

Martin Becker, Roland Koenigsdorff, Anita Hasert,
Stefan Hudjetz, Peter Knoll, Thomas Köberle, Hermann Scherer

AUTIFAS

Automatisierung innovativer Fassadensysteme mit integrierter technischer Gebäudeausrüstung unter Berücksichtigung von Behaglichkeitsaspekten

F 2883

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9147-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Abschlussbericht zum Projekt

AUTIFAS

Automatisierung innovativer
Fassadensysteme mit
integrierter technischer
Gebäudeausrüstung unter
Berücksichtigung von
Behaglichkeitsaspekten

Hochschule Biberach
Institut für Gebäude- und Energiesysteme
Prof. Dr.-Ing. Martin Becker
Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff

Autoren:
M.Sc. Anita Hasert
M.Sc. Stefan Hudjetz
Dipl.-Ing. (FH) Peter Knoll
M.Sc. Thomas Köberle
Dipl.-Ing. Hermann Scherer

Hochschule Biberach
Hochschule für angewandte Wissenschaft
Institut für Gebäude- und Energiesysteme

AUTIFAS

Automatisierung innovativer Fassadensysteme mit
integrierter technischer Gebäudeausrüstung unter
Berücksichtigung von Behaglichkeitsaspekten

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des
Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.
(Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7- 10.15 / II 3 – F20-10-1-003)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.



Prof. Dr.-Ing. Martin Becker
Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff

M.Sc. Anita Hasert
M.Sc. Stefan Hudjetz
Dipl.-Ing. (FH) Peter Knoll
M.Sc. Thomas Köberle
Dipl.-Ing. Hermann Scherer

Biberach, September 2012

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1 Problemstellung und Zielsetzung	1
2 Regelstrategien für die Raumklimatik	3
3 Entwicklung einer modularen Automationsbibliothek für die Fassadenautomation.....	5
3.1 Automationsstrategien und GA-Effizienzklassen	7
3.2 Standardisierte Planungsmethodik	10
3.3 Definition der Funktionen nach DIN EN 15232	13
3.4 Bibliothek von Fassaden- und Raumautomationsfunktionen.....	17
3.5 Bibliothek von RA-Makrofunktionen	78
4 Exemplarische Anwendung der Automationsbibliothek	81
4.1 Fassadenteststand	81
4.1.1 Aufbau	81
4.1.2 Funktionen	83
4.1.3 Aufbau des Testraums	85
4.1.4 Wissenschaftliche Messtechnik	87
4.1.5 Wärme- und Kälteversorgung.....	88
4.1.6 Datenpunktübersicht	90
4.1.7 Aufbau der Hardware-Struktur der Automatisierung.....	92
4.2 Automatisierung des Fassadenteststands mit der modularen Automationsbibliothek	94
4.2.1 Terminologie.....	94
4.2.2 Ablaufdiagramme	96
4.2.3 Planung der Gebäudeautomation nach Richtlinie VDI 3814 ..	110
4.2.4 Planung der Fassaden-/ Raumautomation nach Richtlinie VDI 3813	115

4.2.5	Implementierungsaspekte des Fassadenteststands mit der modularen Automationsbibliothek	121
5	Identifikation von Anlagenparameter und Kennlinien	132
5.1	Lüftungsgerät	133
5.1.1	Beschreibung der Vorgehensweise	133
5.1.2	Beschreibung der Ergebnisse	135
5.2	Gegenüberstellung der natürlichen und mechanischen Lüftung unter Berücksichtigung der Raumluftrömung	140
5.2.1	Messungen der Luftdurchlässigkeit des Testraumes	141
5.2.2	Messungen der natürlichen Luftwechselrate	147
5.2.3	Experimentelle Untersuchung des Zuluftstroms und der Luftverteilung	149
5.2.4	Untersuchungen zu Luftströmung und Luftaustausch mit CFD-Strömungssimulationen	150
5.2.5	Ergebnisse der Messungen und Untersuchungen zur Lüftung	162
5.3	Sonnen- und Blendschutz	164
5.3.1	Beschreibung der Vorgehensweise	165
5.3.2	Beschreibung der Ergebnisse	168
6	Höherwertige Regelstrategien unter Berücksichtigung der Behaglichkeit	171
6.1	Module der Regelungsoptimierung	172
6.2	Thermische Behaglichkeit als Regelgröße	174
6.3	Regelungsoptimierung	176
7	Zusammenfassung und Ausblick	178
	Literaturverzeichnis	180
	Nomenklatur	182
	Abbildungsverzeichnis	184
	Tabellenverzeichnis	191

1 Problemstellung und Zielsetzung

Fassadensysteme übernehmen in modernen Gebäuden immer häufiger gebäudetechnische Funktionen wie Heizen, Kühlen, Lüften, Beleuchten und den Sonnen- und Blendschutz. Der Trend den veränderten Anforderungen in der Büroklimatisierung mit dezentralen Systemen zu begegnen setzt sich seit einigen Jahren fort. Vor allem Vorteile wie geringere Geschosshöhen durch dezentrale mechanische Lüftung die individuelle Beeinflussbarkeit durch den Nutzer, Flexibilität im Betrieb und bei Umstrukturierungen der genutzten Flächen sowie die verursacherbezogene Energiekostenabrechnung sprechen für dezentrale Lösungen.

Da im Gegensatz zu zentralen Lösungen die Funktionen wie Heizen, Kühlen, Lüften und Beleuchten modular umgesetzt und damit dezentral gesteuert werden müssen, sind diese Funktionen auch vor Ort zu automatisieren und aufeinander abzustimmen. Durch das Abstimmen der einzelnen Gewerke soll für den Nutzer eine möglichst angenehme (behagliche) Umgebung geschaffen und gleichzeitig ein energieeffizienter Betrieb garantiert werden.

Die Schwierigkeit bei der Raumautomatisierung besteht grundsätzlich darin, die vielfältigen Einzelfunktionen sinnvoll aufeinander abzustimmen, da diese zum Teil gegenläufig sind, und hier ein sinnvoller Kompromiss zwischen energetischen und nutzungsspezifischen Randbedingungen (z. B. Behaglichkeit, Art und Umfang des Nutzereingriffs) erzielt werden muss.

In der derzeitigen Planungspraxis werden diese Teilfunktionen üblicherweise separat von verschiedenen Planungsbeteiligten (Fassadenplaner, Lüftungsplaner, Heizungsplaner, Elektroplaner, MSR-Planer) geplant und ausgeführt und daher i.d.R. nur suboptimal aufeinander abgestimmt. Dies führt u.a. auch zu den immer wieder beklagten Schnittstellenproblemen technischer und organisatorischer Art im derzeitigen Planungs- und Ausführungsablauf eines Bauvorhabens. Aus automatisierungstechnischer Sicht - worauf in diesem Vorhaben der Schwerpunkt gelegt wird - gibt es für integrierte Fassadensysteme noch keine standardisierten Automatisierungskonzepte und -funktionen, wie dies z. B. in der klassischen Gebäudeautomation der Fall ist (z. B. Standard-Automatisschemata für Lüftungs- und Klimaanlage oder Heizungsanlagen). Hier setzt dieses Vorhaben an.

Das Ziel ist es, grundlegende Ansätze für integrierte Fassadenautomatisierungsstrategien (z. B. Abstimmung von Sonnen-/Blendschutz-, Tageslichtnutzung, Kunstlicht-

regelung sowie natürlicher und mechanischer Lüftung) unter Beachtung von Behaglichkeitsaspekten für Fassadensysteme zu entwickeln, zu optimieren und an einem konkreten Fassadensystem beispielhaft zu demonstrieren und zu erproben. Hierbei geht es darum, wie ausgehend von grundlegenden Automatisierungsaufgaben (Messen, Steuern, Regeln, Überwachen) für die Einzelfunktionen (Heizen, Kühlen, Lüften, Beleuchten, ...) das Zusammenspiel der Einzelsysteme als integriertes Fassadensystem bedarfs- und nutzergerecht sowie gleichzeitig energieeffizient umgesetzt und somit das Fassadensystem als Teilsystem in die Gebäudetechnik eingebunden werden kann.

Dazu müssen aus automatisierungstechnischer Sicht integrierte Fassadensysteme als möglichst autarke Subsysteme betrachtet werden und geeignet in die Raumautomation und übergeordnete Gebäudeautomation eingebunden werden. Um in weiteren Arbeiten möglichst allgemeingültig diese neuen Themen detaillierter untersuchen zu können, bedarf es neben einem an der Hochschule Biberach vorhandenen Fassadenteststand geeigneter mathematischer Modelle und Simulationswerkzeuge, mit denen verschiedene Varianten und Randbedingungen untersucht und vergleichende Studien zu Automatisierungskonzepten durchgeführt werden können. In diesem Vorhaben sollen daher im ersten Schritt möglichst einfache Modellierungsansätze entwickelt und getestet werden, um an der Hochschule bereits bestehende und verfügbare Simulationsmodelle durch die Einbindung von Fassadensystem-Modellen passend zu erweitern.

2 Regelstrategien für die Raumklimatik

Um den Bedürfnissen von Nutzern eines Gebäudes gerecht werden zu können, müssen unterschiedlichste Aufgaben bezüglich der Raumklimatik erfüllt werden. Folgende Beispiele können in diesem Zusammenhang genannt werden:

- Beleuchtung (Anteil Kunstlicht / Anteil Tageslicht)
- Abwägung zwischen der Vermeidung von Blendungserscheinungen durch Tageslichteinfall und dem Sichtkontakt nach Außen
- sommerlicher Wärmeschutz
- Einhaltung der Luftqualität durch entsprechende Lüftungsmaßnahmen, wobei hier auch die Abwägung zwischen natürlicher Belüftung und Lärmschutz eine Rolle spielt
- Konditionierung der Raumluft (Heizen bzw. Kühlen) zur Einhaltung der entsprechenden Sollwertvorgaben
- Berücksichtigung von Nutzereinflüssen.

Traditionell werden diese Aufgaben (insbesondere bei der Heizung, Kühlung und Lüftung) von einem zentralen Punkt im Gebäude bereitgestellt. Wenn ein Gebäude ein sehr homogenes Nutzerprofil hat, ist diese Betriebsweise auch passend. Da moderne Gebäude allerdings immer flexibler erbaut werden und bereits kurz nach dem Bezug die ersten Umnutzungen durchgeführt werden sind in den Gebäuden meist eine Vielzahl von unterschiedlichen Nutzungsprofilen und Nutzungsanforderungen zu finden.

Um eine möglichst große Flexibilität und Nutzeranpassung zu erhalten, werden vermehrt Konzepte entwickelt, die gesamte Versorgung der Räume dezentral anzuord-

nen. Dadurch kann auf den konkreten Bedarf in dem entsprechenden Raum eingegangen werden. Darüber hinaus ist es möglich die individuellen Bedürfnisse der Nutzer sehr flexibel zu berücksichtigen.

Eine exemplarische Möglichkeit dieser dezentralen Versorgung ist das in diesem Projekt untersuchte Fassadensystem, das sämtliche Gewerke bzw. Komponenten für die Raumklimatik integriert hat. Hierzu zählen:

- Lüftungsgerät
- Heizregister / Kühlregister
- Beleuchtung-System
- Sonnenschutz-System.

Die im Projekt realisierten Funktionen sind ausführlich im Abschnitt 4.1.2 beschrieben. Der grundlegende Ansatz für die Automation ist eine Gewerke übergreifende Lösung. Dies bedeutet, dass sämtliche Gewerke Informationen untereinander austauschen können. Dies ist eine zwingende Voraussetzung für die in Abschnitt 4.1.2 aufgezeigten Funktionen.

Nur so können energieeffizienzrelevante Funktionen wie z. B. eine Verriegelung zwischen Heizen und Kühlen oder eine Konstantlichtregelung mit sonnenstandsabhängig nachgeführten Sonnenschutzlamellen realisiert werden.

Darauf aufbauend sollen im Rahmen des Projektes auch Informationen aus dem Testraum mit dem Fassadensystem an die Anlagen der Erzeugung übermittelt werden. Insbesondere bei größeren Gebäuden ist dies sinnvoll, da so Stillstands- und Leitungsverluste minimiert werden können.

Neben den energetischen Gesichtspunkten spielt, besonders im Bereich der Raumautomation, die Nutzerzufriedenheit eine wichtige Rolle. Eine wichtige Voraussetzung hierfür bildet die Möglichkeit eines passenden Nutzereingriffs. Beispielsweise muss es möglich sein, dass der Nutzer in die Beleuchtungs- und Sonnenschutzsteuerung mittels eines Tasters eingreifen kann. Darüber hinaus sollte dem Nutzer auch die Möglichkeit gegeben werden, in gewissen Grenzen (z. B. +/- 3 °C) den Raumtemperatursollwert zu beeinflussen.

3 Entwicklung einer modularen Automationsbibliothek für die Fassadenautomation

Ein wesentliches Ziel des Projektes ist es, eine modulare Programmbibliothek zu entwickeln und zu testen, die speziell Fassadenautomationsfunktionen, auf Basis von Funktionsblöcken und strukturiertem Text nach der internationalen Norm IEC 61131 zur Verfügung stellt. Damit lassen sich aus einem Baukasten und Anforderungen wieder verwendbare Bausteine für konkrete Projekte nutzen, die herstellerunabhängig auf Automationsgeräten (z. B. SPS, DDC) implementiert werden können. Solche Bibliotheken sind bereits für zentrale TGA - Anlagen wie Lüftungsanlagen, Klimaanlage, Heizungsanlagen auf Basis der VDI-Richtlinie 3814 (1) bzw. DIN EN ISO 16484 (2) verfügbar. Für Fassadenautomationsfunktionen gibt es dies derzeit noch nicht. Neben Basisfunktionen zum Messen, Steuern und Regeln der Einzelkomponenten (Beleuchtung, Jalousie, dezentrales Lüftungsgerät, Lüftungsklappen für natürliche Lüftung) sollen übergeordnete Steuerungs- und Regelungsbausteine, wie z. B. abgestimmte Lüftungsfunktionen zwischen mechanischer und natürlicher Lüftung, erstellt werden.

Weitere Arbeitsziele sind Untersuchungen zu optimierten und verbesserten Regelungsverfahren basierend auf regel- und wissensbasierten Automatisierungsstrategien, die sowohl die energetischen Aspekte als auch Behaglichkeitskriterien (Temperaturen, Feuchte, Luftqualität) berücksichtigen. Gleichzeitig sollen die Nutzungsrandbedingungen wie Tageszeit, Wetterbedingungen sowie aktuelle Solarstrahlung, Nutzungsarten usw. berücksichtigt werden. Für die Umsetzung wird ein Ansatz mit der regelbasierten Methode Fuzzy Control favorisiert, die für diese Anwendung als sehr vielversprechend erachtet wird.

Für die vorgesehenen experimentellen Untersuchungen muss der Testraum mit zusätzlicher Sensorik für Temperatur, Feuchte und Luftqualität (CO₂, Mischgas-Fühler) ausgestattet und auf eine Automationsstation aufgeschaltet werden. Im Rahmen dieses Vorhabens soll als Ergebnis im Wesentlichen festgestellt werden, ob dieser wissensbasierte methodische Ansatz vielversprechend ist und in einem Fortsetzungs-

projekt weiterverfolgt und vertieft werden sollte, z. B. ergänzend mit der Erstellung von geeigneten Simulationsmodellen und deren Validierung zur tiefergehenden Analyse und Weiterentwicklung der Regelungsalgorithmen.

Dabei basiert die Entwicklung von Automationsfunktionen und Strategien auf den vorausgehenden experimentellen Untersuchungen an Fassadenteststand und Raummodellen und gliedert sich in folgende Arbeitsinhalte:

- Konzeption und Umsetzung einer Automationsbibliothek, die an die allgemeine Methodik nach VDI 3813 angelehnt ist.
- Validierung an der Testfassade bzw. am Testraum
- Untersuchungen und Umsetzung von erweiterten Strategien zu Behaglichkeitsaspekten
- Experimentelle Erprobung und Optimierung an der Testfassade bzw. am Testraum.

3.1 Automationsstrategien und GA-Effizienzklassen

Um Gewerke übergreifende Automationsstrategien realisieren zu können, kann auf verschiedene, vergleichsweise neue Normen und Richtlinien zurückgegriffen werden, die eine standardisierte Beschreibung von Steuer- und Regelungsfunktionen an der Fassade und im Raum erlauben. Auf Basis dieser Beschreibungen und mit Hilfe der in diesem Projekt erstellten Funktionsbibliothek kann die Programmierung so erstellt werden, dass diese von fachkundigen Personen verstanden wird, die sich mit den standardisierten Beschreibungsmitteln befasst haben.

Auf folgende Normen und Richtlinien wird für die Konzeption und Durchführung der Automationsstrategien zurückgegriffen:

DIN EN 15232 (3): Die Norm definiert durch eine Kategorisierung in vier GA-Effizienzklassen Funktionen der Raum- und Gebäudeautomation, die für das Erreichen einer der Kategorien erforderlich sind. Es handelt sich um folgende GA-Effizienzklassen:

- GA-Effizienzklasse D: Nicht energieeffiziente Gebäudeautomations-Systeme
- GA-Effizienzklasse C: Standard- Gebäudeautomations-Systeme
- GA-Effizienzklasse B: Weiterentwickelte Gebäudeautomations-Systeme und Energiemanagement
- GA-Effizienzklasse A: Hoch energieeffiziente Gebäudeautomations-Systeme und Energiemanagement.

Mit Bezug auf die Anlagentechnik, die in diesem Projekt mit dem vorliegenden Testraum mit der Testfassade untersucht wurde bedeuten die jeweiligen Effizienzklassen eine bestimmte funktionale Anforderung, die in den nachfolgenden Tabellen, für die GA-Effizienzklassen (A, B, C), aufgezeigt werden. Die GA-Effizienzklasse D wird nicht mehr dargestellt, da diese nicht mehr dem Stand der Technik entspricht.

Tabelle 3.1: Funktionen mit GA-Effizienzklasse C.

Heizung
Zentrale automatische Regelung
Vorlauftemperaturregelung (Witterungsgeführte Regelung)
Regelung der Pumpendrehzahl (Ein/Aus-Regelung)
Kühlung
Zentrale automatische Regelung
Vorlauftemperaturregelung (Witterungsgeführte Regelung)
Die Verriegelung zwischen Heizen und Kühlen wird für die Klasse C nicht definiert
Regelung der Lüftung und des Klimas
Zeitabhängige Regelung
Nachtkühlbetrieb
Konstanter Sollwert
Beleuchtung/Sonnenschutz
Manuell zu betätigender Ein-/Aus-Schalter
Motorbetriebe Sonnenschutzeinrichtung mit manueller Regelung

Tabelle 3.2: Funktionen mit GA-Effizienzklasse B.

Heizung
Einzelraumregelung
Die Vorlauftemperaturregelung wird für Klasse B nicht definiert
Regelung der Pumpendrehzahl (Mehrstufenregelung)
Kühlung
Einzelraumregelung
Die Vorlauftemperaturregelung wird für Klasse B nicht definiert
Regelung der Pumpendrehzahl (Mehrstufenregelung)
Teilverriegelung (vom HLK-System abhängig)
Regelung der Lüftung und des Klimas
Mehrstufenregelung
Nachtkühlbetrieb
Variabler Sollwert mit von der Außentemperatur abhängiger Anpassung
Beleuchtung/Sonnenschutz
Manuell zu betätigender Ein-/Aus-Schalter und zusätzliches automatisches Ausschaltsignal
Motorbetriebe Sonnenschutzeinrichtung mit automatischer Regelung

Tabelle 3.3: Funktionen mit GA-Effizienzklasse A.

Heizung
Einzelraumregelung mit Kommunikation und bedarfsabhängiger Regelung
Bedarfsabhängige Regelung der Vorlauftemperatur
Regelung der Pumpendrehzahl (Variable Pumpendrehzahl)
Kühlung
Einzelraumregelung mit Kommunikation und bedarfsabhängiger Regelung
Bedarfsabhängige Regelung der Vorlauftemperatur
Regelung der Pumpendrehzahl (Variable Pumpendrehzahl)
Vollständige Verriegelung
Regelung der Lüftung und des Klimas
Automatische Luftvolumenstrom- oder Druckregelung
Freie Kühlung / H-x- geführte Regelung
Variabler Sollwert mit Anpassung in Abhängigkeit von der Last
Beleuchtung/Sonnenschutz
Automatische Erkennung
Kombinierte Regelung der Beleuchtung / der Sonnenschutzeinrichtungen / der HLK-Anlagen

VDI 3813 (4): Die Richtlinie definiert Begriffe der Raumautomation und zeigt eine Methode auf, wie Funktionen der Raumautomation auf Basis von exakt definierten Funktionsblöcken umgesetzt werden können.

Als Beschreibungsmittel dienen Raumautomation-Automationsschemata und Raumautomation-Funktionslisten.

In Anlehnung an die Norm DIN 66001 (5) werden als Beschreibungsmittel für komplexe Automatisierungsabläufe Ablaufdiagramme erstellt, die die jeweiligen Funktionen der einzelnen Gewerke eindeutig graphisch beschreiben.

VDI 3814 (1): Für die Beschreibung und Dokumentation von Automatisierungsfunktionen versorgungstechnischer Anlagen (z. B. Heizung, Kälte, Klima, Lüftung, Sanitär). Als Beschreibungsmittel dienen Automationsschemata und Funktionslisten.

In diesem Kapitel werden zunächst die umgesetzten Funktionen ausführlich auf Basis der erwähnten Normen und Richtlinien erläutert. Anschließend wird die konkrete praktische Umsetzung aufgezeigt.

3.2 Standardisierte Planungsmethodik

Durch die in Abschnitt 3.1 erläuterten normativen Grundlagen kann eine Planungsmethodik aufgezeigt werden, die es erlaubt, den Planungsprozess standardisiert und systematisch durchzuführen.

Der klare Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass hier zu Beginn der Planung eindeutige Definitionen vorliegen, so dass weniger Missverständnisse auftauchen und somit sehr effektiv geplant und ausgeführt werden kann.

Diese Vorgehensweise stellt im Vergleich zu der derzeitigen Praxis, somit eine erhebliche Verbesserung dar.

Abschnitt 3.1 zeigt die prinzipielle Vorgehensweise, wie das Ziel der Programmerstellung und damit der Umsetzung stufenweise entwickelt wird.

Zunächst findet in Abstimmung mit dem Auftraggeber die Funktionsdefinition statt. Dies bedeutet, dass zunächst definiert werden muss, welche Funktionen umgesetzt werden sollen. Im Rahmen der europäischen Normung bietet sich hierfür die Norm DIN EN 15232 (3) an, die durch die entsprechenden GA-Effizienzklassen eine Gewerke übergreifende Funktionsdefinition liefert. Diese Festlegung kann auch als eine Art Lastenheft, das im Rahmen einer Bedarfsplanung erstellt wird, bezeichnet werden, d.h. was im Projekt realisiert werden soll.

Nach dieser Festlegung findet die Detaillierung der Funktionen durch formale Beschreibungsmittel statt. Dies erfolgt zum Einen durch die verbale Beschreibung und zum Anderen durch ein Ablaufdiagramm bzw. durch einen Zustandsgraphen. Hierbei handelt es sich um eine graphische Beschreibung, die eine eindeutige Definition der jeweiligen Funktion erlaubt. In dieser Phase wird auch ein Pflichtenheft erstellt, d.h. wie die technische Umsetzung erfolgen soll.

Für die Funktionen der Raumautomation, wird auf dieser Basis die Planung nach der Richtlinie VDI 3813 (4) weiter detailliert. Durch das Funktionsblockbasierte Beschreibungsprinzip (Raumautomationsschema, RA-S) ist die anschließende Umsetzung in den Programmcode besonders einfach. Neben der graphischen Darstellung wird auch eine tabellarische Raumautomations-Funktionsliste (RA-FL) erstellt, die nochmals einen detaillierten Überblick über alle umgesetzten Funktionen bietet.

Für die Automatisierungsfunktionen der Anlagentechnik (z. B. Heizung, Lüftung, Kälte) wird die Richtlinie VDI 3814 (1) angewendet, welche ebenfalls zur Erstellung der entsprechenden Automationsschemata (GA-S) und der Funktionsliste (GA-FL) dient.

Nach diesen Phasen kann anschließend zur Ausführung übergegangen werden, bei der der eigentliche Programmtext erstellt wird. Um die universelle Einsetzbarkeit des Programms zu gewährleisten werden, für die Implementierung auf Automationsgerä-

ten, wie z. B. DDC und SPS, Programmiersprachen nach der Norm IEC 61131 empfohlen.

Die einzelnen Phasen werden in den nachfolgenden Abschnitten detailliert beschrieben. Neben der bereits erwähnten Norm DIN EN 15232 (3) wurde im Dezember 2011 der Teil 11 der Norm DIN V 18599 (6) veröffentlicht, welcher Bezug auf die DIN EN 15232 (3) und auf die weiteren Teile der DIN V 18599 (6) verknüpft ist. Dieser wird in Zukunft in der ersten Phase (Bedarfsplanung) sicherlich an Bedeutung gewinnen.

Entwicklung einer modularen Automationsbibliothek für die Fassadenautomation

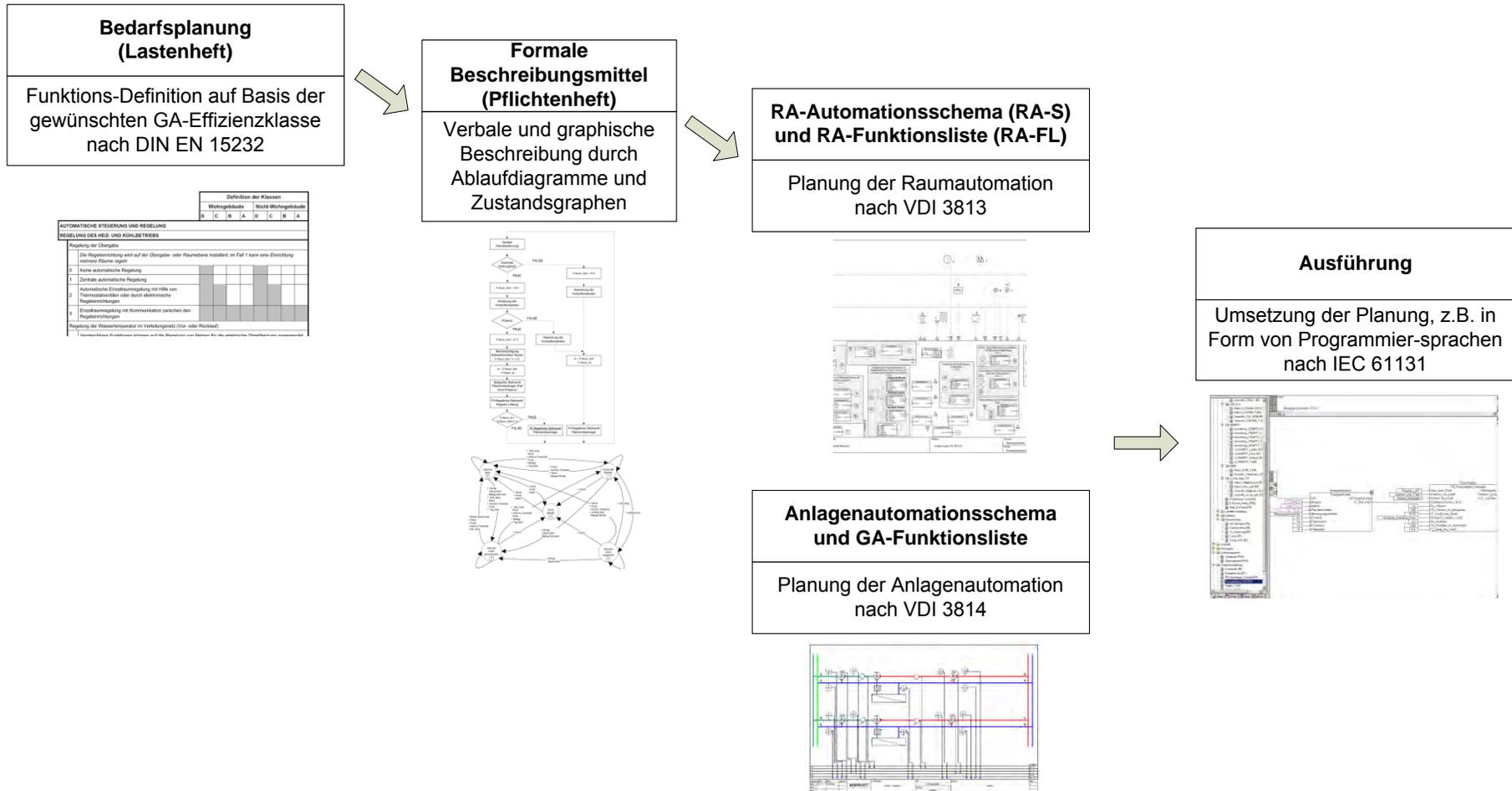


Abbildung 3.1: Planungsmethodik.

3.3 Definition der Funktionen nach DIN EN 15232

Auf Basis der Norm DIN EN 15232 (3) wurde in diesem Vorhaben die GA-Effizienzklasse A für den Testraum mit integriertem Fassadenelement umgesetzt. In Folgeprojekten, können für weitere Versuchsreihen die GA-Effizienzklassen B bzw. C realisiert werden, um die energetischen Unterschiede der verschiedenen Effizienzklassen zu untersuchen.

In Abschnitt 3.1 wurden bereits die Funktionen in Abhängigkeit der GA-Effizienzklasse aufgezeigt, die allgemein für eine vergleichbare technische Ausstattung, nach der Norm DIN EN 15232 (3), umgesetzt werden müssen.

Tabelle 3.4 zeigt die realisierten Funktionen des Testraumes auf, die für das Erreichen der GA-Effizienzklasse A notwendig sind. Nachfolgend wird kurz auf die einzelnen Funktionen eingegangen.

Tabelle 3.4: Funktionen mit GA-Effizienzklasse A des Testraums mit integriertem Fassadenelement.

Heizung
Einzelraumregelung nach Bedarf (präsenzabhängig) und Kommunikation mit anderen Gewerken (z. B. Lüftung)
Vorlauftemperaturregelung (präsenzabhängig)
Regelung der Pumpendrehzahl (Pumpenregelung auf $dp=const.$)
Kühlung
Einzelraumregelung nach Bedarf (präsenzabhängig) und Kommunikation mit anderen Gewerken (z. B. Lüftung)
Vorlauftemperaturregelung (präsenzabhängig)
Regelung der Pumpendrehzahl (Pumpenregelung auf $dp=const.$)
Regelung der Lüftung und des Klimas
Regelung des Luftvolumenstroms nach dem CO_2 -Gehalt im Raum
Freie Kühlung (abhängig von Außentemperatur)
Zulufttemperaturregelung (präsenzabhängig)
Beleuchtung/Sonnenschutz
Abschaltung der Beleuchtung (präsenzabhängig)
Konstantlichtregelung
Sonnenstandsabhängige Nachführung der Lamellen und Blendschutz
Passive Solarnutzung (mit Unterscheidung Sommer-/ Winterfall)
Übergeordnete Funktionen
Verriegelung zwischen Heizen und Kühlen
Zusammenspiel Tageslicht und Kunstlicht

Die allgemeinen Funktionen nach DIN EN 15232 (3) aus Tabelle 3.4 können wie folgt für die, in diesem Vorhaben, untersuchte Testfassade in dem Testraum detailliert werden:

a) Heizung (die Erläuterung gilt entsprechend auch für die Kühlung)

- **Einzelraumregelung nach Bedarf (präsenzabhängig) und Kommunikation mit anderen Gewerken:**

Die Einzelraumregelung besteht wie üblich aus einem Temperaturfühler mit Sollwertsteller und einem Stellventil, das in diesem Fall auf eine Flächenheizung wirkt. Durch die Präsenzabhängigkeit ist es möglich, dass der Sollwert von z. B. 22 °C bei Nicht-Belegung z. B. auf 19 °C abgesenkt wird und somit Energie eingespart werden kann.

Die Kommunikation mit den anderen Gewerken ist insbesondere im Bezug auf das dezentrale Lüftungsgerät von Bedeutung, da das Heizregister des Lüftungsgerätes zur zusätzlichen Beheizung des Raumes verwendet wird.

