlagentyps die Luftaufbereitung. In der dargestellten Vollklimaanlage erfolgt diese durch einen Wärmetauscher (WT), ein Heiz- (HR), und Kühlregister (KR), eine Befeuchtung (BF) und ein Nachheizregister (NHR). Durch diese Komponenten und das Kanalnetz im Gebäude entsteht ein Druckverlust. Dieser wird durch Ventilatoren (VE) in der Zu- und Abluftseite ausgeglichen. Zur Reduktion der Schallemissionen sind in der Anlage Schalldämpfer (SD) integriert.

Raumlufttechnische Anlagen sind in den meisten Fällen an das Gebäude und an die Wünsche des Kunden individuell angepasst. Diese Anpassungen der Anlage reichen vom Transport bis zur Einbringung der Luft in den Raum. Wie die Anlage an diese Anforderungen angepasst wird, hängt von vielen Faktoren ab. Beispielhaft können Trends der Lüftungsbranche, Herangehensweise der/des Anlagen Konstrukteurs/in, Anpassung vor Ort, oder verändertes Nutzerverhalten aufgezählt werden. Diese beispielhaften Gründe führen letztendlich dazu dass jede installierte Lüftungsanlage individuell ausgeführt und betrieben wird.

Jede der unterschiedlichsten Anlagenkonfigurationen mithilfe vereinfachter Schemata darzustellen, ist aufgrund der Anzahl an unterschiedlichen Bauarten schwer möglich. Eine Methode um den Überblick über die vorhandenen Systeme zu erleichtern ist die Darstellung der typisch eingesetzten Bauteile und deren Einsatzmöglichkeiten. Dadurch wird eine Unterscheidung auf zwei Ebenen erreicht: die **Lufteinbringung in den Raum** und die **Luftverteilung im Gebäude**.

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal einer Anlage ist die Betriebsart. Es wird in **konstante** und **variable Volumenstromanlagen** unterschieden. Beide Betriebsarten werden mit ähnlichen Komponenten realisiert. Durch ergänzende Mess-, Steuer- und Regelungstechnik an den Bauteilen, können die Funktionen der Anlage erweitert werden.

Abbildung 2.4 zeigt den schematischen Aufbau einer mechanischen Lüftung. Es wird in zwei Ebenen unterschieden, die Luftverteilung und Lufteinbringung. Die Luftverteilung beschreibt die wesentlichen Bauteile um die gewünschte Luftmenge zum Verbraucher zu transportieren. Während die Lufteinbringung Systeme zur Einbringung der Luft in den Raum, durch Zuluftventile und Auslässe beschreibt.

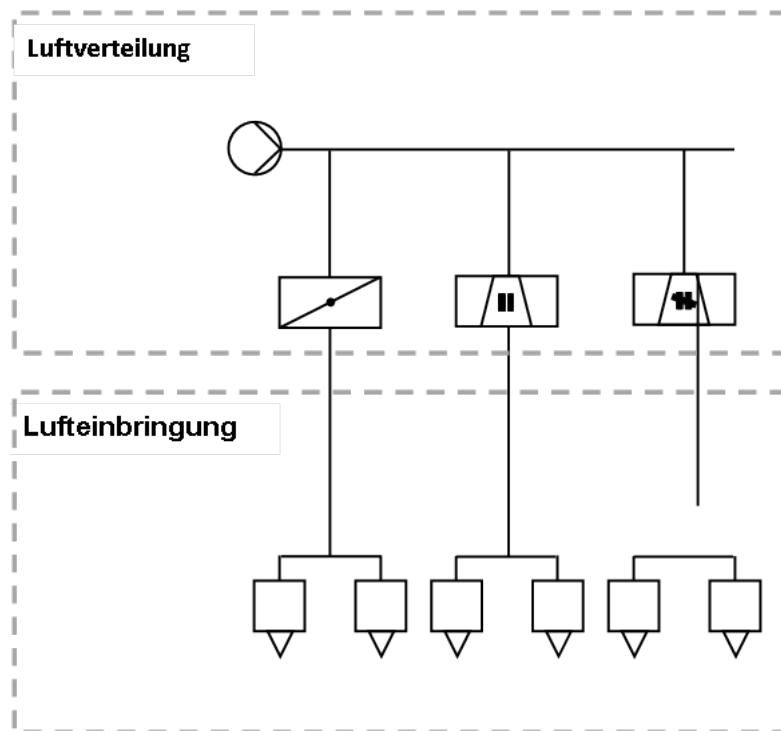


Abbildung 2.4: Unterteilung der Lüftungssysteme in Luftverteilung und Lufteinbringung. Struktur der weiteren Beschreibung

Betriebsweisen

RLT Anlagen mit Konstantem Volumenstrom (CAV, KVS)

Gebäude und (Räume) welche mit einem konstanten Volumenstrom be- und entlüftet werden, zeichnen sich dadurch aus, den ausgelegten Zu- und Abluftvolumenstrom annähernd konstant zu halten.

Die Einregulierung der Volumenströme muss im Zusammenhang mit einer Luftmengenmessung erfolgen. Die Messung des Volumenstroms muss an jedem Luftdurchlass erfolgen. Die Einstellarbeiten erfordern meist ein wiederholtes Messen und Einstellen der Durchlässe, da ein veränderter Druck im System auf alle Durchlässe Einfluss hat.

Sind alle Luftdurchlässe auf den gewünschten Wert eingestellt, sind Veränderungen des **Abströmverhaltens** unwahrscheinlich aufgrund des konstanten Volumenstroms.

Schwankungen des Volumenstroms können durch Veränderung des Verschmutzungsgrades der Anlage oder Filter entstehen. Eine Anpassung des Volumenstroms, an veränderte Raumbelugung, Nutzerbeschwerden oder Verschlechterung durch Schmutz, kann nur mit personellem Aufwand an die Anforderungen angepasst werden.

Die folgende Schematische Darstellung zeigt 3 Anlagentypen wie sie in den meisten Fällen anzutreffen sind. Hierbei kommen für den Lüftungsbau typisch eingesetzte Bauteile zum Einsatz.

Die drei dargestellten Anlagen unterscheiden sich in der Wahl der Bauteile zur Einregulierung des Volumenstroms pro Strang, Geschoss oder Zone. Die Eigenschaften und Einbauten jeder dieser Ausführungen wird jeweils erläutert.

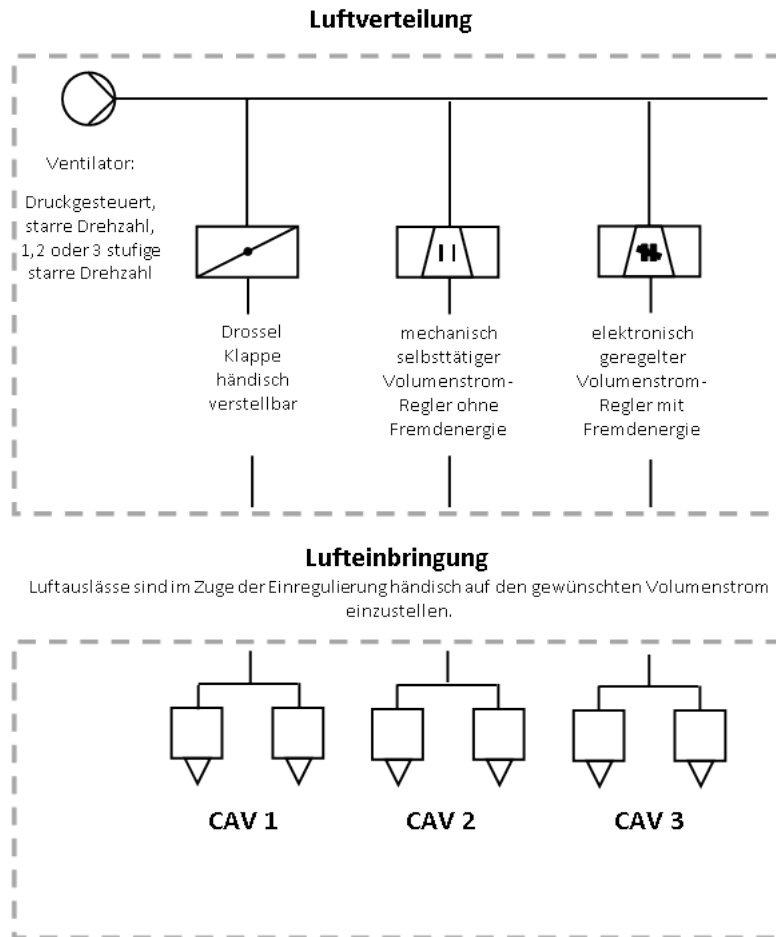


Abbildung 2.5: Schematischer Aufbau von RLT Anlagen mit Konstantem Volumenstrom

CAV 1

Um einen Strang, ein Geschoss oder Zone einzuregulieren, kommt eine Drosselklappe zum Einsatz. Das Einstellen des gewünschten Volumenstroms erfolgt per Hand und muss parallel zu einer Volumenstrommessung erfolgen.

Mit der Größe des Leitungsnetzes ändert sich der Aufwand der Einregulierungsarbeiten.



Abbildung 2.6: Drosselklappe oder Regulierklappe, (Quelle: Schako)

CAV 2

Um einen Strang, ein Geschoss oder Zone einzuregulieren, kommt ein mechanisch selbsttätiger Volumenstromregler ohne Fremdenergie zum Einsatz. Das Einstellen erfolgt per Hand über die angebrachte Skala. Der Volumenstrom muss parallel zu einer Volumenstrommessung erfolgen.

Durch den Einsatz eines mechanisch selbsttätigen Volumenstromreglers werden die Einregulierungsarbeiten wesentlich erleichtert.



Abbildung 2.7: Volumenstrombegrenzer mechanische Bauart, (Quelle: Wildeboer)

CAV 3

Um einen Strang, ein Geschoss oder Zone einzuregulieren, kommt ein elektronisch geregelter Volumenstromregler mit Fremdenergie zum Einsatz. Der gewünschte Volumenstrom wird über die GLT oder über ein Handgerät eingestellt.

Durch den Einsatz eines elektronischen Volumenstromreglers werden die Einregulierungsarbeiten auf ein Minimum reduziert.

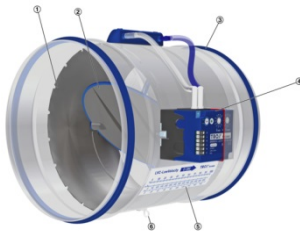


Abbildung 2.8: elektronisch geregelter Volumenstromregler mit Stellmotor, (Quelle: TROX)

Eine VAV Anlage **RLT Anlage mit Variablem Volumenstrom (VAV, VVS)** ermöglicht es den Volumenstrom jederzeit an die Anforderung der Nutzer anzupassen. Dieses Konzept kommt etwa bei stark schwankenden stofflichen und thermischen Lasten, wie etwa in Bürogebäuden, Kaufhäusern oder Schulen, zum Einsatz. Die Anpassung des Volumenstroms erfolgt durch den Einsatz von Volumenstromreglern in der Zu- und Abluft. Der Aufbau erfolgt analog zu einer CAV Anlage, mit dem Unterschied dass die konstant Volumenstromregler durch variable Volumenstromregler ersetzt werden. Ein Einregulieren der Volumenströme ist nicht mehr nötig. Jeder variable Volumenstromregler gibt aus, wie groß der Volumenstrom und die momentane Klappenstellung sind. Bei der Auswahl und Einstellung der Luftdurchlässe ist darauf zu achten, dass sie auf den maximalen Volumenstrom ausgelegt sind. Jedoch müssen die Auslässe auch mit einem sich ändernden Volumenstrom das gewünschte Abströmverhalten aufweisen. Eine Anpassung des Volumenstroms, an veränderte Raumbelagung, Nutzerbeschwerden oder Verschlechterung durch Schmutz, kann über die GLT an die Anforderungen angepasst werden.

Grundlegende Verfahren um eine solche Anlage zu realisieren werden hier angeführt:

- VAV 1
Variabler Volumenstrom durch Volumenstromregler in Zu- und Abluft. Im Vergleich zur Variante mit Volumenstrombegrenzern wird bei dieser Methode ein elektrischer Volumenstromregler eingesetzt. Die Druckmessstelle soll sich am Schlechtpunkt des Systems befinden, um auch an den weit entferntesten Auslässen im System ausreichend Vordruck gewährleisten zu können. Der Regler führt den Volumenstrom der Führungsgröße ständig nach. Der Vorteil ist die geringe Abweichung vom Sollwert, diese ist geringer als bei mechanischen Begrenzern.
- VAV 2
Variabler Volumenstrom durch Druckregler am Schachtabzweig und Motorisch angetriebene Absperrklappe raumseitig. Dieses Anlagenkonzept bietet sich vor allem bei Hotels, Herbergen und Meeting Räumen an. Die eigentliche Funktion liegt darin bei Anwesenheit die Klappe zu öffnen und bei Nichtbelegung zu schließen. Die Klappe selbst hat zwei Stellungen, die offene Stellung, ist auf die Belegung des Raumes ausgelegt, und dem geschlossenen Zustand. Der Vordruck im System muss über eine Einregulierung passieren. Zusätzlich kann die Drehzahl des Ventilators über eine Druckregelung verändert werden.
- VAV 3
Variabler Volumenstrom durch elektronischen Volumenstromregler vor Luftauslass und Druckregelung durch Variation der Ventilator Drehzahl. Die Führungsgröße kann durch Anwesenheit, CO₂, oder Temperatur beeinflusst werden. Die durch den elektronisch geregelten Volumenstromregler variablen Druckverluste, werden durch einen Drucksensor erfasst und als digital/analog Signal an den Frequenzumrichter übermittelt. Die Vorteile dieser Anlage kommen vor allen bei kleinen Anlagen zu tragen. Diese Anlage kann im Betrieb den minimal erforderlichen Druck für die

Überwindung des Rohrleitungswiderstands aufbringen und erhöhte Druckverluste verhindern. Es muss darauf geachtet werden wo der Druck für die Regelung abgenommen wird.

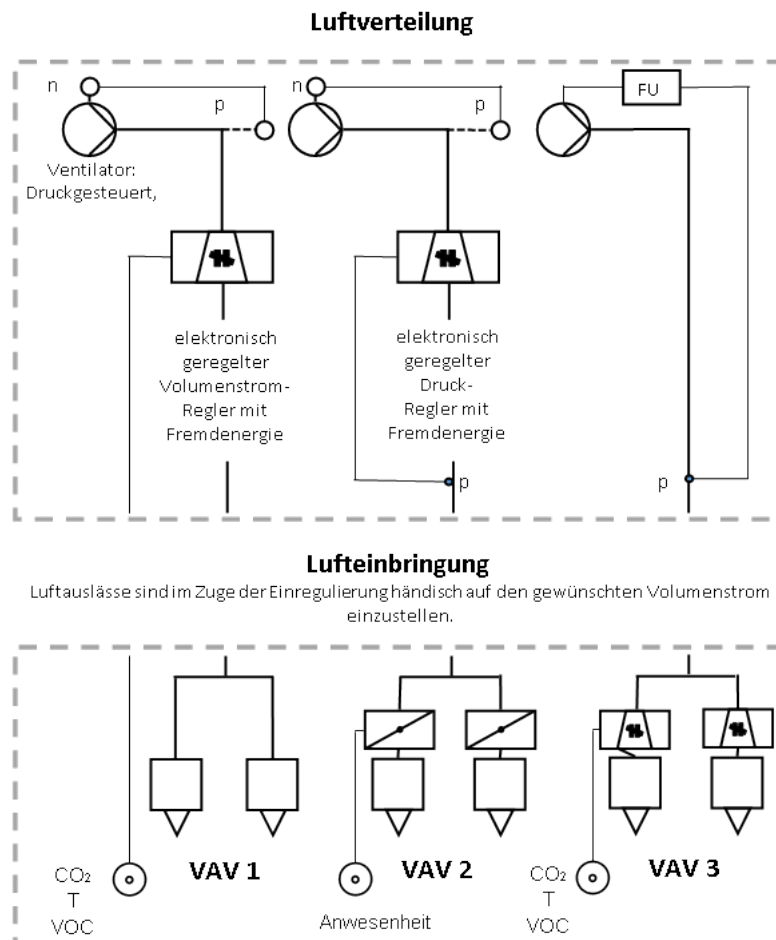


Abbildung 2.9: Schematischer Aufbau von RLT Anlagen mit Variablem Volumenstrom

Tabelle 2.1: Überblick zu RLT-Anlagen mit konstantem und variabler Luftmenge

	Ventilator	Luftverteilung		Einregulierung (automatisch/händisch)		Vorteil	Nachteil
		Komponenten zur Einregulierung	Einstellen des Volumenstroms	Luftverteilung	Lufteinbringung		
CAV 1	Druckgesteuert, starre Drehzahl, 1,2 oder 3 stufige starre Drehzahl	Drosselklappe/ Regulierklappe	Händisch	händisch	händisch	Preiswert Vollabspernung händisch möglich	Erhöhter Einregulierungsaufwand
CAV 2		Mechanisch selbsttätiger Volumenstromregler ohne Fremdenergie	mechanisch selbsttätig (Sollwerteinstellung per Hand)	automatisch	händisch	Erleichtert die Einregulierung preiswert	Dauerhafter Druckverlust
CAV 3		Volumenstromregler mit Fremdenergie	Elektronisch (Sollwerteinstellung über GLT oder Handgerät)	automatisch	händisch	geringster Einregulierungsaufwand Vollabspernung möglich	teuer GLT vorausgesetzt
VA V 1	Druckgesteuert, starre Drehzahl, 1,2 oder 3 stufige starre Drehzahl	Volumenstromregler mit Fremdenergie	Elektronisch, oder durch Führungsgröße: CO ₂ , Temp, VOC	automatisch	händisch	Preiswerte VAV Vollabspernung möglich	Abströmverhalten der Auslässe, Drosselgeräusche am Auslass
VA V 2		Volumenstromregler mit Fremdenergie (als Druckregler)	Elektronisch (Sollwerteinstellung über GLT oder Handgerät) und Anwesenheit	automatisch	händisch	Einfachste DCV Lösung, Hotellösung, Vollabspernung möglich	Experimentelle Ermittlung des Vordrucks bei der Einregulierung
VA V 3	Frequenzumrichter angesteuert	Volumenstromregler mit Fremdenergie	Elektronisch, oder durch Führungsgröße: CO ₂ , Temp, VOC	automatisch	händisch	Für kleine RLT Anlagen wirtschaftlichste VAV Lösung, Vollabspernung möglich	Nicht für weitverzweigtes Netz geeignet

2.1.3 Energieeffiziente Betriebsweise in der Praxis

Empfehlungen aus Leitfäden

Folgende Absätze wurden in Anlehnung an den Leitfaden für Energieeffizienz bei Lüftungsanlagen der Stadt Wien gestaltet [MA27].

Wesentliche Ansatzpunkte für die Reduktion des Energieverbrauchs können in drei Bereiche unterteilt werden:

- Situation am Luftauslass (Position, Luftmenge, Betriebszeit)
- Druckverluste in der Verteilleitung (Schmutz, Einbauten, Geschwindigkeit)
- Einsatz effizienter Motoren und Ventilatoren (frequenzgesteuert)

Energieeffizienzmaßnahmen können in diesen Bereichen angewandt werden, was wiederum Auswirkungen auf alle anderen Teile des Systems hat. Zum Beispiel kann die Anpassung von Luftmengen in einzelnen Räumen zur Folge haben, dass der Ventilator weniger Luft fördern müsste und überdimensioniert wäre. Diese und weitere minimal invasive Methoden, um eine Lüftungsanlage effizienter zu betreiben.

Anpassung des Luftvolumenstroms

- Das größte Einsparungspotential besteht im Bereich der **Luftförderung**. Eine Verringerung des Luftvolumens führt zu einer Verringerung des Energiebedarfs mit der dritten Potenz. Ein wichtiger Schritt ist die Erhebung der tatsächlich benötigten Luftmenge, und der Vergleich mit der an den Auslässen gemessenen Luftmenge. Wird hier festgestellt dass zu viel Luft befördert wird, können durch einfache Maßnahmen bis zu 50 Prozent an Energie eingespart werden [MA27].
- Für die Verteilung der Frischluft sind die **Luftauslässe** von entscheidender Bedeutung. Wird die Luft nicht zum Nutzer geführt, sondern durch einen Kurzschluss zweier gegenüberliegender Ein- und Auslässe an diesem vorbei, ist das kein effizienter Betrieb möglich. Um das zu verhindern müssen Ein- und Auslässe richtig im Raum platziert und eingestellt werden.
- Eine weitere Möglichkeit zur Energieeinsparung ist die **Betriebszeiten** der Anlage zu evaluieren. Durch veränderte Öffnungs- oder Bürozeiten wird es notwendig sein diese an die veränderten Umstände anzupassen. Diese Anpassung kann zu einem verringerten Energieverbrauch führen.

Minimierung der Druckverluste

- Der **Standort der Luftaufbereitung** sollte möglichst so gewählt sein, dass der Weg zu den zu versorgenden Räumen möglichst kurz ist. Dadurch kann die Länge des Netzes minimiert werden und der gesamte Druckverlust im System gleichfalls.
- **Rohrdurchmesser und Luftgeschwindigkeit** hängen unmittelbar mit der zu befördernden Luftmenge zusammen. Je größer der Rohrquerschnitt, desto niedriger kann die Geschwindigkeit im Rohr sein. Niedrigere Geschwindigkeiten benötigen weniger Leistungsstarke Ventilatoren und der Energieverbrauch sinkt. Diese Maßnahmen sollten vor allem in der Planungsphase beachtet werden um im Vorfeld genügend Platz für die Verrohrung zu schaffen.
- Die **Leitungsführung** kann in mehreren Punkten positiv zu einem effizienten Betrieb beitragen. Nicht alle der aufgezählten Punkte/Verbesserungsvorschläge können durch geringen Aufwand umgesetzt werden. Vielmehr soll der Blick auf einfach umzusetzende Maßnahmen geschult werden, was vor allem der Neugestaltung von Lüftungsanlagen zugutekommt. Lüftungsrohre sollten möglichst ohne Richtungswechsel geplant und ausgeführt sein. Runde Ecken sind eckigen vorzuziehen, wie auch Y-Abzweigungen anstatt T-Kreuzungen. Runde Rohrquerschnitte sind eckigen vorzuziehen, falls viereckige Leitungen geplant sind, jene mit quadratischem Querschnitt.
- **Filter** werden eingesetzt um die Luft in Lüftungsanlagen zu reinigen. Je nach Verschmutzungsgrad erhöht sich der Druckverlust. Um eine Anlage wirtschaftlich zu betreiben, müssen Filter regelmäßig gereinigt oder erneuert werden. Um den richtigen Zeitpunkt für den Filtertausch zu erkennen, können Differenzdruckanemometer eingesetzt werden. Diese messen den Druckunterschied vor und nach dem Filter. Übersteigt diese Differenz einen gewissen Größe, muss der Filter gewechselt werden.
- **Leckagen** in Lüftungssystemen sind ein bekanntes Problem. Der Mehraufwand für den Transport der zusätzlich benötigten Luft führt zu einem zusätzlichen Energieverbrauch. Dieser steigt zusätzlich durch die entstehenden Druckverluste durch Leckagen. Demnach ist die Minimierung der Undichtigkeiten im System durch Luftmengenmessungen und Inspektionen ein wichtiger Punkt um die Lüftungsanlage effizienter zu betreiben.

- **Luftauslässe-** und **Absaugung** sorgen dafür den/die Nutzer/in mit Frischluft zu versorgen. Sind Luftauslässe derart platziert dass die MitarbeiterInnen im Luftstrom sitzen, kann das als unangenehm empfunden werden. Meist wird zur Lösung des Problems der Luftauslass mit Möbeln verstellt oder verstopft. Das führt zwar zu einer örtlichen Verbesserung, anderorts kann sich das aber negativ auf den Komfort auswirken. Der erhöhte Druck, durch verstopfen eines Auslasses, führt zu höheren Luftgeschwindigkeiten und diese wiederum zu Schallemissionen. Hier empfiehlt sich den Gesamtvolumenstrom der Anlage zu reduzieren, falls das technisch möglich ist.

Optimierung des Ventilators

- Um die **Gesamteffizienz des Ventilators** in der Anlage beurteilen zu können, ist die spezifische Ventilator Leistung (Specific Fan Power, SFP) von Bedeutung. Dieser Wert ist Europaweit gültig und wird durch ÖNORM EN 13779 näher beschrieben. Dieser Wert beschreibt die elektrische Leistungsaufnahme bei maximaler Last der Lüftungsanlage, die Einheit ist $[W/(m^3/s)]$. In der Norm sind 7 Klassen angeführt welche je nach Leistungsaufnahme klassifiziert sind.
- Die **Kraftübertragung** zwischen Motor und Ventilator kann entweder direkt oder über einen Riemen erfolgen. Die effizienteste Methode ist der Direktantrieb. Wird ein Riemen eingesetzt, sollt dieser in regelmäßigen Intervallen auf die korrekte Spannung überprüft werden. Ein abgenützter Riemen kann den Wirkungsgrad um bis zu 10 Prozent verschlechtern.
- Bei den **Antrieben** wurde wie bei den Effizienzklassen, eine Klassifizierung nach dem Energieverbrauch eingeführt. Es existieren drei Effizienzklassen: EFF1, EFF 2 und EFF 3. Ein Motor der Effizienzkategorie EFF 1 ist um rund 2 bis 4 Prozent effizienter als ein Motor der Klasse EFF 2. Im kleinen Leistungsbereich kommen immer öfter EC (Electronically Commutated) Motoren zum Einsatz. Ihr Vorteil liegt in der stufenlosen Drehzahlregelung bei gleichzeitig hoher Effizienz. Vor jedem Tausch sollte in der Wirtschaftlichkeitsrechnung der Energieverbrauch über einem Zeitraum von 10 Jahren mitberücksichtigt werden. In den meisten Fällen ist die Einsparung höher als die Investition.

GOOD PRACTICE - Regelstrategien für effizienten Betrieb der Lüftungsanlage

Kommen variable Volumenstromregler mit Hilfsenergie zum Einsatz, können mithilfe dieser Komponenten zusätzliche Optimierungsmaßnahmen realisiert werden. Möglich wird das durch das Auslesen der Daten für SOLL- und IST- Volumenströme und der Klappenstellung. Diese Information wird über Kommunikationsstandards oder Analogsignale übertragen. Im Folgenden werden zwei Produkte namhafter Hersteller vorgestellt:

- **Wildeboer** bedient sich eines Spannungssignals proportional zur Klappenstellung, Effizienzsignal zur Betriebsoptimierung der Ventilatorenleistung. Je nach Öffnungsgrad des Volumenstromreglers variiert auch die Spannung an diesem Effizienzausgang des Reglers. Ist der Volumenstromregler geschlossen, ist die Spannung null, wird der anstehende Druck über den Regler vernichtet. Über eine DDC (Direct-Digital-Control) Steuerung werden alle Effizienzsignale miteinander verglichen und die Ventilator Drehzahl solange minimiert bis mindestens ein Regler zu 90 Prozent offen steht (Abbildung 2.10: Schema zur Ventilatorsteuerung mit Effizienzoptimierung, (Quelle: Wildeboer). Diese Regelung kann als einzel- oder Gruppenschaltung realisiert werden.

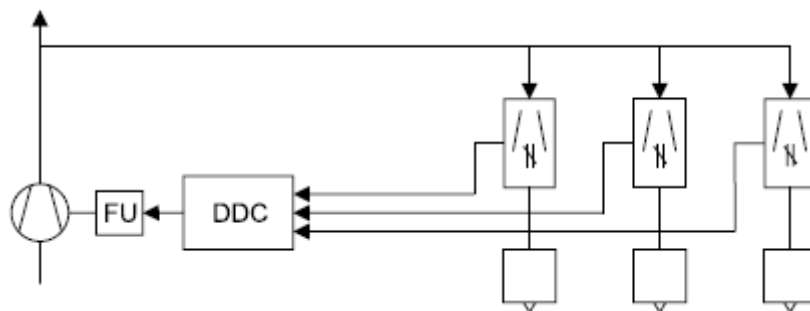


Abbildung 2.10: Schema zur Ventilatorsteuerung mit Effizienzoptimierung, (Quelle: Wildeboer)

- Ein weiteres Produkt am Markt ist der **Fan Optimiser** von **Belimo**. Das Prinzip des Vergleichs der Klappenstellung ist ident mit dem der Firma **Wildeboer**. Ein Unterscheidungsmerkmal sind die Kommunikationsstandards, in diesem Fall bietet Belimo den Anschluss über MP-BUS und LONWORKS.

Sollvolumen (Raumbedarf), Istvolumen und Klappenstellung werden via MP-Bus erfasst, vom Optimiser verrechnet und dem Frequenzumformer als Sollwert vorgegeben.

Als Resultat wird die Anlage im optimalen Bereich, bezogen auf Regelverhalten, Geräuschbildung und Energieverbrauch, betrieben.

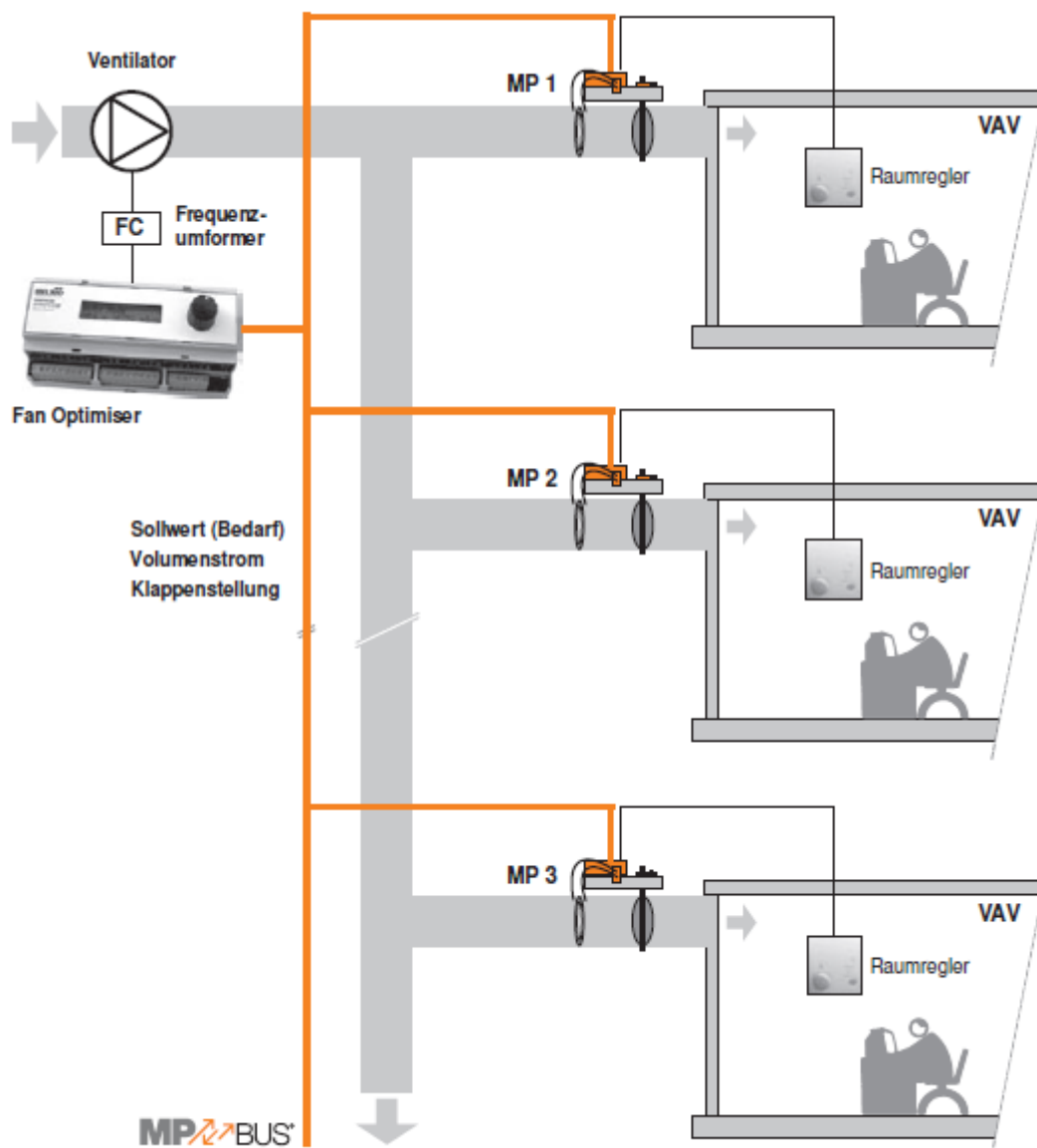


Abbildung 2.11: Anschlusschema Belimo Fan Optimiser, (Quelle: Belimo)

2.1.4 Einregulierung und Inbetriebnahme

In ÖNORM EN 12599 „Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe“ sind verschiedene Prüfverfahren die an Lüftungsanlage durchgeführt werden sollten zusammengefasst. Diese Prüfungen sind jedoch nicht verpflichtend sondern sollten in einem Installationsvertrag enthalten und definiert werden. Im Zuge von Funktionsmessungen ist auch der Zu- und Abluftstrom des jeweiligen Raumes messtechnisch zu erfassen und mit den Planungswerten zu vergleichen. Tabelle 2.2 fasst die durchzuführenden Messungen zusammen.

Tabelle 2.2: Zusammenfassung der durchzuführenden (1), bzw.falls vertraglich vereinbart (2), Messungen (EN 12599)

Messung an		Gesamtanlage	Zentrale/Gerät					Luftleitungssystem	Raum				
Messgrößen			Zusätzliche Sauberkeitsprüfung	Strom und Leistungsaufnahme des Motors [D.6]	Volumenstrom ^a [D.1]	Lufttemperatur ^a [D.3]	Druckabfall im Filter [D.7]		Prüfung der Dichtigkeit des Luftleitungssystems [D.8]	Zuluftstrom [D.1]	Abluftstrom [D.1]	Zuluft- und Raumlufttemperatur ^b [D.3]	Luftfeuchte [D.4]
Art der Anlage/Funktion													
Lüftungsanlage	(F) Z	2	1	1	0	1	2	1	2	0	0	2	0
	(F) H	2	1	1	1	1	2	1	2	2	0	2	2
	(F) C	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2
	(F) MD	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2
Teilklimaanlage	(F) HC	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2
	(F) HM/HD/CM/CD	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2
	(F) MD	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2
	(F) HCM/MCD/CHD/HMD	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2
Klimaanlage	(F) HCMD	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2
^a Außenluft, Zuluft und Abluft. ^b In Abhängigkeit von Regelungsgrundsätzen, falls erforderlich. Erläuterungen: 0 Messung nicht erforderlich 1 in allen Fällen durchzuführen 2 nur durchzuführen, wenn vertraglich vereinbart													

Zulässige Unsicherheiten der Luftvolumenstrommessung je Einzelraum bzw. für die Gesamtanlage liegen lt. EN12599 bei 15 Prozent bzw. 10 Prozent (siehe Tabelle 2.3).

Tabelle 2.3: Zulässige Unsicherheiten der Messung (EN 12599)

Messgrößen	Messunsicherheit ^a
Luftvolumenstrom, je Einzelraum	± 15 %
Luftvolumenstrom, je Anlage	± 10 %
Zulufttemperatur	± 2 °C
Relative Feuchte (en: relative humidity, RH)	± 15 % RH
Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich	± 0,05 m/s
Lufttemperatur im Aufenthaltsbereich	± 1,5 °C
A-bewerteter Schalldruckpegel im Raum	± 3 dBA

^a Diese Europäische Norm legt keine Abweichungen für die Auslegungswerte fest. Das Ergebnis wird akzeptiert, wenn der Auslegungswert im Bereich der Messunsicherheit liegt.