- **Vorlauftemperaturregelung (präsenzabhängig):**

In Abhängigkeit der Belegung wird der Sollwert der Vorlauftemperatur verringert, um die Wärmeverluste zu minimieren. Dies ist möglich, da auch der Raumtemperatursollwert in Abhängigkeit der Belegung verringert wird. Falls mehrere Räume an einem Mischkreis angeschlossen sind, kann die Vorlauftemperatur nur gering abgesenkt werden bzw. erst abgesenkt werden, wenn alle Räume keine Belegung mehr aufweisen.

- **Regelung der Pumpendrehzahl (Pumpenregelung auf $dp = \text{const.}$)**

Hierbei handelt es sich um eine Konstantdruckregelung, die meist schon direkt in der Pumpe aktiviert werden kann. Sie sorgt dafür, dass die Pumpendrehzahl kontinuierlich an die Druckverhältnisse angepasst und ein unnötig hoher Pumpendruck vermieden wird. Dies kann je nach Nutzungsanforderungen zu signifikanten Energieeinsparungen führen.

b) Regelung der Lüftung und des Klimas

- **Regelung des Luftvolumenstroms nach dem CO₂-Gehalt im Raum**

In Abhängigkeit des CO₂-Gehaltes der Raumluft wird die Drehzahl des Ventilators der Fassade kontinuierlich nach gesteuert.

Der Sollwert des CO₂-Gehaltes ist wie alle Sollwerte frei parametrierbar.

- **Freie Kühlung in Abhängigkeit von der Außentemperatur**

Durch die in der Fassade integrierten Fassadenklappen wird die Außenluft im Sommerfall durch die sogenannte freie Kühlung und das Öffnen der Klappen der Raumluft zugeführt was zu einer „kostengünstigen und energieeffizienten“ Abkühlung führt.

- **Zulufttemperaturregelung in Abhängigkeit der Präsenz**

Wie bereits bei der Heizung erläutert übernimmt das Lüftungsgerät die Heiz- bzw. Kühlfunktion im Präsenzfall. Durch das dynamische Verhalten der Luftbehandlung ist dies eine sinnvolle Ergänzung zur Grundlastabdeckung mit dem Flächensystem (Fußboden bzw. Wand).

c) Beleuchtung/Sonnenschutz

- **Präsenzabhängige Abschaltung der Beleuchtung**

Die Beleuchtung wird abgeschaltet, sobald eine gewisse Zeit keine Raumbelegung mehr erkannt wird.

- **Konstantlichtregelung**

Durch rauminterne Lichtfühler wird die Beleuchtungsstärke auf eine parametrierbare Beleuchtungsstärke geregelt. Bei steigender Tageslichtversorgung wird so der Energieeinsatz durch das Kunstlicht minimiert. Der Einschaltvorgang erfolgt durch einen Tastendruck des Nutzers.

Wenn sich der Nutzer nicht mehr in dem Raum befindet oder die Tageslichtversorgung dementsprechend ausreichend ist, wird die Beleuchtung automatisch abgeschaltet.

- **Sonnenstandsabhängige Nachführung der Lamellen und Blendschutz**

Durch die exakte Berechnung des jahreszeitabhängigen Sonnenstands werden die Lamellen der außen liegenden Jalousie so positioniert, dass zu jeder Tageszeit eine optimale Tageslichtversorgung gewährleistet ist. Hierbei wird auch die Blendfreiheit für die Raumnutzer berücksichtigt.

- **Passive Solarnutzung**

Falls der Raum im Winterfall nicht belegt ist, werden die Jalousien nach oben gefahren, um die passiven Solargewinne ausnutzen zu können.

Umgekehrt muss im Sommerfall die Jalousie bei keiner Belegung nach unten gefahren werden, um eine unnötige Aufheizung zu vermeiden.

d) Übergeordnete Funktionen

Ein großer Vorteil von einem Gewerke übergreifenden Automationssystem ist die Möglichkeit von übergeordneten Funktionen, die besonders hohe Einsparpotenziale ermöglichen. Dies betrifft hier folgende Funktionen:

- **Verriegelung Kühlen / Heizen**

Wenn das Heiz- und das Kühlsystem nicht so konzipiert sind, dass entweder nur geheizt oder nur gekühlt werden kann, ist es möglich, dass beide Systeme einander negativ beeinflussen und dadurch hohe Energieverbräuche erzeugen.

Um dies zu vermeiden, muss durch eine Verriegelungsfunktion dies ausgeschlossen werden.

- **Zusammenspiel Tageslicht und Kunstlicht**

Für eine optimale Ausnutzung der Tageslichtversorgung ist es erforderlich, dass die bereits beschriebene sonnenstandsabhängige Nachführung der Jalousielamellen und die Konstantlichtregelung Informationen austauschen können.

Tabelle 3.5 zeigt zur Übersicht der unterschiedlichen Anforderungen auf Basis der GA-Effizienzklassen welche Funktion (nach VDI 3813-2 (7)) entsprechend der jeweiligen Klasse, nach DIN EN 15232 (3) zugeordnet werden kann.

Tabelle 3.5: Zuordnung Funktionen VDI 3813-2 (7) und DIN EN 15232 (3).

Funktionen VDI 3813-2 2011-5		Zuordenbare Klasse nach DIN EN 15232 (Zweckbau)
Anwendungsfunktionen		
Basisfunktionen	Belegungsauswertung	
	Steuerung über Raumnutzungsarten	
	Zeitprogramm	
	Trennwandsteuerung	
Beleuchtungsfunktionen	Lichtschaltung	D
	Treppenlichtschaltung	C
	Automatiklicht	A
	Tageslichtschaltung	A
	Konstantlichtregelung	A
	Dämmerungsschaltung	C
	Sonnenschutzfunktionen	Prioritätssteuerung
Dämmerungsautomatik		C
Sonnenautomatik		C
Lamellennachführung		C
Verschattungskorrektur		C
Thermoautomatik		A
Witterungsschutz		C
Raumklimafunktionen	Energieniveauwahl	C
	Energieniveauwahl mit Startoptimierung	A
	Sollwertermittlung	A
	Funktionswahl	C
	Temperaturregelung	C
	Raum-/ Zulufttemperatur- Kaskadenregelung	A
	Ventilatorsteuerung	B
	Sequenzsteuerung	C
	Stellwertbegrenzung	C
	Luftqualitätssteuerung / -regelung	A
Nachtkühlung	C	
Volumenstromregelung	A	

3.4 Bibliothek von Fassaden- und Raumautomationsfunktionen

Die planerischen Grundlagen, die in den vorhergehenden Kapiteln detailliert beschrieben wurden werden nun konkret als Funktionsblöcke in einer Programmierumgebung nach IEC 61131 (8) umgesetzt.

Für die Programmierung wird in diesem Projekt das Softwaretool "TWINCAT" der Fa. Beckhoff verwendet. Da es sich hier aber um eine normkonforme Programmiersprache, handelt können die Funktionsblöcke in jede Umgebung übernommen werden, die nach IEC 61131 (8) programmiert werden kann.

Da der Testraum des Fassadenteststands konkretes Anwendungsbeispiel dieses Vorhabens ist, wird nachfolgend ausschließlich auf die Bibliothek für Funktionen der Raumautomation und damit auf die Richtlinie VDI 3813 (4), die für den Fassadenteststand in Frage kommen, eingegangen.

Entsprechend der Richtlinie VDI 3813 (4) findet eine Untergliederung in die Funktionsgruppe Sensor-, Aktor- und Anwendungsfunktionen statt.

Tabelle 3.6 zeigt eine Übersicht der Funktionen, wie sie in der VDI Richtlinie 3813-2 beschrieben werden. Die nachfolgenden Spalten zeigen jeweils welche der Funktion und mit welcher Hardwarebasis diese in der in diesem Vorhaben entwickelten Bibliothek umgesetzt wurde.

Aus der Tabelle 3.6 ist ersichtlich, dass nicht alle Funktionen nach VDI 3813-2 umgesetzt wurden, vielmehr wurden auf die Testfassade mit Testraum erforderliche Funktionen, entsprechend der jeweils Funktion der VDI 3813-2, umgesetzt.

Neben den Sensor-, Aktor- und Anwendungsfunktionen nach VDI 3813-2 wurden auch auf die Testfassade zugeschnittene Makrofunktionen entwickelt. Makrofunktionen sind nach VDI 3813 zusammengesetzte Funktionen als Kombination aus Sensor-, Aktor- und Anwendungsfunktionen und Makrofunktionen. Ein Beispiel findet sich in der VDI 3813-2.

Der Teil 3 der VDI 3813 mit Anwendungsbeispielen zu Makrofunktionen befindet sich mit Abschluss dieses Vorhabens noch im Entwurf. Der Gründruck ist für Ende 2012 geplant. Nach diesem Entwurf wurden bereits die Makrofunktionen in Tabelle 3.41 für die Testfassade definiert.

Tabelle 3.6: Funktionen nach dem Entwurf der Richtlinie VDI 3813 Blatt 2.

VDI 3813-2	Autifas - Bibliothek	Hardware		
Funktionen nach dem Entwurf der Richtlinie VDI 3813 Blatt 2				
6.1	Sensorfunktionen	1	Sensorfunktionen	
6.1.2	Präsenzerkennung	1.2	Präsenzerkennung	
		1.2.1	Sensorfkt_MDS_Occu	Thermokon_SR_MDS_Solar_315
6.1.3	Fensterüberwachung			
6.1.4	Taupunktüberwachung			
6.1.5	Lufttemperaturmessung	1.5	Lufttemperaturmessung	
		1.5.1	Beckhoff_PT_100	Beckhoff KL3202
		1.5.2	Sensorfkt_SR65_T	Thermokon_SR65
		1.5.3	Sensorfkt_SR04_T	Thermokon_SR04rH
		1.5.4	Sensorfkt_SR04CO2_T	Thermokon_SR04CO2
		1.5.5	Sensorfkt_SR04PST_T	Thermokon_SR04PST
6.1.6	Helligkeitsmessung	1.6	Helligkeitsmessung	
		1.6.1	Sensorfkt_MDS_Helligkeit	Thermokon_SR_MDS_Solar_315
6.1.7	Luftqualitätsmessung	1.7	Luftqualitätsmessung	
		1.7.1	Sensorfkt_SR04CO2_CO2	Thermokon_SR04CO2
6.1.8	Windgeschwindigkeit			
6.1.9	Niederschlagserkennung			
6.1.10	Weitere Sensorfunktionen	1.10	Weitere Sensorfunktionen	
		1.10.1	Sensorfkt_SR04_F	Thermokon_SR04rH
6.2	Aktorfunktionen	2	Aktorfunktionen	
6.2.2	Lichtaktor	2.2	Lichtaktor	
		2.2.1	Dali-Lichtaktor	
6.2.3	Sonnenschutzaktor	2.3	Sonnenschutzaktor	
		2.3.1	Sonnenschutzaktor mit digitaler Ausgangsklemme	
6.2.4	Stellantriebsaktor	2.4	Stellantriebsaktor	
		2.4.1	Stellantriebsaktor mit analoger Ausgangsklemme	
6.2.5	Weitere Aktorfunktionen	2.5	Weitere Aktorfunktionen	
		2.5.1	Aktorfunktion_Ventilator	
		2.5.2	Aktorfunktion_Klappe	
6.3	Gemeinsame kommunikative Ein- und Ausgabefunktionen			

6.4	Bedien- und Anzeige-funktionen	4	Bedien- und Anzeige-funktionen	
6.4.2	Licht stellen	4.2	Licht stellen	
6.4.3	Sonnenschutz stellen			
6.4.4	Antrieb stellen			
6.4.5	Temperatur-Sollwert stellen	4.5	Sollwertvorgabe	
6.4.6	Raumnutzungsart wählen			
6.4.7	Präsenz melden	4.7	Präsenz melden	Thermokon_SR04PST
6.4.8	Weitere Bedien- und Anzeigefunktionen	4.8	Weitere Bedien- und Anzeigefunktionen	
		4.8.1	Ventilatorstufe einstellen	Thermokon_SR04PST
		4.8.2	Temperatursollwert einstellen	Thermokon_SR04PST
		4.8.3	Licht schalten	
6.5	Anwendungsfunktion	5	Anwendungsfunktion	
6.5.2	Bedienungsauswertung	5.2	Bedienungsauswertung	
6.5.3	Steuerung über Raumnutzungsarten			
6.5.4	Zeitprogramm			
6.5.5	Trennwandsteuerung			
6.5.6	Lichtschaltung			
6.5.7	Treppenlichtschaltung			
6.5.8	Automatiklicht			
6.5.9	Tageslichtschaltung			
6.5.10	Konstantlichtregelung	5.10	Konstantlichtregelung	
6.5.11	Dämmerungsschaltung			
6.5.12	Prioritätssteuerung	5.12	Prioritätssteuerung	
6.5.13	Dämmerungsautomatik			
6.5.14	Sonnenautomatik (einfacher Sonnenschutz)	5.14	Sonnenautomatik	
6.5.15	Lamellennachführung (gehobener Sonnenschutz)	5.15	Lamellennachführung	
6.5.16	Verschattungskorrektur			
6.5.17	Thermoautomatik	5.17	Thermoautomatik	
6.5.18	Witterungsschutz			
6.5.19	Energieniveauwahl	5.19	Energieniveauwahl	
6.5.20	Energieniveauwahl mit Startoptimierung			
6.5.21	Sollwertermittlung	5.21	Sollwertermittlung	
6.5.22	Funktionswahl	5.22	Funktionswahl	
6.5.23	Temperaturregelung	5.23	Temperaturregelung	

6.5.24	Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung		
6.5.25	Ventilatorsteuerung		
6.5.26	Sequenzsteuerung		
6.5.27	Stellwertbegrenzung		
6.5.28	Luftqualitätssteuerung/-regelung	5.28	Luftqualitätssteuerung/-regelung
6.5.29	Nachtkühlung	5.29	Nachtkühlung
6.5.30	Volumenstromregelung		
6.6	Funktionserweiterung und –synthese	6.6	Funktionserweiterung und –synthese
6.6.1	Funktionserweiterungen	6.1	Funktionserweiterungen
		6.1.1	Sonnenstandsrechnung
		6.1.2	Gedämpfte Außentemperatur
6.7	Managementfunktionen		
6.8	Bedienfunktionen		

Die folgenden Beschreibungen der einzelnen Funktionen wurden der VDI Richtlinie 3813-2 entnommen. Bei einigen Funktionen wurden Parameter, die in der VDI 3813-2 offen gelassen wurden, entsprechend der Aufgabenstellung spezifiziert. Die Nummerierung der Sensor- und Aktorfunktionen (1,2 ...) bezieht sich auf die in Tabelle 3.6 aufgeführten Funktionen der Autifas - Bibliothek.

1 Sensorfunktionen

In der VDI 3813-2 wird in Abschnitt „6.1.5 Lufttemperaturmessung“ die Sensorfunktion Lufttemperatur beschrieben. Die Messung der Lufttemperatur wird in diesem Forschungsprojekt in Abhängigkeit der eingesetzten Sensortechnologie auf unterschiedliche Weise realisiert. Nachfolgend werden dazu die konkreten Sensorfunktionen und ihre Implementierung in TWINCAT beschrieben.

1.2 Präsenzerkennung

1.2.1 Funktion Präsenzerkennung nach Tabelle 3.6 realisiert mit EnOcean Multisensor-Fühler (SR_MDS_Solar_315)

Die Auswertung der Bewegung liefert einen binären Wert (Anwesenheit | Keine Anwesenheit). Es findet durch den Funktionsblock „Präsenzerkennung_MDS_Occu“ lediglich eine Umwandlung des Funksignals in das eigentliche Anwesenheitssignal statt.

Die Parameter des Funktionsblocks sind in Tabelle 3.7 dargestellt.

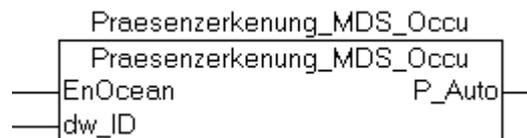


Abbildung 3.2: Funktionsblock für „Präsenzerkennung“ mit SR_MDS_Solar_315 Multisensor.

Tabelle 3.7: Parameter Präsenzerkennung -Funktion SR_MDS_Solar_315.

Anwesenheit mit SR_MDS_Solar_315		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
P_Auto	BOOL	Bewegung erkannt
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

1.5 Sensorfunktion Lufttemperaturmessung

1.5.1 Funktion Lufttemperaturmessung nach Tabelle 3.6 realisiert mit PT 100-Klemme

Mit der PT 100-Klemme KL 3202 und einem PT 100-Temperaturfühlerelement wird in dem Fassadenlüftungsgesamt die Zulufttemperatur gemessen. Diese Klemme liefert am Eingang T den internen Messwert. Durch eine Division mit 10 wird der physikalische Wert der Temperatur berechnet und am Ausgang T_out zur Verfügung gestellt. Dieser Divisor ist eine interne Eigenschaft dieser Klemme und nicht ein veränderbarer Parameter im Sinne der VDI 3813.

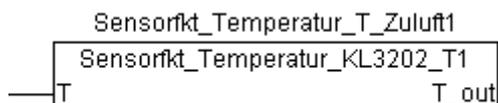


Abbildung 3.3: Funktionsblock für „Lufttemperaturmessung“ mit PT 100-Klemme KL 3202.

Tabelle 3.8: Parameter der Sensorfunktion „Lufttemperaturmessung“ mit PT 100-Klemme KL 3202.

Temperaturmessung mit PT 100-Klemme KL 3202		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
T	Integer	Daten der PT 100-Klemme
Ausgabeinformation		
T_out	Real	Temperatur

1.5.2 Funktion Lufttemperaturmessung nach Tabelle 3.6 realisiert mit Thermokon-Außentemperaturfühler (SR65)

Der EnOcean Außentemperaturfühler SR65 wird durch eine effiziente Solarzelle betrieben und kann so ohne kontinuierliche Wartungsarbeiten (z. B. wegen eines Batteriewechsels) eingesetzt werden. (1)

Die eigentliche Wertabfrage wird durch den Funktionsblock „fb_Rec_Generic“ aus der Beckhoff EnOcean-Bibliothek „Tckl6581.lib“ durchgeführt. Anschließend wird der Messwert in Abhängigkeit einer Kennlinie, die als Parameter hinterlegt werden ist ausgegeben. Durch die Kennlinie wird der Binärwert (0-255) in einen Temperaturwert umgerechnet.

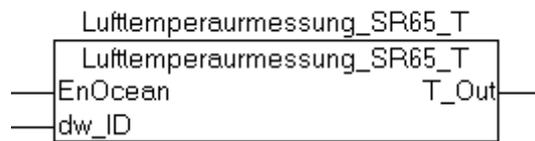


Abbildung 3.4: Funktionsblock für Lufttemperaturmessung mit Thermokon SR65.

Tabelle 3.9: Parameter der Sensorfunktion Temperaturmessung mit EnOcean SR65.

Temperaturmessung mit EnOcean SR65		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
T_Out	Real	Temperatur
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

Beteiligte Eingabeinformationen

EnOcean Die Eingabeinformation stammt von dem EnOcean-Funktionsblock FB_KL6581 der die Daten des Funkprotokolls zur Verfügung stellt

Beteiligte Ausgabeinformationen

T_OUT enthält die gemessene Lufttemperatur

Erforderliche Parameter

dw_ID ist die EnOcean Identifikationsnummer des Sensors

Die Auswertung des Eingangssignals erfolgt nach folgender Temperaturkennlinie:

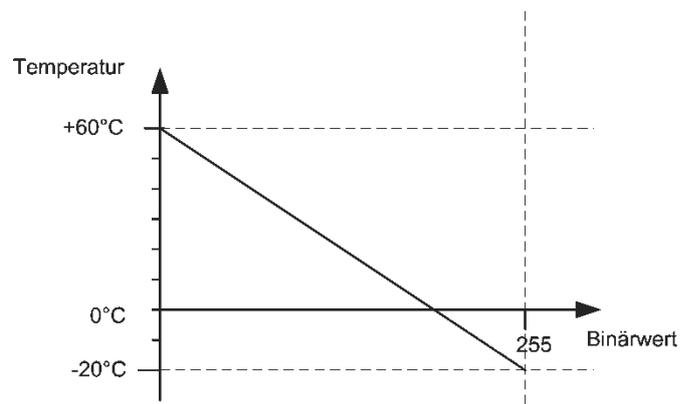


Abbildung 3.5: Kennlinie zur Berechnung der Temperatur aus dem Binärwert.

1.5.3 Funktion Lufttemperaturmessung nach Tabelle 3.6 realisiert mit Thermokon Temperatur Feuchte-Fühler (SR04rH)

Der Feuchte-Fühler Thermokon SR04rH misst neben der relativen Luftfeuchte auch die Lufttemperatur. Für die Messung der Lufttemperatur wurde der folgende Funktionsblock erstellt.

Die Parameter des Funktionsblocks werden in Tabelle 3.10 dargestellt.

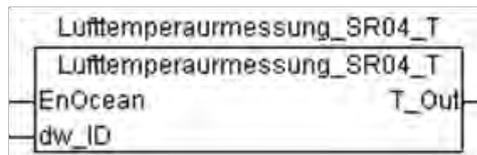


Abbildung 3.6: Funktionsblock für Lufttemperaturmessung mit Thermokon SR04rH.

Tabelle 3.10: Parameter der Sensorfunktion „Lufttemperaturmessung“ mit Thermokon SR04rH.

Lufttemperaturmessung mit Thermokon SR04rH		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
T_Out	Real	Temperatur
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

Beteiligte Eingabeinformationen

EnOcean Die Eingabeinformation stammt von dem EnOcean-Funktionsblock FB_KL6581 der die Daten des Funkprotokolls zur Verfügung stellt

Beteiligte Ausgabeinformationen

T_Out enthält die gemessene Lufttemperatur

Erforderliche Parameter

dw_ID ist die EnOcean Identifikationsnummer des Sensors

1.5.4 Funktion Lufttemperaturmessung nach Tabelle 3.6 realisiert mit Thermokon SR04CO2

Der Sensor SR04CO2_T liefert sowohl den CO₂-Gehalt der Luft als auch die Temperatur der Luft. In diesem Funktionsblock wird die Lufttemperatur ausgewertet

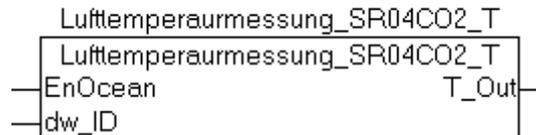


Abbildung 3.7: Funktionsblock für Lufttemperaturmessung mit Thermokon SR04CO2.

Tabelle 3.11: Parameter der Sensorfunktion „Lufttemperaturmessung“ mit Thermokon SR04CO2.

Lufttemperaturmessung mit Thermokon SR04CO2		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
T_Out	Real	Temperatur
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

Beteiligte Eingabeinformationen

EnOcean Die Eingabeinformation stammt von dem EnOcean-Funktionsblock FB_KL6581 der die Daten des Funkprotokolls zur Verfügung stellt.

Beteiligte Ausgabeinformationen

T_OUT enthält die gemessene Lufttemperatur.

Erforderliche Parameter

dw_ID ist die EnOcean Identifikationsnummer des Sensors.

1.5.5 Funktion Lufttemperaturmessung nach Tabelle 3.6 realisiert mit Thermokon SR04PST

Die Daten des solarbetriebenen Raumtemperaturfühlers mit Sollwertsteller, Präsenztaste und Stufenschalter wurde mit verschiedenen Funktionsblöcken ausgewertet.

Abbildung 3.8 zeigt die für die Raumtemperaturregelung erforderliche Erfassung der Raumtemperatur. Die Parameter des Funktionsblocks werden in Tabelle 3.12 dargestellt.

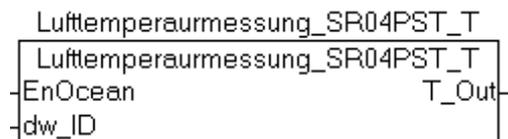


Abbildung 3.8: Funktionsblock für „Lufttemperaturmessung“ mit Thermokon SR04PST.

Tabelle 3.12: Parameter der Sensorfunktion „Lufttemperaturmessung“ mit Thermokon SR04PST.

Lufttemperaturmessung mit Thermokon SR04PST		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
T_OUT	Real	Temperatur
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

Beteiligte Eingabeinformationen

EnOcean Die Eingabeinformation stammt von dem EnOcean-Funktionsblock FB_KL6581 der die Daten des Funkprotokolls zur Verfügung stellt

Beteiligte Ausgabeinformationen

T_OUT enthält die gemessene Lufttemperatur

Erforderliche Parameter

dw_ID ist die EnOcean Identifikationsnummer des Sensors

1.6 Helligkeitsmessung

1.6.1 Funktion Helligkeitsmessung nach Tabelle 3.6 realisiert mit Thermokon Multisensor-Fühler (SR_MDS_Solar_315)

Neben der Bewegungserfassung kann durch den solarbetriebenen Decken-Multisensor auch die Helligkeit gemessen werden. Mit einem dementsprechenden Grenzwert kann beispielsweise neben der Abschaltung durch die Präsenz auch ab einer bestimmten Helligkeit die Beleuchtung deaktiviert werden.

Abbildung 3.9 zeigt den Funktionsblock für die Erfassung der Helligkeit. Die Parameter des Funktionsmakros werden in Tabelle 3.13 dargestellt.

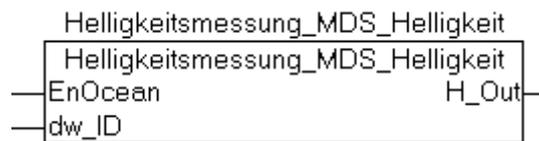


Abbildung 3.9: Funktionsblock für Helligkeitsmessung mit Thermokon SR_MDS_Solar_315.

Tabelle 3.13: Parameter der Sensorfunktion „Helligkeitsmessung“ mit Thermokon SR_MDS_Solar_315.

Helligkeitsmessung mit EnOcean SR_MDS_Solar_315		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
H_Out	Real	Helligkeit
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

Beteiligte Eingabeinformationen

EnOcean Die Eingabeinformation stammt von dem EnOcean-Funktionsblock FB_KL6581 der die Daten des Funkprotokolls zur Verfügung stellt

Beteiligte Ausgabeinformationen

H_Out enthält die gemessene Helligkeit in Lux

Erforderliche Parameter

dw_ID ist die EnOcean Identifikationsnummer des Sensors

1.7 Luftqualitätsmessung

1.7.1 Funktion Luftqualitätsmessung nach Tabelle 3.6 realisiert mit Thermokon CO2-Fühler (SR04CO2)

Durch den Sensor wird sowohl der Kohlendioxidgehalt, als auch die Umgebungstemperatur gemessen. In diesem Funktionsblock wird das Kohlendioxidssignal ausgewertet. Die Parameter des Funktionsblocks werden in Tabelle 3.14 dargestellt.

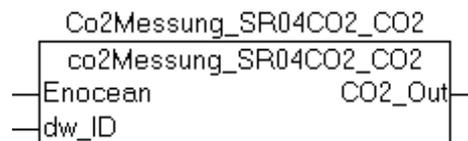


Abbildung 3.10: Funktionsblock für Luftqualitätsmessung mit Thermokon SR04CO2.

Tabelle 3.14: Parameter der Sensorfunktion „Luftqualitätsmessung“ mit Thermokon SR04CO2.

Luftqualitätsmessung mit Thermokon SR04CO2		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
CO2_Out	Real	CO2-Konzentration
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

Beteiligte Eingabeinformationen

EnOcean Die Eingabeinformation stammt von dem EnOcean-Funktionsblock FB_KL6581 der die Daten des Funkprotokolls zur Verfügung stellt

Beteiligte Ausgabeinformationen

CO2_Out enthält die gemessene CO2-Konzentration

Erforderliche Parameter

dw_ID ist die EnOcean Identifikationsnummer des Sensors

1.10 Weitere Sensorfunktionen

1.10.1 Funktion Feuchtemessung nach Tabelle 3.6 mit EnOcean Feuchte-Fühler (SR04rH)

Mit dem Sensor wird die relative Feuchte gemessen. Der Sensor wird durch eine kleine Solarzelle betrieben.

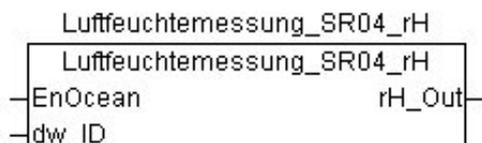


Abbildung 3.11: Funktionsblock für Luftfeuchtemessung mit Thermokon SR04rH.

Tabelle 3.15: Parameter der Sensorfunktion „relative Luftfeuchte“ mit Thermokon SR04rH.

Luftfeuchtemessung mit Thermokon SR04rH		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
rH_Out	Real	Relative Luftfeuchtigkeit
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

Beteiligte Eingabeinformationen

EnOcean Die Eingabeinformation stammt von dem EnOcean-Funktionsblock FB_KL6581 der die Daten des Funkprotokolls zur Verfügung stellt

Beteiligte Ausgabeinformationen

rH_Out enthält die relative Luftfeuchtigkeit

Erforderliche Parameter

dw_ID ist die EnOcean Identifikationsnummer des Sensors

2 Aktorfunktionen

Gemäß VDI 3813-2 (7) wandeln Aktorfunktionen Eingabeinformationen, die aus Bedien- oder Anwendungsfunktionen des Automationssystems stammen, in physikalische Größen entsprechend ihrer Ausgabeschnittstelle um. Sie repräsentieren damit die physikalischen Ausgaben des Automationssystems zur Umwelt. Die Darstellung erfolgt – analog zu Sensoren – als Funktionsblock mit Eingabeinformation und korrespondierender physikalischer Ausgabe. Zusätzlich verfügen Aktoren über eine Ausgabeinformation, die den aktuellen Stellwert der physikalischen Schnittstelle zur Verfügung stellt.

Im Folgenden werden die in Tabelle 3.6 aufgeführten Aktorfunktionen näher beschrieben.

2.2 Lichtaktor

2.2.1 DALI-Lichtaktor nach Tabelle 3.6

Der DALI-Lichtaktor als Softwarebaustein kommuniziert mit der DALI-Klemme KL6811 der Fa. Beckhoff. Zu dieser Klemme wird eine umfangreiche Softwarebibliothek angeboten. Ein notwendiger Baustein ist „FB_DALIV2Communication“, der die Daten über die Klemme KL6811 auf den DALI-Bus sendet. Dieser Baustein und seine Funktionsweise werden in der Dokumentation von Beckhoff detailliert beschrieben (TcPlcLibDali.chm).

Für die hier programmierte Aktorfunktion wird intern der Funktionsblock „FB_DALIV2DirectArcPowerControl“ verwendet. Er sendet einen Wert an eine einzelne Leuchte oder eine Gruppe. Damit er als Aktor im Sinne der VDI 3813-2 arbeitet, wird ihm ein Programmteil vorgeschaltet, das ihn bedient. Wenn sich der Wert am Eingang des Aktors ändert, wird intern ein Impuls erzeugt, um den neuen Wert auf den DALI-Bus zu senden.



Abbildung 3.12: Funktionsblock für „Dali Lichtaktor“.

Tabelle 3.16: Parameter der Aktorfunktion „DALI-Lichtaktor“.

Aktorfunktion „DALI-Lichtaktor“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
L_SET	REAL	Dimmwert der Beleuchtung
Ausgabeinformation		
Erfolgt über den Baustein „FbDALI_Jobliste_1“		
Parameter		
L_Diff	REAL	Änderungswert ab dem der neue Dimmwert gesendet wird
nAddr	Byte	Adresse einer Leuchte oder Gruppe
eAddrType	Bool	Bestimmt, ob das Signal an eine Gruppe oder eine einzelne Leuchte gesendet wird

Beteiligte Eingabeinformationen

L_SET Sollwert der Beleuchtung als Dimmwert zwischen 0..100%

Beteiligte Ausgabeinformationen

Erfolgt über den Baustein „FbDALI_Jobliste_1“. Diese Kommunikation erfolgt im Hintergrund und ist nicht im Funktionsblock zugänglich.