Der Umfang der durchzuführenden Messungen kann variabel sein und wird lt. EN 12599 in vier Klassen (A-D) definiert bzw. unterteilt. Die Wahl der Klasse obliegt dem Auftraggeber und sollte im Installationsvertrag festgelegt werden, erfolgt dies nicht so ist nach den Anforderungen der Klasse A zu messen. Im Allgemeinen sind in Ausschreibungen und entsprechenden Verträgen in Österreich diese Klassen nicht definiert wodurch eine Messung nach Klasse A erfolgen darf. Für eine Überprüfung der Einregulierung einer Anlage ist das jedoch zu wenig wenn man sich das Beispiel in Abbildung 2.12 ansieht. Lt. EN 12599 müssen bei mehreren ähnlichen Systemen nicht alle Systeme vermessen werden (je nach Anforderungsklasse). Das bedeutet, dass zum Beispiel Räume mit ähnlichen Luftauslässen und ähnlichen Volumenströmen zusammengefasst werden können und nur einzelne exemplarische Messungen (Stichproben) durchgeführt werden müssen. In dem Beispiel aus Abbildung 2.12 bedeutet das, dass bei 100 ähnlichen Drallluftauslässen bei Kategorie D alle 100 vermessen werden müssten und bei Kategorie A lediglich 10 Stück.

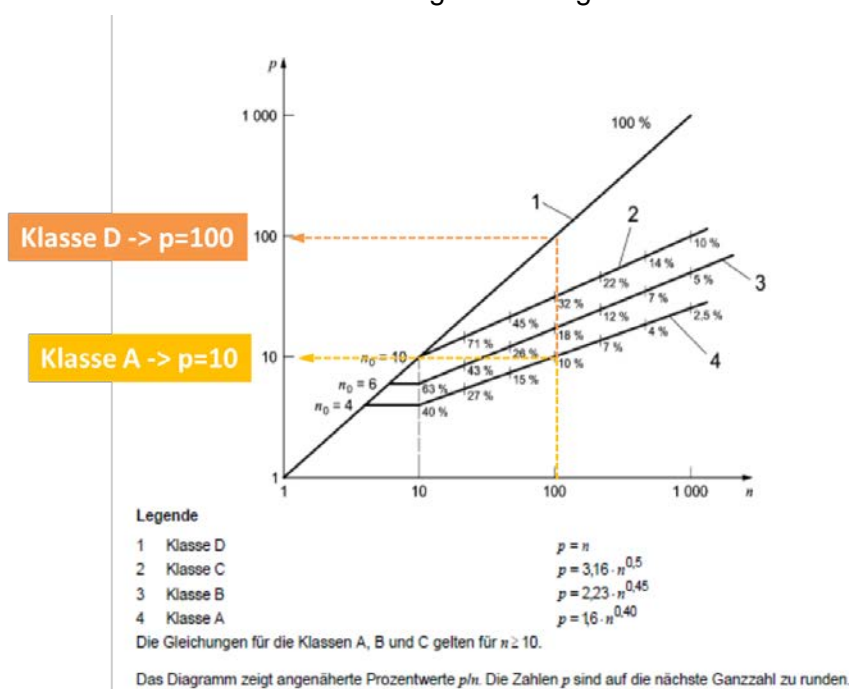


Abbildung 2.12: Zu prüfende Anzahl p von n ähnlichen Situationen – Beispiel für 100 ähnliche Luftauslässe (nach EN 12599)

Luftvolumenstrommessung

Prinzipiell kann lt. EN 12599 zwischen folgenden Messungen unterschieden werden:

- Messung im Lüftungskanal
- Messungen an Drosselgeräten
- Messungen im Kammer-, Ventilatorgehäuse oder Gerätequerschnitt
- Messung am Luftauslass

Für das gegenständliche Sondierungsprojekt sind im Wesentlichen die Messungen im Lüftungskanal und am Luftauslass relevant und werden im Folgenden näher beschrieben.

Messung im Lüftungskanal

Wird in einem Lüftungskanal gemessen so erfolgt die Bestimmung über die Messung der Luftgeschwindigkeit (Berechnung über den entsprechenden Kanalquerschnitt). Da die Luftgeschwindigkeit über den Querschnitt jedoch nicht konstant ist muss an mehreren Punkten gemessen werden. Hierfür stehen je nach Kanal das Trivialverfahren für rechteckige Kanäle und das Schwerlinienverfahren für runde Kanäle zur Verfügung.

Messung am Luftauslass

Entsprechend den Vorgaben der EN 12599 stehen für die Messung des Luftvolumenstroms an einem Luftauslass folgende Verfahren zur Verfügung:

- Beutelverfahren
- Trichtermessung
- Kompensationsverfahren
- Messung des Referenzdrucks

Bei ausführenden Firmen in Österreich kommt vorwiegend das Trichterverfahren (Abbildung 2.13) zum Einsatz wobei es hierbei auch Anbieter gibt die eine Kompensation des Druckverlustes durch den Luftauslass mitberücksichtigen (Abbildung 2.14). Die Trichtermethode kann jedoch vor allem bei Luftauslässen mit Drallströmung zu Verfälschungen des Ergebnisses führen (Falschströmung) – hierfür stehen auch Geräte mit Strömungsgleichrichtern zur Verfügung (jedoch mit höherem Druckverlust).

Viele Anlagenbetreiber führen zur Messung an Luftdurchlässen eine Art Schwerlinienverfahren am Luftauslass (vor allem an Lüftungsgittern) durch die lt. Norm nicht anzuwenden ist. In diesen Fällen müsste ebenfalls ein passender Trichter, Messung des Referenzdruckes oder eine Messung im Anschlussrohr erfolgen.



Abbildung 2.13: Messtrichter inkl. Flügelradanemometer für kleine Luftauslässe (z.B.: Tellerventile) (Quelle: TESTO)



Abbildung 2.14: Messhaube zur Messung nach der Trichtermethode an großen Drallluftauslässen (Quelle: TESTO)

Inspektionswerkzeuge

Aufgrund der schon angesprochenen rechtlichen Rahmenbedingungen und Normen gibt es bereits mehrere Inspektionsleitfäden und Tools unterschiedlicher Institutionen:

- Energieeffizienz bei Lüftungsanlagen [MA27]
- Leitfaden für Audits an Lüftungsanlagen [BMLFUW]
- Statusreport 5 [FGK2011]
- Softwaretool ElnrA- Energetische Inspektion RLT- Anlagen der TU Darmstadt [TUD2011]

Die von der MA27 herausgegebene Broschüre zur Energieeffizienz bei Lüftungsanlagen hat die Zielsetzung praxistaugliche Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz bei Neu- und Bestandsanlagen zu eruieren und umzusetzen. Primär werden dabei Empfehlungen zur Erreichung eines niedrigeren Strombedarfs gegeben. Dies soll durch Maßnahmen wie ein Ventilatortausch, Reduzierung der Betriebszeiten und Ortung von Leckagen im Luftleitungsnetz erreicht werden. Zusätzlich wird eine Checkliste als Hilfestellung zur Analyse der Anlage bereitgestellt [MA27]. Der zweite Leitfaden steht in Verbindung mit der ÖNORM EN 16247-3, welche sich mit Energieaudits beschäftigt. Dieser dient als Hilfestellung zur Datenerfassung und Analyse. Auch hier werden Maßnahmen wie Volumenstromanpassung, Tausch von Ventilatoren und Betriebszeiten beleuchtet [BMLFUW]. In Deutschland wird primär der Statusreport 5 als Hilfsmittel zur energetischen Inspektion verwendet. Dieser bildet auf einfachem und verständlichem Weg die DIN SPEC 15240 ab. Zusammenfassend ist das Ziel aller angeführten Broschüren und Leitfäden die Steigerung der Energieeffizienz von Neu- und Bestandsanlagen. Sie bieten durch Checklisten und Leitfäden eine einfache und schnelle Möglichkeit grobe Ineffizienzen zu verhindern bzw. zu eruieren. Bei

bestehenden Anlagen geschieht dies primär durch eine punktuelle Betrachtung und Datenerfassung der Anlage. Die Vorteile dieser Methode liegen im geringen Zeitaufwand sowie der daraus resultierenden geringen Kosten. Nachteilig ist jedoch, dass nur ein oder ein paar künstlich hervorgerufene Anlagenzustände betrachtet werden können. Typische Ineffizienzen wie falsche Betriebszeiten oder Stellsignale der Wärmerückgewinnung ergeben sich jedoch oftmals über Teillastzustände der Anlage und sind nur schwer oder gar nicht durch eine statische Betrachtung zu eruieren. Das Softwaretool EInrA (energetische Inspektion von RLT- Anlagen) der TU- Darmstadt zeichnet sich durch eine Simulation im Stundenschrittverfahren aus und ermöglicht somit eine detaillierte Darstellung des Energiebedarfs (Wärme, Kälte und Strom) einer RLT-Anlage. Die Berechnung erfolgt für 8.760h eines Jahres mittels einer stationären thermodynamischen Ermittlung zwischen Außen- und Zuluftzustand. Daten des Deutschen Wetterdienstes fungieren als Basis der Außenluftwerte. Die Anlagenkonfiguration ist frei wählbar [TUD2011]. Dieses Tool wird jedoch nicht an Dritte weitergegeben. Somit hat es im Kontext der energetischen Inspektion keinen weiteren Stellenwert.

2.2 Messtechnische Überprüfung ausgewählter Komponenten

Eine zentrale Aufgabe der Sondierung war die messtechnische Überprüfung von geeigneten Teilkomponenten für eine semi-automatisierte Luftmengeneinregulierung. Methodisch wurden zunächst marktverfügbare Luftereinregelungskomponenten identifiziert und analysiert. Weiters wurden geeignete Lüftungskomponenten als Funktionsmuster beschafft und erste technische Funktionsüberprüfungen in einer geeigneten Laborinfrastruktur durchgeführt. Die Funktionsüberprüfungen umfassten sowohl die Mess- und Steuertechnik als auch die Kommunikationstechnologien. Die Übertragbarkeit einer funktionierenden technischen Systemlösung für den hydraulischen Abgleich von wassergeführten Heißwasserverteilsystemen auf die Einregulierung von Luftmengen in Luftverteilsystemen wurde durch messtechnischer Untersuchung von Einzelkomponenten überprüft.

Volumenstromregler

Volumenstromregler halten den vorgegebenen Volumenstrom, kanaldruckunabhängig, für Zu,- und Abluft konstant. Es wird unterschieden in Konstantvolumenstromregler mit festem Sollwert, Volumenstromregler mit Umschaltung zwischen zwei Sollwerten und Volumenstromregler mit variablen Sollwerten.

Drosselklappe

Eine Ausnahme bilden Volumenstrombegrenzer oder Drosselelemente. Diese Elemente haben einen vordefinierten Druckverlust und werden meist in das Leitungssystem eingeschoben. Sie dienen zur Vordrosselung des Volumenstroms und helfen Strömungsgeräusche zu vermeiden. Diese können als Drosselelemente aus Schaumstoff oder als Schlitzschieber ausgeführt werden. Diese Methode zur Mengenregulierung ist besonders geeignet für kleine Netze mit Bekannten Druckverlusten.

Die **Positionierung** der Einbauten kann im Lüftungsverteiler (Wohnbaulüftung), im Strang oder unmittelbar vor den Auslässen vorgenommen werden.

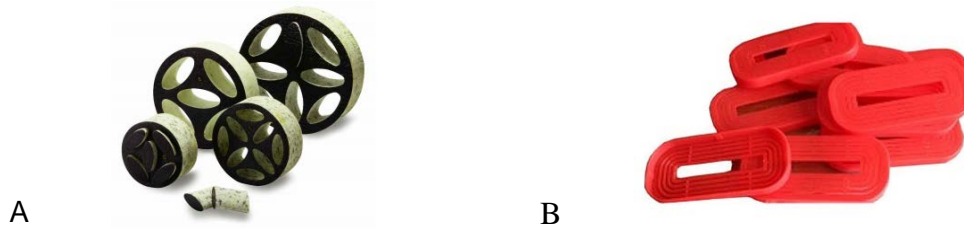


Abbildung 2.15: Volumenstromdrosselemente, A: Helios, B: Viessmann

Mechanisch selbsttätige Volumenstromregler ohne Fremdenergie

Mechanisch selbsttätige Regler für Zu- und Abluftsysteme mit konstantem Volumenstrom benötigen keine Energieversorgung. Sie eignen sich vor allem bei der Einregulierung von Volumenströmen. Um die Einwandfrei Funktion zu garantieren ist ein minimaler Vordruck von 30-50 Pa notwendig [1]. Der gewünschte Volumenstrom kann werksseitig oder nachträglich verändert werden. Je nach Hersteller sind Bauformen erhältlich die ein Einschleiben in einen vorhandenen Kanal ermöglichen (Wildeboer, Trox). Die Genauigkeit liegt je nach mechanischer Bauart zwischen 5 und 10 Prozent. Der Sollvolumenstrom, kann durch Umschalten zwischen zwei Sollwerten, verändert werden. Die Regelmechanik hält den eingestellten Volumenstrom auch bei veränderten Druckverlusten im Netz konstant. Eine Vollabsperrung ist nicht möglich.

Die **Positionierung** kann vor den Luftauslässen im Raum oder am Stranganfang erfolgen.

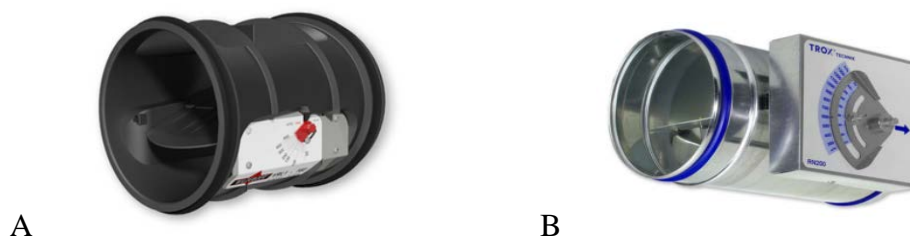


Abbildung 2.16: Mechanische Volumenstromregler ohne Fremdenergie, A: Wildeboer, B: Trox

A: Wildeboer, Typ: VRL1, Volumenstrombegrenzer

- Größe: 80 – 250 [mm]
- Druckbereich: 30 – 300 [Pa]
- Einbauart: Einschub

B: TROX, Serie: RN, mechanisch selbsttätige Volumenstromregler

- Größe: 80 – 400 [mm]
- Druckbereich: 50 – 1000 [Pa]
- Einbauart: Zwischenstück

Volumenstromregler mit Fremdenergie

Volumenstromregler mit Fremdenergie werden elektrisch oder in seltenen Fällen pneumatisch mit Energie versorgt. Über eine entsprechende Messvorrichtung wird der Volumenstrom gemessen und über Regler und Stellmotor geregelt.

Bei der Planung von RLT Anlagen und dem nachträglichen Einbau von Mess- und Regelorganen ist die Einhaltung der Anströmstrecken von bedeutender Wichtigkeit. Dieses Kriterium ist ausschlaggebend, da bei nicht Einhaltung, die Genauigkeit von den Herstellerangaben abweichen kann. Die Genauigkeit liegt je nach verwendetem Messsystem bei 2 bis 5 Prozent.

Der Sollvolumenstrom kann über die Gebäudeleittechnik oder die Luftqualität geregelt werden. Als Messsensoren kommen immer öfter CO₂ oder Mischgassensoren zum Einsatz. Je nach Konzentration wird der Volumenstrom den Anforderungen angepasst [1].

Wird über die Zuluft der Raum gekühlt oder beheizt muss der Volumenstrom der Kühl, und Heizlasten nachgeführt werden.

Für Energieeffizienzmaßnahmen sind Volumenstromregler mit eingebauter Mess,- und Regelstrecke ein wichtiges bauteil. Sie liefern Daten über Ist- Volumenstrom, Druck und Klappenstellung. Diese Daten können für einen effizienten Betrieb der Anlage verwendet werden.



Abbildung 2.17: Volumenstromregler mit Fremdenergie, A: Schako, B: Alnor, C: Belimo

A: SCHAKO, Typ: VRA Smart Volumenstromregler

- Größe: 100–400 [mm]
- Messmethode: Differenzdruck
- Einbauart: Zwischenstück

B: ALNOR, Typ: GBL- Irisblende

- Größe: 100–315 [mm]
- Messmethode: Differenzdruck
- Einbauart: Zwischenstück

C: BELIMO, Serie: CMV Compact Volumenstromregler

- Größe: 100–160 [mm]
- Messmethode: Thermisches Anemometer
- Einbauart: Einschub

2.2.1 Funktionstest zu Luftmengeneinregulierung

Die Messungen von unterschiedlichen Volumenstromreglern der Hersteller Pichler, Belimo und des ACTune-Funktionsmusters des Unternehmenspartners myWarm wurden im AIT Wärmepumpen-Labor am Standort Giefinggasse durchgeführt.

1) Volumenstromregler - PICHLER Serie PVSR-R - ohne Dämmschale



Abbildung 2.18: Volumenstromregler von Hersteller Pichler in Messaufbau integriert

Einbaulänge:	270 [mm]
Gewicht:	1,5 [kg]
Messmethode:	Wirkdruckmessung
Einbauart:	Rohrersatz
Messbereich Volumenstrom	102 – 340 m ³ /h
Luftdichtigkeit gemäß EN1751	Klasse 3

2) Volumenstromregler BELIMO, Serie: CMV Compact Volumenstromregler



Abbildung 2.19: Volumenstromregler von Hersteller Belimo, Quelle: http://www.belimo.ch/pdf/d/CMV-..-MP_de-ch.pdf [Stand 26.11.2015]

Einbaulänge:	230 [mm]
Gewicht:	0,25 [kg]
Messmethode:	Thermisches Anemometer
Einbauart:	Einschub
Messbereich Luftgeschwindigkeit	0,3 – 0,7 [m/s]
Messbereich Volumenstrom	85 – 198 m ³ /h
Luftdichtigkeit gemäß EN1751	Klasse 3

3) ACTune-Funktionsmusters des Wirtschaftspartners myWarm

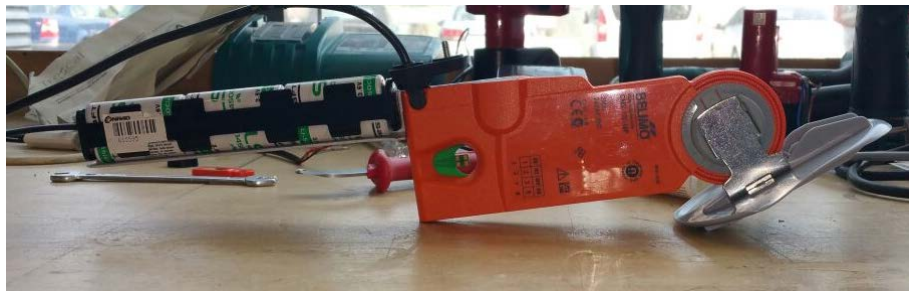


Abbildung 2.20: Funktionsmuster des Wirtschaftspartners myWarm

Einbaulänge:	ca. 410 [mm]
Gewicht:	ca. 0,5 [kg]
Messmethode:	Thermisches Anemometer
Einbauart:	Einschub
Messbereich Luftgeschwindigkeit	0,3 – 0,7 [m/s]
Messbereich Volumenstrom	85 – 198 m ³ /h
Luftdichtigkeit gemäß EN1751	Klasse 3

Der Messaufbau wurde derartig gestaltet, dass Messungen für alle vorgesehenen Varianten gemäß Kapitel 0 durchgeführt werden konnten. Er umfasst Rohrleitungen in DN100 sowohl mit geraden Abschnitten als auch mit Bögen, Messungen des Volumenstroms, einen Ventilator, eine SPS-Steuerung und eine Messwerterfassung.