Erforderliche Parameter

L_Diff Wenn sich der Dimmwert L_SET um den Betrag L_Diff ändert wird das neue Stellsignal an den DALI-Bus gesendet

nAddr Adresse des Dali-Teilnehmers. Das kann eine Leuchte oder eine Leutengruppe sein

eAddrType Bestimmt, ob das Signal an eine einzelne Leuchte oder eine Gruppe gesendet wird

2.3 Sonnenschutzaktor

Sonnenschutzaktoren positionieren Schutzeinrichtungen aufgrund von Eingabeinformationen, die z. B. aus Witterungsschutz-, Anwendungs- (z. B. Blendschutz-) sowie Bedienfunktionen stammen. Jedes Schutzelement wird als Sonnenschutzaktor-Funktion repräsentiert.

Die Ansteuerung des Sonnenschutzes muss prozentual für die Ausfahrlänge (offene Position = 0 %; geschlossene Position = 100 %) und zusätzlich bei verstellbaren Lamellen graduell für die Lamellenlage (z. B. Lamellenwinkel von -80° bis 40°) möglich sein. Das heißt, die Aktorfunktion muss in der Lage sein, den Sonnenschutz in jede mechanisch erreichbare Position zu bringen.

Der maximale und der minimale Lamellenwinkel sowie die Gesamtlaufzeit des Sonnenschutzes müssen anpassbar sein. Die aktuelle Behangposition und Lamellenstellung stehen als Ausgabeinformation für Anzeigefunktionen zur Verfügung. Es ist sicherzustellen, dass die Reaktionszeit des Aktors nach Empfang von Eingabeinformationen zur Positionierung weniger als 200 ms beträgt, um eine wahrnehmbare Trägheit für den Bediener zu vermeiden. Um bei Spannungswiederkehr eine definierte Position einzunehmen, ist die Parametrierung dieses Positionswerts erforderlich.

2.3.1 Sonnenschutzaktor nach Tabelle 3.6 realisiert durch eine digitale Ausgangsklemme

Dieser Funktionsblock bildet gemeinsam mit einer digitalen Ausgangsklemme das System „Sonnenschutzaktor“.



Abbildung 3.13: Funktionsblock für „Sonnenschutzaktor“.

Tabelle 3.17: Parameter der Aktorfunktion „Sonnenschutzaktor“

Sonnenschutzaktor		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
S_SET	Jal	Zielposition des Sonnenschutzes
Ausgabeinformation		
S_STA	Jal	momentane Position des Sonnenschutzes
Physikalische Ausgabe		
Motor_Auf	Bool	Motorrelais für Aufwärtsbewegung
Motor_Ab	Bool	Motorrelais für Abwärtsbewegung
Parameter		
PAR_PON	Jal	Zielposition bei Spannungswiederkehr
PAR_RT	time	Laufzeit des Sonnenschutzes
PAR_TT	time	Zeit zum Wenden der Lamellen
PAR_ANG	Real	Winkelangaben der Lamellen

Beteiligte Eingabeinformationen

S_SET Zielposition des Sonnenschutzes als Wert zwischen 0..100%

Beteiligte Ausgabeinformationen

S_STA Eine integrierte Laufzeitsimulation berechnet die momentane Position des Sonnenschutzes.

Physikalische Ausgabe

Motor_Auf Signal für das Motorrelais für Aufwärtsbewegung

Motor_Ab Signal für das Motorrelais für Abwärtsbewegung

Erforderliche Parameter

PAR_PON Nach einem Spannungsabfall soll der Sonnenschutz diese Position anfahren.

PAR_RT Die Laufzeit des Sonnenschutzes dient der Berechnung der aktuellen Position

PAR_TT Zeit zum Wenden der Lamellen. Sie ist erforderlich wenn mit dieser Lamelle eine bestimmte Winkelfunktion angefahren werden soll

PAR_ANG Der gewünschte Winkel für den Fall das ein bestimmter Winkel der Lamelle angefahren werden soll

2.4 Stellantriebsaktor

2.4.1 Funktionsblock Stellantriebsaktor nach Tabelle 3.6 realisiert durch eine analoge Ausgangsklemme

Dieser Funktionsblock erzeugt ein Signal für Ventile aus Eingabeinformationen, die aus Bedien- oder Anwendungsfunktionen stammen, z. B. zur Regelung der Raumtemperatur. Die Ansteuerung erfolgt als Wert (geschlossen = 0; geöffnet = 1). Die tatsächlich erzielbare Positioniergenauigkeit ist von den verwendeten Antrieben und dem mechanischen Gesamtsystem abhängig.

Dieser Funktionsblock rechnet das Stellsignal des Reglers in den Binärwert für den AD-Wandler um. Dazu dient der Parameter „Range“. Bei den verwendeten Beckhoff-Klemmen entspricht der Bereich 15 Bit einem Wert von 0 ... 32767. Bei einigen Ventilantrieben kann man am Ventil den Wirksinn mit einem (DIP)Schalter umschalten. Das Signal „1“ bedeutet dann „geschlossen“. Durch diesen Parameter kann der Wirksinn auch in der Software geändert werden.

Dieser Funktionsblock enthält eine Laufzeitsimulation. An dem Ausgang V_STA wird die momentane Position ausgegeben. Dieser Wert wird an eine übergeordnete Leittechnik weitergeleitet und dient der Visualisierung.

Damit die Ventile nicht „festfrieren“, werden sie nach einer einstellbaren Stillstandszeit auf- und zuge dreht. Diese Stillstandszeit ist einstellbar.



Abbildung 3.14: Funktionsblock für „Temperaturregelung“.

Tabelle 3.18: Parameter der Aktorfunktion für „Stellantriebsaktor“.

Stellantriebsaktor		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
rV_set		Stellsignal im Wertebereich 0..100
Physikalische Ausgabe		
Y	Binär	Stellsignal im Wertebereich 0..32767
Ausgabeinformation		
V_STA	INT	momentane Position des Stellantriebs in Prozent
Parameter		
sPAR_CAL	PAR_CAL	Parameter zur Kalibrierung der physikalischen Schnittstelle

Beteiligte Eingabeinformationen

rV_set Die Eingabeinformation stammt von Anwendungsfunktionen z. B. zur Regelung der Raumtemperatur

Physikalische Ausgabe

Y Die Ausgabeinformation enthält das Signal für die Ausgabeklemme im Bereich 0-15 Bit.

Beteiligte Ausgabeinformationen

V_STA Enthält die momentane Position des Stellantriebs in Prozent die von einer internen Laufzeitsimulation zur Verfügung gestellt wird. Dieser Wert wird an eine übergeordnete Leittechnik weitergeleitet und dient der Visualisierung.

Erforderliche Parameter

Der Datentyp „Par_CAL“ enthält die für diesen Ventiltyp notwendigen Parameter. Er ist vom Type Struct und wie folgt definiert.

```

Struct
    Range           Int    Auflösung des DA-Wandlers
    Wirksinnumkehr Bool   Drehrichtung des Ventils wird geändert
    Laufzeit_Ventil Zeit   Laufzeit des Ventils bis geöffnet
    Stillstandzeit Zeit   Festfrostschutz z. B. 12 h
END_STRUCT
    
```

2.5 Weitere Aktorfunktionen

2.5.1 Aktorfunktion Ventilator nach Tabelle 3.6

Diese Funktion (Abbildung 3.15) ist insbesondere auf das in dem Projekt verwendete TROX-Lüftungsgerät angepasst.

Vom Prinzip her wird aber wie bei der Funktion „Stellantrieb“ das Signal des Reglers auf ein Stellsignal für den Lüftermotor bzw. für den Frequenzumrichter umgewandelt.

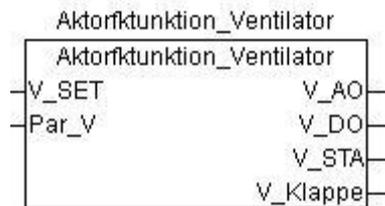


Abbildung 3.15: Funktionsblock Aktorfunktion Ventilator.

Tabelle 3.19: Parameter der Aktorfunktion „Ventilator“.

Aktorfunktion - Ventilator		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
V_SET	Real	Stellsignal im Wertebereich 0..100%
Ausgabeinformation		
V_AO	INT	Analoges Ausgangssignal
V_DO	Bool	Digitales Ausgangssignal an die TROX Ventilatorsteuerung
V_STA	INT	Aktueller Wert des Stellsignals (0-100%)
V_Klappe	Bool	Freigabe an die Außen- und Fortluftklappe am Trox-Gerät
Parameter		
Par_V	Int	Wertebereich der analogen Ausgangsklemme

Beteiligte Eingabeinformationen

V_SET Mit diesem Wert zwischen 0-100 % wird die Drehzahl des Ventilators vorgegeben.

Beteiligte Ausgabeinformation

V_AO Die Ausgabeinformation enthält das Signal für die Ausgabeklemme im Bereich 0-15 Bit.

V_DO Diese Ausgabeinformation schaltet das Relais des Ventilators ein.

V_Klappe Diese Ausgabeinformation schaltet das Relais der TROX-AL-FL-Klappen ein.

Erforderliche Parameter

Par_V Mit diesem Parameter wird die Auflösung der analogen Ausgangsklemme eingestellt. (hier 15 Bit = 32767).

2.5.2 Aktorfunktion Klappe nach Tabelle 3.6

Diese Funktion ist auf eine mechanische Lüftungsklappe der Fa. D+H Mechatronic AG zugeschnitten. Der Öffnungswinkel wird über die Laufzeit der Motoren eingestellt.



Abbildung 3.16: Funktionsblock der Aktorfunktion „Klappe“.

Tabelle 3.20: Parameter der Aktorfunktion „Klappe“.

Aktorfunktion - Klappe		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
K_Set	Real	Stellsignal für den Öffnungswinkel 0..100%
Ausgabeinformation		
K_DO	Bool	Freigabesignal an die D+H Klappe
K_AUF_ZU	Bool	Änderung der Drehrichtung des Klappenmotors
K_STA	Real	Aktuelle Position der Lüftungsklappe
Parameter		
Par_K	Real	Laufzeit der Klappe bis zum maximalen Öffnungswinkel

Beteiligte Eingabeinformationen

K_Set Stellsignal für den Öffnungswinkel 0..100%

Beteiligte Ausgabeinformation

K_DO Freigabesignal an die D+H Klappe
 K_AUF_ZU Änderung der Drehrichtung des Klappenmotors
 K_STA aktuelle Position der Lüftungsklappe

Erforderliche Parameter

Par_K Laufzeit der Klappe bis zum maximalen Öffnungswinkel

4 Bedien- und Anzeigefunktionen (lokal)

4.2 Licht stellen nach Tabelle 3.6

Die Bedienfunktion Licht stellen wandelt eine manuelle Betätigung in eine Ausgabeinformation um. Diese steht anschließend den Anwendungsfunktionen als Eingabeinformation zur Verfügung. Hierbei kann es sich sowohl um Schalt- als auch um Dimmfunktionen handeln.



Abbildung 3.17: Funktionsblock für „Licht stellen“.

Tabelle 3.21: Parameter der Bedien- und Anzeigefunktion „Licht stellen“.

Bedien- und Anzeigefunktion „Licht stellen“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
xTaster	Bool	Signal vom Taster
Ausgabeinformation		
L_Set	Real	Stellwert der Beleuchtung
L_STA	Bool	Ausgangssignal für eine eventuell vorhandenen Kontrollleuchte am Taster
Parameter		
tZeitfenster	Time	Dauer des Tastersignal für „Kurz“
Rampendauer	Real	Mit diesem Wert wird die Dauer der ansteigenden Rampe festgelegt

Beteiligte Eingabeinformation

xTaster Mit diesem Eingang ist der Taster verbunden

Beteiligte Ausgabeinformation

L_Set Stellsignal an den Lichtaktor

L_STA Ausgangssignal für eine eventuell vorhandene Kontrollleuchte am Taster

Erforderliche Parameter

- tZeitfenster** Beschreibt die Dauer des Tastersignals für „Kurz“. Wird der Taster länger betätigt wird dies als lang interpretiert und die Dimmfunktion aktiviert.
- Rampendauer** Mit diesem Wert wird die Dauer der ansteigenden Rampe festgelegt.

Bei Einsatz von Tastern hat sich folgende Bedienweise zum Licht schalten oder dimmen bewährt.

Schaltfunktion:

Beim Betätigen des Tasters (Vorderflanke) wird je nach Parametrierung des Sensors eine Ein- oder Ausschalt-Information erzeugt. Wird nur ein Taster zum Umschalten des Lichtzustands verwendet, so stellt die erzeugte Ausgabeinformation die Invertierung der Eingabeinformation dar, um den aktuellen Zustand umzukehren.

Schalt-/ Dimmfunktion:

Bei kurzem Betätigen der Taste („kurz“ definiert sich dabei über den Parameter „Zeitfenster“) wird eine Ein- oder Ausschalt-Information bzw. die Invertierung des aktuellen Zustands erzeugt. Ein längeres Halten der Taste führt hingegen zu einer (zyklischen) Auf- oder Abdimm-Information. Ein Loslassen der Taste beendet den Dimmvorgang. Bei Bedienung mit einem Taster ändert sich nach jedem Dimmvorgang zusätzlich die Dimmrichtung. Die Dauer der Auf-Dimmrampe wird durch den Parameter Rampendauer festgelegt.

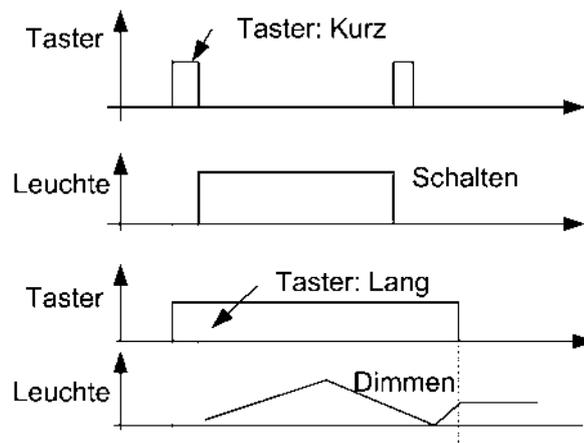


Abbildung 3.18: Verhalten der Bedien- und Anzeigefunktion „Licht stellen“.

4.5 Sollwertvorgabe nach Tabelle 3.6

In der TWINCAD-Umgebung wird der Funktionsblock Sollwertvorgabe erforderlich, der die Sollwertpaare für Heizen und Kühlen zur Verfügung stellt. Er enthält ein 2-dimensionales Array mit den Default-Werten.

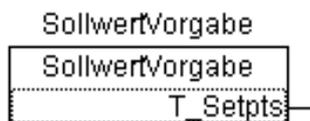


Abbildung 3.19: Funktionsblock der Bedien- und Anzeigefunktion „Sollwertvorgabe“.

Tabelle 3.22: Parameter der Bedien- und Anzeigefunktion „Sollwertvorgabe“.

Bedien- und Anzeigefunktion „Sollwertvorgabe“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Ausgabeinformation		
T_Setpts	Array of Real	Default Heiz/KühlSollwerte für alle Energie-niveaus

(*erste Spalte (X) Zweite Spalte(Y)*)

T_Setpts[1,1]:=10; T_Setpts[1,2]:=40; (*Protection: Heizen Kühlen*)

T_Setpts[2,1]:=14; T_Setpts[2,2]:=30; (*Economy: Heizen Kühlen*)

T_Setpts[3,1]:=18; T_Setpts[3,2]:=26; (*Precomfort Heizen Kühlen*)

T_Setpts[4,1]:=21; T_Setpts[4,2]:=24; (*Comfort Heizen Kühlen*)

4.7 Präsenz melden nach Tabelle 3.6 mit Thermokon SR04PST

Die Bedienfunktion Präsenz melden wandelt eine manuelle Betätigung in eine Ausgabeinformation um. Diese steht anschließend den Anwendungsfunktionen als Eingabeinformation zur Verfügung. Durch die Eingabeinformation kann der momentane Anwesenheitsstatus des Raums für den Nutzer angezeigt und über einen Bedienvorgang geändert werden. Zur Auswertung – auch in Kombination mit der Funktion Präsenzerkennung– dient die Funktion Belegungsauswertung.

In diesem Funktionsblock wird die Präsenztaste des SR04PST (Raumtemperaturfühler mit Sollwertsteller, Präsenztaste, Stufenschalter) ausgewertet.

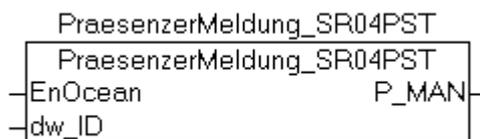


Abbildung 3.20: Funktionsblock für „Präsenz melden“ mit Thermokon SR04PST.

Tabelle 3.23: Parameter der Bedien- und Anzeigefunktion „Präsenz melden“.

Bedien- und Anzeigefunktion „Präsenz melden“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
P_MAN	Bool	Belegungszustand aus Bedienvorgang
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

Beteiligte Eingabeinformationen

EnOcean Die Eingabeinformation stammt von dem EnOcean-Funktionsblock FB_KL6581 den die Daten des Funkprotokolls zur Verfügung stellt

Beteiligte Ausgabeinformationen

P_MAN Belegungszustand aus Bedienvorgang

Erforderliche Parameter

dw_ID ist die EnOcean Identifikationsnummer des Sensors

4.8 Weitere Bedien und Anzeigefunktionen

4.8.1 Bedienfunktion „Ventilatorstufe“ nach Tabelle 3.6

Der Thermokon Enocean-Sensor SR04PST bietet die Möglichkeit an einem Drehschalter eine Ventilatorstufe auszuwählen. Durch Betätigen des Drehschalter wird der Wert des Signals Y_Set geändert.

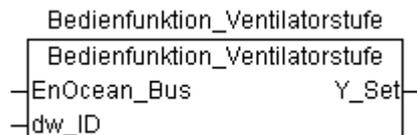


Abbildung 3.21: Funktionsblock für Bedien- Anzeigefunktion „Ventilatorstufe“ mit Thermokon SR04PST.

Tabelle 3.24: Parameter der Bedien- und Anzeigefunktion „Ventilatorstufe“.

Bedienfunktion „Ventilator stufe“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean_Bus	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
Y_Set	Integer	Ventilator stufe 1,2,3,4
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

Beteiligte Eingabeinformationen

EnOcean_Bus Die Eingabeinformation stammt von dem EnOcean-Funktionsblock FB_KL6581 den die Daten des Funkprotokolls zur Verfügung stellt

Beteiligte Ausgabeinformationen

Y_Set Enthalt den Wert für eine Ventilatorsteuerung mit dem Wertintervall 0,1,2,3,4

Erforderliche Parameter

dw_ID ist die EnOcean Identifikationsnummer des Sensors

4.8.2 Bedienfunktion „Sollwert Temperatur“ nach Tabelle 3.6

Der Thermokon EnOcean-Sensor SR04PST bietet die Möglichkeit an einem Drehpotentiometer einen Temperaturwert einzustellen.

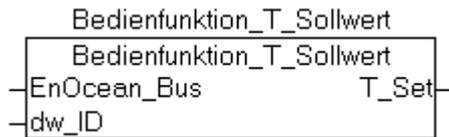


Abbildung 3.22: Funktionsblock für die Bedien- und Anzeigefunktion „Sollwert Temperatur“ mit Thermokon SR04PST.

Tabelle 3.25: Parameter der Bedien- und Anzeigefunktion „Sollwert Temperatur“ mit Thermokon SR04PST.

Bedienfunktion „Sollwert Temperatur“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean_Bus	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
T_Set	Real	Sollwert der Raumtemperatur
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

Beteiligte Eingabeinformationen

EnOcean_Bus Die Eingabeinformation stammt von dem EnOcean-Funktionsblock FB_KL6581 den die Daten des Funkprotokolls zur Verfügung stellt

Beteiligte Ausgabeinformationen

T_Set ist der eingestellte Wert der Raumtemperatur

Erforderliche Parameter

dw_ID ist die EnOcean Identifikationsnummer des Sensors

4.8.3 Bedienfunktion „Taster 2-fach“ nach Tabelle 5

Ein Taster 2-fach wird verwendet um die Beleuchtung zu schalten. Die Bedienfunktion „Taster2fach“ wertet die Daten EnOcean Protokolls aus.

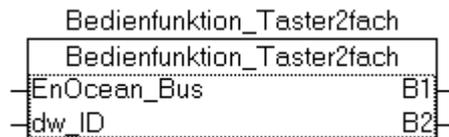


Abbildung 3.23: Funktionsblock für die Bedienfunktion „Taster 2-fach“ mit Thermokon SR04PST.

Tabelle 3.26: Parameter der Bedienfunktion „Taster 2-fach“ mit Thermokon SR04PST.

Bedienfunktion „Taster 2-fach“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
EnOcean_Bus	struct	Daten des Funkprotokolls
Ausgabeinformation		
B1	Bool	Taster 1
B2	Bool	Taster 2
Parameter		
dw_ID	Word	Sensor_ID für EnOcean

Beteiligte Eingabeinformationen

EnOcean_Bus Die Eingabeinformation stammt von dem EnOcean-Funktionsblock FB_KL6581 den die Daten des Funkprotokolls zur Verfügung stellt

Beteiligte Ausgabeinformationen

B1 Enthält den Wert des ersten Tasters
 B2 Enthält den Wert des zweiten Tasters

Erforderliche Parameter

dw_ID ist die EnOcean Identifikationsnummer des Sensors

5 Anwendungsfunktionen

5.2 Belegungsauswertung nach Tabelle 3.6

Um den Belegungszustand innerhalb eines Raums für alle weiteren Anwendungsfunktionen zu ermitteln, wertet die Funktion Belegungsauswertung die Ausgabeinformationen der Präsenzerkennung und von Bedienfunktionen (Präsenzmelden) aus. Somit können verschiedene Möglichkeiten der An- oder Abmeldung in Räumen realisiert werden.

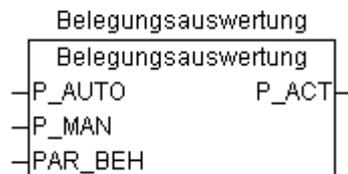


Abbildung 3.24: Funktionsblock für die Anwendungsfunktion „Belegungsauswertung“.

Tabelle 3.27: Parameter der Anwendungsfunktion „Belegungsauswertung“.

Anwendungsfunktion „Belegungsauswertung“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
P_AUTO	Bool	Präsenzzustand durch Präsenzsensoren
P_MAN	Bool	Präsenzzustand durch Bedienfunktion Präsenzmelden
Ausgabeinformation		
P_ACT	Bool	Anwesenheitsstatus für weitere Raumfunktionen
Parameter		
PAR_BEH		Verknüpfungsregel der Eingabeinformationen

Beteiligte Eingabeinformationen

- P_AUTO** Die Eingabe P_AUTO verarbeitet Ausgabeinformationen der Sensorfunktion Präsenzerkennung. Durch die Verknüpfungsregel PAR_BEH wird bestimmt, ob eine automatisch erkannte Anwesenheit ausreicht, um eine entsprechende Ausgabeinformation an P_ACT zu erzeugen („automatisch anmelden“) oder ob ein Bedienvorgang zur Anmeldung vorliegen muss (manuell anmelden). Für das Zurücksetzen in den nicht belegten Zustand ist immer die automatische Erkennung ausschlaggebend („automatisch abmelden“). Wird von allen verknüpften Sensorfunktionen hingegen ein „abwesend“-Status empfangen, so wird die Ausgabeinformation P_ACT auf „abwesend“ zurückgesetzt.
- P_MAN** Die Eingabe P_MAN verarbeitet die Bedienfunktion Präsenz melden. Bei entsprechender Verknüpfung kann damit erreicht werden, dass an der Ausgabeinformation P_ACT nur dann „anwesend“ erzeugt wird, wenn zusätzlich zur automatischen Erkennung eine Anmeldung über einen Bedienvorgang im Raum erfolgt. Ein „abwesend“-Status an P_MAN führt hingegen auf jeden Fall zur sofortigen Übernahme von P_ACT.

Beteiligte Ausgabeinformationen

- P_ACT** Über P_ACT wird die Anwesenheit für nachfolgende Anwendungsfunktionen wie Automatiklicht, Tageslichtschaltung, Konstantlichtregelung, Thermoautomatik und Energieniveauwahl zur Verfügung gestellt.

Erforderliche Parameter

- PAR_BEH** Der Verknüpfungsparameter entscheidet über die Behandlung der Eingabeinformationen. Es wird ein Betriebsmodus angeboten, in dem das alleinige Umschalten der automatischen Erkennung auf „anwesend“ reicht, um die Ausgabe P_ACT anzupassen. In der zweiten Betriebsart muss zur Umstellung der Ausgabeinformation P_ACT auf „anwesend“ zusätzlich die entsprechende Eingabeinformation an P_MAN vorliegen.

5.10 Konstantlichtregelung nach Tabelle 3.6

Die Anwendungsfunktion Konstantlichtregelung regelt die Raumbeleuchtung oder Teile davon bei Belegung automatisch so, dass eine eingestellte Mindestbeleuchtungsstärke nicht unterschritten wird. Dadurch wird ein kontrastreiches Arbeiten bei gleichzeitig minimalem Energieeinsatz gewährleistet. Während das Einschalten bei Unterschreitung der Mindestbeleuchtungsstärke oder das Abschalten der Beleuchtung nach dem Erreichen des Stellwert-Minimums über die Ein- und Abschaltverzögerungen beeinflusst werden kann, führt eine Änderung des Belegungszustands zu unverzögerten Schaltvorgängen. Zur Realisierung werden die Ausgabeinformation der Sensorfunktion Präsenzerkennung oder der Belegungsstatus der Basisfunktion Belegungsauswertung sowie die Beleuchtungsstärkeinformation der Sensorfunktion Helligkeitsmessung benötigt. Der Dimmwert wird an zugeordnete Aktorfunktionen Lichtaktor übermittelt. Optional kann der Nutzer über die Bedienfunktion Licht stellen die Beleuchtung auch manuell beeinflussen. In diesem Fall wird die Automatik bis zum Empfang einer „abwesend“-Information deaktiviert.

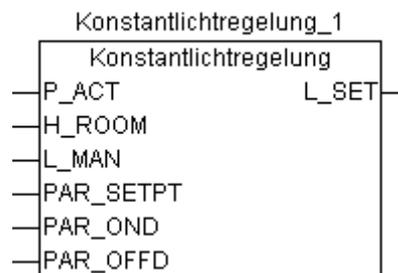


Abbildung 3.25: Funktionsblock für „Konstantlichtregelung“.

Tabelle 3.28: Parameter der Anwendungsfunktion „Konstantlichtregelung“.

Anwendungsfunktion „Konstantlichtregelung“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
P_ACT	Bool	Belegungszustand aus Belegungsauswertung/ Präsenzerkennung
H_ROOM	Real	gemessene Beleuchtungsstärke am Arbeits- platz
L_MAN	Real	Übersteuerung durch Nutzer
Ausgabeinformation		
L_SET	Real	(Regler-)Ausgangsgröße für zugehörige Aktorfunktionen
Parameter		

PAR_SETPT	Real	Mindest-Beleuchtungsstärke (Sollwert)
PAR_OND	Struct	Parameter für Zeitdauer und Helligkeitslevel beim Wiedereinschalten
PAR_OFFD	Struct	Parameter für Zeitdauer und Dimmlevel für Ausschalten

Beteiligte Eingabeinformationen

P_ACT	Die Eingabeinformation repräsentiert den Belegungszustand des Raums. Ein „anwesend“-Signal führt zur Aktivierung der Konstantlichtregelung. Die Information kann direkt von der Bedienfunktion Präsenz melden, der Sensorfunktion Präsenzerkennung oder der Basisfunktion Belegungsauswertung stammen. Liegt zum Zeitpunkt des Empfangs der „anwesend“-Information die gemessene Beleuchtungsstärke H_ROOM unter PAR_SETPT, wird die Beleuchtung unverzüglich eingeschaltet und die Anpassung der Helligkeit erfolgt mit der Dimmrampe PAR_DIM. Bei Empfang einer „abwesend“-Information wird die Beleuchtung abgeschaltet und eine etwaige Übersteuerung durch L_MAN zurückgenommen.
H_ROOM	Die Beleuchtungsstärke wird durch die Sensorfunktion Helligkeitsmessung als Information an H_ROOM zur Verfügung gestellt.
L_MAN	Eine Übersteuerung durch Eingabe an L_MAN durch eine Bedienfunktion Licht stellen oder die Basisfunktion Steuerung über Raumnutzungsartstoppt die Konstantlichtregelung. Stattdessen wird der Eingabewert über L_SET an die zugehörigen Aktorfunktionen Lichtaktor weitergegeben.

Beteiligte Ausgabeinformationen

L_SET	Über L_SET werden alle Aktorfunktionen Lichtaktor, die der Konstantlichtregelung zugeordnet sind, sowohl im Reglerbetrieb als auch bei Übersteuerung gestellt.
-------	--

Erforderliche Parameter

PAR_SETPT	Der Parameter bestimmt die erforderliche Mindestbeleuchtungsstärke im Raum.
PAR_OND	Die Einschaltverzögerung sorgt in belegten Räumen dafür, dass bei nachlassender Tageslichtversorgung die Beleuchtung erst eingeschaltet wird, wenn die Mindestbeleuchtungsstärke für den parametrisierten Zeitraum dauerhaft unterschritten bleibt. Der Parameter PAR_OND ist als „Struct“ definiert und enthält die Einschaltverzögerungszeit und die Helligkeitsdifferenz in Lux ab der eingeschaltet wird.

PAR_OFFD Die Abschaltverzögerung verhindert ein sofortiges Abschalten der Beleuchtung, falls die an H_ROOM gemessene Beleuchtungsstärke die Mindestbeleuchtungsstärke übersteigt, obwohl der Stellwert den Minimalwert erreicht hat. Erst wenn die Beleuchtungsstärke ununterbrochen für die eingestellte Zeit überschritten wird, erfolgt eine Abschaltung. Der Parameter PAR_OFFD ist als „Struct“ definiert und enthält die Ausschaltverzögerungszeit und den Dimmlevel unterhalb abgeschaltet wird.

Hier ist ein Beispiel für eine Parametrisierung:

```
Par_OND :=(T_OND:=t#10s,Lux_Diff:=50);  
Par_OFFD:=(T_OffD:=t#10s,DimmLevel:=0.1);
```

5.12 Prioritätssteuerung nach Tabelle 3.6

Durch die Prioritätssteuerung wird die Rangfolge unterschiedlicher Positionierbefehle aus verschiedenen Sensor-, Bedien- und Anwendungsfunktionen festgelegt. Dadurch wird sichergestellt, dass einerseits eine Beschädigung von Sonnenschutzeinrichtungen durch Witterungseinflüsse oder mechanische Kollision mit Fenstern vermieden und andererseits eine Übersteuerung von Anwendungsfunktionen durch den Nutzer über Bedienfunktionen ermöglicht wird

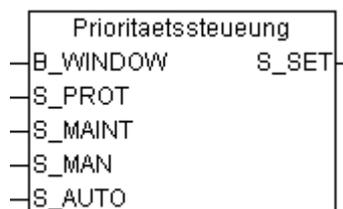


Abbildung 3.26: Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Prioritätssteuerung“.

Tabelle 3.29: Parameter der Anwendungsfunktion „Prioritätssteuerung“.

Anwendungsfunktion „Prioritätssteuerung“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
B_WINDOW	Binär	Fensterzustand (zur Kollisionsvermeidung)
S_PROT	Jal	Positionierbefehl aus Witterungsschutzfunktion
S_MAINT	Jal	priorisierter Positionierbefehl, z. B. für Wartungsarbeiten
S_MAN	Jal	manueller Positionierbefehl oder aus der Thermoautomatik
S_AUTO	Jal	Positionierbefehl aus Sonnenschutzfunktionen bzw. Dämmerungsautomatik
Ausgabeinformation		
S_SET	Jal	resultierender Positionierbefehl für zugehörige Aktorfunktionen

Beteiligte Eingabeinformationen

B_WINDOW Die Eingabeinformation repräsentiert den Öffnungszustand des zugehörigen Fensters. Diese Information dient dazu, Fahrbewegungen zu unterdrücken oder zu limitieren, falls diese zu Beschädigungen am Fenster oder am Sonnenschutz durch Auffahren führen würden. Die Eingabe besitzt standardmäßig die höchste Priorität.

S_PROT	Die Eingabeinformation stellt den Positionierbefehl zum Schutz des Sonnenschutzes vor Beschädigungen durch Wettereinfluss dar. Sie wird durch die Anwendungsfunktion Witterungsschutz erzeugt. Die Eingabe besitzt im Allgemeinen die zweithöchste Priorität.
S_MAINT	Die Eingabeinformation kennzeichnet einen Positionierbefehl für übergeordnete Eingriffe, z. B. für Wartungs- oder Reinigungsarbeiten. Die Eingabe wird durch das Gebäudemanagementsystem erzeugt und besitzt die dritthöchste Priorität.
S_MAN	Die Eingabeinformation ist verknüpft mit Positionierbefehlen, die dem Nutzer die Verstellung des Sonnenschutzes über die Bedienfunktion Sonnenschutz stellen, die Basisfunktion Steuerung über Raumnutzungsart oder die Thermoautomatikermöglichen. Die Eingabe hat die vierthöchste Priorität und sperrt damit Stellvorgänge, die aus Blendschutzfunktionen stammen.
S_AUTO	Die Eingabeinformation repräsentiert Positionierbefehle der Blendschutzfunktionen Sonnenautomatik und Lamellennachführung sowie der Dämmerungsautomatik. Die Information besitzt die geringste Priorität. Die letzte Eingabe wird auch im Fall einer höheren Priorität gespeichert, um ausgeführt werden zu können, sobald alle höheren Prioritäten zurückgenommen wurden.

Beteiligte Ausgabeinformationen

S_SET	Über S_SET werden alle Aktorfunktionen Sonnenschutzaktor, die der Prioritätensteuerung zugeordnet sind, entsprechend der gültigen Priorität gestellt.
-------	---

Erforderliche Parameter

PAR_PRIO	Der in VDI 3813-2 beschriebene Parameter PAR_PRIO wird hier nicht verwendet. Die Prioritätsreihenfolge ist fest programmiert.
----------	---

5.14 Sonnenautomatik nach Tabelle 3.6

Beeinträchtigung der Nutzer durch eintretende Sonnenstrahlen hoher Intensität, indem der Sonnenschutz auf eine fest definierte Blendschutzposition fährt, sobald eine definierte Beleuchtungsstärke des Tageslichts überschritten wird. Bei nachlassender Helligkeit wird eine Parkposition eingenommen. Die Anwendungsfunktion verarbeitet dazu die Eingabeinformation über die Beleuchtungsstärke auf der Fassade, die aus der Sensorfunktion Helligkeitsmessung stammt und generiert Stellinformationen für zu-gewiesene Aktorfunktionen des Typs Sonnenschutzaktor.

Anmerkung: Der Schwellenwert für hellen Sonnenschein kann auf eine direkte Sonnenstrahlung von 120 W/m² festgelegt werden, dies entspricht einer Beleuchtungsstärke von ca. 11 000 lx (siehe DIN 5034).

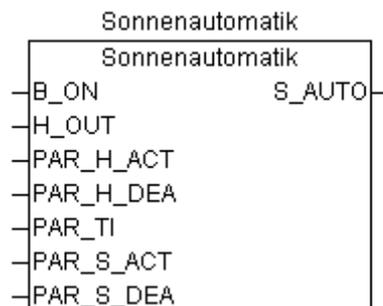


Abbildung 3.27: Funktionsblock für „Sonnenautomatik“.

Tabelle 3.30 Parameter der Anwendungsfunktion „Sonnenautomatik“.

Anwendungsfunktion „Sonnenautomatik“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
B_ON	Bool	Ein-/Ausschaltung der Funktion
H_OUT	Real	gemessene Beleuchtungsstärke
Ausgabeinformation		
S_AUTO	Jal	Positionswert für zugehörige Aktorfunktionen
Parameter		
PAR_H_ACT	Real	Aktivierungsgrenzwert
PAR_H_DEA	Real	Deaktivierungsgrenzwert
PAR_TI	time	zeitliche Hysterese
PAR_S_ACT	Jal	Sonnenschutzposition
PAR_S_DEA	Jal	Parkposition

Beteiligte Eingabeinformationen

- B_ON** Mithilfe der Eingabeinformation B_ON kann die Anwendungsfunktion deaktiviert werden. Die Information kann von einem Zeitprogramm oder einem Befehl des Gebäudemanagementsystems stammen.
- H_OUT** Die Eingabeinformation H_OUT repräsentiert die momentane Beleuchtungsstärke des Tageslichts, die durch die Sensorfunktion Helligkeitsmessung zur Verfügung gestellt wird.

Beteiligte Ausgabeinformationen

- S_AUTO** Über S_AUTO werden alle Aktorfunktionen Sonnenschutzaktor, die der Sonnenautomatik zugeordnet sind, positioniert.

Erforderliche Parameter

- PAR_H_ACT** Der Aktivierungsgrenzwert kennzeichnet den Grenzwert, der überschritten werden muss, um die Sonnenschutzposition PAR_S_ACT über S_AUTO zur Verfügung zu stellen.
- PAR_H_DEA** Der Deaktivierungsgrenzwert kennzeichnet den Grenzwert, der unterschritten werden muss, um die Parkposition PAR_S_DEA über S_AUTO zur Verfügung zu stellen. Der Wert muss unter dem Aktivierungsgrenzwert liegen.
- PAR_TI** Die Definition einer zeitlichen Hysterese bewirkt, dass die Unter- oder Überschreitung der Grenzwerte für diese Zeit dauerhaft erfüllt sein muss, damit ein Positionswechsel erzeugt wird. Damit wird das ungewollte Fahren bei kurzzeitigen Helligkeitsschwankungen vermieden.
- PAR_S_ACT** Die Sonnenschutzposition kennzeichnet die einzunehmende Stellung des Sonnenschutzes bei hoher Außenhelligkeit. Dieser Wert wird über S_AUTO zur Verfügung gestellt.
- PAR_S_DEA** Die Parkposition kennzeichnet die einzunehmende Stellung des Sonnenschutzes bei geringer Außenhelligkeit. Dieser Wert wird ebenfalls über S_AUTO zur Verfügung gestellt.

5.15 Lamellennachführung nach Tabelle 3.6

Die Lamellennachführung dient wie die Sonnenautomatikvorrangig dem Blend-schutz. Im Gegensatz zur Sonnenautomatik wird bei der Lamellennachführung jedoch die Stellung der Jalousien bei hoher Beleuchtungsstärke zyklisch dem aktuellen Sonnenstand angepasst. Dadurch wird jeder Raum trotz der Verhinderung des direkten Sonnenlichteinfalls bestmöglich mit Tageslicht versorgt. Bei nachlassender Helligkeit wird eine Parkposition eingenommen.

Die Anwendungsfunktion verarbeitet dazu die Eingabeinformation über die Beleuchtungsstärke auf der Fassade, die aus der Sensorfunktion Helligkeitsmessung stammt und generiert Stellinformationen für zugewiesene Aktorfunktionen des Typs Sonnenschutzaktor

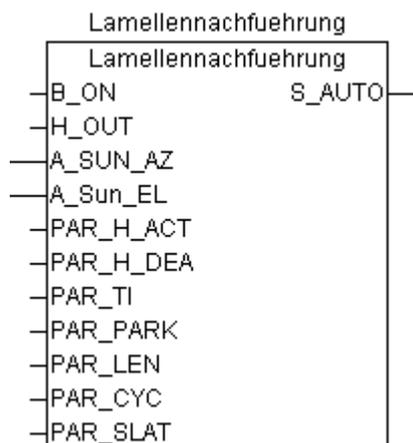


Abbildung 3.28: Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Lamellennachführung“.

Tabelle 3.31: Parameter der Anwendungsfunktion „Lamellennachführung“.

Anwendungsfunktion „Lamellennachführung“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
B_ON	Binär	Ein-/Ausschaltung der Funktion
H_OUT	Lux	gemessene Beleuchtungsstärke des Tageslichts
A_SUN_AZ	Winkel	Azimutwinkel der Sonne
A_SUN_EL	Winkel	Elevationswinkel der Sonne
Ausgabeinformation		
S_AUTO	Jal	Positionierbefehl für zugehörige Aktorfunktionen

Parameter		
PAR_H_ACT	Binär	Aktivierungsgrenzwert
PAR_H_DEA	Real	Deaktivierungsgrenzwert
PAR_TI	Zeit	zeitliche Hysterese
PAR_PARK	Real	Parkposition
PAR_LEN	Real	aktive Behangposition
PAR_CYC	Zeit	Positionierzyklus
PAR_SLAT	Real	Geometrie der Jalousielamellen

Beteiligte Eingabeinformationen

- B_ON** Mithilfe der Eingabeinformation B_ON kann die Anwendungsfunktion deaktiviert werden. Die Information kann von einem Zeitprogramm oder einem Befehl des Gebäudemanagementsystems stammen.
- H_OUT** Die Eingabeinformation H_OUT repräsentiert die momentane Beleuchtungsstärke des Tageslichts, die durch die Sensorfunktion Helligkeitsmessung zur Verfügung gestellt wird.
- A_SUN_AZ** Die Eingabeinformation A_SUN_AZ repräsentiert den Azimutwinkel des momentanen Sonnenstands.
- A_SUN_EL** Die Eingabeinformation A_SUN_EL repräsentiert den Elevationswinkel des momentanen Sonnenstands.

Beteiligte Ausgabeinformationen

- S_AUTO** Über S_AUTO werden alle Aktorfunktionen Sonnenschutzaktor, die der Lamellennachführung zugeordnet sind, positioniert.

Erforderliche Parameter

- PAR_H_ACT** Der Aktivierungsgrenzwert kennzeichnet den Grenzwert, der überschritten werden muss, um die Lamellennachführung zu aktivieren.
- PAR_H_DEA** Der Deaktivierungsgrenzwert kennzeichnet den Grenzwert, der unterschritten werden muss, um die Parkposition PAR_PARK über S_AUTO zur Verfügung zu stellen. Der Wert muss unter dem Aktivierungsgrenzwert liegen.
- PAR_TI** Die Definition einer zeitlichen Hysterese bewirkt, dass die Unter- oder Überschreitung der Grenzwerte für diese Zeit dauerhaft erfüllt sein muss, um einen Statuswechsel zu erzeugen. Damit wird das ungewollte Fahren bei kurzzeitigen Helligkeitsschwankungen vermieden.
- PAR_PARK** Die Parkposition kennzeichnet die einzunehmende Stellung des Sonnenschutzes bei geringer Außenhelligkeit. Dieser Wert wird über S_AUTO zur Verfügung gestellt.
- PAR_LEN** Der Parameter bestimmt, welche Behangposition bei aktivem Sonnenschutz eingenommen wird.
- PAR_CYC** Der Positionierzyklus bestimmt die Häufigkeit der Lamellenkorrektur durch die Lamellennachführung.

PAR_SLAT Die Geometrie der Lamellen, das heißt Lamellenbreite und Lamellenabstand, ist erforderlich, um den richtigen Anstellwinkel der Lamellen in Abhängigkeit von der Sonnenposition zu ermitteln.

5.17 Thermoautomatik nach Tabelle 3.6

Mithilfe der *Thermoautomatik* wird der Sonnenschutz in unbelegten Räumen zur Unterstützung der Heizung oder Kühlung eingesetzt, indem gezielt solare Wärmeeinträge zugelassen oder vermieden werden. So kann im Sommer eine Überhitzung vermieden und im Winter die Heizung entlastet werden. Die Anwendungsfunktion verarbeitet dazu die Eingabeinformation über den Belegungszustand des Raums (*Belegungsauswertung*), die Außenhelligkeit (*Helligkeitsmessung*) sowie die Raumtemperatur (*Temperaturmessung*) und die Sollwerte (*Sollwertermittlung*) und generiert daraus Positionierbefehle für den Sonnenschutz.

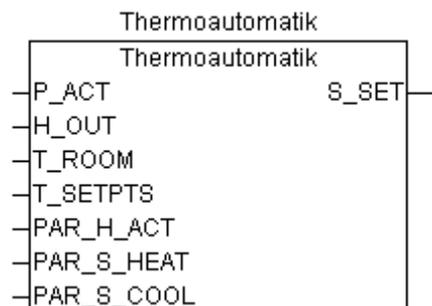


Abbildung 3.29: Funktionsblock für die Anwendungsfunktion „Thermoautomatik“.

Tabelle 3.32: Parameter der Anwendungsfunktion „Thermoautomatik“.

Anwendungsfunktion „Thermoautomatik“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
P_ACT	Anw	Raumbelegungszustand
H_OUT	Lux	gemessene Beleuchtungsstärke des Tageslichts
T_ROOM	Temp	Raumtemperatur
T_SETPTS	Array	Reglersollwerte für Heizen und Kühlen
Ausgabeinformation		
S_SET	Jal	Positionierbefehl für zugehörige Aktorfunktionen
Parameter		
PAR_H_ACT	Lux	Helligkeitsgrenzwert zur Aktivierung der Automatik
PAR_S_HEAT	Jal	Sonnenschutzposition bei Heizunterstützung
PAR_S_COOL	Jal	Sonnenschutzposition bei Kühlunterstützung

Beteiligte Eingabeinformationen

- P_ACT** Der Eingabeparameter kennzeichnet den Raumbelegungszustand. Die Eingabe eines „abwesend“-Telegramms führt zur Aktivierung der Thermoautomatik. Dabei kann der Wert direkt von der Bedienfunktion Präsenz melden, der Sensorfunktion Präsenzerkennung oder der Basisfunktion Belegungsauswertung stammen. Bei Empfang einer „anwesend“-Information, das heißt, der Raum wird erneut belegt, wird die Thermoautomatik deaktiviert und über S_SET die Rücknahme des Positionierbefehls erzeugt.
- H_OUT** Die Außenhelligkeit wird durch die Sensorfunktion Helligkeitsmessung als Information an H_OUT zur Verfügung gestellt, um zu entscheiden, ob die Intensität der Sonnenstrahlung ausreicht, um thermische Auswirkungen auf den Raum zu erzeugen. Bei nicht ausreichender Strahlungsintensität bleibt die Automatik passiv.
- T_ROOM** Die Raumtemperatur wird durch die Sensorfunktion Temperaturmessung als Information an T_ROOM zur Verfügung gestellt, um unter Berücksichtigung der Sollwerte T_SETPTS entscheiden zu können, ob eine Heiz- oder Kühlunterstützung erforderlich ist.
- T_SETPTS** Die Sollwerte werden durch die Anwendungsfunktion Sollwertermittlung zur Verfügung gestellt.

Beteiligte Ausgabeinformationen

- S_SET** Über S_SET wird der Positionierbefehl für die zum Raum gehörende Gruppe von Sonnenschutzaktoren erzeugt.

Erforderliche Parameter

- PAR_H_ACT** Der Helligkeitsgrenzwert zur Aktivierung kennzeichnet den Grenzwert der Beleuchtungsstärke des Tageslichts auf der Fassade, der überschritten werden muss, um die Thermoautomatik zu aktivieren.
- PAR_S_HEAT** Die Sonnenschutzposition zur Heizunterstützung gibt den Positionierbefehl an, der als Ausgabeinformation erzeugt werden soll, wenn die Raumtemperatur unter den Komfortsollwert Heizen fällt.
- PAR_S_COOL** Die Sonnenschutzposition zur Kühlunterstützung gibt den Positionierbefehl an, der als Ausgabeinformation erzeugt werden soll, wenn die Raumtemperatur über den Komfortsollwert Kühlen steigt.

5.19 Energieniveauwahl nach Tabelle 3.6

Die Wahl des Energieniveaus einer Raumklimafunktion (RAFL Abschnitt 6, Spalte 18; informativer Funktionsblock Bild 4 0) dient der Anpassung der Energieabgabe an die Nutzung des Raums. Anstatt den Raum z. B. ständig und unabhängig von der tatsächlichen Nutzung auf einer Komforttemperatur zu halten, variieren die Sollwerte (siehe Abschnitt 6.5.21) je nach Nutzungsart, Raumtyp und eventuell weiteren Rahmenbedingungen, z. B. die Raumbelegungsplanung. Diesen unterschiedlichen Nutzungen werden Energieniveaus zugeordnet.

Es sind folgende Energieniveaus möglich:

COMFORT (Komfortniveau):

Das Komfortniveau kennzeichnet den Zustand bei belegtem Raum. Temperatur und Luftqualität liegen im behaglichen Bereich. Der Regler arbeitet je nach Heiz oder Kühlbetrieb mit den jeweiligen KomfortSollwerten. Eine Umschaltung auf das Komfortniveau erfolgt – neben der Option eines Zeitprogramms – in jedem Fall durch Anmeldung im Raum bzw. durch Präsenzerkennung.

PRE COMFORT (Bereitschaftsniveau):

Das Bereitschaftsniveau kennzeichnet den energiesparenden Zustand eines unbelegten Raums, der jedoch innerhalb kurzer Zeit das Komfortniveau erreichen soll. Der Regler arbeitet dabei mit entsprechend abweichenden Sollwerten für den Heiz oder Kühlbetrieb und mit reduzierter Luftwechselrate. Eine Umschaltung in das Bereitschaftsniveau erfolgt im Allgemeinen durch ein Zeitprogramm.

ECONOMY (Absenkniveau):

Das Absenkniveau kennzeichnet den energiesparenden Zustand eines Raums, der für eine längere Zeit, z. B. nachts, unbelegt ist. Der Regler arbeitet mit weiter abweichenden Sollwerten für den Heiz oder Kühlbetrieb und mit reduziertem Luftwechsel. Eine Umschaltung in den Absenkbetrieb erfolgt im Allgemeinen durch ein Zeitprogramm.

PROTECTION (Gebäudeschutzniveau):

Das Gebäudeschutzniveau kennzeichnet den Zustand eines Raums, der mit minimalem Energieaufwand lediglich eine Beschädigungsfreiheit der Bausubstanz und der technischen Anlagen aufrechterhält. Der Regler arbeitet also mit energieminimalen Sollwerten für Heiz und Kühlbetrieb. Eine Umschaltung auf dieses Energieniveau erfolgt entweder bei zeitweiliger Nichtnutzung des Gebäudes (z. B. Ferien) oder durch Öffnen von Fenstern.

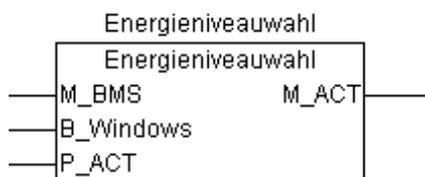


Abbildung 3.30: Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Energieniveauwahl“.

Tabelle 3.33: Parameter der Anwendungsfunktion „Energieniveauwahl“.

Anwendungsfunktion Energieniveauwahl		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
M_BMS	Enum	Zentrale Energieniveauvorgabe
B_Windows	Bool	Fensterzustand
P_ACT	Real	Raumbelegungszustand
Ausgabeinformation		
M_ACT	Enum	Aktuelles Energieniveau

Beteiligte Eingabeinformationen

- M_BMS Die Eingabeinformation kennzeichnet das durch eine Belegungsplanung vorgegebene Energieniveau. Als Quelle dient die Basisfunktion Zeitprogramm.
- B_Windows Die Eingabeinformation enthält den Öffnungszustand der Fenster im Raum aus der Sensorfunktion Fensterüberwachung. Ein geöffnetes Fenster führt zu einem Wechsel auf das Gebäudeschutzniveau. Nach dem Schließen wird der resultierende Zustand aus Zeitprogramm (M_BMS) und Belegung (P_ACT) erneut angenommen.
- P_ACT Die Eingabeinformation enthält den tatsächlichen Belegungszustand des Raums. Quellen für diese Information sind die Funktionen Präsenz melden, Präsenzerkennung oder Präsenzauswertung. Ein Wechsel in den „anwesend“ Status hebt das durch das Zeitprogramm vorgegebene Energieniveau immer auf das Komfortniveau an, solange alle Fenster geschlossen sind.

Beteiligte Ausgabeinformationen

- M_ACT Die Ausgabeinformation enthält das aktuelle Energieniveau für alle nachfolgenden Reglerfunktionen. Anhand dieser Information gelingt es den Funktionen Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung, Raumtemperaturregelung, Ventilatorsteuerung und Luftqualitätsregelung in Verbindung mit dem Funktionsergebnis der Sollwertermittlung, den aktuell gültigen Sollwert zu identifizieren.

5.21 Sollwertermittlung nach Tabelle 3.6

Da die verschiedenen Energieniveaus der Reglerfunktionen auf unterschiedliche Sollwerte zurückgreifen, die ihrerseits wieder abhängig sind von bestimmten Bedingungen, ist eine Ermittlung dieser Sollwerte notwendig. Für jedes Energieniveau existiert ein Sollwertpaar für den Heiz und Kühlbetrieb.

Abbildung 3.31 zeigt die Anordnung der Sollwerte und die dazugehörigen P-Anteile der Heiz und Kühlsequenzen. Die Mitte der Totzone (neutrale Zone) TZE zwischen den beiden KomfortSollwerten bildet die Referenz für eine Verschiebung der Sollwerte durch den Betreiber (T_BMS) oder den Nutzer (T_SETPT).

Der Betreiber gibt einen neuen Wert TZE vor. z. B. 20°C

Der Benutzer kann TZE über T_SETPT ändern z. B. +3°C

Beide Änderungen addieren sich.

Eine Änderung durch den Betreiber umfasst die parallele Verschiebung der Sollwerte für Komfort, Bereitschaft und Absenkniveau. Lediglich die GebäudeschutzSollwerte bleiben unverändert. Eine Sollwertanpassung durch den Raumnutzer wirkt sich hingegen nur auf die belegungsorientierten Energieniveaus Komfort und Bereitschaftsniveau aus. Die Funktion Sollwertermittlung vermeidet in jedem Fall Überschneidungen der Sollwerte durch Verschieben, indem der nächstgelegene Sollwert stets als Begrenzung dient.

Um im Sommer einen Temperaturschock beim Betreten oder Verlassen des Gebäudes zu vermeiden und um zusätzlich den Energiebedarf zur Gebäudekühlung zu reduzieren, werden die Komfort- und Bereitschafts-Sollwerte ab einer bestimmten Außentemperatur (T_OUT) gleitend angehoben. Diese Funktion wird als Sommerkompensation bezeichnet.

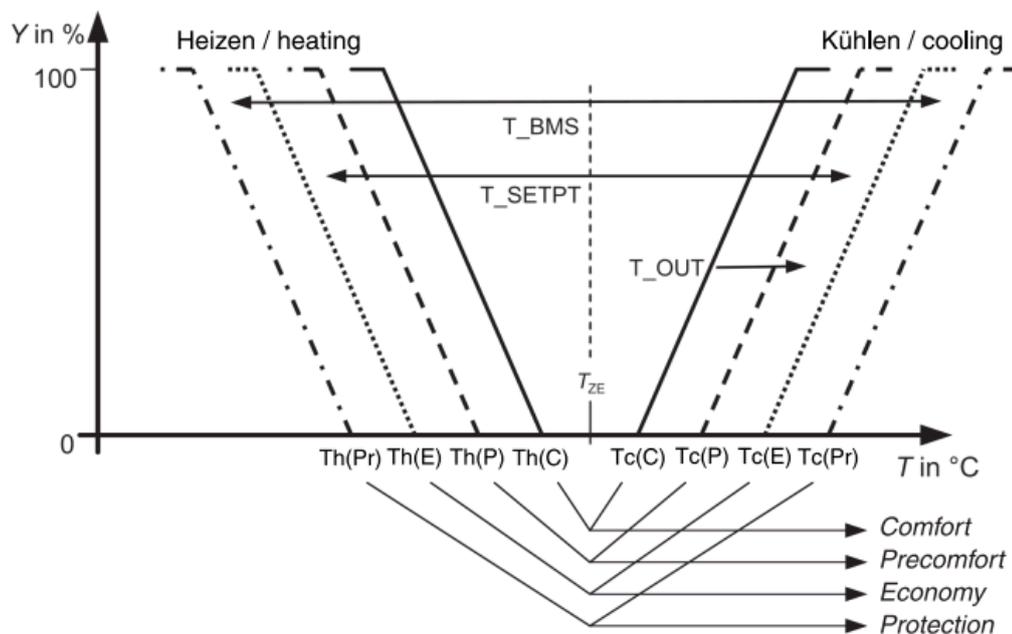


Abbildung 3.31: Sollwerte aller Energieniveaus nach VDI2813-2 (7).

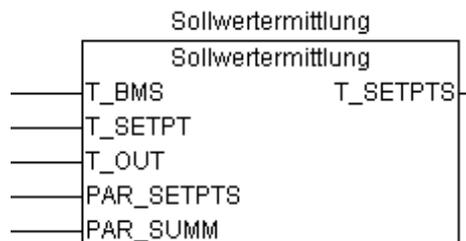


Abbildung 3.32: Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Sollwertermittlung“.

Tabelle 3.34: Parameter für die Anwendungsfunktion „Sollwertermittlung“.

Anwendungsfunktion Sollwertermittlung		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
T_BMS	Real	Sollwertvorgabe durch Betreiber
T_SETPT	Real	Sollwertkorrektur durch Nutzer
T_OUT	Real	Außenlufttemperatur (Sommerkompensation)
Ausgabeinformation		
T_SETPTS	Temp[x]	aktuelle Heiz-/Kühl-Sollwerte für alle Energieniveaus
Parameter		
PAR_SETPTS	Temp[x]	Standard-Heiz-/Kühl-Sollwerte für alle Energieniveaus
PAR_SUMM	Struct	Parameter für die Sommerkompensation

Beteiligte Eingabeinformationen

- T_BMS Die Eingabeinformation enthält die Vorgabetemperatur durch den Betreiber. Diese entspricht der Mitte des Nullenergiebands zwischen den Komfort-Sollwerten für Heizen und Kühlen. Eine Änderung bedeutet eine parallele Verschiebung der Sollwerte für Komfort-, Bereitschafts- und Absenkniveau.
- T_SETPT Die Eingabeinformation repräsentiert die durch den Nutzer einstellbare Sollwertanpassung, hervorgerufen durch die Bedienfunktion Temperatursollwert stellen. Eine Änderung wirkt sich als parallele Schiebung der Sollwerte für Komfort- und Bereitschaftsniveau aus
- T_OUT Die Eingabeinformation enthält die Außentemperatur, übermittelt durch die Sensorfunktion Temperaturmessung. Sie wird zur gleitenden Anhebung der Komfort- und Bereitschafts-Sollwerte für den Kühlbetrieb bei hohen Außentemperaturen herangezogen.

Beteiligte Ausgabeinformationen

T_SETPTS Die Ausgabeinformation enthält den Satz aller Sollwerte für die Energieniveaus Komfort, Bereitschaft, Absenkung und Gebäudeschutz, jeweils für den Heiz- und Kühlbetrieb.

Erforderliche Parameter

PAR_SETPTS Der Parameter enthält die standardmäßigen Sollwerte aller Energieniveaus, die ohne Anpassungen durch den Betreiber, Nutzer oder durch Außentemperatureinfluss gültig sind.

PAR_SUMM Der Parameter beschreibt den Einfluss der Außentemperatur auf die Änderung der Kühl-Sollwerte zur Sommerkompensation. Der Algorithmus ist herstellerspezifisch.

Der Parametersatz **PAR_SUMM** (Sommerkompensation) wurde als Struct mit den folgenden Werten definiert

```
STRUCT
  Startwert      :REAL; (* z. B.26°C*)
  Endwert        :REAL; (* z. B.32°C*)
  T_diff_max     :REAL; (* z. B.4°C*)
END_STRUCT
```

Ist die Außentemperatur größer als der Startwert(z. B. 26°C) wird entsprechend Abbildung 3.33 ein Differenzwert T_{Diff} berechnet und zu den Komfort- und Bereitschafts-Sollwerten addiert

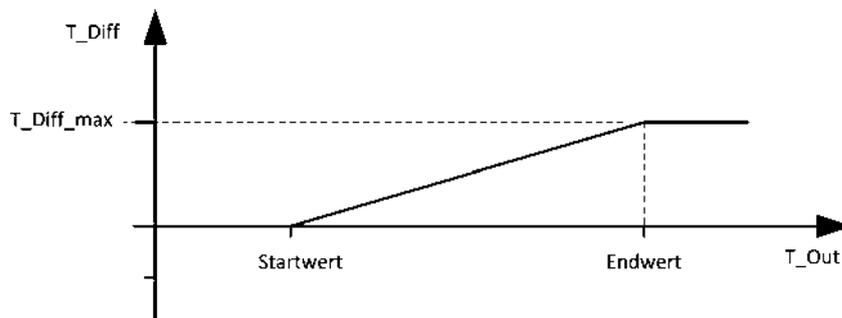


Abbildung 3.33: Kennlinie Sollwertverstellung durch Sommerkompensation.

5.22 Funktionswahl nach Tabelle 3.6

Zur Beeinflussung der Raumklimaregelung stehen verschiedene Regelfunktionen zur Verfügung, die entweder durch den Betreiber vorgegeben werden können oder durch bestimmte Zustände automatisch ermittelt werden. Anhand der aktuell gewählten Regelfunktion können die Anwendungsfunktionen Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung, Raumtemperaturregelung, Ventilatorsteuerung und Nachtkühlung entscheiden, ob sie aktiv sind oder nicht. Folgende Regelfunktionen sind wählbar:

- AUS: Regelung inaktiv
- AUTO: Regelung aktiv mit automatischer Umschaltung zwischen Heiz und Kühlbetrieb
- HEIZEN: Regelung im Heizbetrieb aktiv
- KÜHLEN: Regelung im Kühlbetrieb aktiv
- VORKÜHLEN: Regelung im Kühlbetrieb aktiv, aber mit KomfortSollwert für Heizen
- NACHTKÜHL: Nur Nachtkühlung aktiv.

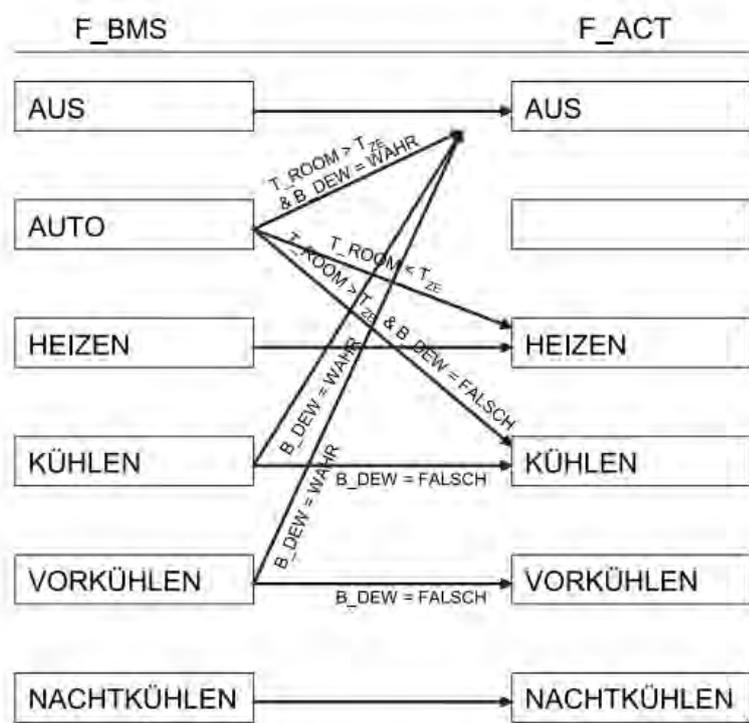


Abbildung 3.34: Übergangsbedingungen/Funktionswahl nach VDI3813-2 (7).

Neben der Wahl einer Regelfunktion durch den Betreiber (z. B. über ein Zeitprogramm) kann ein Funktionswechsel auch durch das Erreichen des Taupunkts im

Kühlbetrieb geschehen. In diesem Fall wird der Regler inaktiv (AUS). Ist eine automatische raumweise Umschaltung zwischen Heiz und Kühlbetrieb zulässig (z. B. bei VierRohrSystemen) und durch den Betreiber gewählt (F_BMS = AUTO), so entscheidet die Funktion in Abhängigkeit von den aktuellen Sollwerten (T_SETPT) und der Raumtemperatur (T_ROOM) über den Wechsel der aktiven Funktion (HEIZEN oder KÜHLEN). Hierbei ist durch die Funktion sicherzustellen, das für Systeme, die nur ein gemeinsames Register oder eine gemeinsame Fläche für Heiz und Kühlzwecke haben, die Umschaltung über die Funktion AUS mit einer entsprechenden Haltezeit erfolgt, um etwaige offene Ventile zunächst zu schließen.