Abbildung 2.21: Messaufbau



Abbildung 2.22: Kalibrierte
Volumenstrommessung



Abbildung 2.23: Lüfter am Messaufbau



Abbildung 2.24: Steuerung und
Messwerterfassung

Aufbauvarianten

Das Projektteam hat zielführend Versuchsvarianten fixiert. Dies betrifft die Volumenstrombereiche für die zu testenden Komponenten zur Luftmengeneinregulierung und die jeweilige Einbausituation im Luftkanal. Der Versuchsaufbau ermöglichte das Testen der Funktionsgenauigkeit der jeweiligen Komponente in zwei unterschiedlichen Ausführungen a) in einem geraden Rohr und b) in einem Rohrbogen verbaut. Die jeweiligen Einbausituationen wurden folgendermaßen realisiert:

- **Gerader Rohrabschnitt:** Die Komponente wurde mit ausreichend langer Einlauf- und auch Auslaufstrecke montiert.
- **Rohrbogen – Anströmung seitlich:** Die Komponente wurde direkt nach dem Rohrbogen montiert. Es ist keine ausreichend lange Einlaufstrecke gewährleistet. Die Auslaufstrecke ist etwa 1m lang. Die Anströmung erfolgte jeweils von der linken Seite (siehe Abbildung 2.26).
- **Rohrbogen – Anströmung oben:** Die Komponente wurde direkt nach dem Rohrbogen montiert. Es ist keine ausreichend lange Einlaufstrecke gewährleistet. Die Auslaufstrecke ist etwa 1 m lang. Die Komponenten wurde von der Einbaulage her so montiert, dass die Anströmung quasi von oben auf die Komponente erfolgt.

Tabelle 2.4 gibt einen Überblick über die verschiedenen ausgeführten Versuchsvarianten und ordnet diese Kürzel zu.

Tabelle 2.4: Variantenübersicht der durchgeführten Messungen

Komponente	Einbausituation	Variantenbezeichnung
Pichler	Gerader Rohrabschnitt	PG
Belimo	Gerader Rohrabschnitt	BG
	Rohrbogen – Anströmung seitlich	BBS
	Rohrbogen – Anströmung oben	BBO
myWarm-Prototyp	Gerader Rohrabschnitt	WG
	Rohrbogen – Anströmung seitlich	WBS
	Rohrbogen – Anströmung oben	WBO

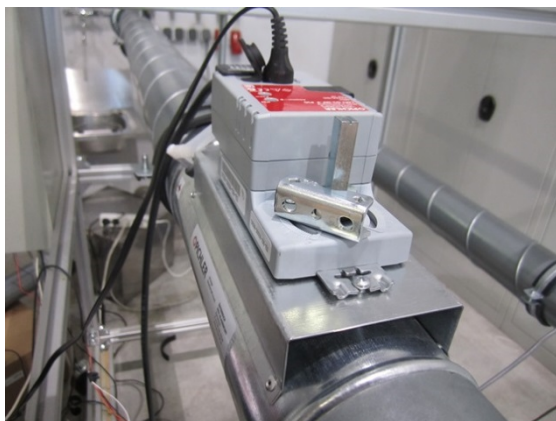


Abbildung 2.25: Komponente Pichler in geradem Rohrabschnitt mit ausreichender Ein- und Auslaufstrecke



Abbildung 2.26: Komponente Belimo direkt nach Rohrbogen ohne ausreichende Einlaufstrecke mit seitlicher Anströmung

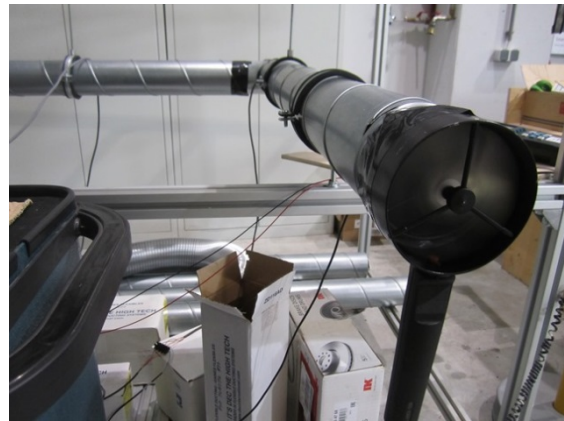
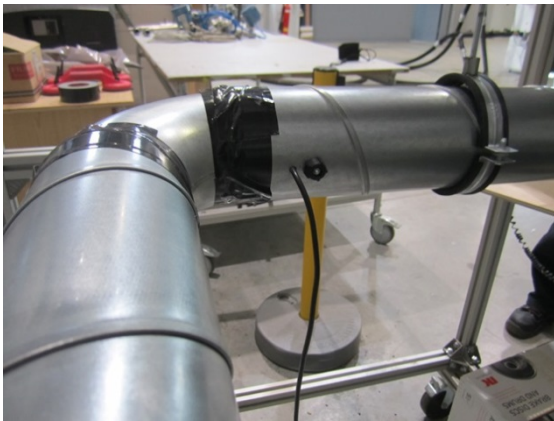


Abbildung 2.27: Komponente Belimo direkt nach Rohrbogen ohne ausreichende Einlaufstrecke mit Anströmung von oben

Durchführung

Je Messung wurde der Ventilator in verschiedenen Stufen betrieben. Dazu wurde vor Beginn der 1. Messung eruiert, welcher Volumenstrom sich ergeben würde ohne jegliche Begrenzung im geraden Rohr. Dabei ergab sich ein Bereich zwischen etwa 100 m³/h und etwa 420 m³/h. Für alle Messungen wurde diese Begrenzung herangezogen, in Stufen unterteilt und ggf. auf 0-100 Prozent skaliert. Weiters wurde je zu messender Komponente anhand der Herstellerdaten der jeweils einzustellende SOLL-Volumenstrom unterteilt. Aus dieser Vorgehensweise ergibt sich eine umfangreiche Messmatrix mit einer Vielzahl von Variationen. Die Durchführung wurde so gestaltet, dass je Komponente und je SOLL-Volumenstrom der Komponente eine Rampe der Stufen des Verdichters gefahren wurde mit einer ausreichend langen Periode eines stationären Zustands. Die Rampe wurde sowohl ansteigend, als auch abfallend realisiert, um herauszufinden, ob und wie ein Einfluss aufgrund des vorherigen Volumenstroms besteht. Abbildung 2.28 zeigt im obersten Bereich zuerst den Anstieg der Ventilatorenstufe und dann die Reduktion.

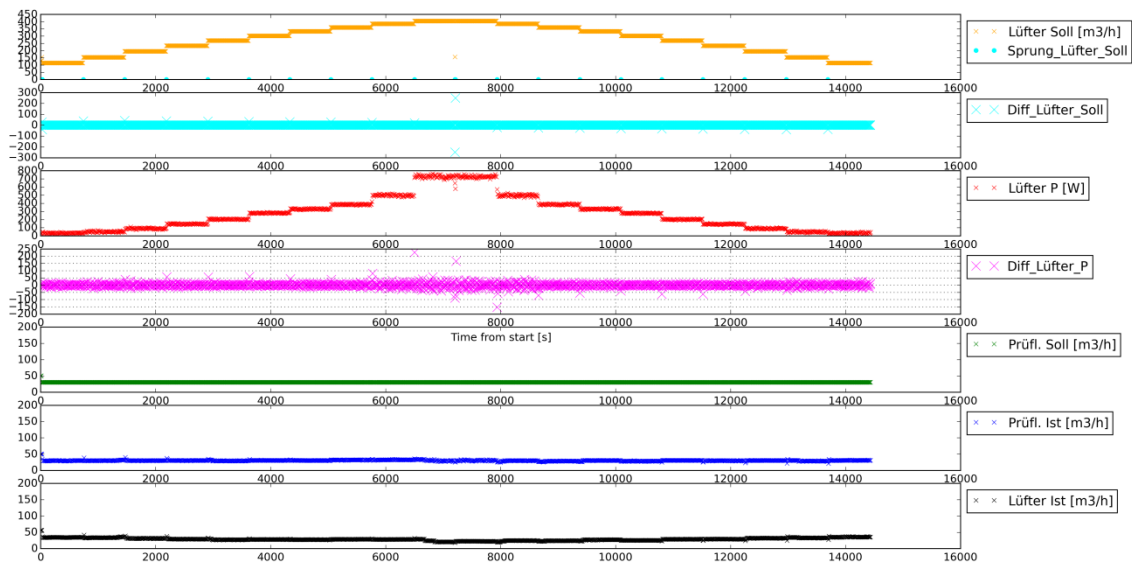


Abbildung 2.28: Beispielhafter Verlauf eines Meßzyklus mit ansteigendem und abfallendem SOLL-Volumenstrom

Auswertung

Vor Beginn der Analyse der Funktionsgenauigkeit wurden eine Funktionsanalyse und eine Signalanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse der Funktionsanalyse (Parameter am MP-Bus) wurden im Labortagebuch dokumentiert und sind dort nachzulesen. Zur korrekten Ansteuerung und Messwerterfassung der jeweiligen Komponente wurde die Signalübertragung analysiert.

Zur Analyse der Funktionsgenauigkeit wurden folgende Messergebnisse gegenübergestellt:

- Soll-Volumenstrom der der Komponente vorgegeben wird (jeweils x-Achse),
- Ist-Volumenstrom den die Komponente misst und zurückgibt (orange Kreuze und linear interpoliert) und
- Ist-Volumenstrom den das Labormessgerät misst (rote Punkte und linear interpoliert)

Exemplarische wird in Abbildung 2.29 das Messergebnis der Variante PG, in der die Komponente Pichler in einem geraden Rohrabschnitt eingebaut wurde. Die Ergebnisse aller weiteren Versuchsvarianten sind dem Anhang zu entnehmen.

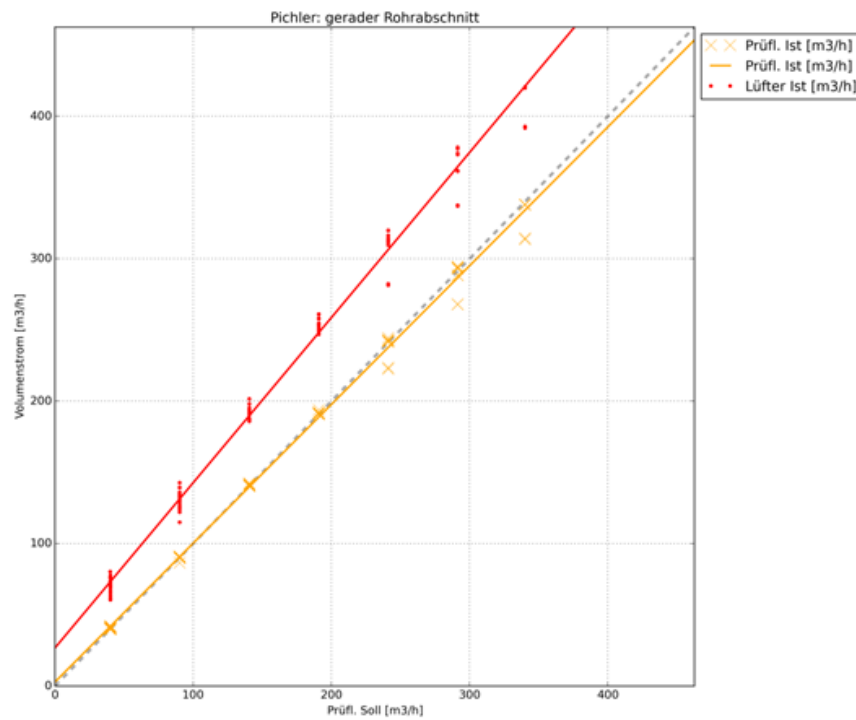


Abbildung 2.29: Analyse der Funktionsgenauigkeit - Variante PG

2.2.2 Überprüfung der Signalübertragung in typischen Einbausituationen

Die Aufgabenstellung bestand darin geeignete technische Lösungsmöglichkeiten für die Einbindung in das myWarm Funk-Kommunikationssystem zu sondieren, vor dem Hintergrund typischer Einbausituationen in RLT-Bestandsanlagen. Für typische Einbausituationen wurden wesentliche Einflussfaktoren auf die Signalübertragung identifiziert. Diese sind im Wesentlichen:

- Verlässlichkeit der Signalübertragung in allen Betriebszuständen
- Reichweite der Signalübertragung
- Aufwände für den Einbau
- Voraussetzungen für den Einbau
- Anwendbarkeit für möglichst viele Einbausituationen
- Änderungsaufwände am myWarm-Funkprotokoll

In der Überprüfung der Signalübertragung mittels Funk wurden typische Einbausituationen aus dem Bestand in den Mittelpunkt gestellt, um Lösungsansätze mit möglichst breitem Praxisbezug zu verfolgen. Bei der Analyse der typischen Einbausituationen wurden folgende für die Signalübertragung bedeutsame Eigenschaften festgestellt:

- Für die Luftverteilung kommen in typischen Einbausituationen metallische Rohre in runder sowie eckiger Querschnittsausführung in unterschiedlichen Dimensionen zum Einsatz
- Konditionierte Räumen sind mit Luftauslässen sowie -einlässen unterschiedlicher Form, Mechanik, Materialien und Arten der Strömungsbeeinflussung ausgestattet.

- Die Auswahl der Luftauslässe orientiert sich sowohl an architektonischen als auch an konditionierungsrelevanten Fragestellungen.

Im Rahmen der Sondierung wurden verschiedene Lösungsansätze zur Luftmengenregulierung und Messung überlegt. Vielversprechende Lösungsansätze zur Luftmengenmessung und -regelung bedingen allesamt, dass die Mess- & Reguliereinheit nach physischer Demontage des Auslasses als Luftmengenreguliereinheit ins Rohr einzuschieben ist und dass der Auslass danach wieder montiert wird.

Produktionspraktische Überlegungen und die Anforderungen für eine möglichst genaue Luftmengenmessung mit laminarem Strömungsbild geben eine Platzierung der Mess- und Steuerelektronik jeweils in Strömungsrichtung vor dem Regulierelement vor. Damit ist je nach Einbau in den Zu- oder Abluftkanal die Lage der Mess- und Reguliereinheit und damit der Elektronik entgegengesetzt ausgerichtet.

Aufgrund dieser identifizierten Rahmenbedingungen wurden zwei mögliche Wege der Funksignalübertragung sondiert:

- Signalübertragung im Rohrsystem
- Signalübertragung außerhalb des Rohrsystems

Signalübertragung im Rohrsystem

Metallische Flächen haben auf Funksignale in der verwendeten Frequenz eine abschirmende bzw. reflektierende Wirkung. Bei der Signalübertragung im Rohrsystem kommt es an den metallischen Oberflächen zu Reflektionen und damit zu Signaldämpfungs- oder Verstärkungseffekten, der Welle und des aufmodulierten Signals, welche abhängig von Rohrdimension und -führung ist. Ebenfalls beeinflussend auf die Signalweiterleitung sind metallische Einbauten, wie Klappen oder Register, von denen in bestehenden Anlagen auszugehen ist. Die Signaldämpfung des Funksignals durch Metallrohr und Auslass verringert die Signalreichweite auf weniger als 10 Prozent der typischen Signal-Reichweite bei Einhaltung der EU EMV-Richtlinien in Gebäuden. Diese liegt bei freier Sicht bei ca. 30m. Im Rahmen des Sondierungsprojektes wurden probeweise Signalübertragungen aus einem DN100-Rohr mit aufgesetztem Metall-Tellerventil (typische Einbausituation) getestet und die angegebene Verringerung der Signal-Reichweite konnte festgestellt werden.

Aufgrund der Abschirmung durch das Metall sollten Funk-Repeater in das Rohrsystem eingebracht werden. Dafür müsste das Rohrsystem an bestimmten Stellen geöffnet und ein Funk-Repeater samt nötiger Netzversorgung ins Rohrsystem einbracht werden. Eine Steigerung der Sendeleistung der Stellgeräte ist aufgrund der im SRD Band vorgegebenen Grenzwerte nicht möglich.

Signalübertragung außerhalb des Rohrsystems

Die Signalübertragung außerhalb des Rohrsystems über bis zu 500 netzversorgte Repeater in Gebäuden beliebiger Bauart und Größe ist durch die laufende Anwendung des myWarm Funk-Kommunikationssystems für den hydraulischen Abgleich erprobt und erfolgreich im

Einsatz. Der für die Signalübertragung wichtigste Unterschied zur Einbausituation der Stellmotoren an Heizkörperventilen im Rahmen des hydraulischen Abgleichs ist die Abschirmungssituation für den Stellmotor und die integrierte Elektronik im Metallrohr und durch den Auslass (z.B. Metallgitter).

Daraufhin wurden für die Signalübertragung aus dem Rohr drei Lösungsansätze sondiert:

1. Kabelgebundene Signalweiterleitung vom Stellmotor aus dem Lüftungsaus-/einlass heraus zu einer auf dem Auslass oder in der Nähe des Auslasses fix montierten Antenne.
2. Kabelgebundene Signalweiterleitung vom Stellmotor aus dem Lüftungsaus-/einlass zu einem vom Stellmotor gespeisten Funkmodul
3. Funk- und Signalübertragung an einen in unmittelbarer Nähe des Auslass montierten Funk-Repeater.