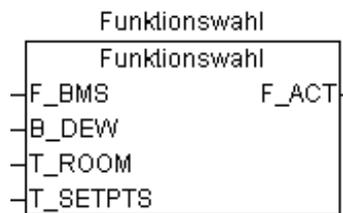


Abbildung 3.35: Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Funktionswahl“.

Tabelle 3.35: Parameter der Anwendungsfunktion „Funktionswahl“.

Anwendungsfunktion Funktionswahl		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
F_BMS	Enum	Zentrale Regelniveauvorgabe
B_DEW	Bool	Taupunkt
T_ROOM	Real	Raumtemperatur
T_SETPTS		Aktuelle Heiz-Kühlsollwerte für alle Regelniveaus
Ausgabeinformation		
F_ACT	Funktion	Aktuelle Regelfunktion

Beteiligte Eingabeinformationen

- F_BMS** Die Eingabeinformation enthält die vom Betreiber gewählte Regelfunktion. Diese wird durch den Funktionsalgorithmus anhand der weiteren Eingabeinformationen in die Ausgabeinformation F_ACT überführt.
- B_DEW** Die Eingabeinformation kennzeichnet das Erreichen der Taupunkttemperatur am Kühlsystem und führt zum Abbruch aktiver Kühlfunktionen. Die Information wird durch die Sensorfunktion Taupunktüberwachung bereitgestellt.

- T_ROOM Die Eingabeinformation enthält die gemessene Raumtemperatur. Durch Vergleich mit der aus den Sollwerten T_SETPTS resultierenden Nullenergiebandmitte TZE kann die Funktion bei Wahl der Funktion AUTO entscheiden, ob der Heiz (HEIZEN) oder Kühlbetrieb (KÜHLEN) aktiviert werden muss. Die Information wird durch die Sensorfunktion Temperaturmessung bereitgestellt.
- T_SETPTS Die Eingabeinformation dient der Ermittlung der Mitte des Nullenergiebands unter Berücksichtigung der aktuellen Sollwerte. Die Information wird von der Funktion Sollwertermittlung bereitgestellt.

Beteiligte Ausgabeinformationen

- F_ACT Die Ausgabeinformation enthält die aktuelle Regelfunktion als Information für die Anwendungsfunktionen Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung, Raumtemperaturregelung, Ventilatorsteuerung und Nachtkühlung.

5.23 Temperaturregelung (Heizen/Kühlen) nach Tabelle 3.6

Die Temperaturregelung dient der Einhaltung einer Raumtemperatur durch ständige Ermittlung der Temperaturdifferenz zum Sollwert und der Anpassung der Ventilstellung (Stellgröße) eines Heiz- oder Kühlregisters.

In Systemen mit getrennten Heiz- und Kühleinrichtungen ist sowohl für die Heiz- als auch für die Kühlfunktion eine separate Funktion Temperaturregelung zu verwenden. Der folgende Funktionsblock beschreibt die Heizfunktion

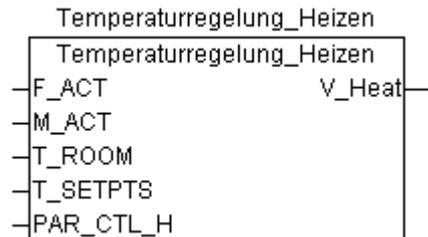


Abbildung 3.36: Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Temperaturregelung“.

Tabelle 3.36: Parameter der Anwendungsfunktion „Temperaturregelung“.

Anwendungsfunktion Temperaturregelung		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
F_ACT	Enum	Zentrale Regelniveauvorgabe
M_ACT	Enum	aktuelles Energieniveau
T_ROOM	Real	gemessene Raumtemperatur
T_SETPTS	Array	Aktuelle Heiz-Kühlsollwerte für alle Regelniveaus
Ausgabeinformation		
V_Heat	Real	resultierender Positionierbefehl für Stellantriebe
Parameter		
PAR_CTL_H	struct	Parametersatz beeinflusst das Reglerverhalten

Beteiligte Eingabeinformationen

- F_ACT** Die Eingabeinformation gibt die aktuelle Regelfunktion wieder. Sie stammt aus der Funktion Funktionswahl und führt je nach Parametrierung zur Aktivierung oder Deaktivierung der Funktion. Die Information dient bei Aktivität zusätzlich in Kombination mit dem aktuellen Energieniveau der Identifikation des gültigen Sollwerts.
- M_ACT** Die Eingabeinformation beinhaltet das aktuelle Energieniveau als Ergebnis der Funktion Energieniveauwahl bzw. Energieniveauwahl mit Startoptimierung und wird zur Ermittlung des gültigen Sollwerts benötigt.
- T_ROOM** Die Eingabeinformation enthält die gemessene Raumtemperatur. Sie stammt aus der Sensorfunktion Temperaturmessung und dient als Regelgröße der Funktion.
- T_SETPTS** Die Eingabeinformation enthält das Ergebnis der Funktion Sollwertermittlung. Mit den Eingabeinformationen zum aktuellen Energieniveau und zur Regelfunktion kann der gültige Sollwert identifiziert und als Führungsgröße verwendet werden.

Beteiligte Ausgabeinformationen

- V_Heat** Die Ausgabeinformation enthält die Stellgröße des Reglers zur Positionierung von Stellantrieben, entweder direkt über die Aktorfunktion Stellantriebsaktor oder indirekt über die folgenden Funktionen Sequenzsteuerung oder Stellwertbegrenzung.

Erforderliche Parameter

- PAR_CTL_H** Der Parametersatz beeinflusst das Reglerverhalten der Funktion. Sie ist als „struct“ definiert und enthält die Parameter für den PI-Regler.

```
STRUCT
    KP    REAL;
    TN    REAL;
END_STRUCT
```

Die Eingabe der Parameter erfolgt nach folgender Syntax:

```
Par_Heizen: Par_Ctrl:=(KP:=0.2,TN:=300);
```

5.28 Luftqualitätssteuerung/-regelung nach Tabelle 3.6

Um die Luftqualität in belegten Räumen auf einem definierten Niveau einstellen und halten zu können, ist die Verwendung einer Luftqualitätssteuerung bzw. -regelung vorzusehen. Neben (volumenstromgesteuerten) Lüftungsklappen in Kombination mit einer zentralen Lüftungsanlage eignen sich hierfür auch dezentrale (Fassaden-) Lüftungsgeräte mit Außenluftklappe. Die Steuerung basiert im einfachsten Fall auf der Auswertung des Energieniveaus, da hierzu keine Messung der Raumluftqualität erforderlich ist. Auf dem Energieniveau Komfort wird der Ausgang auf einen parametrierbaren Wert gesetzt, der dem Raum eine konstante Zuluftmenge – unabhängig von der tatsächlichen Luftqualität – garantiert. Energieeffizienter ist jedoch die Berücksichtigung der tatsächlichen Luftqualität, da hierdurch die Zuluftzufuhr optimiert werden kann. Dazu wird auf Komfortniveau mittels Regelung die gemessene Raumluftqualität (z. B. mittels Mischgas oder CO₂-Sensor) mit einem festen Sollwert verglichen und die Klappenstellung entsprechend angesteuert. Falls volumenstromgesteuerte Lüftungsklappen auch zur Temperaturregelung mithilfe der Funktion Temperaturregelung verwendet werden, wird die dort ermittelte Stellgröße als Minimalwert ebenfalls berücksichtigt.



Abbildung 3.37: Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Luftqualitätssteuerung/-regelung“.

Tabelle 3.37: Parameter der Anwendungsfunktion „Luftqualitätssteuerung/-regelung“.

Anwendungsfunktion „Luftqualitätssteuerung/-regelung“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
M_ACT	Niveau	aktuelles Energieniveau
B_WINDOW	Binär	Öffnungszustand der Fenster
Q_ROOM	Qual	gemessene Raumluftqualität
V_MIN	Pos	Mindestklappenstellung aus Regelfunktion für Heizen/Kühlen
Ausgabeinformation		
V_SET	Real	resultierende Stellgröße für Zuluftklappe/Volumenstromregelung

Parameter

PAR_SETPT	Real	Mindestluftqualität
PAR_CTL_LQ	struct	Parameter zur Beeinflussung der Luftqualitätsregelung

Beteiligte Eingabeinformationen

- M_ACT Die Eingabeinformation enthält das aktuelle Energieniveau aus der Funktion Energieniveauwahl. Die Luftqualitätsregelung wird nur auf dem Komfort-Energieniveau aktiv, da hier von einer Raumbelastung ausgegangen werden kann. Falls die Eingabeinformation zur Luftqualität vorliegt, wird entsprechend auf den Sollwert geregelt. Bei Verzicht auf die Luftqualitätsmessung wird der Ausgang der Funktion auf einen fest parametrisierten Wert gestellt.
- B_WINDOW Die Eingabeinformation zeigt den Öffnungszustand der Fenster und führt zur Unterbrechung der Luftqualitätsregelung, solange diese offen stehen. Erforderlich ist hierfür die Sensorfunktion Fensterüberwachung.
- Q_ROOM Die Eingabeinformation enthält die gemessene Luftqualität als Resultat der Sensorfunktion Luftqualitätsmessung. Sie dient als Regelgröße der Funktion. Falls die Information nicht vorliegt, arbeitet die Funktion mit einem fest parametrisierten Stellwert.
- V_MIN Die Information enthält bei volumenstromgeregelten Klappen den aus der Funktion Temperaturregelung resultierenden Stellwert für den Fall, dass die Lüftung auch Heiz- oder Kühlfunktion übernimmt. Liegt diese Information vor, dient sie als unterer Grenzwert der Ausgangsgröße der Funktion beteiligten Ausgabeinformationen
- V_SET Die Ausgabeinformation stellt die Stellgröße für Fassadenklappen, Lüftungsklappen, angesteuert über die Aktorfunktion Stellantriebsaktor oder für Volumenstromklappen über die Funktion Volumenstromregelung zur Verfügung.

Erforderliche Parameter

- PAR_SETPT Der Parameter kennzeichnet die Mindestluftqualität, die durch die Luftqualitätsregelung eingehalten werden soll. Bei Verzicht auf die Messung der Raumluftqualität kann dieser Parameter entfallen.
- PAR_CTL_LQ Der Parametersatz beeinflusst das Regelverhalten der Funktion und ist herstellerabhängig. Für das TROX-Lüftungsgerät enthält er die Parameter der Kennlinie nach Abbildung 4.20

5.29 Nachtkühlung nach Tabelle 3.6

Bei der Nachtkühlung wird in den Sommermonaten die kühlere Außenluft in den Raum geleitet und dort in den Begrenzungsflächen gespeichert, um am Folgetag – möglichst ohne zusätzlichen Einsatz von aktiver Kühlenergie – ein behagliches Raumklima zu erreichen. Ziel ist es, in den Nachtstunden den täglichen Wärmeeintrag zu kompensieren. Unterschieden werden kann zwischen passiver oder freier Nachtkühlung mittels Querlüftung über geöffnete Fenster oder Fassadenklappen und aktiver Nachtkühlung mittels mechanischer Unterstützung. Die aktivierte Nachtkühlung öffnet die Fenster oder Fassadenklappen (passive Nachtkühlung) bzw. die Volumenstromklappen einer zentralen Lüftungsanlage oder die Außenluftklappe und den Ventilator eines dezentralen (Fassaden)-Lüftungsgeräts (aktive Nachtkühlung), sobald die Außenluft um einen bestimmten vorzugebenden Wert unter die Temperatur der Raumluft fällt, und beendet die Kühlung selbstständig, sobald die Raumluft entweder die Außenlufttemperatur oder den Komfort-Sollwert im Heizbetrieb erreicht hat.

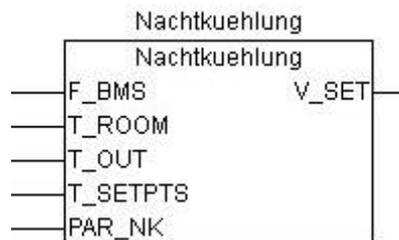


Abbildung 3.38: Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Nachtkühlung“.

Tabelle 3.38: Parameter der Anwendungsfunktion „Nachtkühlung“.

Anwendungsfunktion „Nachtkühlung“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
F_BMS	Funktion	aktuelle Regelfunktion
T_ROOM	Temp	gemessene Raumtemperatur
T_OUT	Temp	gemessene Außenlufttemperatur
T_SETPTS	Temp[x]	Sollwerte für Heiz- und Kühlbetrieb
Ausgabeinformation		
V_SET	Real	Stellgröße für Fenster, Fassaden- oder Lüftungsclappen bzw. Ventilatoren
Parameter		
PAR_NK	Pos	Parameter zum Einstellen der Nachtkühlung

Beteiligte Eingabeinformationen

- F_BMS Die Eingabeinformation gibt die durch den Betreiber vorgegebene Regelfunktion wieder. Die Funktion Nachtkühlung wird nur durch die Funktionswahl NACHTKÜHL (siehe Abschnitt 6.5.4) aktiviert.
- T_ROOM Die Eingabeinformation enthält die gemessene Raumtemperatur. Sie stammt aus der Sensorfunktion Temperaturmessung und dient als Regelwert der Funktion.
- T_OUT Die Eingabeinformation enthält die gemessene Außentemperatur. Sie stammt aus der Sensorfunktion Temperaturmessung und dient als Startkriterium, sobald die Temperatur um einen ausreichenden Wert unter die Raumtemperatur gefallen ist.
- T_SETPTS Die Eingabeinformation enthält das Ergebnis der Funktion Sollwertermittlung und dient der Ermittlung des gültigen Komfort-Sollwerts im Heizbetrieb als Stoppkriterium bei Erreichen dieses Werts.

Beteiligte Ausgabeinformationen

- V_SET Die Ausgabeinformation stellt die Stellgröße für Fenster, Fassadenklappen und Ventilatoren, angesteuert über die Aktorfunktion Stellantriebsaktor oder für Volumenstromklappen über die Funktion Volumenstromregelung zur Verfügung.

Erforderliche Parameter

- PAR_SET Der Parameter kennzeichnet die Stellgröße, die als Ausgabeinformation bei aktivierter Nachtkühlung an die Stellantriebe übermittelt werden soll.

6 Funktionserweiterungen und –synthese

6.1 Funktionserweiterungen

6.1.1 Sonnenstandsberechnung nach Tabelle 3.6

Die Funktion Sonnenstandsberechnung ermittelt den aktuellen Sonnenstand, repräsentiert durch den Azimut und Elevationswinkel der Sonne.



Abbildung 3.39: Funktionsblock der Funktionserweiterung „Sonnenstandsberechnung“.

Tabelle 3.39: Parameter der Funktionserweiterung „Sonnenstandsberechnung“.

Funktionserweiterung „Sonnenstandsberechnung“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
D_ACT	Zeit (DT)	Lokale Uhrzeit
Ausgabeinformation		
A_SUN_AZ	Winkel	Azimutwinkel der Sonne
A_SUN_EL	Winkel	Elevationswinkel der Sonne
Parameter		
Standort	PAR_LOC	Position des Standortes
Zeitzone	INT	Lokale Zeitzone

Beteiligte Eingabeinformationen

D_ACT Zur Bestimmung des Sonnenstands wird die lokale Uhrzeit verarbeitet

Beteiligte Ausgabeinformationen

A_SUN_AZ Aktueller Sonnenstand als Azimutwinkel

A_SUN_EL Aktueller Sonnenstand als Höhenwinkel (Elevationswinkel).

Beide Werte werden gemeinsam zyklisch durch Berechnung ermittelt. Für die Berechnung werden die angegebenen Parameter benötigt.

Erforderliche Parameter

Standort ist vom Typ PAR_LOC und wurde wie folgt definiert

```
STRUCT
  Breitengrad :REAL;
  Laengengrad :REAL;
END_STRUCT
```

Zeitzone Zeitzone für den Gebäudestandort.

6.1.2 Gedämpfte Außentemperatur nach Tabelle 3.6

Dieser Funktionsblock speichert in einem einstellbaren zeitlichen Abstand die Außentemperatur für eine einstellbare Anzahl von Messwerten und berechnet daraus den gleitenden Mittelwert. Dieser Wert heißt hier gedämpfte Außentemperatur und dient als Entscheidungskriterium, um Heiz- oder Kühlfall zu unterscheiden.

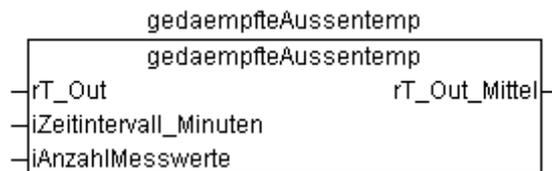


Abbildung 3.40: Funktionsblock der Funktionserweiterung „Gedämpfte Außentemperatur“.

Tabelle 3.40: Parameter der Funktionserweiterung „Gedämpfte Außentemperatur“.

Funktionserweiterung „Gedämpfte Außentemperatur“		
Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingabeinformation		
rT_Out	Real	Gemessene Außentemperatur
Ausgabeinformation		
rT_Out_Mittel	Real	Gedämpfte Außentemperatur
Parameter		
iZeitintervall_Minuten	INT	Zeitlicher Anstand zwischen 2 Messungen
iAnzahlMesswerte	INT	Anzahl der Messwerte zur Bildung der gedämpften Außentemperatur

Beteiligte Eingabeinformation

rT_Out Gemessene Außentemperatur

Beteiligte Ausgabeinformation

rT_Out_Mittel Gedämpfte Außentemperatur (gleitender Mittelwert)

Erforderliche Parameter

iZeitintervall_Minuten Zeitlicher Anstand zwischen 2 Messungen; z. B. 30 Minuten
 iAnzahlMesswerte Anzahl der Messwerte, um die gedämpfte Außentemperatur zu bilden

Anwendungsbeispiel: Mit 48 Messpunkten und einem zeitlichen Abstand von 30 Minuten wird die gedämpfte Außentemperatur der letzten 24 Stunden berechnet

3.5 Bibliothek von RA-Makrofunktionen

Auf Basis des Richtlinienentwurfs VDI 3813 (9) wurde aus dem, in der Richtlinie vorgeschlagenen, Makro Baukasten für die Raumautomation die entsprechenden Makros verwendet. Prinzipiell werden die verschiedenen Makros dazu verwendet, um wiederkehrende Funktionskombinationen (z. B. Präsenzmelden und Licht stellen) in einem Block (Makro) darzustellen bzw. zu programmieren.

Abbildung 3.41 zeigt eine Übersicht aller Makros, die in dem Richtlinienentwurf der VDI 3813-3 (9) definiert werden.

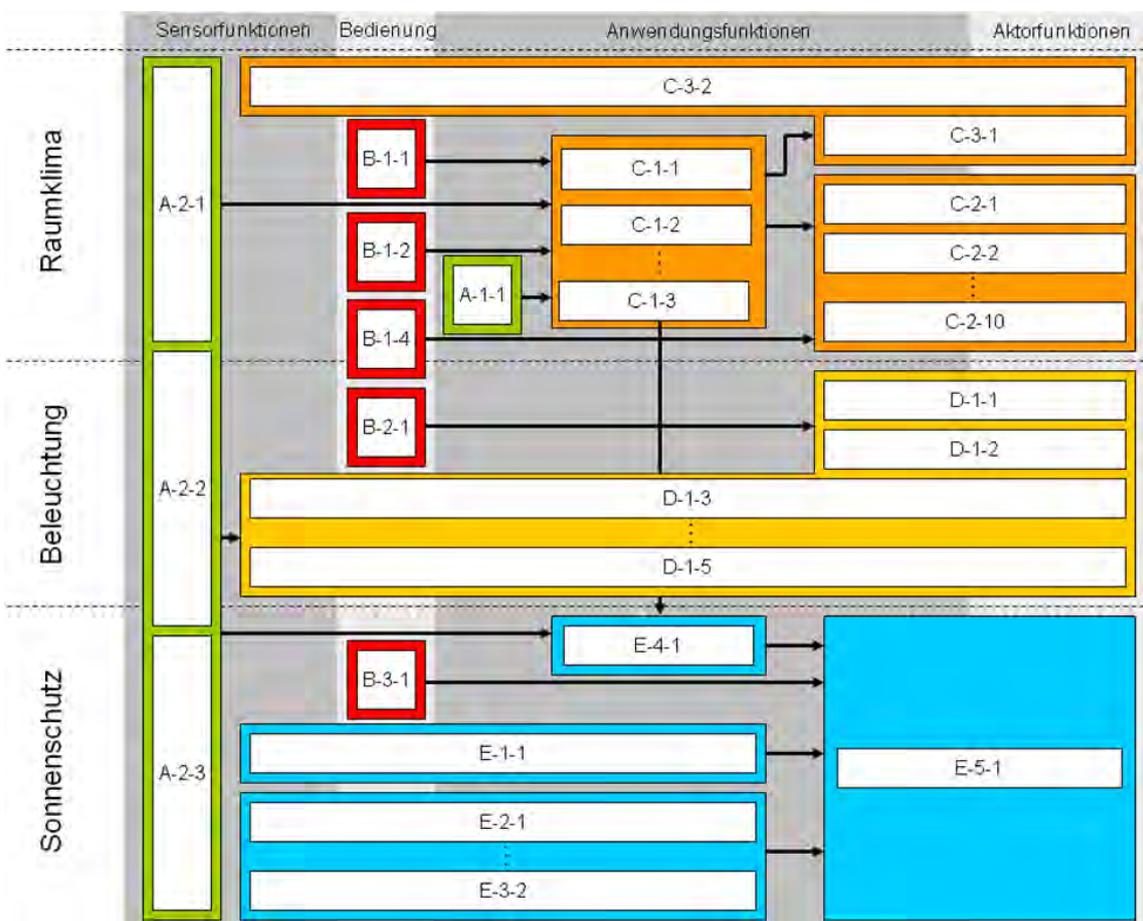


Abbildung 3.41: Makroübersicht nach dem Richtlinienentwurf VDI 3813-3 (9).

Die Makros werden jeweils projektbezogen angepasst. Tabelle 3.41 zeigt eine Übersicht der Makros, die in dem Entwurf der VDI 3813-3 beschrieben werden. Die nachfolgende Spalte zeigt, wie die entsprechende Makro in der entwickelten Bibliothek genannt wird. Die Makros, die für den Testfassadenstand verwendet werden sind in Abschnitt 4.2.4 näher beschrieben.

Tabelle 3.41: Makro-Funktionen nach dem Entwurf der Richtlinie VDI 3813 Blatt 3 (9).

Makro-Funktionen nach dem Entwurf der Richtlinie VDI 3813 Blatt 3		
Kategorie-Belegungsfunktionen		
A-1 Zeitprogramm		
A-1-1	Zeitprogramm allgemein	Zeitprogramme
A-2	Auswertung der Belegung im Raum	
A-2-1	Manuell	
A-2-2	Automatisch	
A-2-3	Kombiniert	Auswertung der Belegung im Raum, kombiniert automatisch und manuell
Bedien- und Anzeigefunktionen (lokal)		
B-1 Lokale Bedienung / Anzeige für Raumklima		
B-1-1	Sollwert stellen	
B-1-2	Ventilator stellen	
B-1-3	Sollwert und Ventilator stellen	
B-1-4	Funktionswahl	
B-2	Lokale Bedienung / Anzeige für Beleuchtung	
B-2-1	Licht stellen	
B-3	Lokale Bedienung / Anzeige für Sonnenschutz	
B-3-1	Sonnenschutz stellen	
Kategorie Raumklimafunktionen		
C-1 Energieniveau- und Sollwertermittlung		
C-1-1	Ohne Sommerkompensation	
C-1-2	Mit Sommerkompensation	Energieniveau- und Sollwertermittlung mit Sommerkompensation
C-1-3	Mit Sommerkompensation und Start-Optimierung	
C-2	Regelung der Raumtemperatur	
C-2-1	Mit Radiator / Konvektor	
C-2-2	Mit Heizkühldecke (2-Rohr)	Regelung der Raumtemperatur mit Heizdecke / Wandheizung
C-2-3	Mit Heizkühldecke (4-Rohr)	
C-2-4	Mit Radiator, mit Kühldecke	
C-2-5	Mit Ventilator mit Heizfunktion	
C-2-6	Mit Ventilator mit Heiz-/ Kühlfunktion (2-Rohr)	
C-2-7	Mit Ventilator mit Heiz-/ Kühlfunktion (4-Rohr)	Regelung der Raumtemperatur mit Gebläsekonvektor (4-Rohr)
C-2-8	Mit VVS-System Heizfunktion	

C-2-9	Mit VVS-System mit Heiz-/ Kühlfunktion	
C-2-10	Mit Radiator (Heizfunktion) und VVS-System (Kühlfunktion)	
C-3	Regelung der Belüftung	
C-3-1	Präsenzabhängig	
C-3-2	Nach Luftqualität	Regelung der Belüftung nach der Luftqualität
Kategorie Beleuchtung		
D-1 Regelung der Beleuchtung		
D-1-1	Manuell	
D-1-2	Manuell mit zeitgesteuerter Abschaltung	
D-1-3	Präsenzabhängig	
D-1-4	Tageslichtabhängig geschaltet	
D-1-5	Tageslichtabhängig geschaltet	Regelung der Beleuchtung tageslichtabhängig geregelt
Kategorie Sonnenschutz		
E-1 Schutz gegen Witterungseinfluss		
E-1-1	Für außenliegenden Sonnenschutz	
E-2 Schutz gegen Blendwirkung		
E-2-1	Helligkeitsabhängig	
E-2-2	Helligkeits- und Sonnenstandsabhängig	
E-2-3	Helligkeits-, Sonnenstands- und Verschattungsabhängig	
E-3 Sichtschutz		
E-3-1	Helligkeitsabhängig	
E-3-2	Zeit- und Helligkeitsabhängig	Schutz gegen Blendwirkung Helligkeits- und Sonnenstandsabhängig
E-4 Heiz- und Kühllunterstützung durch den Sonnenschutz		
E-4-1	automatisch	Automatische Heiz-/ Kühllunterstützung durch den Sonnenschutz
E-5 Motoransteuerung		
E-5-1	Mit Prioritätswahl	Motoransteuerung mit Prioritätswahl

4 Exemplarische Anwendung der Automationsbibliothek

Um die Anwendbarkeit der Automationsbibliothek zu testen, wurde an der Hochschule Biberach der vorhandene Fassadenteststand gezielt um Sensorik und Aktorik ergänzt. Der Fassadenteststand besteht aus einem Fassadenelement der Firma Wicona, der als Prototyp gebaut wurde. Das Fassadenelement verfügt über mehrere gebäudetechnische Funktionen.

In das Fassadenelement ist ein Lüftungsgerät integriert, mit dem mechanisch gelüftet, geheizt und gekühlt werden kann. Für die freie Lüftung sind zwei motorisch öffnen- und schließbare Lüftungsklappen eingebaut.

Des Weiteren ist ein winkelverstellbarer Sonnen- und Blendschutz in das Fassadenelement integriert.

Alle gebäudetechnischen Funktionen wurden auf einer freiprogrammierbaren Automationsstation implementiert, um eine größtmögliche Flexibilität bei der Programmierung der Automationsfunktionen zu garantieren.

In den folgenden Abschnitten werden der Aufbau und die Funktion des Fassadenteststands beschrieben.

4.1 Fassadenteststand

4.1.1 Aufbau

Das Fassadenelement ist eine Doppelfassade der Firma Wicona, die wie folgt aufgebaut ist. Die zur Außenseite vorgelagerte Scheibe der Doppelfassade ist nicht vollständig geschlossen, sondern im oberen und unteren Bereich offen, um eine Hinterlüftung zu ermöglichen. Im Zwischenraum zwischen vorgelagerter Einfachverglasung und den doppelverglasten Fenstern ist der Sonnen- und Blendschutz untergebracht.

Auf der Innenseite ist die Fassade in zwei Segmente unterteilt. Beide Fenster sind über die vollständige Raumhöhe verglast. Sie lassen sich beide unabhängig voneinander öffnen. Die Fenster sind als Drehfenster ausgeführt und werden in Richtung Innenraum geöffnet.

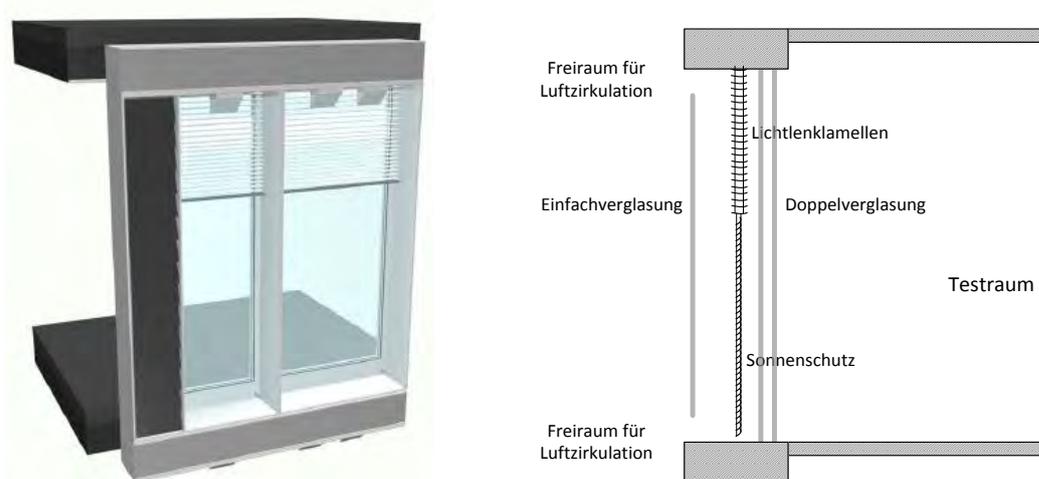


Abbildung 4.1: Außenansicht und Querschnitt der Fassade (10).

Auf der von außen betrachteten linken Seite sind zwei Klappen für die natürliche Lüftung und ein Lüftungsgerät für die mechanische Lüftung untergebracht.

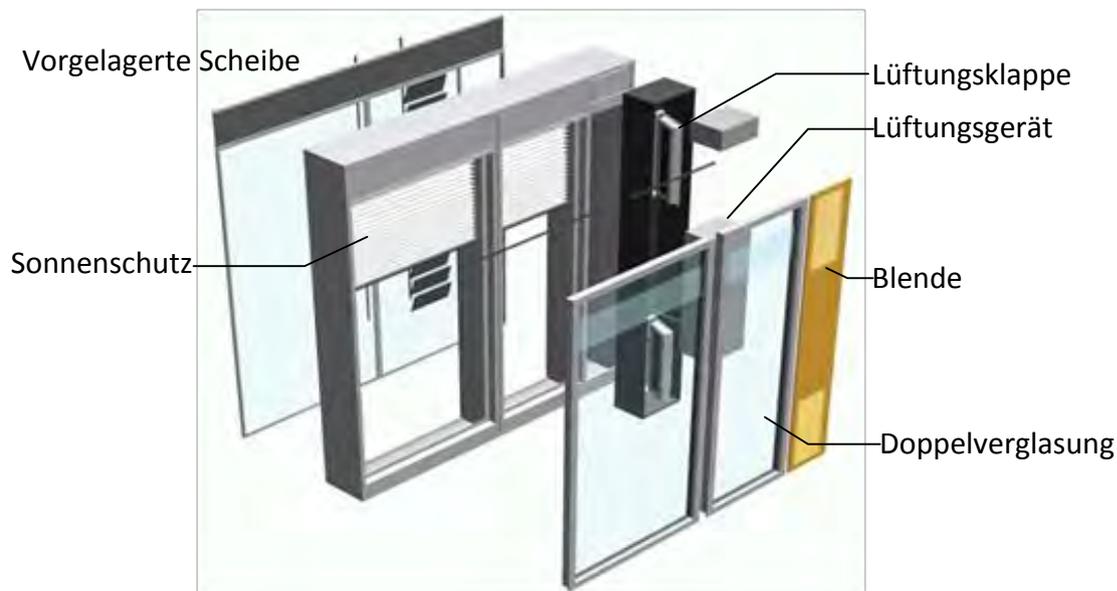


Abbildung 4.2: Explosionszeichnung des Fassadenelements (10).