Anmerkungen zu 1 - Die kabelgebundene Übertragung des Funksignals an eine externe fix montierte kabelgebundene Antenne sind in verschiedenen Bauarten und Qualitäten auch zur architektonisch unauffälligen Montage für die verwendete Frequenz kostengünstig verfügbar. Der zusätzliche Montageaufwand kann gering gehalten werden, da bei bestimmten Antennenmodellen Klebevorrichtungen verfügbar sind. Der bestehende Stellmotor (myWarm VRE) könnte für diese Lösung aber mit einem geeigneten Antennenstecker (SMA) ausgestattet werden. Dies würde eine Änderung der Fertigung der aktuellen Stellmotoren und eine mechanische Bearbeitung der Gehäuse nötig machen. Beim Design der Kabelführung muss darauf geachtet werden, dass die Luftstromregulierung nicht behindert oder eingeschränkt wird.

Anmerkungen zu 2 - Kabelgebundene Signalweiterleitung vom Stellmotor aus dem Lüftung-Aus-/Einlass zu einem vom Stellmotor gespeisten Funkmodul. Dieser Lösungsweg wurde nach ersten Analysen aus Überlegungen die Wirtschaftlichkeit betreffend verworfen.

Anmerkungen zu 3 - Funk- Signalübertragung an einen in unmittelbarer Nähe des Auslass montierten Funk-Repeater. Die Montage eines Funk-Repeaters in unmittelbarer Nähe des Auslasses würde eine stabile Signalübertragung in den meisten Auslass-Situationen gewährleisten. Folge wäre die Herstellung eines Netzanschlusses zur Stromversorgung ebendort und die Begrenzung der Maximalanzahl an in einem Funknetz verwaltbaren Auslässen von 2.000 auf 500. Dieser Ansatz wurde ebenfalls verworfen.

2.3 Minimal invasive Methode zur energetischen Bewertung

Im Rahmen der Sondierung wurde ein Funktionsmuster zu einem Diagnosetool für eine energetische Inspektion von RLT-Anlage in Betrieb entwickelt, verbessert und an einer existierenden Lüftungsanlage getestet. Die Entwicklung dieser Methode und das programmierte Diagnosewerkzeuges wird im Folgenden beschrieben. Das Diagnosetool wurde während der Projektlaufzeit im Rahmen einer Masterarbeit entwickelt und im Wesentlichen sind nachfolgende Textpassagen dieser Arbeit entnommen [Selitsch].

„RLT- Anlagen zeichnen sich durch eine Aneinanderreihung thermodynamischer Prozesse sowie einer dauerhaften Luftförderung während der Betriebszeiten aus. Die thermodynamischen Prozesse wie Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten sind wiederum vom Wetter und der zu erreichenden Zuluftzustände abhängig. Ob eine RLT-Anlage effizient betrieben wird, wurde bis dato aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes nur vereinfacht beurteilt. Um jedoch belastbare Aussagen zur Performance der Anlage machen zu können, bedarf es einer genauen aber schnellen Analyse. Diese Analyse wurde im Rahmen der Arbeit als semi-automatisierte Fehleranalyse auf Basis Excel (Microsoft 2010) entwickelt. Verglichen werden Ist-Werte aus in-Situ-Messungen (GLT oder zusätzliche Instrumente) mit berechneten Sollwerten aus dem entwickelten Berechnungsmodell. Aus Abweichungen lassen sich Ineffizienzen und somit energetische Optimierungspotentiale aufzeigen.

Zusätzlich wurde auf Basis der Fehleranalyse ein Prognoseverfahren entwickelt, welches die Auswirkungen von Energieeffizienzmaßnahmen bzw. Parameteränderungen hinsichtlich des Energieverbrauchs bewertbar macht.

2.3.1 Verfahren und Abfolge

Der Aufbau beider Anwendungen basiert auf einem Zweischrittverfahren, welches sich in die vorangestellte Datenerhebung und Diagnose gliedert. Die Datenerhebung erfolgt zu Beginn mittels eines Lokalausgangs. Hierfür empfiehlt sich der Inspektionsleitfaden für Lüftungsanlagen der Magistratsabteilung A27 der Stadt Wien [MA27], welcher die wichtigsten Punkte einer Analyse abdeckt. Für die folgende detaillierte Fehleranalyse bzw. Prognose müssen noch zusätzliche Daten beschafft werden, welche je nach Anwendungsfall variieren. Ein Überblick über die notwendigen Daten wird durch die Abbildung 2.30 und Abbildung 2.31 gegeben.

Im zweiten Arbeitsschritt erfolgt die Diagnose mithilfe des entwickelten Diagnosewerkzeuges. Dieses basiert auf einem VBA programmiertem Skript des Tabellenkalkulationsprogrammes Excel, mit dem der/ die NutzerIn die Möglichkeit zu einer detaillierten Fehleranalyse oder Prognose der RLT- Anlage erhält. Die interne Berechnung basiert auf einer Simulation im Zeitschrittverfahren mit einer minimalen Auflösung von einer Minute. Dabei werden die im Gerät vorhandenen technischen Komponenten mathematisch abgebildet und die Zustände (Temperatur, Feuchte, Enthalpie, Dichte) für jeden einzelnen Zeitschritt errechnet. Die Ergebnisse wie Energien, Temperaturen, Feuchtwerte, Stellsignale werden mit den realen Werten in Diagrammen gegenübergestellt und ermöglichen dem/der NutzerIn die Möglichkeit zur Interpretation. Dies ermöglicht Verbesserungspotentiale aufzuzeigen bzw. zu bewerten.

2.3.2 Fehleranalyse

Abbildung 2.30 illustriert den Ablauf der Fehleranalyse, welche in zwei Arbeitsschritte unterteilt ist. Zu Beginn müssen die für das Berechnungsmodell erforderlichen Daten erhoben werden. Der minimale Datensatz zur Fehleranalyse besteht aus folgenden Daten:

- Komponenten
- Art der Regelung
- Volumenstrom

- Luftzustände (Außenluft, Zuluft und Abluft)
- Verbräuche (Strom, Wärme, Kälte)

Nach Abschluss der Datenerhebung werden die erhobenen Daten in die dafür vorgesehenen Arbeitsblätter des Diagnosewerkzeuges eingelesen. Die Rohdaten werden soweit aufbereitet und gesichtet, dass diese weiterverarbeitet werden können. Zusätzlich erfolgt im Eingabeblatt die Angabe der vorhandenen Komponenten und Regelung. Nach Abschluss dieser Vorarbeiten erfolgt die Berechnung der Sollwerte durch das Berechnungsmodell. Konkret berechnet das Modell aufgrund der eingelesenen Luftzustände, des Volumenstroms, der Komponenten und Art der Regelung die fehlenden Luftzustände und den theoretischen Energieverbrauch. Die Ergebnisse werden danach mit den realen Istwerten in Diagrammen gegenübergestellt. Aufgrund von etwaigen Abweichungen lassen sich Rückschlüsse auf das Betriebsverhalten ziehen.

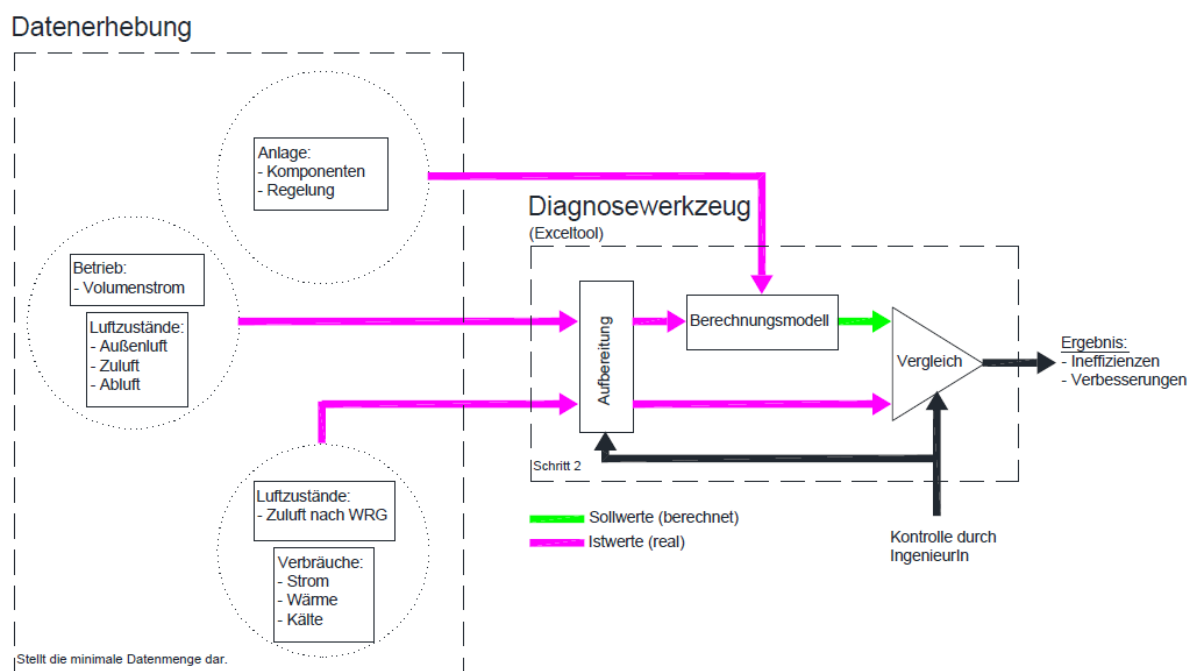


Abbildung 2.30: Fehleranalyse (Quelle Selitsch)

2.3.3 Prognose

Im Gegensatz zur Fehleranalyse bietet der Anwendungsfall der Prognose, die Möglichkeit Änderungen an der Anlage hinsichtlich der energetischen Auswirkungen zu untersuchen. Damit ist es z.B. möglich die Verringerung des Energieverbrauchs durch die Senkung bzw. Anhebung der Zuluft- Solltemperatur im Sommer und Winter zu bestimmen. Abbildung 2.31 zeigt den Ablauf der Untersuchung, dieser erfolgt ebenso wie in der Fehleranalyse durch eine Datenerhebung und dem darauffolgenden Vergleich zwischen Ist- und Soll-Werten im Diagnosewerkzeug. Der Hauptunterschied zur Berechnung der Sollwerte liegt in den dafür verwendeten bzw. benötigten Daten. Im Gegensatz zur Fehleranalyse wird hier nur der Außenluftzustand als Ist-Datensatz verwendet. Die Daten der Zuluft- und Abluftzustände werden aus vorgegebenen Sollwerten durch das VBA- Skript berechnet. Der minimale Datensatz im Prognosefall ist wie folgt:

- Komponenten
- Art der Regelung
- Volumenstrom
- Außenluftzustand
- Sollwerte der Zuluft und Abluft

Für einen aussagekräftigen Vergleich empfiehlt es sich zusätzlich die Energieverbräuche und die Luftzustände der Zuluft und Abluft einzubinden.

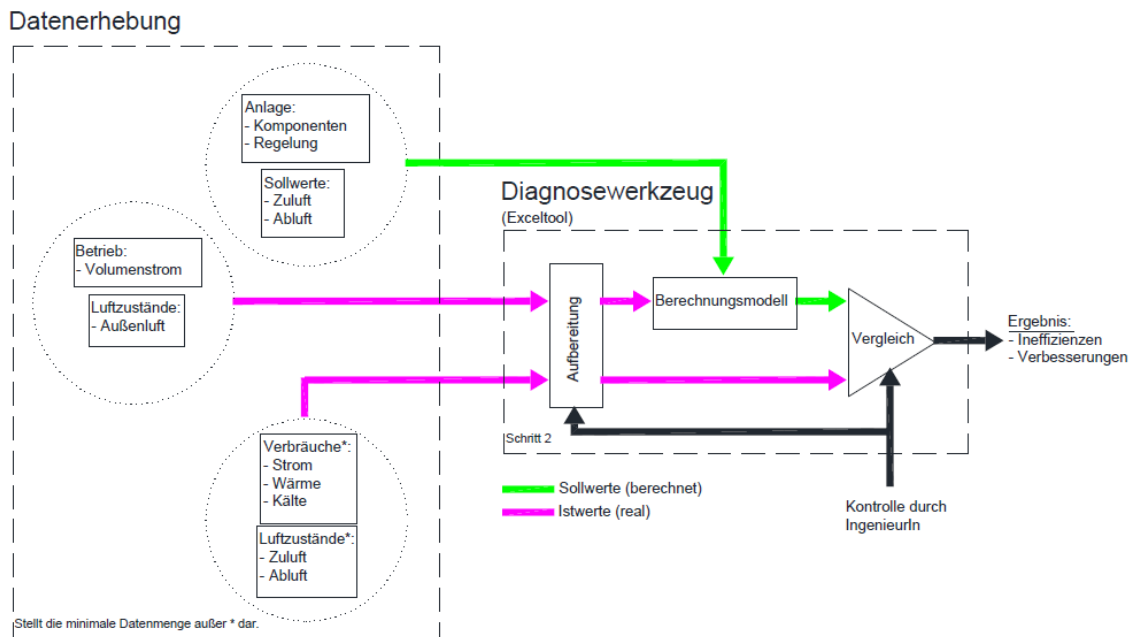


Abbildung 2.31: Prognose (Quelle Selitsch)

2.3.4 Betrachtungsgrenzen

Die Diagnose beschäftigt sich primär mit der Analyse des Zentralgerätes. Das bedeutet, dass es keine detaillierte Beurteilung des Luftleitungsnetzes, der Wärme und Kältebereitstellung gibt. Zur Berechnung der Sollwerte muss die Anlagenkonfiguration, gewählt werden. Die maximale Ausstattung an technischen Komponenten ist in Abbildung 16 dargestellt, wobei jeweils nur ein Zuluft- bzw. Abluftventilator gewählt werden kann.

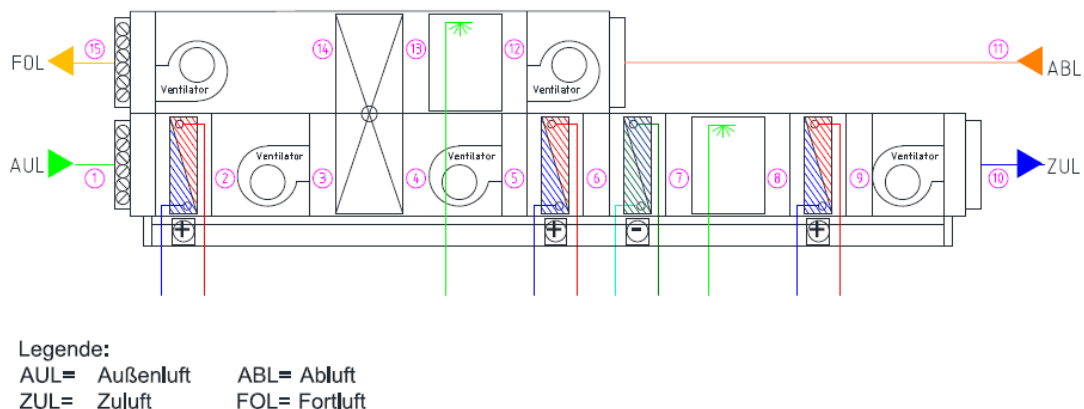


Abbildung 2.32: **Maximalkonfiguration RLT- Anlage** (Quelle Selitsch)

Da jede unterschiedliche Kombination an Bauteilen eine eigene Folge an thermodynamischen Zustandsänderungen bewirkt, wurden diese auf sinnvolle Kombinationen zusammengefasst. Tabelle 2.5 zeigt die Maximalkonfiguration von RLT-Anlagen, die das entwickelte Berechnungsmodell abbilden kann. Damit können Lüftungs-, Teilklima- und Vollklimaanlagen in den angegebenen unterschiedlichen Ausstattungskombinationen berechnet und analysiert werden. Die Wahl des Wärmerückgewinnungssystems und der Bauelemente erfolgt nach den Erfordernissen. Es kann jeweils nur ein Wärmerückgewinnungssystem mit den Bauteilen der Zuluftbehandlung kombiniert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit ein Vorheizregister und oder eine Abluftbefeuchtung zu wählen.

Tabelle 2.5: **Maximalkonfiguration RLT- Anlage** (Quelle Selitsch)

Vorheizregister (Frostschutz)	Wärmerückgewinnung				Zuluftbehandlung					Abluft Befeuchtung
	Platten- WRG (sensibel)	Rotations- WRG (sensibel)	Rotations- WRG (sensibel+latent)	Umluft- WRG	Heizregister	Kühlregister	Verd. Befeuchtung	Nachheizregister	Dampf Befeuchtung	
x										
(x)	x									
		x								
			x							
				x						
(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x					(x)
(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x				(x)
(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x		x	x		(x)
(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x				x	(x)
(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x				(x)
(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	x			(x)
(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x		x		(x)
(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	x	x		(x)
(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x			x	(x)

(x) optional
x gewählt

2.3.5 CASE STUDY

Die Validierung dient zur Überprüfung der Genauigkeit der vom Diagnosetool in den Anwendungsfällen der Fehleranalyse und Prognose errechneten Zustandsgrößen sowie Energieverbräuche im Vergleich zu realen Werten. Hierfür wurden die von der GLT (Gebäudeleittechnik) aufgezeichneten Messdaten einer Teilklimaanlage mit den Rechenwerten des Tools gegenübergestellt und analysiert. Um auch die von der GLT aufgezeichneten Werte zu überprüfen, wurde eine zusätzliche Messung durchgeführt und analysiert.

Anlagenauswahl

Im Falle der RLT-Anlage 3 (LA03) handelt es sich um eine Teilklimaanlage (Fabrikat: Robatherm) zur Belüftung von Büros und Seminarräumen der Fachhochschule Technikum Wien, Giefinggasse 2 im 21 Wiener Gemeindebezirk. Die RLT-Anlage besteht im Wesentlichen aus einem sensiblen Rotationswärmetauscher (WRG), einem Heiz- (HR) und Kühlregister (KR) und zwei drehzahlgeregelten Ventilatoren. Ausgelegt ist die RLT-Anlage auf eine Nennluftmenge von 6.000 m³/h. Abbildung 2.33 zeigt das Anlagenschema, wie es der Darstellung in der Nutzeroberfläche der Gebäudeleittechnik entspricht.

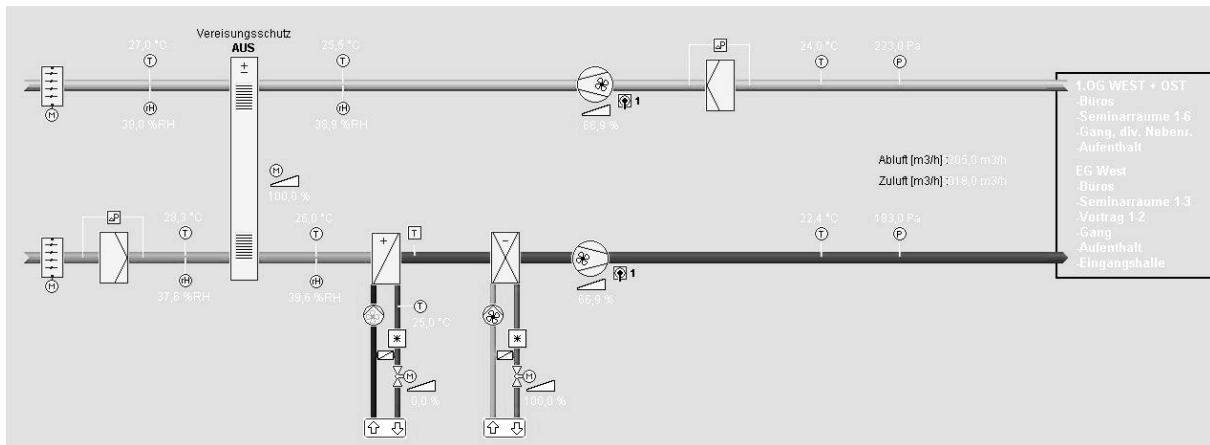


Abbildung 2.33: Anlagenschema (Siemens 2008)

Die Frischluftansaugung erfolgt über einen Luftbrunnen im Süden des Gebäudes, welcher über ein Erdregister mit der RLT-Anlage verbunden ist. Die Fortluft wird in die Garage eingeblasen. Die einzelnen Zonen (Seminarräume, Büros) sind mit Volumenstromreglern ausgestattet. Die Regelung erfolgt aufgrund des in der Abluft gemessenen CO₂-Gehaltes. Steigt der CO₂-Gehalt der Abluft, wird die Klappe im Volumenstromregler geöffnet und der Raum wird mit einer höheren Frischluftmenge versorgt. Dies verursacht einen Druckabfall im Leitungsnetz. Da die Ventilatoren auf einen konstanten vorgegebenen Druck regeln, erhöhen diese die Motordrehzahl und fördern höhere Luftmengen. Die Drehzahlregelung des Rotationswärmetauschers erfolgt über die Temperaturkontrolle. Die Drehzahl des Rotationswärmetauschers wird so angepasst, dass eine Lufttemperatur auf der Zuluftseite möglichst nahe der vorgegebenen Solltemperatur für die Zuluft erreicht wird. Wird die Solltemperatur nicht erreicht, wird entweder geheizt oder gekühlt. Es gibt keine Feuchtebehandlung. Folgend werden die wichtigsten Anlagenparameter (Facility Management 2015) aufgelistet.

- Solltemperatur Sommer: 22°C
- Solltemperatur Winter: 22°C
- Heizregister: 40/30°C
- Kühlregister: 16/10°C
- Rückwärmezahl WRG: 66 Prozent
- Max. Luftmenge Ventilator: 7.500 m³/h
- Motorleistung: 4 KW

- Gesamtdruck: 1,285 Pa

Erste Funktionsüberprüfung

Die Funktionstüchtigkeit des entwickelten Berechnungsmodells wurde auf Basis der GLT-Betriebsdaten der RLT-Anlage LA03 im Bürogebäude ENERGYbase im Zeitraum vom 25.06. bis zum 08.07.2015 überprüft. Mit dem Anwendungsfall Prognose werden ausgewählte Zustandsparameter der RLT-Anlage, zum Beispiel Zuluft- (10) und Abluftwerte (11) sowie Volumenstrom, als sogenannte Soll-Daten vom Berechnungsmodell generiert. Für den Validierungsfall werden die gemessenen Zulufttemperaturen - siehe T10 in Abbildung 2.32 – als Ist-Daten aus der GLT den berechneten Soll-Werten aus dem Berechnungsmodell gegenübergestellt. Gemäß der eingestellten Regelstrategie der RLT-Anlage LA3 ist eine konstante Zulufttemperatur T10_soll von 22°C zu erreichen. Die Umgebungsluft- (1) und Abluftzustände (11) sind ident mit denen aus der GLT. Abbildung 2.34 zeigt den zeitlichen Verlauf der gemessenen und berechneten Werte für den Betrachtungszeitraum. Während der Betriebszeiten, in Abbildung 2.34 entsprechen den Werten für den Parameter *Schedule* gleich eins, generiert das Berechnungsmodell die vorgegebene konstante Zulufttemperatur T10_soll = 22°C. Der Vergleich zwischen der berechneten Zulufttemperatur T10_soll und der gemessenen GLT-Daten T10_ist führt zu dem Schluss, dass im Fall hoher Luftmengen und Außentemperaturen die Solltemperatur von 22°C nicht eingehalten wird. Grund für die zu hohen Zulufttemperaturen ist ein zu leistungsschwaches Kühlregister im Zuluftkanal, d.h. das Kühlregister wurde zu klein ausgelegt und ist für derart große Luftmengen und hohe Außentemperaturen geeignet ist. Daraus resultiert, dass der errechnete Kälteenergiebedarf höhere Werte annimmt als der gemessene Kälteenergieverbrauch – siehe auch Abbildung 2.35.

Weiters wurde anhand des Ist- und Sollabgleichs festgestellt, dass sich die Rückwärmezahl (RWZ) für den Rotationswärmetauscher dynamisch ändert. Im konkreten Anwendungsfall wurde bei einer konstanten Drehzahl des Rotationswärmetauschers mit reduzierter Luftmenge eine signifikant ansteigende RWZ beobachtet. Dieser Zusammenhang sollte anhand einer tiefergehenden Studie bekräftigt werden und mit geeigneter Berechnungsmethode in das Diagnosemodell implementiert werden.“

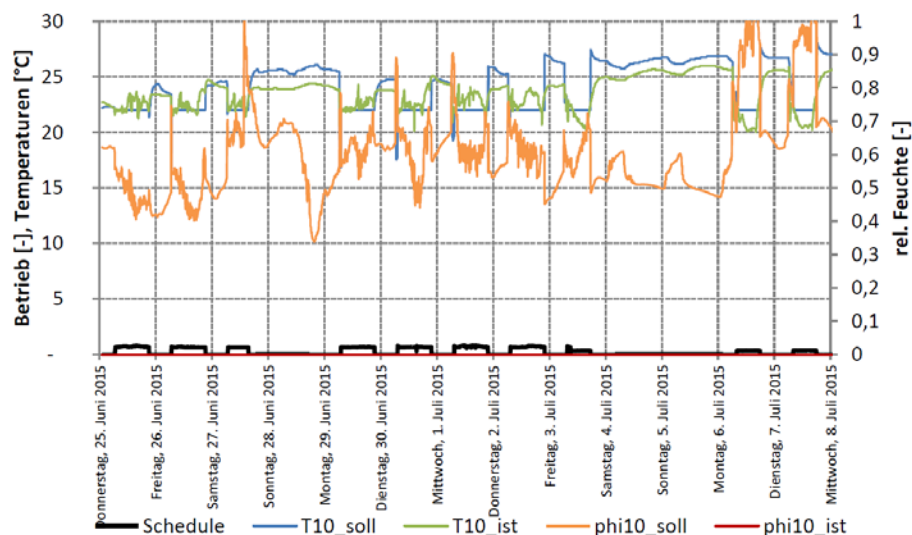


Abbildung 2.34: Zustandsverlauf Pkt.10- Zuluft (Quelle Selitsch)

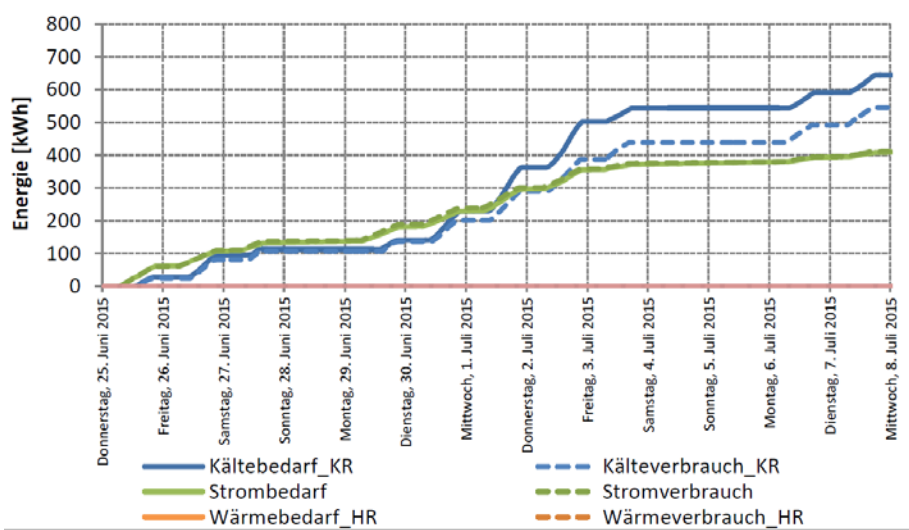


Abbildung 2.35: Energiebedarf und Energieverbrauch (Quelle Selitsch)

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

3.1 Umfeldanalyse

Stimmen aus der Praxis

Im Zuge des Projektes wurde ein Fragebogen an Planer, Ausführende und Betreiber von Lüftungsanlagen verschickt, um festzustellen inwiefern die Einregulierung einer Lüftungsanlage in den unterschiedlichen Lebenszyklusphasen von Bauprojekten (Planung, Errichtung und Betrieb) tatsächlich eine Rolle spielt bzw. umgesetzt wird. Tabelle 3.1 zeigt den versandten Fragebogen – dieser wurde so einfach und kurz wie möglich gestaltet, um eine hohe Rücklaufquote erreichen zu können. Von 18 versandten Fragebögen wurden 10 beantwortet wobei die Aufteilung wie folgt aussah: 3 Planer, 3 Ausführende und 4 Betreiber

Die Ergebnisse der Befragung sind in Abbildung 3.1 bis Abbildung 3.3 zusammengefasst. Abbildung 3.1 zeigt dass lt. Befragung mechanische und variable Volumenstromregler vorwiegend zur Einregulierung von Geschößen weniger in Zonen oder einzelnen Räumen zum Einsatz kommen. Wenn sie in Zonen oder Einzelräumen Verwendung finden, dann wird jedoch eher auf variable Volumenstromregler zurückgegriffen. Ein Großteil der Anlagen wird mit variablem Volumenstrom betrieben.

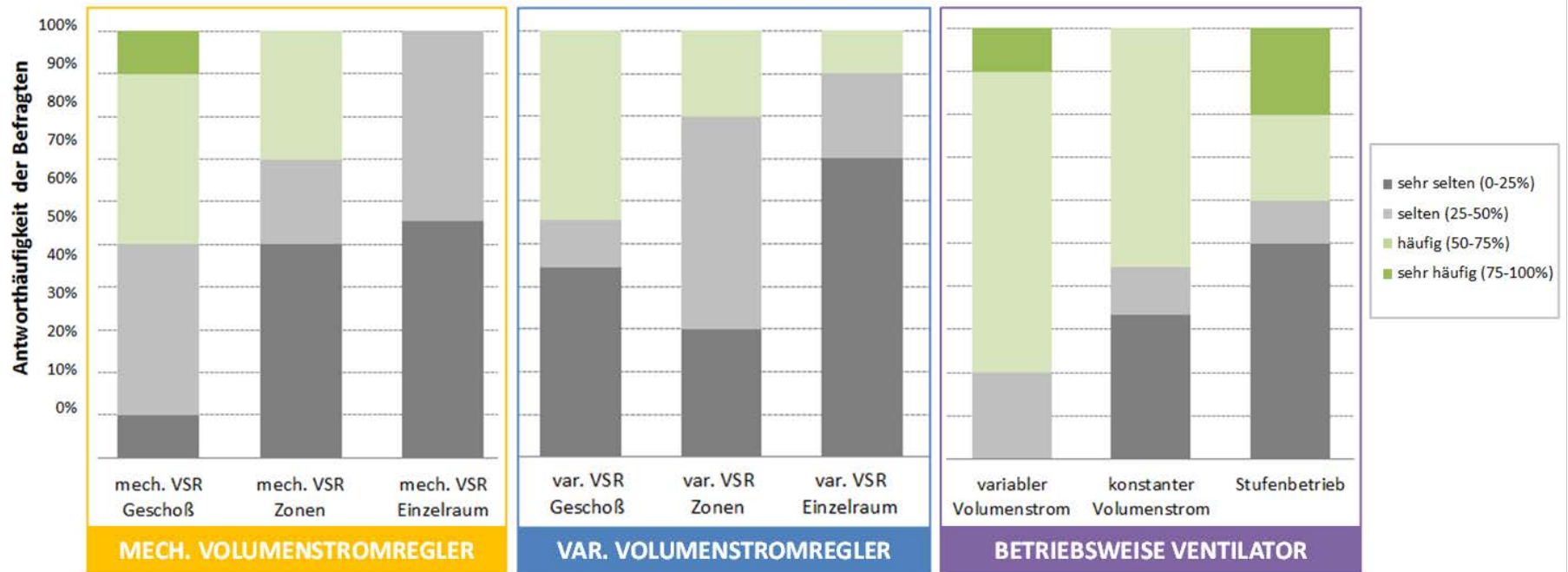
In Abbildung 3.2 sind die Ergebnisse zum Thema Einregulierung zusammengefasst und auf die drei Bereiche Planung, Ausführung und Betrieb aufgeteilt. Hier zeigt sich, dass unterschiedliche Wahrnehmungen diesbezüglich vorliegen. Während beispielsweise die Ausführenden angeben die Einregulierung während der Ausführung eher selten bis häufig durchzuführen, sind die Planer und Betreiber eher gemischter Meinung. Die befragten Betreiber (höchstwahrscheinlich aufgrund von Problemen während des Betriebs) gehen offensichtlich davon ausgeht, dass geplante Komponenten wie z.B.: Volumenstromregler im Laufe des Planungs-/Errichtungsprozesses eingespart wurden. Der Planer ist diesbezüglich gegenteiliger Ansicht.

Interessant sind die Antworten zur Frage hinsichtlich der Anschlusssituation der Luftauslässe - siehe Abbildung 3.3. „Sehr häufig“ bis „häufig“ sind Anschlusskästen verbaut oder auch Flexschläuche werden verwendet. In diesen Fällen kann das ACTune System nur bedingt eingesetzt werden, Voraussetzung dazu ist eine gute Zugänglichkeit über die Zwischendecke und die Luftreguliereinheit kann im Auslass platziert/eingeschoben werden.

Tabelle 3.1: Versandter Fragebogen

Im Fall meines Unternehmens stehen 100% für eine Anzahl an *(ungefähre Anlagenanzahl)* Lüftungsanlagen

			SEHR HÄUFIG 100-75%	HÄUFIG 75-50%	SELTEN 50-25%	SEHR SELTEN 25-0%
VERBAUTE KOMponentEN	mech. Volumenstromregler	Geschoß				
		Zonen				
		Einzelraum				
	var. Volumenstromregler	Geschoß				
		Zonen				
		Einzelraum				
	Betriebsweise Ventilator	variabler Volumenstrom				
		konstanter Volumenstrom				
		Stufenbetrieb				
	Anschluss-situation Luftauslässe	Auslass mit Anschlusskasten				
		Auslass ohne Anschlusskasten (Anbindung an Lüftungskanal über Flexschlauch)				
		Auslass ohne Anschlusskasten (Anbindung an Lüftungskanal über Wickelfalzverbindungsstück)				
		sonstiges ...				
EINREGULIERUNG LÜFTUNGSANLAGE	In Ausschreibung gefordert					
	Im Zuge der Inbetriebnahme tatsächlich durchgeführt					
	Geplante Komponenten zur Lufteinregulierung (Volumenstrombegrenzer, Volumenstromregler, FU etc.) im Zuge der Ausführung eingespart					



n=10, Dienstleistungsgebäude



Abbildung 3.1: Auswertung des Fragebogens zum Thema verbaute Komponenten und Betriebsweise Ventilator

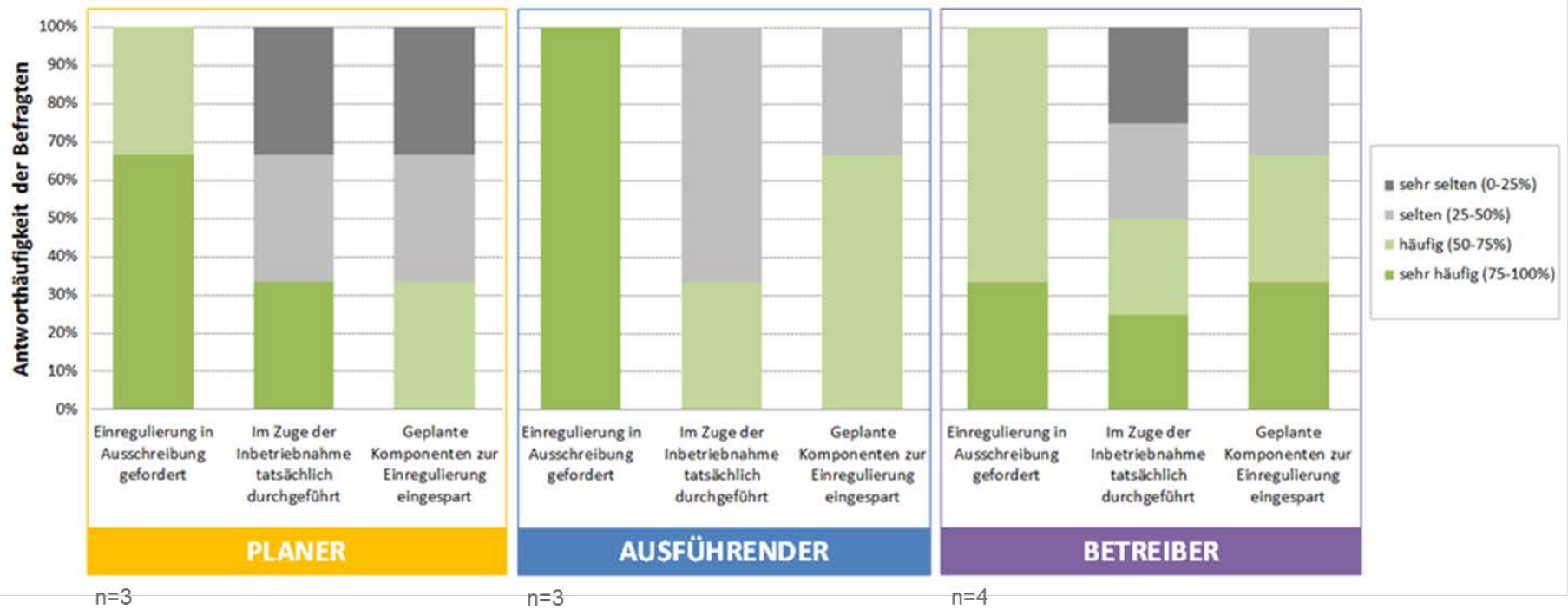


Abbildung 3.2: Auswertung des Fragebogens zum Thema Einregulierung aus Sicht der Planer, Ausführenden und Betreiber