Abbildung 4.3: Außenansicht der Testfassade.

Die Gebäudeseite mit der Integrierten Testfassade ist nach Süd-West ausgerichtet.

4.1.2 Funktionen

Natürliche Lüftung

Für die natürliche Lüftung sind im oberen und unteren Bereich der Fassade Klappen eingebaut, die sich motorisch öffnen und schließen lassen. Die Klappen sind stufenlos verstellbar.

Aus der oberen Klappe soll die Abluft aus dem Raum strömen, während durch die untere Klappe Außenluft als Zuluft in den Raum nachströmen kann. Die natürliche Lüftung kann neben der Versorgung des Raums mit Außenluft auch zur Nachtauskühlung von Bauteilen wie Boden, Decke oder Wand verwendet werden.

Mechanische Lüftung

Die mechanische Lüftung wird über ein in die Fassade integriertes Lüftungsgerät realisiert. Die Hauptkomponenten der Anlage sind zwei Ventilatoren (Zu- und Abluft), ein Kreuzstromwärmeübertrager für die Vorerwärmung (Kühlung) der Zuluft durch die Abluft und ein Heiz-/ Kühlregister, mit dem die Luft auf die gewünschte Temperatur erwärmt bzw. gekühlt werden kann.

Der Kreuzstromwärmeübertrager kann mit einem Bypass umgangen werden. Ein Umluftbetrieb ist nicht möglich, so dass Heizen und Kühlen mit dem Lüftungsgerät nur bei gleichzeitiger Zuführung von frischer Luft möglich ist.

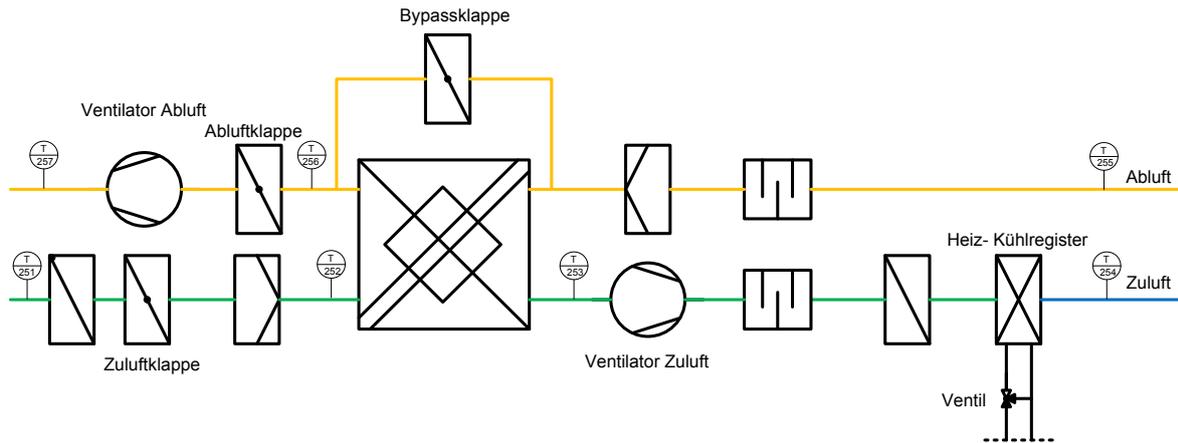


Abbildung 4.4: Schematische Darstellung der Lüftungsanlage (RI-Schema).

Die Ventilatoren sind drehzahlgesteuert, was das Einstellen des gewünschten Luftvolumenstroms ermöglicht. Befindet sich das Lüftungsgerät im Ruhezustand so werden die Luftkanäle mit elektromotorisch gesteuerten Klappen geschlossen.

Sonnen- Blendschutz

Im Raum zwischen den Verglasungen der Doppelfassade befindet sich der Sonnen- bzw. Blendschutz. Dieser ist im oberen Drittel mit Lichtlenklamellen ausgestattet. Diese Lamellen lassen sich stufenlos im Winkel verstellen, um das auf die Fassade einfallende Licht an die Decke des Raumes zu lenken. Dadurch wird der Raum über Rückreflektion von der Decke indirekt beleuchtet.

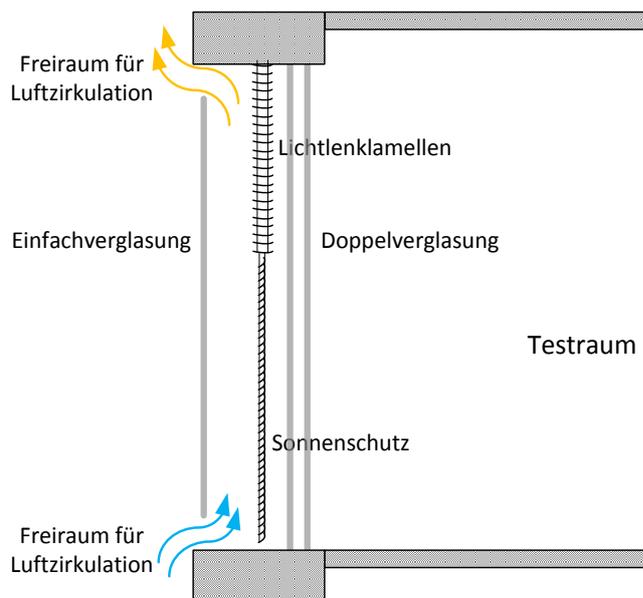


Abbildung 4.5: Querschnitt des Fassadenelements (Lichtlenklamellen 1,2 m / Sonnenschutz gesamt 3m).

Die vorgelagerte Scheibe der Doppelverglasung ist im unteren und oberen Bereich geöffnet, so dass bei Sonneneinstrahlung und geschlossenem Sonnenschutz die in den Zwischenraum eingetragene Wärme über einen konvektiven Luftstrom aus dem Zwischenraum entweichen kann.

4.1.3 Aufbau des Testraums

In die zu erstellende Automationsbibliothek für Fassadenelemente sollen nicht nur Funktionen einfließen, die das Fassadenelement betreffen, sondern alle Funktionen, die zur Regelung eines Raums benötigt werden. Um diese Funktionen testen zu können, ist neben dem Fassadenelement ein Testraum nötig.

Wand und Fußbodenheizung

Der Raum ist 4,5 m tief, 2,9 m breit und 3,1 m hoch. Sowohl die Wände als auch der Fußboden sind mit wasserführenden Kunststoffrohren durchzogen, mit denen die Bauteile je nach Bedarf gekühlt bzw. geheizt werden können (Abbildung 4.6). Die Heiz-/ Kühlelemente sollen vorwiegend für die Simulation von thermischen Lasten eingesetzt werden. Das Heizen und Kühlen des Raumes soll so weit wie möglich über das Heiz-/ Kühlregister des Lüftungsgeräts erfolgen.

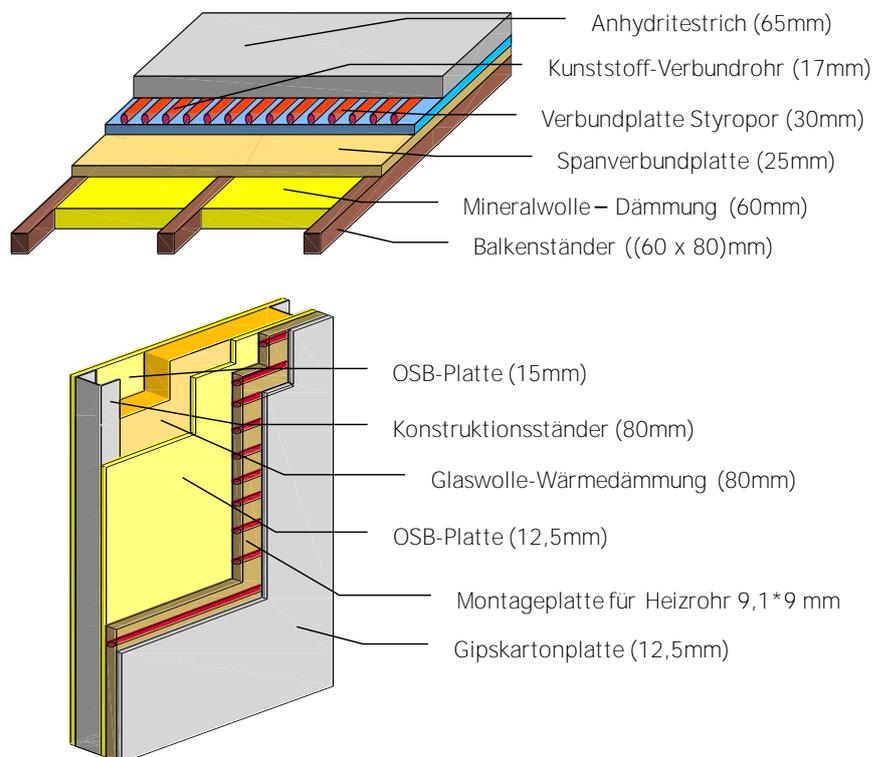


Abbildung 4.6: Aufbau der Wände und des Bodens (11).



Abbildung 4.7: Innenansicht des Testraums.

Beleuchtung

Im Raum zwischen den beiden Verglasungen der Doppelfassade ist die Beleuchtung untergebracht. Die Natriumdampflampen sind nicht dimm- bzw. regelbar, weshalb sich diese nur schlecht für eine höherwertige Regelstrategie eignen. Um trotzdem höherwertige Regelstrategien umsetzen zu können, wurden nachträglich zwei DALI Leuchten (DALI; Digital Adressable Lighting Interface) im Testraum eingebaut.



Abbildung 4.8: Natriumdampflampen (links), DALI-Leuchten (rechts).

Raumbedienelemente und Sensoren

Im Raum werden mehrere Messgrößen, die für die Steuerung und Regelung der Fassadefunktionen notwendig sind, erfasst. Neben den Sensoren sind auch Aktoren im Raum vorhanden, mit denen der Nutzer aktiv in die Steuerung und Regelung eingreifen kann. Alle Aktoren und Sensoren sind in Tabelle 4.1 aufgelistet.

Tabelle 4.1: Sensoren und Aktoren.

Sensoren / Aktoren	Messwert	Stellsignale
Temperaturfühler	Außenlufttemperatur	-
Bewegung / Helligkeit	Bewegung / Helligkeit (Lux)	-
CO ₂ Sensor	CO ₂ Konzentration (ppm), Raumlufttemperatur, rel. Luftfeuchte	-
Raumbedienelement	Raumtemperatur	Lüftung ±/Auto, Raumlufttemperatur ±
Schalter	-	Licht An/Aus

4.1.4 Wissenschaftliche Messtechnik

Neben der Messtechnik, die für die Steuerung und Regelung des Raums, der Lüftungstechnischen Anlage und den Fassadefunktionen benötigt wird, wird eine Vielzahl von Sensoren für die wissenschaftliche Auswertung der Versuche eingesetzt.

So werden z. B. in den hydraulischen Heiz- und Kühlkreisen die Vor- und Rücklauftemperaturen und der Massenstrom gemessen. Aus diesen Daten kann für jeden Heiz- /Kühlkreis die thermische Leistung berechnet werden.

Im Lüftungsgerät werden die Temperaturen der Zu- und Abluft (am jeweiligen Eintritt) und die Temperaturen vor und nach dem Kreuzstrom-Wärmeübertrager gemessen.

Im Raum werden während den Versuchen in drei unterschiedlichen Höhen die operative Lufttemperatur (Globe Thermometer) und die Luftgeschwindigkeit (omnidirektionales Hitzkugelanemometer) gemessen. Zusätzlich wird die Raumlufttemperatur gemessen.

4.1.5 Wärme- und Kälteversorgung

Das für die Versorgung des Fassadenteststands (Raum und Fassade) aufgebaute hydraulische Versorgungssystem ist in Abbildung 4.10 schematisch dargestellt. Das System besteht aus der Wärmeerzeugung (links), der Kälteerzeugung (rechts) und den vier Verbrauchern (Mitte).

Das Warmwasser wird mit einem elektrischen Durchlauferhitzer erzeugt, da aus Platzgründen kein anderes Heizsystem installiert werden konnte. Mit dem Durchlauferhitzer wird ein 200 l Warmwasserspeicher beladen. Der Speicher dient gleichzeitig als hydraulische Weiche, um den Erzeugerkreis von den Verbraucherkreisen zu trennen.

Die Kaltwassererzeugung ist hydraulisch identisch der Warmwassererzeugung aufgebaut. Das Kaltwasser wird von einem kompakten luftgekühlten Kaltwassersatz erzeugt. Der Kaltwassersatz ladet wie der Durchlauferhitzer einen Speicher, der ebenfalls die hydraulischen Kreise des Erzeugers und der Verbraucher entkoppelt.

Die vier Verbraucherkreise sind hydraulisch identisch aufgebaut. Pro Verbraucher werden jeweils eine Pumpe für die Kaltwasser- und Warmwasserversorgung eingesetzt. Das Umschalten der hydraulischen Kreise von Kühlen auf Heizen erfolgt über ein drei Wege Umschaltventil. Die Regelung der Vorlauftemperatur erfolgt ebenfalls über ein drei Wege Mischventil mittels einer Beimischschaltung. D.h. das je nach Anforderung der Regelung (Temperatur) kaltes/warmes Wasser aus dem Rücklauf in den Vorlauf beigemischt wird, um die Temperatur anzuheben oder zu senken.

Um die Energieströme im System erfassen zu können, verfügt jeder Verbraucherkreis über Temperaturfühler in Vor- und Rücklauf und einen Volumenstromsensor, der den Wasservolumenstrom misst.



Abbildung 4.9: Hydraulisches System zur Kaltwasserversorgung des Fassadenteststands.

Exemplarische Anwendung der Automationsbibliothek

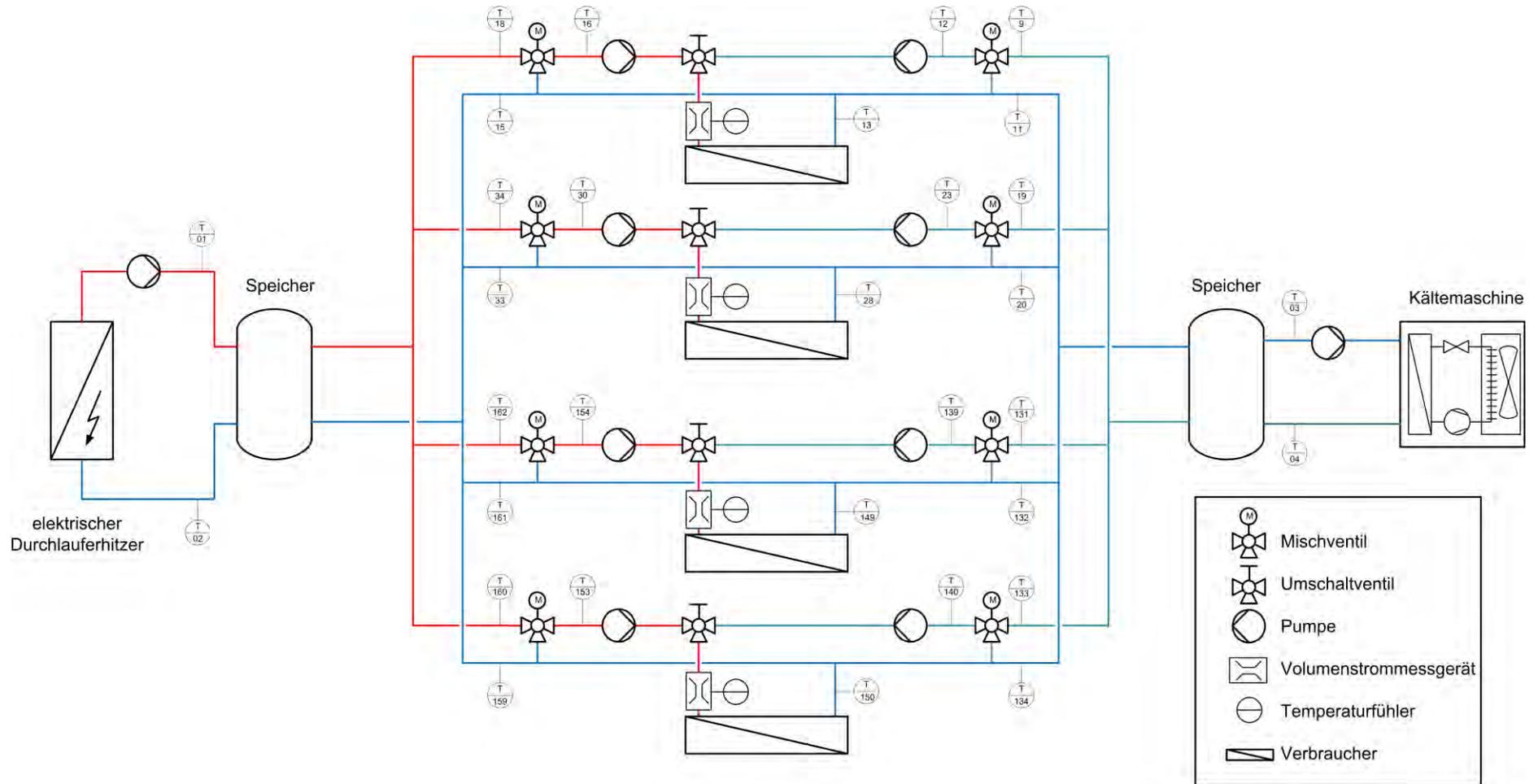


Abbildung 4.10: Hydraulische Anbindung der Verbraucher in das Heiz-/ Kühlsystem.

4.1.6 Datenpunktübersicht

Die in den Anlagenschemata in Abschnitt 4.1 eingezeichneten Datenpunkte sind in der untenstehenden Tabelle aufgelistet. Die Liste umfasst alle im Raum, der Hydraulik und der Fassade anfallende Datenpunkte.

Tabelle 4.2: Datenpunktliste.

	Datenpunkt Name	Beschreibung	Kategorie
T_01	iHzg_T_VL_Primaer	Primär vor Speicher	Temperatur °C
T_02	iHzg_T_RL_Primaer	Primär vor Speicher	Temperatur °C
T_03	iKaelte_T_VL_Primaer	Primär vor Speicher	Temperatur °C
T_04	iKaelte_T_RL_Primaer	Primär vor Speicher	Temperatur °C
	Mischkreis 1		
T_09	iMK1_Kaelte_T_VL1	vor Ventil, Primär	Temperatur °C
T_11	iMK1_Kaelte_T_RL1	Kühlen Primär	Temperatur °C
T_12	iMK1_Kaelte_T_VL2	nach Ventil	Temperatur °C
T_13	iMK1_HK_T_RL	Heizen Kühlen	Temperatur °C
T_15	iMK1_Hzg_T_RL1	Heizen Primär	Temperatur °C
T_16	iMK1_Hzg_T_VL2	nach Ventil	Temperatur °C
T_18	iMK1_Hzg_T_VL1	vor Ventil, Primär	Temperatur °C
	Mischkreis 2		
T_19	iMK2_Kaelte_T_VL1	vor Ventil, Primär	Temperatur °C
T_20	iMK2_Kaelte_T_RL1	Kühlen Primär	Temperatur °C
T_23	iMK2_Kaelte_T_VL2	nach Ventil	Temperatur °C
T_28	iMK2_HK_T_RL	Heizen Kühlen	Temperatur °C
T_30	iMK2_Hzg_T_VL2	nach Ventil	Temperatur °C
T_33	iMK2_Hzg_T_RL1	Heizen Primär	Temperatur °C
T_34	iMK2_Hzg_T_VL1	vor Ventil, Primär	Temperatur °C
	Mischkreis 3		
T_131	iMK3_Kaelte_T_VL1	vor Ventil, Primär	Temperatur °C
T_132	iMK3_Kaelte_T_RL1	Kühlen Primär	Temperatur °C
T_139	iMK3_Kaelte_T_VL2	nach Ventil	Temperatur °C
T_149	iMK3_HK_T_RL	Heizen Kühlen	Temperatur °C
T_154	iMK3_Hzg_T_VL2	nach Ventil	Temperatur °C
T_161	iMK3_Hzg_T_RL1	Heizen Primär	Temperatur °C
T_162	iMK3_Hzg_T_VL1	vor Ventil, Primär	Temperatur °C
	Mischkreis 4		
T_133	iMK4_Kaelte_T_VL1	vor Ventil, Primär	Temperatur °C
T_134	iMK4_Kaelte_T_RL1	Kühlen Primär	Temperatur °C
T_140	iMK4_Kaelte_T_VL2	nach Ventil	Temperatur °C
T_150	iMK4_HK_T_RL	Heizen Kühlen	Temperatur °C
T_153	iMK4_Hzg_T_VL2	nach Ventil	Temperatur °C
T_159	iMK4_Hzg_T_RL1	Heizen Primär	Temperatur °C

T_160	iMK4_Hzg_T_VL1	vor Ventil, Primär	Temperatur °C
	Lüftungsgerät		
T_251	rKL_02_T01	Außenluft	Temperatur °C
T_252	rKL_02_T02	Außenluft vor WT	Temperatur °C
T_253	rKL_04_T01	Außenluft nach WT	Temperatur °C
T_254	rKL_01_T02	Zuluft	Temperatur °C
T_255	rKL_03_T02	Abluft	Temperatur °C
T_256	rKL_04_T02	Abluft nach WT	Temperatur °C
T_257	rKL_03_T01	Fortluft	Temperatur °C
	Durchflussmessgeräte		
V_08	iMK1_DurchFluss	V-Strom Mischkreis 1	Volumenstrom l/min
V_26	rMK2_DurchFluss	V-Strom Mischkreis 2	Volumenstrom l/min
V_145	rMK3_DurchFluss	V-Strom Mischkreis 3	Volumenstrom l/min
V_146	rMK4_DurchFluss	V-Strom Mischkreis 4	Volumenstrom l/min
	Stellantriebe		
Y_02	iMK1_Kaelte_Ventil	Position Vent Mischkr 1	Position 0-1
Y_17	iMK1_Hzg_Ventil	Position Vent Mischkr 1	Position 0-1
Y_22	iMK2_Kaelte_Ventil	Position Vent Mischkr 2	Position 0-1
Y_32	iMK2_Hzg_Ventil	Position Vent Mischkr 2	Position 0-1
Y_137	iMK3_Kaelte_Ventil	Position Vent Mischkr 3	Position 0-1
Y_158	iMK3_Hzg_Ventil	Position Vent Mischkr 3	Position 0-1
Y_138	iMK4_Kaelte_Ventil	Position Vent Mischkr 4	Position 0-1
Y_156	iMK4_Hzg_Ventil	Position Vent Mischkr 4	Position 0-1
	Pumpen		
Y_03	iMK1_Kaelte_Pumpe	Freigabe Pumpe Mischkr1	LON-Bus
Y_07	iMK1_Hzg_Pumpe	Freigabe Pumpe Mischkr1	LON-Bus
Y_24	iMK2_Kaelte_Pumpe	Freigabe Pumpe Mischkr2	LON-Bus
Y_29	iMK2_Hzg_Pumpe	Freigabe Pumpe Mischkr2	LON-Bus
Y_142	iMK3_Kaelte_Pumpe	Freigabe Pumpe Mischkr3	LON-Bus
Y_152	iMK3_Hzg_Pumpe	Freigabe Pumpe Mischkr3	LON-Bus
Y_141	iMK4_Kaelte_Pumpe	Freigabe Pumpe Mischkr4	LON-Bus
Y_151	iMK4_Hzg_Pumpe	Freigabe Pumpe Mischkr4	LON-Bus

4.1.7 Aufbau der Hardware-Struktur der Automatisierung

Um die volle Funktionalität des Fassadensystems herzustellen, wird dieses mittels einer frei programmierbaren Automationsstation (AS) automatisiert. Die Automatisierung umfasst alle Funktionen des Fassadenelements wie Steuerung des Sonnenschutz, des Lichts und der natürlichen Lüftung. Des Weiteren wird das Lüftungsgerät über die AS gesteuert.

Neben der Automatisierung des Fassadenelements muss auch das hydraulische System automatisiert werden. Das hydraulische System versorgt das Lüftungsgerät sowie die Wand- und Fußbodenheizung mit Warm- und Kaltwasser zum Heizen oder Kühlen.

Neben den reinen Automatisierungsaufgaben von technischen Systemen wird zudem eine Unterstation der AS für die wissenschaftliche Messwert-Erfassung eingesetzt. Die Messwerte, die von dieser Unterstation aufgenommen werden, werden für die Automatisierung der Fassade nicht benötigt, sondern dienen der detaillierten wissenschaftlichen Untersuchung des Fassadenelements und dessen Funktionen.

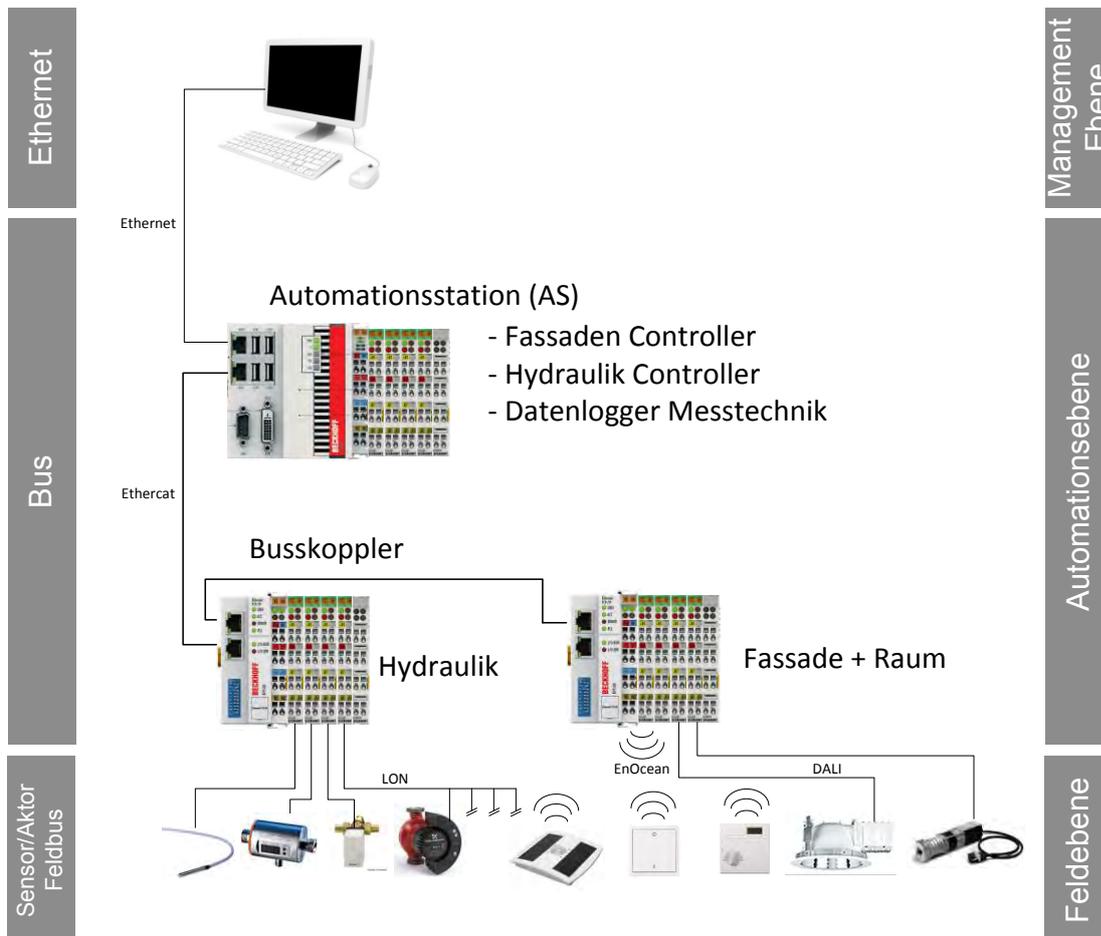


Abbildung 4.11: Automatisierungstechnisches Konzept für die Testfassade inkl. Testraum.

Das umgesetzte Automatisierungskonzept ist in Abbildung 4.11 zu sehen. Die Struktur besteht aus drei Ebenen. Die unterste Ebene bildet die Feldebene. Auf der Feldebene befinden sich Sensoren und Aktoren wie Temperaturfühler, Durchflusssensoren

ren, CO₂ Sensoren, Stellmotoren, dimmbare Leuchten usw. Die Steuerung oder Kommunikation mit den Sensoren und Aktoren erfolgt entweder über analoge Signale oder über Buskommunikation. Für die Kommunikation mit Feldgeräten werden drei unterschiedliche Bussysteme eingesetzt. Die Ansteuerung der Leuchten erfolgt über DALI (Digital Addressable Lighting Interface). Die Kommunikation mit den Sensoren und Aktoren im Raum, die es unter anderem dem Nutzer ermöglichen in die Automatisierung einzugreifen, erfolgt über die batterielose Funktechnologie EnOcean.

Die Kommunikation mit den Pumpen erfolgt über LON (Local Operating Network).

Über der Feldebene befindet sich die Automationsebene. Diese besteht aus einer AS der Firma Beckhoff (CX5000). Die AS ist ein vollwertiger Industrie PC und läuft unter dem Betriebssystem Windows CE. Da der Verkabelungsaufwand in Grenzen gehalten werden sollte, wurden zwei Unterstationen mit Buskopplern für die MSR-Technik der Hydraulik und der Fassade aufgebaut. Die Erfassung und Verarbeitung von Daten erfolgt ausschließlich in der AS. Die Unterstationen reichen die empfangenen Daten (von der AS und von der Feldebene) lediglich weiter.

Die Feld- und Automationsebene stellen ein vollständig funktionsfähiges System dar. Weitere übergeordnete Systeme sind für den Betrieb der Anlagentechnik, des Raums und der Fassade nicht notwendig.

Die dritte Ebene, die Managementebene dient der Visualisierung von Messergebnissen, der Fernüberwachung des Systems und dem übergeordneten Eingriff in die Regelung und Steuerung. Hier kann auch eine übergeordnete Betriebsoptimierung oder ein Energie- und Gebäudemanagement umgesetzt werden. Hierfür wird ein Standard Rechner verwendet.

Die Struktur der Automatisierung wurde in diesem Fall auf die Anforderungen des Forschungsvorhabens und den örtlichen Gegebenheiten angepasst. Da das System aber später übertragbar auf andere, real in Gebäuden eingesetzte Systeme sein soll, wurde dieser Anforderung softwareseitig Rechnung getragen.

In der AS werden drei Programme parallel betrieben. Zwei Programme übernehmen jeweils die Aufgabe der Steuerung und Regelung der Hydraulik und der Fassade. Das dritte Programm ist für das Protokollieren und Archivieren von Daten zuständig.

Diese Programme können bei einer Automatisierungsstruktur mit verteilten Steuerungen einzeln auf die jeweiligen Steuerungen implementiert werden und unabhängig voneinander arbeiten. Somit kann ohne weiteren Programmieraufwand flexibel sowohl ein zentrales System als auch ein dezentrales verteiltes System aufgebaut werden.

4.2 Automatisierung des Fassadenteststands mit der modularen Automationsbibliothek

4.2.1 Terminologie

Für ein besseres Verständnis werden nachfolgend die wichtigsten Begriffe kurz erläutert:

- **Sequenzregelung**

Durch eine Sequenzregelung wird z. B. eine Überschneidung des raumseitigen Heiz- bzw. Kühlbetriebs vermieden. Dies wird über eine kennlinienbasierte Sollwertermittlung in Abhängigkeit der Raumtemperatur durchgeführt. Der Begriff der Sollwertermittlung wird in der Richtlinie VDI 3813 (4) exakt definiert.

Abbildung 4.12 zeigt die Graphik aus dieser Richtlinie. Wie deutlich zu erkennen ist, wird das Stellsignal Y in Abhängigkeit der jeweiligen Raumtemperatur von 0-100% geregelt. Die unterschiedlichen Sollwerte (Comfort, Pre Comfort, Economy und Protection) werden durch die unterschiedlichen Linienarten verdeutlicht.

Die Totzone bzw. neutrale Zone (um die Linie T_{ZE}) symbolisiert den Bereich, in dem weder geheizt noch gekühlt wird. Dies ist erforderlich, um eine Überschneidung von Heizen und Kühlen zu vermeiden.