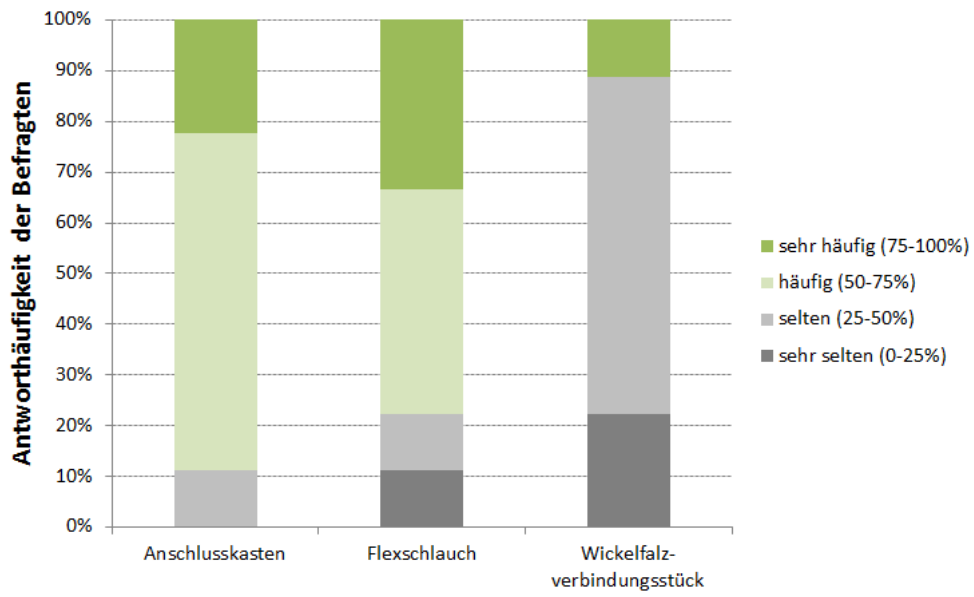


Abbildung 3.3: Antworthäufigkeit auf die Frage "Anschlussituation Luftauslässe?"

3.2 Messtechnische Funktionsüberprüfungen

Auf Basis der Messergebnisse der unterschiedlichen Versuchsreihen wurde eine Analyse der Funktionsgenauigkeit der einzelnen Komponenten durchgeführt und die wesentlichen Erkenntnisse lassen sich wie nachfolgend formulieren:

Tabelle 3.2: Auflistung der Schlussfolgerungen

Komponente	Variante	Schlussfolgerung
Pichler	PG	Es wird mehr Luft durchgelassen als erforderlich. Die Norm-Anforderungen auf jeden Fall erfüllt.
Belimo	BG	SOLL- und IST-Werte liegen nahe beieinander. Dies weist auf die hohe Genauigkeit der Messung durch die Sensorik der Komponente hin, dies ist bei diesem einfachen Messprinzip als positiv herauszustellen.
	BBS	Im unteren Bereich des Volumenstroms treten merkliche Unterschreitungen des SOLL-Volumenstroms auf. Dabei ist zu beachten, dass der Hersteller dezidiert auf eine ausreichende Einlaufstrecke in der Montageanweisung verweist.
	BBO	
ACTune -Prototyp	WG	Es treten sehr große Abweichungen zwischen SOLL- und IST-Werten auf. Die vorgenommenen Anpassungen an der Konstruktion dürften vermutlich zu einer aerodynamischen Abschattung am Strömungssensor führen, dies führt offensichtlich zu einer merklichen Falschmessung.
	WBS	Die Abweichungen zwischen SOLL- und IST-Werten ist ähnlich groß wie bei der Variante WG.
	WBO	Das Verhalten in dieser Variante ist überraschend besser als in den anderen beiden Varianten. In dieser Einbausituation dürfte der aerodynamische Effekt der Anpassungen kleiner sein.

Ergebnis der Untersuchungen und Analysen der Signalübertragung

Aufgrund der identifizierten Rahmenbedingungen und der damit verbundenen Barrieren erscheint die Funk-Signal-Weiterleitung im Rohr nicht praktikabel. Für Signalübertragung außerhalb des Rohrsystems ist die Kabelgebundene Signalweiterleitung vom Stellmotor aus dem Lüftungsaus-/einlass heraus zu einer auf dem Auslass oder in der Nähe des Auslasses fix montierten Antenne zielführend.

3.3 Technische und nicht-technische Barrieren

Bei der ersten Begutachtung eines Gebäudes und der Raumluftechnischen Anlage, werden erste wichtige Informationen eingeholt. Die Sammlung dieser Daten kann auf mehreren Ebenen geschehen, mündlich, schriftlich oder vor Ort. Auf Basis der so gewonnenen Informationen werden potentielle Barrieren erkannt und wenn möglich überwunden oder mit besonderer Aufmerksamkeit vermerkt. Zwei Bereiche sind hier interessant: die technischen und nicht-technischen Barrieren.

Technische Barrieren

Abbildung 3.4 zeigt vereinfacht ein Ablaufdiagramm einer Begehung eines Gebäudes bzw. einer Lüftungsanlage, um letztlich Festzustellen zu können, in wieweit das verbaute System für die Nachrüstung mit technischen Komponenten der ACTune Methode geeignet ist. Während einer Begehung vor Ort sollten unter anderem folgende Fragen beantwortet bzw. folgende Punkte in Betracht gezogen werden:

- Die Art des Lüftungssystems, kann entscheidend dafür sein, ob der Einsatz einer Einregulierung sinnvoll ist. Liegt eine zentrale Lüftungsanlage oder dezentrale über Induktionsanlagen oder eine Hybridanlage vor?
- Verteilform des Netzes:
 - Prinzipielle Überlegungen ob ein Installieren der Mess- und Reguliereinheit an den vorgesehen Stellen möglich ist. Sind Serviceklappen und ausreichend gerade Rohrstücke vorhanden?
 - Sind bereits installierte Betriebsmittel noch in einem Regel- und Messbereich der ausreichend für die Anforderung ist?
 - Sind die Einbaustellen zu erreichen, wenn ja mit welchem Aufwand?
- Wie sauber ist die Anlage, muss diese vor der Messung gereinigt werden?
 - In welchem Zustand ist die RLT-Anlage, wird Einfluss auf das Messergebnis genommen? Bei verschmutzten Anlagen entstehen Druckverluste, die nicht den Bestmöglichen Betriebspunkt zulassen. Zu diesen Faktoren zählen auch Filter in allen Ausführungen.
 - Wurden Protokolle über Reinigungsvorgänge geführt?
- Ist ein Verlegungsplan vorhanden?
- Werden Brandschutzklappen durch den Einbau der Messgeräte behindert?
- Welche Brandschutztechnische Vorgaben gelten?
- Sind Luftkurzschlüsse durch die Messtechnik erfassbar?
 - In wie weit verfälschen solche Anlagenspezifische Probleme das Messergebnis und können diese erkannt werden?
- Wird durch den zusätzlichen Einbau eine Geräuschquelle geschaffen?
- Sind die Luftleitungen für den Einbau geeignet: Form und Oberflächenbeschaffenheit
 - Wie ist das Leitungsnetz aufgebaut, wie viele verschiedene Querschnitte sind im Leitungssystem vorhanden?
- Kann ein Luftauslass demontiert werden ohne umliegende Flächen zu beschädigen?
- Wird Im Kanal selbst Schmutz durch die Montage zurückgelassen?

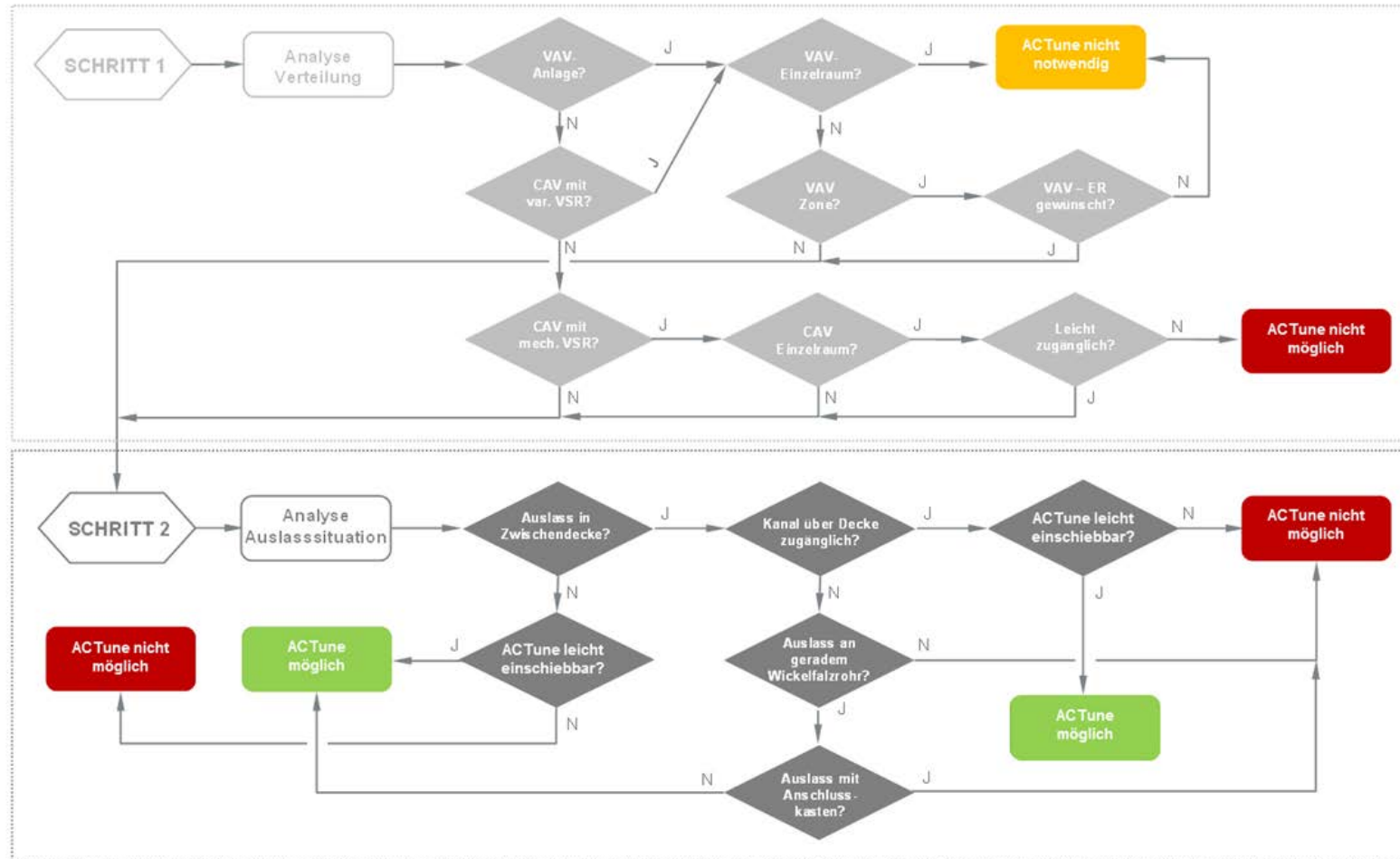


Abbildung 3.4: Vereinfachte Darstellung eines Ablaufdiagramms bei der Besichtigung einer Anlage und Prüfung auf Eignung für das ACTune System

Nicht technische Barrieren

Eine bestehende (RLT) Anlage ist ein Zusammenspiel vieler einzelner Komponenten. Um diese Anlage effizienter zu betreiben, ist es nützlich, das Wissen des Betreibers oder der zuständigen Servicebediensteten miteinzubeziehen. Im Vorfeld muss damit gerechnet werden auf nicht-technische Barrieren zu stoßen.

- Warum sollte ein Anlagenbetreiber auf die Verbesserungsvorschläge eingehen? Die Anlage erfüllt ihren Zweck und der Bedarf wird nicht erkannt:
- Wie macht man den Betreiber auf ungeeignete Luftmengen und einen Energieintensiven RLT-Anlagenbetrieb aufmerksam?
- Sind Luftmengenabnahmeprotokolle vorhanden und ist die Einregulierung mit hoher Sorgfalt und gemäß der Vorgaben durchgeführt worden?
- Zu welchen Zeiten kann eine umfänglichere Anlageninspektion durchgeführt werden?
- In wie weit sind Dienstleister aus den Bereichen Reinigung, Betrieb und Wartung zu involvieren?
- Ist es möglich die Gebäudenutzer über den Anlagenbetrieb zu befragen?
- Wer hat Zugang zu essentiellen Dokumenten über die RLT Anlage? Können diese eingesehen werden?
- Trotz Vorgaben zu Inspektionen und zu Luftmengeneinregulierung wird Überprüfung nicht durchgeführt
- Temperatur und Feuchte der Raumluft sind für den Menschen wahrnehmbar, Luftgüte hinsichtlich CO₂-Gehalt muss messtechnisch erfasst werden.

3.4 Entwickeltes Funktionsmuster zur energetischen Diagnose

Zusammenfassend lassen sich nachfolgende Aussagen zum entwickelten Funktionsmuster (Berechnungsmodell) zur energetischen Diagnose von RLT-Zentralgeräten formulieren:

- Die entwickelte semi-automatisierte Diagnose- und Optimierungsmethode ist grundsätzlich funktionstüchtig und mit einigen Adaptionen im Berechnungsmodell kann die Genauigkeit und Anwendbarkeit weiter verbessert werden.
- Die entwickelte semi-automatisierte Diagnose- und Optimierungsmethode benötigt einen Minimalsatz an Daten, damit eine belastbare Bewertung des energetischen RLT-Anlagenbetriebs durchgeführt werden kann. Für die Anwendung des entwickelten Diagnosetools sind folgende Daten erforderlich:
 - Außenluftzustand (Temperatur und Feuchte)
 - Zuluftzustand (Temperatur und Feuchte)
 - Abluftzustand (Temperatur und Feuchte)
 - Betriebszeiten und Luftmengen
 - Technischen Informationen zu verbauten RLT-Anlagenkomponenten

- Diese Daten entstammen im besten Fall der Gebäudeleittechnik oder sie werden durch minimal invasive Messinstrumente in der Auflösung von mindestens 15 Minuten Intervallen bereitgestellt. Die Qualität und die Plausibilität der aufgezeichneten Messdaten sind zu überprüfen und zu hinterfragen.
- Für ausgewählte RLT-Anlagenkonfigurationen – siehe Tabelle 2.5 – ist die entwickelte Diagnose- und Optimierungsmethode einsetzbar [Selitsch 2016].

3.5 Allgemein

Praxis zu den energetischen Inspektionen

Innerhalb der europäischen Union geht man von einem Energieeinsparpotential von etwa jährlich 15 TWh an Elektroenergie und 63 bis 146 TWh an Wärmeenergie durch die Nutzung von Wärmerückgewinnungssystemen in RLT- Anlagen aus [Kaup2012]. Zur Nutzung dieser Einsparpotentiale gibt es von Seiten der europäischen Union und der einzelnen Mitgliedsstaaten klare Vorgaben zur Forcierung der energetischen Überprüfung von RLT- Anlagen. Studien und Horchrechnungen belegen jedoch in Deutschland, dass trotz der bekannten Einsparungsmöglichkeiten und klaren gesetzlichen Vorgaben bis dato nur 1 bis 2 Prozent der zu überprüfenden Anlagen tatsächlich hinsichtlich ihres energetischen Betriebsverhaltens inspiziert worden sind [CCI2015]. Dazu kommen zusätzlich ca. 40 Prozent der in Deutschland installierten Gesamtanlagen welche nicht in die Inspektionspflicht fallen [Kaup2009]. Für Österreich kann man aufgrund der gleichen gesetzlichen und normativen Vorgaben von einer analogen Situation ausgehen und die vorhandenen Energieeinsparpotentiale werden über lange Zeiträume nicht genutzt. Ein Grund der niedrigen Inspektionsquote wird dem Gesetzgeber zugeschrieben, welcher weder die Durchführungen von Inspektionen kontrolliert, noch das Fehlen von Inspektionen ahndet [CCI 2015]. Andererseits hat die Analyse der am Markt vorhandenen Normen, Leitfäden und Checklisten gezeigt, dass es bis dato keine klare, detaillierte und automatisierte Möglichkeit der Beurteilung des energetischen Betriebsverhaltens von raumluftechnischen Anlagen gibt. Dieses Fehlen kann als zusätzliches Hemmnis zur Überprüfung gewertet werden.

Adaptiertes Sondierungsziel

Die Forschungspartner sind ursprünglich von einer prinzipiellen Analogie zwischen dem hydraulischen Abgleich für Warmwasserverteilungssysteme zur Gebäudebeheizung und einem pneumatischen Abgleich der Luftverteilsysteme zur Frischluftversorgung von Gebäuden ausgegangen. Mit fortschreitendem Erkenntnisgewinn auf Basis der durchgeführten Umfeldanalyse wurde die Entwicklung einer semi-automatisierten Luftmengeneinregulierung auf konstante Werte (statisch) als angestrebte Dienstleistung überdacht. Am Markt findet eine Bewegung in Richtung bedarfsgeführter Luftmengenregulierung statt. Technische Komponenten dazu sind am Markt verfügbar. In Deutschland muss bereits ab einer nominellen Luftmenge von 9 m³ pro Stunde und Nutzfläche eine bedarfsgeführte Luftmengenregulierung ausgeführt werden.

Das ACTune Projektteam hat daraufhin die Zielsetzung der Sondierungsarbeiten angepasst und neu formuliert. Ziel war ab diesem Zeitpunkt die Überprüfung der technischen Machbarkeit einer semi-automatisierten, permanent bedarfsgeführten Luftmengeneinregulierung. Mit dieser Neuausrichtung adressiert das Projekt die Umrüstung/ Modernisierung von RLT-Bestandsanlagen mit konstantem Luftmengenbetrieb durch minimal invasive Maßnahmen zu einer Anlage mit bedarfsgeführter Luftmengenregulierung bei minimiertem Energieeinsatz. ACTune hat insbesondere in diesem Kontext neben den Anforderungen an eine solche technische Lösung nötige Anpassungen für das vom Wirtschaftspartner existierende System für den hydraulischen Abgleich von wassergeführten Heizsystemen untersucht. Die Mess- und Reguliergenauigkeit von marktverfügbaren Komponenten und einem entwickelten Funktionsmuster wurden über messtechnische Laborversuche überprüft.

Mit den formulierten Anforderungen an eine technische Lösung erscheint das Einschleiben einer kompakten Mess- & Reguliereinheit zur Luftmengenregulierung ins Rohr als ein vielversprechender Ansatz. Dieser bedingt einerseits vorab die Demontage der Luftauslasskomponente und andererseits nach Einschleiben der Luftmengenreguliereinheit die Montage der gleichen.

Mittels der durchgeführten Untersuchungen und Forschungstätigkeiten lassen sich nachfolgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Produkte bzw. Regeleinrichtungen sind am Markt verfügbar, der Einsatz ist jedoch nicht weit verbreitet. Vor allem für bestehende Gebäude und RLT-Anlagen ist der nachträgliche Einbau mit erheblichem Aufwand verbunden und ist wirtschaftlich schwierig darstellbar.
- Marktverfügbare Komponenten zur Luftmengenregulierung lassen sich minimal invasiv in bestimmte Luftkanalausführungen einbauen. Eine hohe Einregulierungsgenauigkeit auf vorgegebene Luftmengen konnte in nachgestellten Einbausituation messtechnisch im Laborexperiment nachgewiesen werden. D.h. zur Weiterentwicklung eines funktionstüchtigen Gesamtsystems zur semi-automatisierten Luftmengeneinregulierung kann mit existierenden Komponenten gearbeitet werden.
- Die Vielfalt der in der Praxis umgesetzten Einbausituationen mit verschiedenen technischen Ausführungen der Luftauslasstypen erhöht die Aufwendungen für die Montage der einschleibbaren Luftmengenreguliereinheit und erschwert folglich eine standardisierte technische Lösung und praktische Vorgehensweise. Es ist davon auszugehen, dass jede RLT-Anlage und jedes Luftverteilsystem einen hohen individuellen Charakter aufweist, folglich ist ein hohes Ausmaß der Multiplizierbarkeit – wie sie im Falle des hydraulischen Abgleichs durch die starke Marktdurchdringung von Thermostatventilen und standardisierten Heizradiatoren vorliegt – nicht erkennbar.
- Die elektrische Versorgung der Luftmengenreguliereinheit sollte die Anforderung des minimal invasiven Eingriffs aufnehmen und einen Batteriebetrieb mit berücksichtigen. Dem widerspricht die nachhaltige Lebensdauer einer technischen Lösung ohne hohen Wartungsaufwand. Die

technischen Anforderungen und Spezifikationen an eine geeignete dezentrale Stromversorgungseinheit wurden im Rahmen der Sondierung nicht abschließend geklärt.

- Schlecht oder nicht einregulierte Lüftungssysteme sind für den Nutzer keine großen Komfortbeeinträchtigungen so lange der CO₂-Gehalt der Raumluft nicht signifikant steigt. Im Falle schlecht einregulierter Heizsysteme kann die thermische Behaglichkeit sinken, wenn beispielsweise die Heizkörper kalt bleiben.
- Namhafte Hersteller sind bereits mit Produkten zur bedarfsgeführten Luftmengeneinregulierung am Markt. Im Falle zukünftiger gesetzlicher Vorgaben zur Einregulierung oder bedarfsgeführten Luftmengenregulierung sind somit bereits entsprechende Produkte am Markt positioniert.

4 Ausblick und Empfehlungen

Grundlegend ist ACTune ein Sondierungsprojekt und wurde als vorbereitendes Projekt für ein aufeinander aufbauendes Projektbündel zur Entwicklung einer technischen Systemlösung zum semi-automatisierten Luftmengenabgleich mit energetischer Betriebsoptimierung von RLT-Anlagen konzipiert.

Durch die geförderte Zusammenarbeit im Bereich F&E zwischen einem der führenden österreichischen Forschungsinstitutionen und einem junge Unternehmen wurden wichtige a) Grundlagen zusammengetragen und erörtert, b) Erkenntnisse gewonnen, c) Fragen gestellt und erörtert sowie d) Lösungsansätze gefunden. Die Sondierungserkenntnisse können in den weiteren Entwicklungsschritten des myWarm Systems zur Optimierung und HKL-System-übergreifend bedarfsgeführten Konditionierung von Bestandsgebäuden genutzt werden.

Ein nachfolgendes F&E-Projekt sollte die Weiterentwicklung von funktionstüchtigen Komponenten mit geeigneter Energieversorgung sowie zuverlässiger Signalübertragung der Luftmengenreguliereinheit zum Ziele haben. Weiteres ist die Einbettung der Luftmengenregulierungseinheiten in ein funktionierendes Kommunikations- und Optimierungssystem wichtig und Adaptionen sind vorzunehmen. Hierzu ist die aktive Beteiligung von Marktführern geeigneter Komponenten im Bereich der Luftmengeneinregulierung und Kommunikations- sowie Optimierungssystem eine erforderliche Grundvoraussetzung, um die technische Weiterentwicklung erfolgreich voranzubringen.

In Österreich existiert eine Vielzahl an Normen in Bezug auf die Planung, die Errichtung und den Betrieb von Raumluftechnischen Anlagen. Eine konkrete Anforderungsdefinition, wie und in welchem Ausmaß Abnahmeprüfungen, sowie regelmäßige Inspektionen, von Raumluftechnischen Anlagen hinsichtlich ihrer tatsächlichen Luftmengen und ihres energieeffizienten Betriebs zu erfolgen haben, fehlt. Ohne wirkungsvolle gesetzliche Vorgaben wird die Wettbewerbsfähigkeit des angestrebten Dienstleistungspakets mit den Services *„Modernisierung, Inspektion und Optimierung der Luftmengen und der Energieeffizienz von RLT-Bestandsanlagen“* gering eingeschätzt.

5 Literaturverzeichnis

- [BMLFUW] Leitfaden für Audits an Lüftungsanlagen, Hrsg. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2013
- [CCI2015] Zielvorgabe Faktor 40: 50.000 Inspektionen pro Jahr. Heft 01/15, Clima Commerce International
- [EED2012] RICHTLINIE 2012/27/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG.
- [ESD2006] RICHTLINIE 2006/32/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/ EWG des Rates
- [FGK2011] Status Report 5 Energetische Inspektion für Lüftungs- und Klimaanlage, Deutschland, Hrsg. Vom Fachverband Gebäude-Klima e. V., 2011
- [Kaup2009] Kaup, C., 2009, Effizienz der Wärmerückgewinnung. Sonderdruck aus TGA Fachplaner, Heft 6/2009
- [Kaup2012] Kaup, C., 2012, RAUMLUFTTECHNIK RLT-Geräte: Energiebedarf und Einsparpotenzial in Europa. TGA Fachplaner, Heft 02/2012, Gentner Verlag, 8 Seiten
- [MA27] Energieeffizienz bei Lüftungsanlagen - Ein Ratgeber für die Praxis, Hrsg. MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung, Wien 2008
- [RECK2011] Recknagel, H.; E. Sprenger; E. Schramek.: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenburg Industrieverlag, München, 2011/2012, S.927
- [Selitsch] P. Selitsch: Masterarbeit " Minimal invasive Diagnose zur energetischen Betriebsoptimierung von raumluftechnischen Anlagen"; Fachhochschule Technikum Wien, 2016; Abschlussprüfung: 20. Januar 2016.
- [TUD2011] TU Darmstadt, 2011, Einra Energetische Inspektion raumluftechnischer Anlagen.

6 Anhang

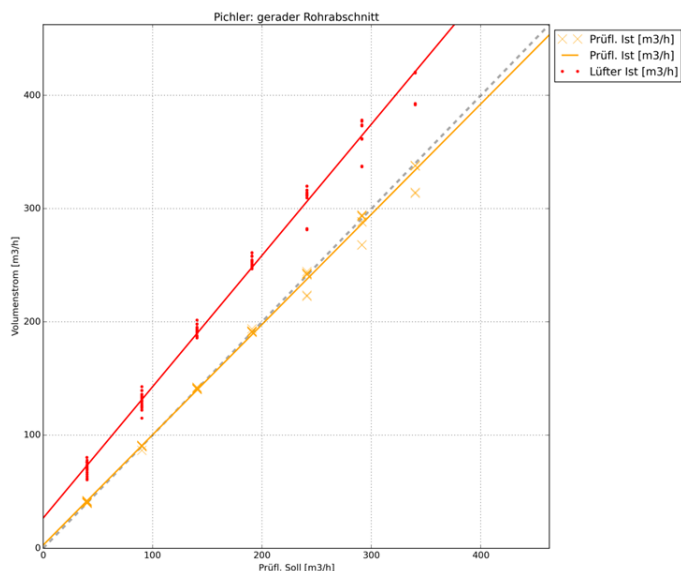


Abbildung A1: Analyse der Funktionsgenauigkeit -
 Variante PG

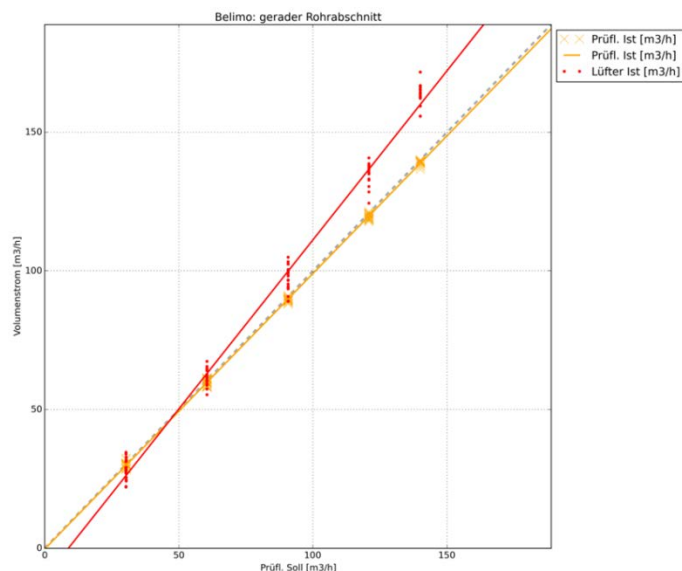


Abbildung A25: Analyse der Funktionsgenauigkeit -
 Variante BG

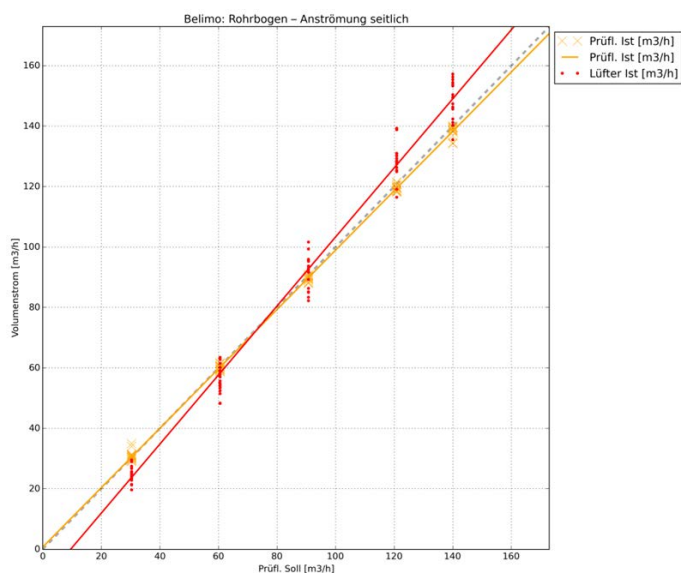


Abbildung A3: Analyse der Funktionsgenauigkeit -
 Variante BBS

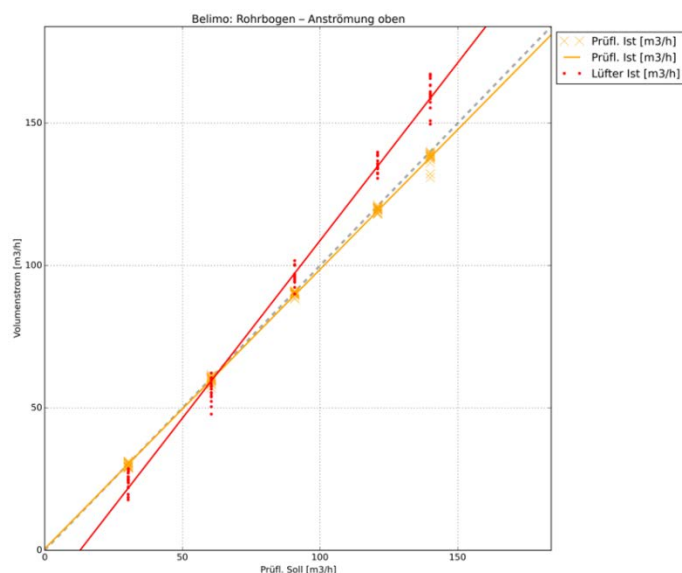


Abbildung 6: Analyse der Funktionsgenauigkeit -
 Variante BBO

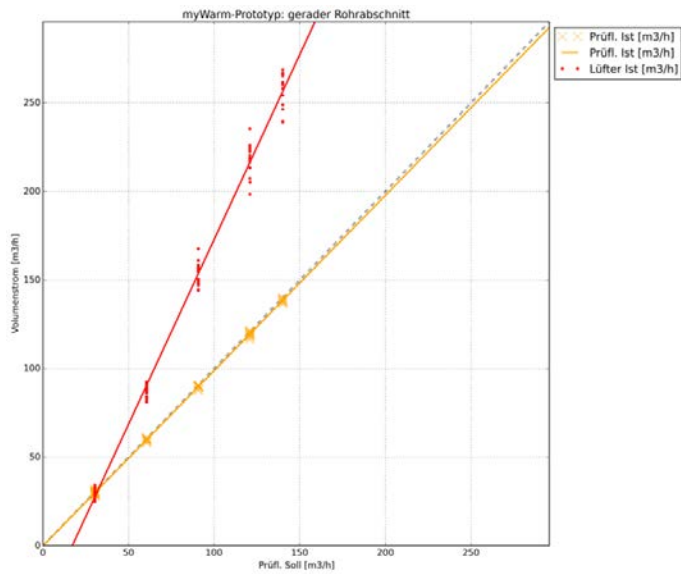


Abbildung A5: Analyse der Funktionsgenauigkeit - WG

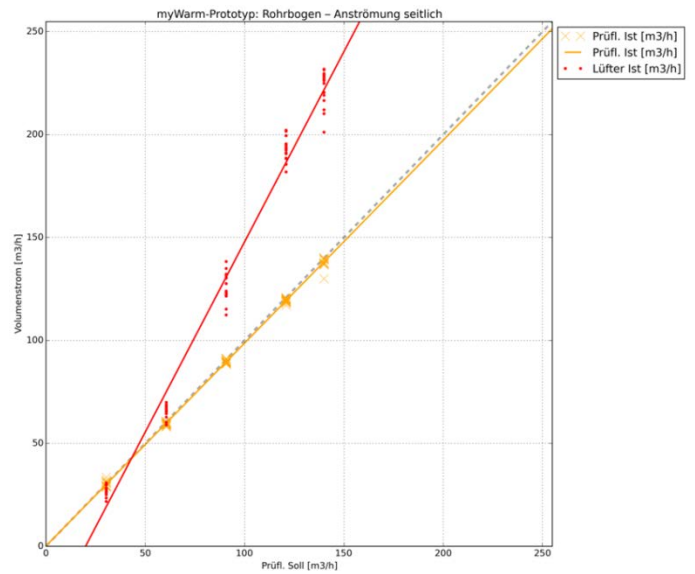


Abbildung A67: Analyse der Funktionsgenauigkeit -
Variante WBS

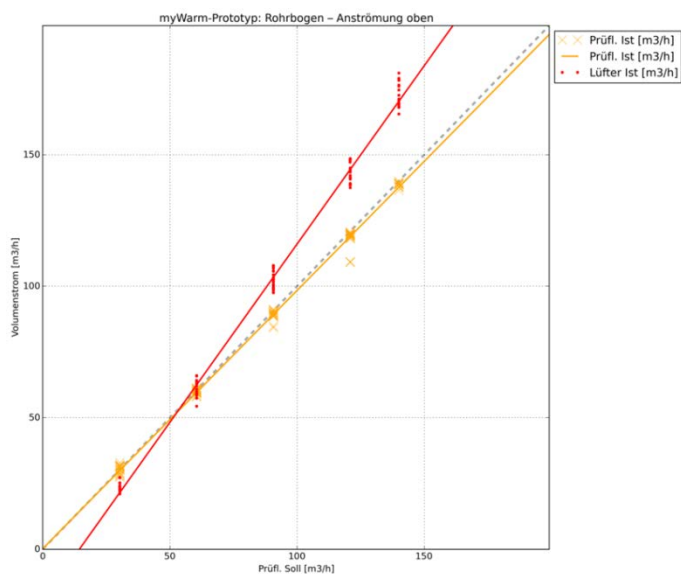


Abbildung A7: Analyse der Funktionsgenauigkeit -
Variante WBO

7 Kontaktdaten

Tim Selke (Projektleitung)

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Giefinggasse 2, A-1210 Wien

T +43 50550-6651

F +43 50550-6311

E-Mail tim.selke@ait.ac.at

<http://www.ait.ac.at>

Bertram Hübner (Arbeitspaketleitung)

myWarm GmbH

1040 Wien, Heumühlgasse 11

T+43 (0) 1 997 19 21

E-Mail huebner@mywarm.at

<http://www.mywarm.at/>