Eine automatische Umschaltung ist bisher im Testfassadenstand noch nicht vorgesehen.

Die beiden Variablen „ T_{BMS} “ und „ T_{SETPT} “ bezeichnen die Einflüsse durch den Betreiber und den Nutzer.

Die Variable T_{OUT} steht für die gleitende Anhebung des Sollwertes beim Kühlen ab einer bestimmten Außentemperatur (siehe Sommerkompensation).

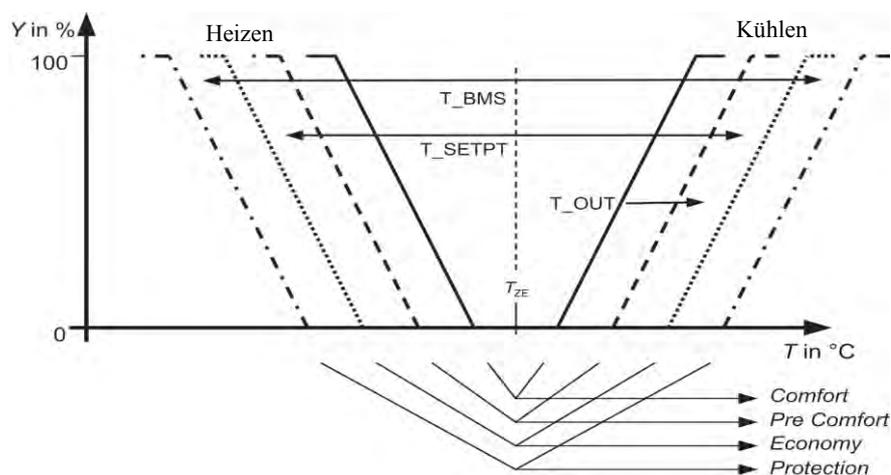


Abbildung 4.12: Sequenz Kühlen / Heizen nach VDI 3813-2 (7).

Im Falle des vorliegenden Projektes muss dies noch über einen längeren Zeitraum erprobt werden. Derzeit wird die Umschaltung zwischen Heizen und Kühlen noch von Hand betätigt. Die Automatisierung ist allerdings schon vorgesehen.

- **Gedämpfte Außentemperatur**

Diese Rechengröße ist ein Hilfsmittel, um die Unterscheidung zwischen Sommer- und Winterfall durchführen zu können. Da es keinen Sinn macht die Primäranlagen bei kurzfristigen Temperaturschwankungen zwischen Heizen und Kühlen umzuschalten wird die mittlere Außentemperatur über einen bestimmten Zeitraum betrachtet.

Hierunter versteht man die mittlere Temperatur in z. B. 3 Stunden. Fällt diese Temperatur unter die Heizgrenztemperatur (z. B. 16 °C) wird die Heizung freigegeben. Die Abschaltung erfolgt dementsprechend umgekehrt. Hierbei soll eine unnötige Taktung der Heizung, insbesondere in den Übergangszeiten, vermieden werden. Die Parametrierung des Zeitraums und der Heizgrenztemperatur hängt von den bauphysikalischen Bedingungen des Raumes bzw. des Gebäudes ab.

Wie bei der Sequenzregelung wird auch hier eine Totzone angewendet, in der weder geheizt noch gekühlt wird.

- **Sommerkompensation**

Die Sommerkompensation lässt den Sollwert bei steigenden Außentemperaturen nach oben gleiten, damit z. B. der Sollwert nie mehr als 5 K unter der Außentemperatur gefahren wird.

Im Falle des vorliegenden Projektes muss dies noch über einen längeren Zeitraum erprobt werden. Derzeit erfolgt das Umschalten zwischen Heizen und Kühlen noch von Hand. Die Automatisierung ist allerdings schon vorgesehen.

Wie bereits in Abschnitt 3.3 beschrieben soll nun die aufgezeigte Planungsmethodik auf den Fassadenteststand angewendet werden. Hierbei werden die einzelnen Planungsschritte strukturiert angewendet und in den nachfolgenden Abschnitten erläutert.

4.2.2 Ablaufdiagramme

Die hier aufgezeigten Ablaufdiagramme basieren auf dem in Abbildung 4.31 dargestellten Automationsschema. Wie bereits erwähnt, bietet sich für die eindeutige Beschreibung von komplexeren Funktionen der Raum- und Gebäudeautomation die Erstellung von Ablaufdiagrammen an.

Nachfolgend werden alle Gewerke der Fassade, die automatisiert werden mit Ablaufdiagrammen und/oder Zustandsgraphen beschrieben. Diese bilden die Basis für die Programmierung. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die folgenden Ablaufdiagramme auf die in diesem Vorhaben untersuchte Testfassade mit Testraum bezogen sind. Sie sind daher, wenn überhaupt, nur eingeschränkt übertragbar auf allgemeine Fassadenkonstruktionen und -systeme.

4.2.2.1 Umschaltung Heizfall / Kühlfall

Die Umschaltung zwischen dem Heizfall und dem Kühlfall, unter Berücksichtigung der Neutralzone, lässt sich sowohl in einem Zustandsgraphen, als auch in einem Ablaufdiagramm anschaulich aufzeigen.

Abbildung 4.13 zeigt den Zustandsgraph für die Umschaltung zwischen Heiz- und Kühlfall. Grundsätzlich kann eine Umschaltung nur über den Zustand der „Neutralzone“ erfolgen. So kann ein unnötiges Takten vermieden werden. Für den Übergang vom Heizfall in die Neutralzone und wieder zurück spielen die gedämpfte Außentemperatur ($\vartheta_{\text{Außen,ged}}$) und die untere Grenze der neutralen Zone ($\vartheta_{\text{ZE,GU}}$) eine Rolle. Entsprechend gelten die Übergangsbedingungen der gedämpfte Außentemperatur ($\vartheta_{\text{Außen,ged}}$) und der oberen Grenze der neutralen Zone ($\vartheta_{\text{ZE,GO}}$) für die Umschaltung zum Kühlfall.

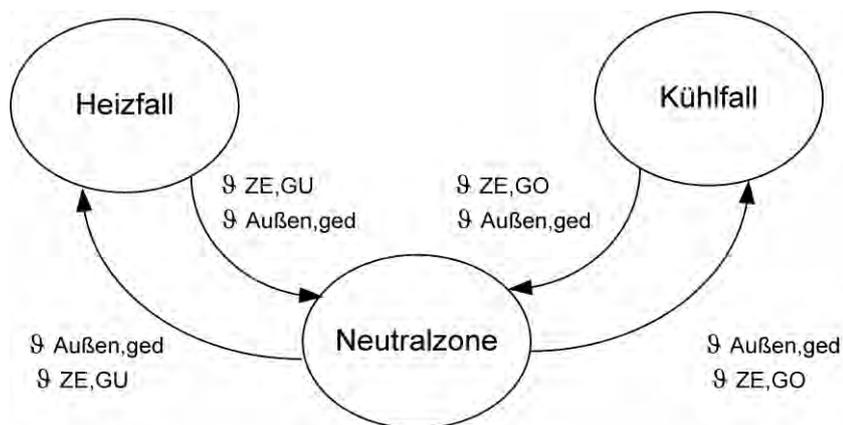


Abbildung 4.13: Zustandsgraph Heizen/Kühlen.

Das entsprechende Ablaufdiagramm zur Umschaltung zwischen Heizen und Kühlen wird durch Abbildung 4.14 aufgezeigt.

Die bereits erläuterten Bedingungen für den Zustandswechsel sind hier auch wieder erkennbar.

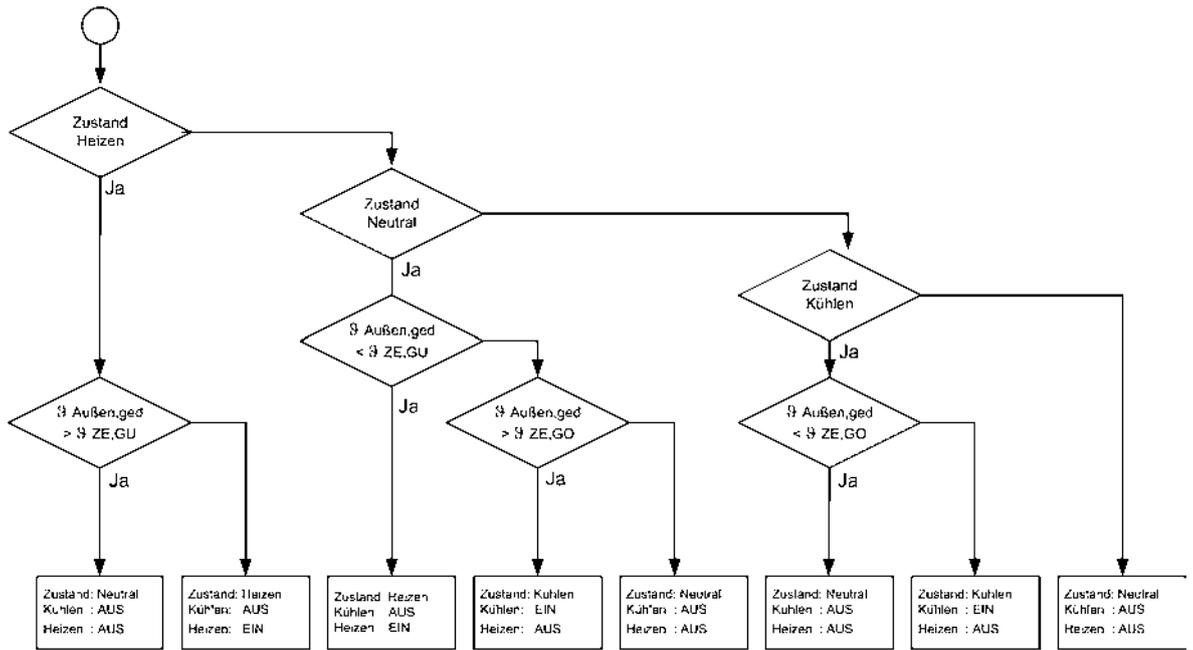


Abbildung 4.14: Ablaufdiagramm Heizen/Kühlen.

4.2.2.2 Präsenz

Da die Anwesenheit von Personen in mehreren Makros verwendet wird, zeigt Abbildung 4.15 das Ablaufdiagramm für die Funktion „Präsenz“. Nach der Präsenzerkennung durch den entsprechenden Sensor wird für die Belegungsauswertung die Variable „P“ auf „True“ gesetzt.

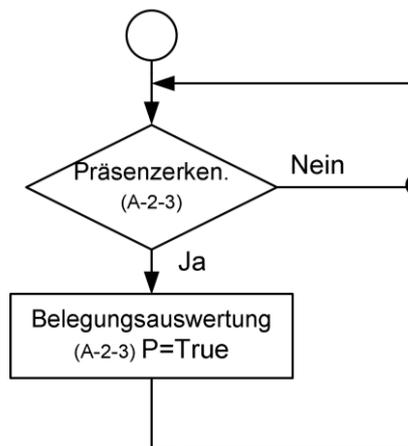


Abbildung 4.15: Ablaufdiagramm Präsenz.

4.2.2.3 Zeitprogramm

Durch ein hinterlegtes Zeitprogramm kann die Nutzungszeit abgefragt werden. Sobald sich das System innerhalb der Nutzungszeit befindet, wird die Zeitprogramm-Variable „Z“ auf „True“ gesetzt.

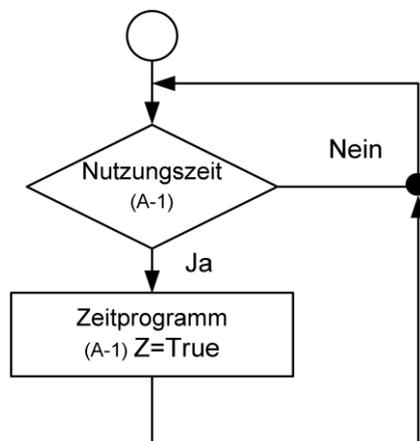


Abbildung 4.16: Ablaufdiagramm Zeitprogramm.

4.2.2.4 Sollwertermittlung

Für die Ermittlung des gewünschten Sollwertes spielt zum Einen der Sollwert in Abgleich mit einem eventuellem Nutzereingriff eine Rolle. Zum Anderen hängt der jeweilige Sollwert im Automatik-Betrieb auch von dem sogenannten Energieniveau ab. (z. B. Standby, Precomfort und Comfort)

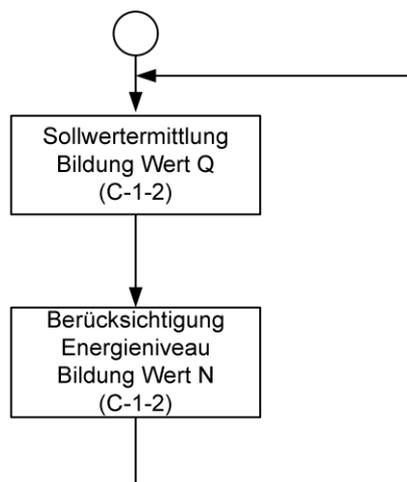


Abbildung 4.17: Ablaufdiagramm Sollwertermittlung.

4.2.2.5 Heizfall

Nach der Überprüfung, ob der Heizfall vorliegt, wird zunächst überprüft, ob sich das System innerhalb oder außerhalb der Nutzungszeit befindet und ob ein Freigabesignal vorliegt. Die Nutzungszeit (Z) wird beispielsweise zwischen 8:00 Uhr und 17:00 Uhr festgelegt. Falls sich das System außerhalb der Nutzungszeit befindet, wird der Sollwert der Raumtemperatur auf 16 °C (T_SETPTS) festgelegt. Anschließend wird die Differenz zwischen Ist- und Sollwert gebildet, die als Grundlage für die anschließende PI-Regelung des Ventils für die Flächenheizung (V_STA) dient. Um weitere Energie zu sparen, wird in dieser Phase die Vorlauftemperatur um einen parametrierbaren Wert abgesenkt. Dies ist allerdings nur möglich, wenn keine anderen Räume, die an diesen Strang angeschlossen sind, Wärme benötigen.

Falls sich das System innerhalb der Nutzungszeit befindet, wird der Sollwert bei keiner Präsenz auf 19 °C und bei Präsenz auf 21 °C festgelegt. Die Vorlauftemperatur wird wieder angehoben, sobald sich das System innerhalb der Nutzungszeit befindet. Wie außerhalb der Nutzungszeit wird der Regelkreis für die Flächenheizung angesprochen.

Falls eine Raumbelugung vorliegt, wird zusätzlich eine mögliche Sollwertkorrektur von +/- 3 °C durch den Nutzer berücksichtigt. Gemäß der Systemauslegung ist die Flächenheizung ausschließlich zur Grundlastabdeckung gedacht. Anschließend werden beide Stellventile (Flächenheizung und Heizregister) durch eine PI-Regelung entsprechend der Regeldifferenz geregelt (V_STA). In wie fern sich die beiden Systeme gegenseitig beeinflussen muss in weiteren Forschungsprojekten messtechnisch untersucht werden.

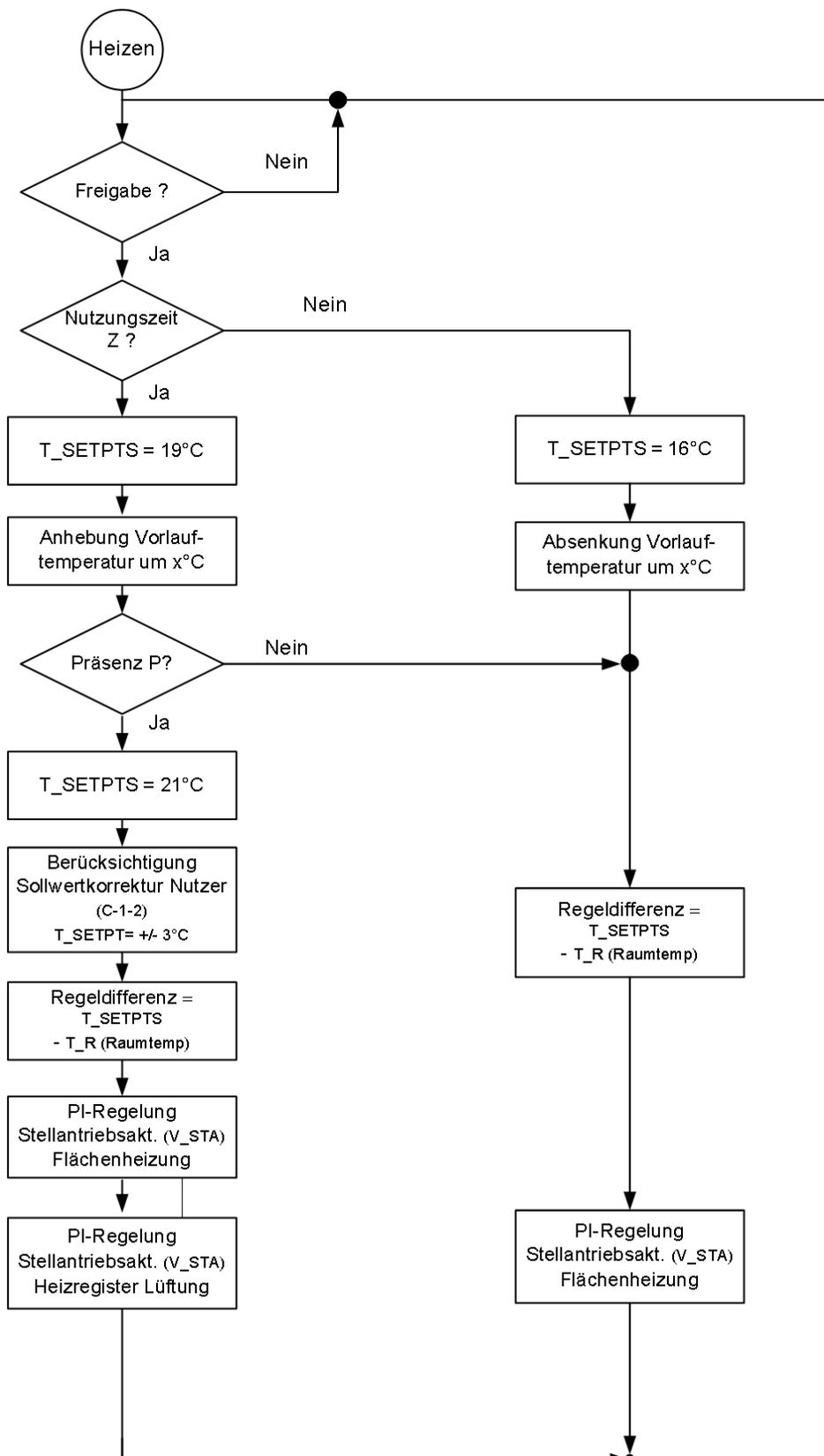


Abbildung 4.18: Ablaufdiagramm Heizfall.

4.2.2.6 Kühlfall

In Abbildung 4.19 wird das Ablaufdiagramm für den Kühlfall dargestellt. Im Kühlfall wird zunächst der Bypass für die Wärmerückgewinnung aktiviert, da dies sonst zu unnötigen Energieaufwendungen führen würde.

Wie im Heizfall werden die Sollwertvorgaben in Abhängigkeit der Nutzungszeit und der Raumbelastung ausgewählt. Hierbei gilt ein Sollwert (T_{SETPTS}) von 28°C außerhalb der Nutzungszeit, 26°C im nicht belegten Zustand und 23°C im belegten Zustand.

Es wird neben einer Sollwertkorrektur durch den Nutzer eine Sommerkompensation vorgesehen, die bereits beschrieben wurde.

Da die Kühlung ausschließlich über das Lüftungsgerät erfolgt, wird auch nur der Regelkreis für das Kühlregister (V_{STA}) in dem Lüftungsgerät der Fassade angesprochen.

Die Steuerung der Ventilatorumdrehzahl wird durch die CO₂ – Regelung in der Abbildung 4.21 erläutert.

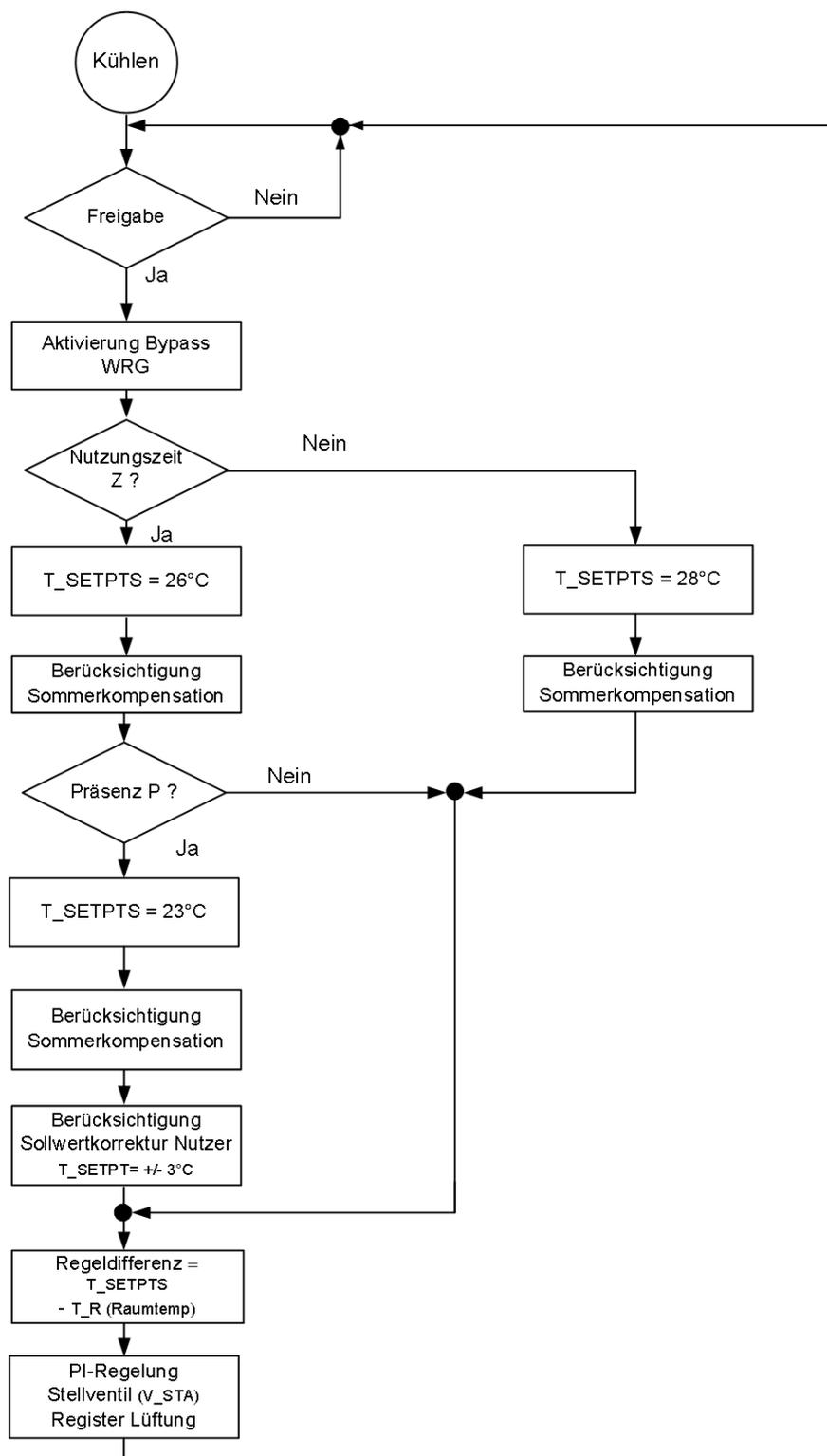


Abbildung 4.19: Ablaufdiagramm Kühlfall.

4.2.2.7 CO₂-abhängige Volumenstromregelung

Um eine gute Raumluftqualität zu gewährleisten wird der CO₂-Gehalt des Raumes innerhalb der Nutzungszeit „N“ gemessen. Abbildung 4.21 zeigt das dazugehörige Ablaufdiagramm. Nach der Berücksichtigung des Energieniveaus „N“ können die Sollwerte für den CO₂-Gehalt angepasst werden.

Alternativ zu einer Abschaltung des Ventilators außerhalb der Nutzungszeit kann auch eine Grundlüftung vorgesehen werden. Die entsprechende Drehzahl (V_STA) muss projektspezifisch festgelegt werden. Für den Testfassadenstand wurde keine Grundlüftung vorgesehen.

Über 40 % der Drehzahl des Ventilators (V_STA) hat dieser einen so hohen Schallpegel, dass ein Bürobetrieb nicht mehr realistisch möglich wäre.

Bei steigendem CO₂-Gehalt wird die Ventilator Drehzahl (V_STA) durch den, in Abbildung 4.20 beschriebenen Zusammenhang, erhöht. Da der eingesetzte Ventilator im Testfassadenstand nur zwischen 10 % und 40 % der maximalen Leistung betrieben wird, wurde eine Kennlinie hinterlegt, wobei die Drehzahl (V_STA) unter 600 ppm auf 10 % und über 1200 ppm auf 40 % gehalten wird.

Im Zwischenbereich kann die Ventilator Drehzahl nach folgender Gleichung berechnet werden.

$$\text{Vent. Drehzahl} = \left(0,05 \frac{\%}{\text{ppm}} \cdot \text{CO}_2 \text{ Gehalt ppm} \right) - 20 \% \quad (1)$$

Abbildung 4.20 zeigt diesen Zusammenhang graphisch.

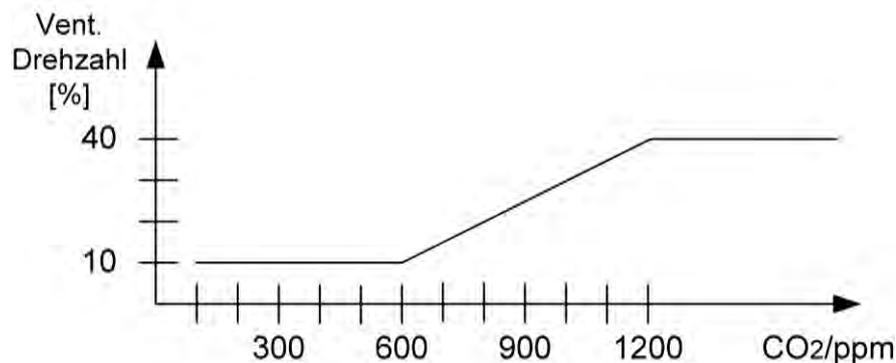


Abbildung 4.20: Kennlinie Ventilator Drehzahl in Abhängigkeit des CO₂-Gehalts.

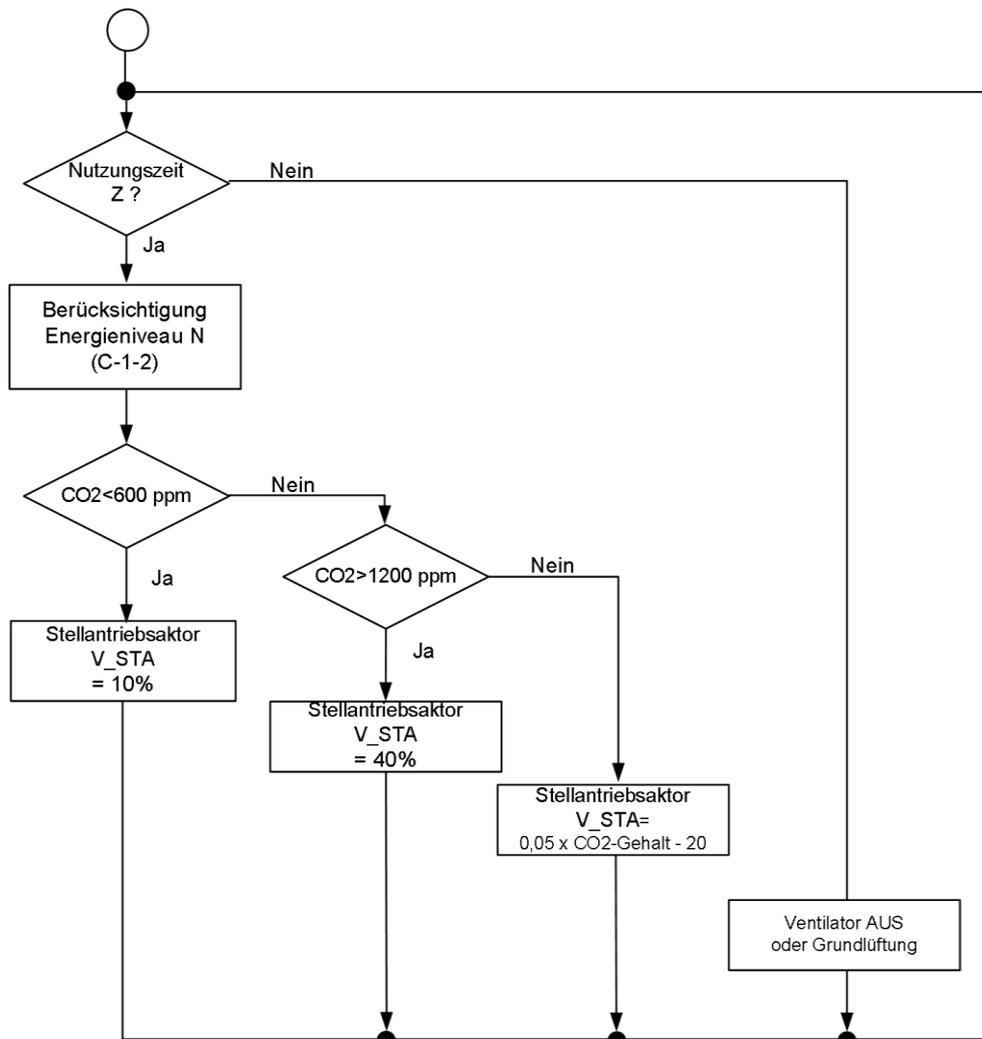


Abbildung 4.21: Ablaufdiagramm für CO₂-abhängige Volumenstromregelung.

4.2.2.8 Natürliche Lüftung durch Fassadenklappen

Durch die Möglichkeit, die Fassadenklappen zu öffnen, kann im Sommerfall kühlere Außenluft direkt für die Kühlung verwendet werden. Das Ablaufdiagramm zeigt Abbildung 4.22

Nach der Abfrage, ob der Sommerfall vorliegt und ob ein Wetteralarm anliegt (Wind oder Niederschlag) wird die Außentemperatur mit der Innentemperatur verglichen.

Der Wetteralarm wird allerdings derzeit für die Fassade nicht benutzt, da keine Wetterstation vorhanden ist und die Fassade auch nicht direkt im Freien steht.

Wenn die Außentemperatur („To“) kleiner als die Sollraumtemperatur („T_SETPTS“) ist, werden die Fassadenklappen geöffnet. Bei der Abfrage der Sollraumtemperatur wird zusätzlich ein Offset („Offs“) berücksichtigt, der ein unnötiges Tackten vermeidet.

In allen anderen Fällen werden bzw. bleiben die Fassadenklappen geschlossen.

Die Abfrage, ob der Heizfall oder der Kühlfall vorliegt, wird im Abschnitt 4.2.2.1 beschrieben.

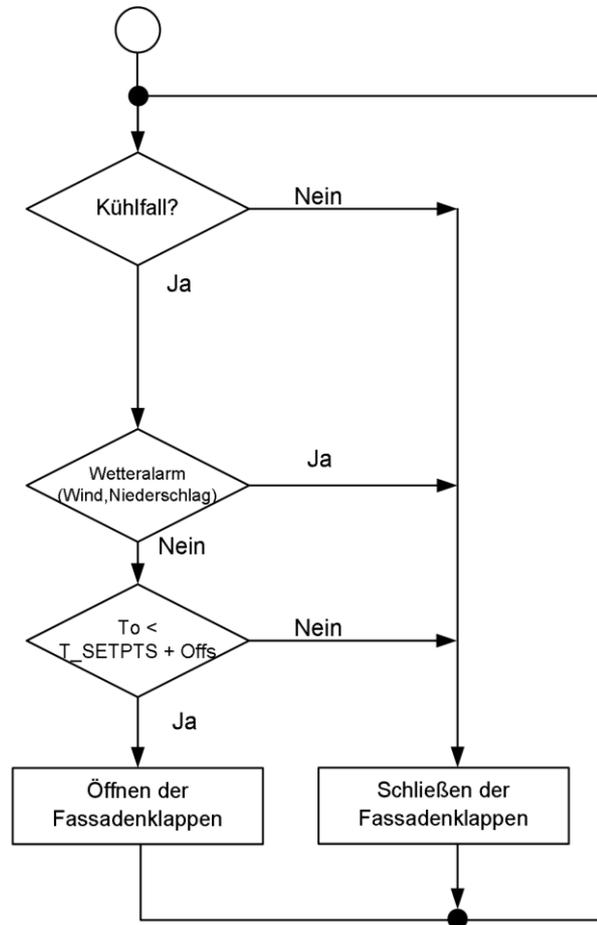


Abbildung 4.22: Ablaufdiagramm für Steuerung der Natürlichen Lüftung.

4.2.2.9 Jalousiesteuerung

Abbildung 4.23 zeigt das Ablaufdiagramm, mit dem die Jalousiesteuerung beschrieben wird.

Zunächst wird der Wetteralarm (Wind, Niederschlag) abgefragt. Falls der Alarm aktiv ist, werden die Jalousien nach oben gefahren. Anschließend wird die Belegung („P“) des Raumes überprüft. Sobald der Nutzer einen Eingriff („S_MAN“) vornimmt, wird die automatische Steuerung des Lamellenwinkels unterbrochen und für eine gewisse Zeit ausgesetzt (Ablauf Zeit Eingriff). Somit verharren die Lamellen in der Position, die vom Nutzer eingestellt wurde. Die Zeit, bis die Automatik wieder einsetzt, kann bei der Projektierung bzw. Inbetriebnahme als freier Parameter vorgegeben werden.

Im Automatikbetrieb findet eine kontinuierliche Berechnung des Sonnenstands (E-3-2) statt, was zu der entsprechenden Ansteuerung des Lamellenwinkels führt, damit der Raum immer mit möglichst viel Tageslicht versorgt wird, ohne Blendungen hervorzurufen. Um dem Nutzer den Blick nach außen zu ermöglichen, wird eine sogenannte Cut-Off Position angefahren. Diese Position ist der Kompromiss zwischen Blendungsvermeidung und Blick nach außen.

Wenn der Raum nicht belegt ist, wird geprüft, ob der Sommerfall vorliegt. Falls der Sommerfall vorliegt, werden die Jalousien ab 5000 lx Außenhelligkeit („Ho“) abgesenkt, um eine Überhitzung des Raumes zu vermeiden. Hierbei ist diese Schwelle wieder frei parametrierbar. Zusätzlich wird eine Zeitverzögerung berücksichtigt, damit bei kurzfristigen Schwankungen nicht sofort reagiert wird.

Im Winterfall werden die Jalousien nach oben gefahren, sobald keine Belegung im Raum ist, um möglichst viele passive Solargewinne im Raum zu erhalten.

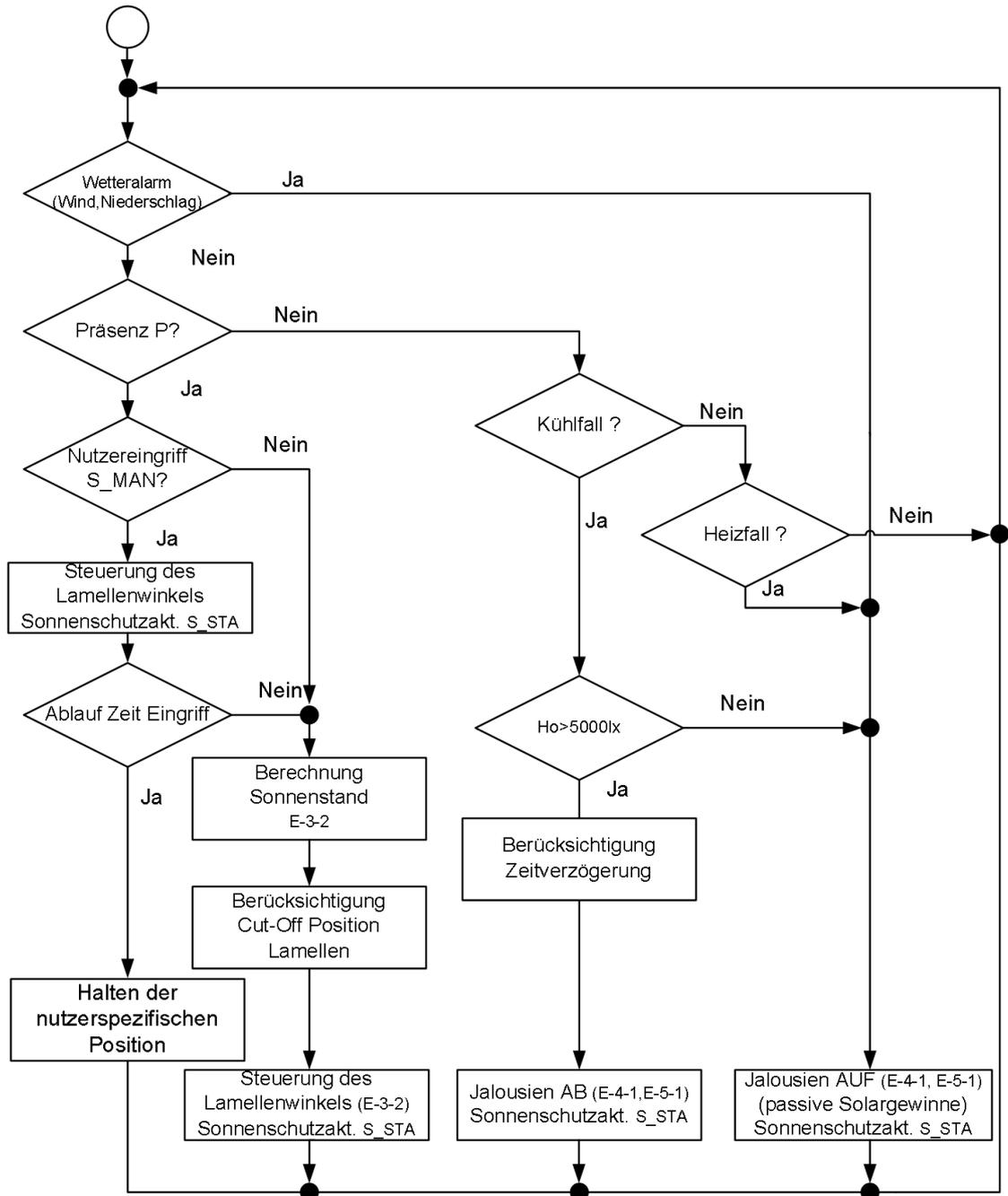


Abbildung 4.23: Ablaufdiagramm für Jalousiesteuerung.

4.2.2.10 Konstantlichtregelung

Abbildung 4.24 zeigt das Ablaufdiagramm für die Konstantlichtregelung.

In Abhängigkeit der Raumbelugung („P“) wird der Sollwert für die Beleuchtungsstärke abgerufen („H_SETPT“), der z. B. bei 500 lx ist. Dieser Wert ist je nach Nutzung frei parametrierbar.

Nachdem der Sollwert abgerufen ist, wird die IST-Beleuchtungsstärke („H_I“) mit der SOLL-Beleuchtungsstärke („H_SETPT“) verglichen. Der Beleuchtungsregelkreis wirkt durch einen PI-Regler auf die DALI-Vorschaltgeräte der Leuchtbänder („L_STA“) und dimmt diese auf den benötigten Wert.

Falls der Nutzer in die Automatikregelung eingreift („L-Man“) wird dieser Eingriff solange gehalten, bis ein Zeitplan die Automatikregelung wieder aktiviert (Ablauf Zeit Eingriff).

Für das Dimmen wurde eine Rampenfunktion hinterlegt, die ein kontinuierliches Dimmen erlaubt.

Sobald der Raum nicht mehr belegt ist, wird nach einer parametrierten Zeitdauer die Beleuchtung abgeschaltet.

Bei den Abfragen der Eingriffe durch den Nutzer und durch den Präsenzmelder handelt es sich um unterschiedliche Bausteine, damit diese differenziert voneinander parametrierbar werden können.

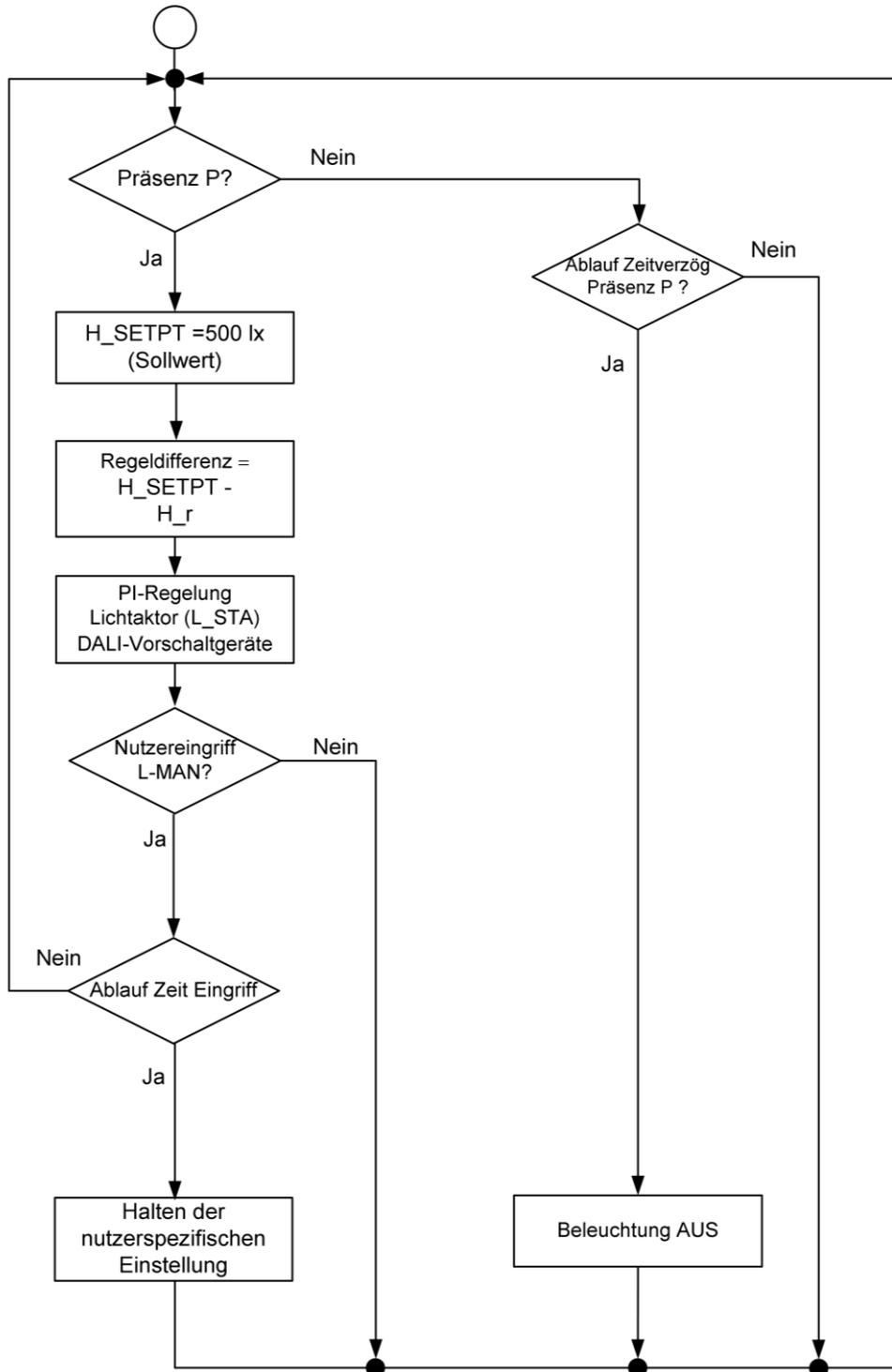


Abbildung 4.24: Ablaufdiagramm für Konstantlichtregelung.

4.2.3 Planung der Gebäudeautomation nach Richtlinie VDI 3814

Im Gegensatz zu der beschriebene Richtlinie VDI 3813 (4) befasst sich die Richtlinie VDI 3814 (1) hauptsächlich mit der Beschreibung von versorgungstechnischen Anlagen (z. B. Heizung, Lüftung, Kälte, Klima).

Mit Bezug auf das Projekt wurden die Komponenten der Wärme- bzw. Kälteversorgung und der Hydraulik projektiert.

Eine VDI 3814 konforme Planung besteht zum Einen aus dem Automationsschema, in dem auch die benötigten Ein- und Ausgänge eingetragen werden, und der Funktionsliste.

Die Schemata des Wärme- und des Kälteerzeugers werden in der Dokumentation nicht aufgezeigt, da diese nicht mit der zentralen Automationsstation verbunden sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass beide eine getrennte Regelung besitzen, die nicht direkt beeinflusst werden können.

Bei dem Kälteerzeuger verhält es sich gleich. Auch hier handelt es sich um eine autarke Regelung in die nicht direkt eingegriffen werden kann.

Alle Regelungsaufgaben, der hydraulischen Verteilung, werden durch die Automationsstation übernommen. Hier werden sowohl die Ventile, als auch die Pumpen entsprechend angesteuert.

Die einzige Ausnahme bildet hierbei die Umschaltung zwischen Heizen und Kühlen. Die Abbildung 4.25 und die Abbildung 4.26 zeigen die Automationsschemata mit allen benötigten Ein- und Ausgängen. Die Dokumentation erfolgte mit dem Softwaretool Web-Project der Fa. GfR. Prinzipiell werden alle Ein- und Ausgänge auf eine Automationsstation aufgeschaltet. Nur die Pumpen werden über eine LON-Bus Schnittstelle eingebunden.

Wie in Abschnitt 4.2.4 beschrieben wird auch für die Hydraulik eine Funktionsliste erstellt, die alle umgesetzten Funktionen aufzeigt und durch die Anzahl der Datenpunkte ein Maß für den Umfang und die Komplexität darstellt. Die Erstellung der Funktionsliste wurde ebenfalls mit dem Softwaretool Web-Project durchgeführt.

Neben den hardwareseitigen Ein- und Ausgängen werden auch sämtliche Verarbeitungsfunktionen (z. B. PI-Regelung), Managementfunktionen und Bedienfunktionen beschrieben. Die Erläuterung der jeweiligen Funktion kann in der Richtlinie VDI 3814 (4) nachgelesen werden.

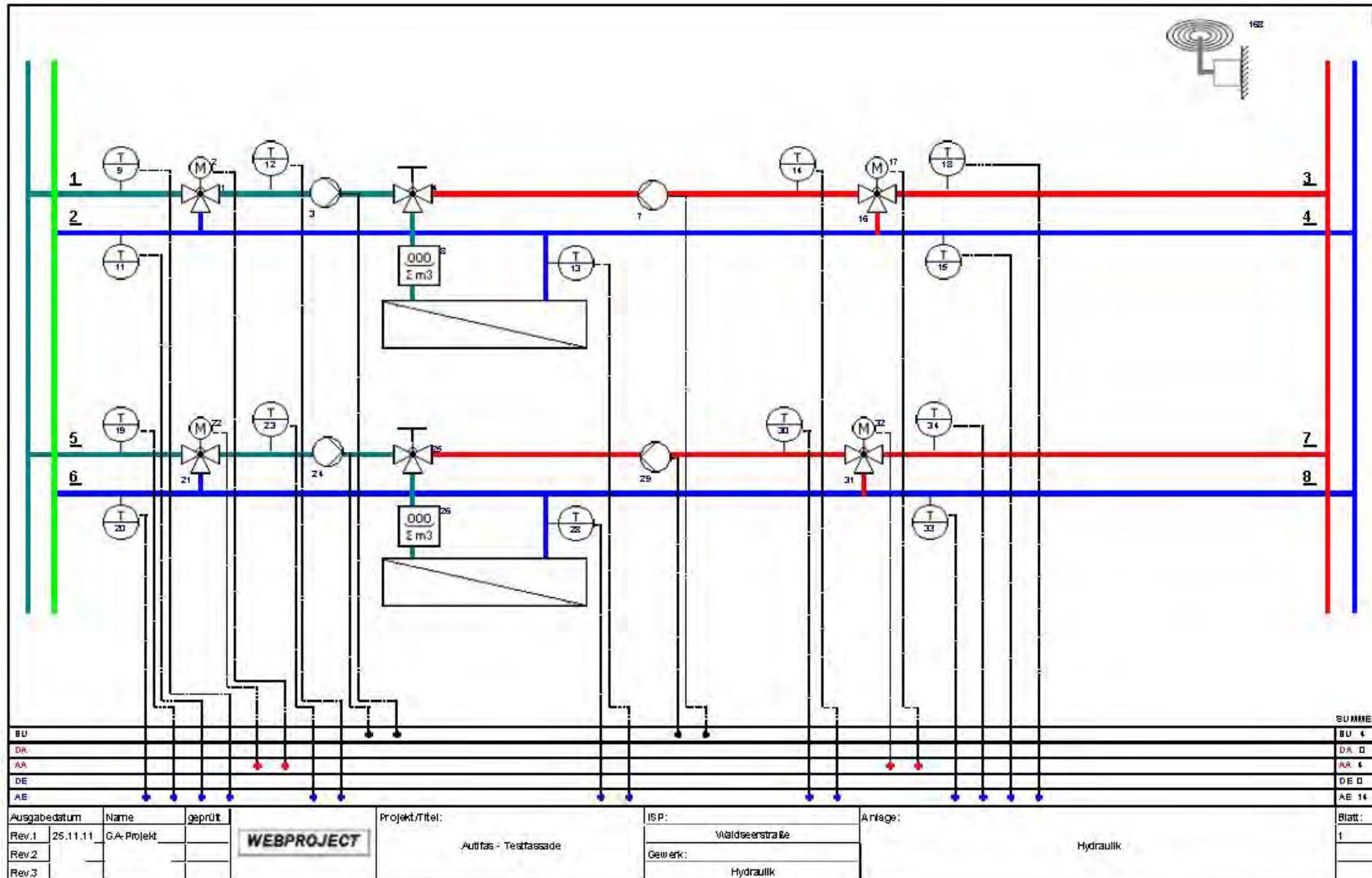


Abbildung 4.25: Automationsschema Hydraulik – Teil 1.

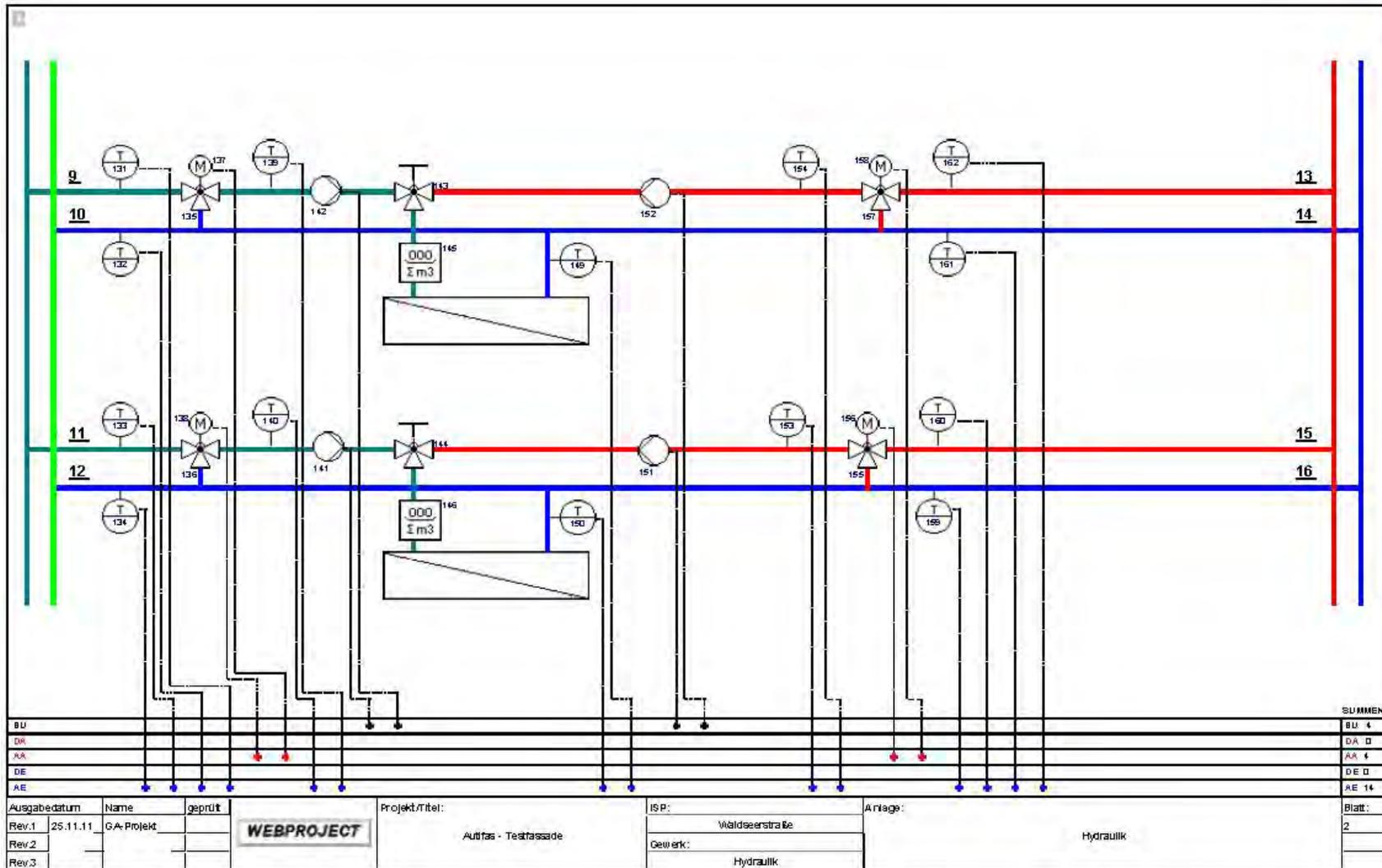


Abbildung 4.26: Automationsschema Hydraulik – Teil 2.

4.2.4 Planung der Fassaden-/ Raumautomation nach Richtlinie VDI 3813

Als Grundlage für eine allgemein verständliche und eindeutige Programmierung wird für das vorliegende Projekt u.a. auf die Richtlinie VDI 3813 (4) zurückgegriffen. Hierbei werden Funktionsblockdarstellungen verwendet, die zur eindeutigen Beschreibung der projektspezifischen Raumautomationsfunktionen dienen.

Neben der Funktionsblockdarstellung (Automationsschema) wird auch eine tabellarische Darstellung (Funktionsliste) erstellt, die als Übersicht sämtlicher Funktionen verwendet wird.

Als weiterer Planungsschritt wurden sogenannte Funktionsmakros erstellt, die mehrere Einzelblöcke zu einer Makrofunktion zusammenfassen. Dies wird insbesondere für mehrfach verwendete Funktionen, wie z. B. die Auswertung der Raumebelegung, genutzt.

Da die VDI-Richtlinie 3813 (4) Raumautomationsfunktionen beschreibt, werden nachfolgend die Funktionen innerhalb des Raumes inklusive der Fassade beschrieben. Die Funktionen der Hydraulik werden im Abschnitt 4.2.3 anhand der VDI-Richtlinie 3814 (1) beschrieben. Da die Funktionen der Erzeuger nicht beeinflusst werden können macht eine Planung dieser Funktionen nach der VDI-Richtlinie 3814 (1) keinen Sinn.

Abbildung 4.31 zeigt das Automationsschema für die Raum- und Fassadenautomation. Das Schema wird in zwei Hauptbereiche eingeteilt. Es wird zwischen der Anlage (Hardware) und den Funktionen unterschieden, wobei die Anlage wiederum in „Bereich/Gebäude“, „Raum“ und „Segment“ unterteilt werden. Übergreifende Messgrößen wie die Außentemperatur, die Außenhelligkeit und die Zeitschaltuhr werden dem „Bereich/Gebäude“ zugeordnet, da diese für alle Funktionen in dem Bereich bzw. dem Gebäude gemeinsam genutzt werden.

Geräte, die dem Raum zugeordnet werden können, sind im Bereich „Raum“ eingezeichnet.

Komponenten, die im Bereich „Segment“ angeordnet sind, könnten prinzipiell auch mehrmals pro Raum vorliegen. Der Begriff „Segment“ kennzeichnet die kleinste funktionale zu automatisierende Einheit. In diesem Projekt ist somit ein Segment immer ein Raster mit einem Fassadenelement. Ein großes Büro mit mehreren Achsen hätte sicherlich zwei bis drei solche Fassadenelemente, d.h. mehrere Achsen mit einem Fassadenelement als Segment bilden dann eine zu automatisierende Einheit „Raum“.

Die einzelnen Komponenten werden auf die Verweise (Dreiecke) mit einer fortlaufenden Nummerierung gezogen. Unterschiedliche Farben stehen für die Art (digital oder analog) des Ein- bzw. Ausgangs mit folgender Bedeutung:

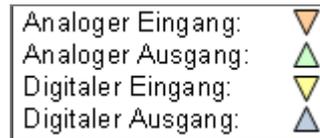


Abbildung 4.29: Legende Ein- und Ausgänge.

Folgende Sensor-, Aktor- und übergreifende Funktionen werden als Raumfunktionen beschrieben. Die Nummern in den eckigen Klammern stellen den Bezug zum Automationschema (Abbildung 4.31) her:

- Temperaturmessung Außen (To) [Nr 1] und im Raum (Tr) [Nr. 5]
- Helligkeitsmessung Außen (Ho) [Nr.3] und im Raum (Hr) [Nr. 4]
- Luftqualitätsmessung (CO₂) [Nr.8]
- Stellantriebsaktoren [Nr.7]
- Sonnenschutzaktor [Nr.14]
- Lichtaktor [Nr.11]
- Nachtkühlung [Nr.12]
- Sonnenstandsermittlung (Sa, Se) [Nr.3]

Des Weiteren werden Funktionen als Raumfunktionsmakros für die Beschreibung der Raum- und Fassadenautomation verwendet:

Die VDI-Richtlinie 3813 Teil 3 (Entwurf) (9) fasst für eine bessere Anwendbarkeit die einzelnen Funktionen zu sogenannten Funktionsmakros zusammen. Hierdurch wird eine bessere Planungsqualität erreicht, da diese Funktionen in den Projekten wiederholt angewendet werden können. Beispielsweise wird in dem Funktionsmakro „Auswertung der Belegung im Raum – Kombiniert automatisch und manuell; A-2-3“ sowohl die Präsenzerkennung, als auch die Belegungsauswertung durchgeführt (Abbildung 4.30).

Das Signal für die Präsenzerkennung wird direkt aus dem Präsenzmelder ausgelesen. Die Belegungsauswertung gibt ein Ausgangssignal „P“ aus, das in der gesamten Raumautomation verwendet werden kann.



Abbildung 4.30: Funktionsmakro A-2-3 nach VDI 3813-3 (Entwurf) (9).

a) Zeitprogramme, Makro A-1 nach VDI 3813-3 (Entwurf)

Dieses Makro wird für die Auswertung der Zeitschaltuhr und die Umsetzung einer Nutzungszeit benutzt.

Hierbei wird auch der Sonnenstand ermittelt.

b) Auswertung der Belegung im Raum, kombiniert automatisch und manuell Makro A-2-3 nach VDI 3813-3 (Entwurf)

Der Funktionsblock „Präsenzerkennung“ übergibt das Präsenzsinal, das aus dem Präsenzmelder ausgelesen wird dem Funktionsblock „Belegungsauswertung“.

Das Signal „P“ kann anschließend in allen Blöcken, die ein Präsenzsinal benötigen verwendet werden.

c) Energieniveau- und Sollwertermittlung mit Sommerkompensation und Startoptimierung, Makro C-1-3 nach VDI 3813-3 (Entwurf)

In diesem Makro wird der Nutzereinfluss durch eine lokale Bedieneinrichtung zunächst in dem Funktionsblock „Temp.-Sollwert stellen“ berücksichtigt. Diese Nutzerbeeinflussung wird anschließend in dem Block „Sollwertermittlung“ weiterverarbeitet. Durch das Signal „Q“ kann in allen Funktionsblöcken auf den Sollwert zurückgegriffen werden.

Desweiteren wird in dem Makro der Funktionsblock „Energieniveauwahl“ ausgeführt, in dem durch die Auswertung der Präsenz beispielsweise zwischen Pre-Comfort (z. B. 19°C Sollwert) und Comfort (z. B. 21°C Sollwert) unterschieden werden.

d) Regelung der Raumtemperatur mit Gebläsekonvektor (H/K,4-Rohr) C-2-7 und Heizdecke/Wandheizung (2-Rohr), Makro C-2-2 nach VDI 3813-3 (Entwurf)

Hierbei mussten zwei Makros miteinander kombiniert werden, weil die VDI 3813 (4) kein eigenes Makro für die Kombination aus Flächenheizung und Gebläsekonvektor vorsieht. Prinzipiell werden drei Temperaturregler für die Flächenheizung und das Heiz-/Kühlregister unterschieden, die durch den Funktionsblock „Funktionswahl“ verwaltet werden.

e) Regelung der Belüftung nach Luftqualität, Makro C-3-2 nach VDI 3813-3 (Entwurf)

Für die Auswertung des CO₂ Gehaltes im Raum und den Vergleich mit dem Sollwert wird ein Signal erzeugt, das direkt in dem Funktionsblock „Volumenstromregelung“ verarbeitet und anschließend als Signal für die Drehzahl des Ventilators verwendet wird.

f) **Schutz gegen Blendwirkung Helligkeits- und Sonnenstandsabhängig Makro E-2-2 nach VDI 3813-3 (Entwurf)**

Dieses Makro besteht nur aus einem Funktionsblock, der die Lamellennachführung ausführt. Durch die Auswertung der Sonnenposition kann direkt das Signal für die Motoransteuerung (E-5-1) erzeugt werden.

g) **Automatische Heiz-/Kühlunterstützung durch den Sonnenschutz, Makro E-4-1 nach VDI 3813-3 (Entwurf)**

Für die möglichst hohe Ausnutzung von passiven Solargewinnen überprüft dieses Makro, das aus einem Funktionsblock „Thermoautomatik“ besteht, ob sich das Auffahren der Jalousie im Winter lohnt, um im nicht belegten Zustand Energie zu sparen.

Im Sommer verhält es sich mit der Kühlenergie umgekehrt.

h) **Motoransteuerung mit Prioritätsauswahl, Makro E-5-1 nach VDI 3813-3 (Entwurf)**

Das Signal aus dem Makro E-2-2 wird in diesem Makro, das auch nur aus dem Funktionsblock „Prioritätssteuerung“ besteht ausgewertet. Hierbei wird auch ein Nutzereingriff berücksichtigt. In dem Makro kann auch eine Wetterschutzfunktion vorgesehen werden, was aber in dem vorliegenden Projekt nicht zum Tragen kommt, da die Fassade in einem Testumfeld aufgebaut wurde und sich somit keine Wetterstation sinnvoll anbringen lässt.

i) **Regelung der Beleuchtung tageslichtabhängig geregelt, Makro D-1-5 nach VDI 3813-3 (Entwurf)**

Der Funktionsblock „Konstantlichtregelung“ ist Bestandteil dieses Makros. Hierbei werden die Präsenz und der IST-Wert der Beleuchtungsstärke im Raum berücksichtigt. Nutzereingriffe können über die Funktionsblöcke „Licht stellen (schalten und dimmen)“ vorgenommen werden.

Abbildung 4.32 zeigt die daraus resultierende Funktionsliste. Die exakte Beschreibung der einzelnen Funktionen kann direkt in der Richtlinie VDI 3813 (4) nachgelesen werden.

Mit dieser Funktionsliste kann auf einen Blick die Datenpunktanzahl und damit die Komplexität des Systems abgelesen werden. Außerdem werden auch die Systeme, die verwendet werden (z. B. Bus, Funk oder Automationsstation) aufgezeigt.

Exemplarische Anwendung der Automationsbibliothek

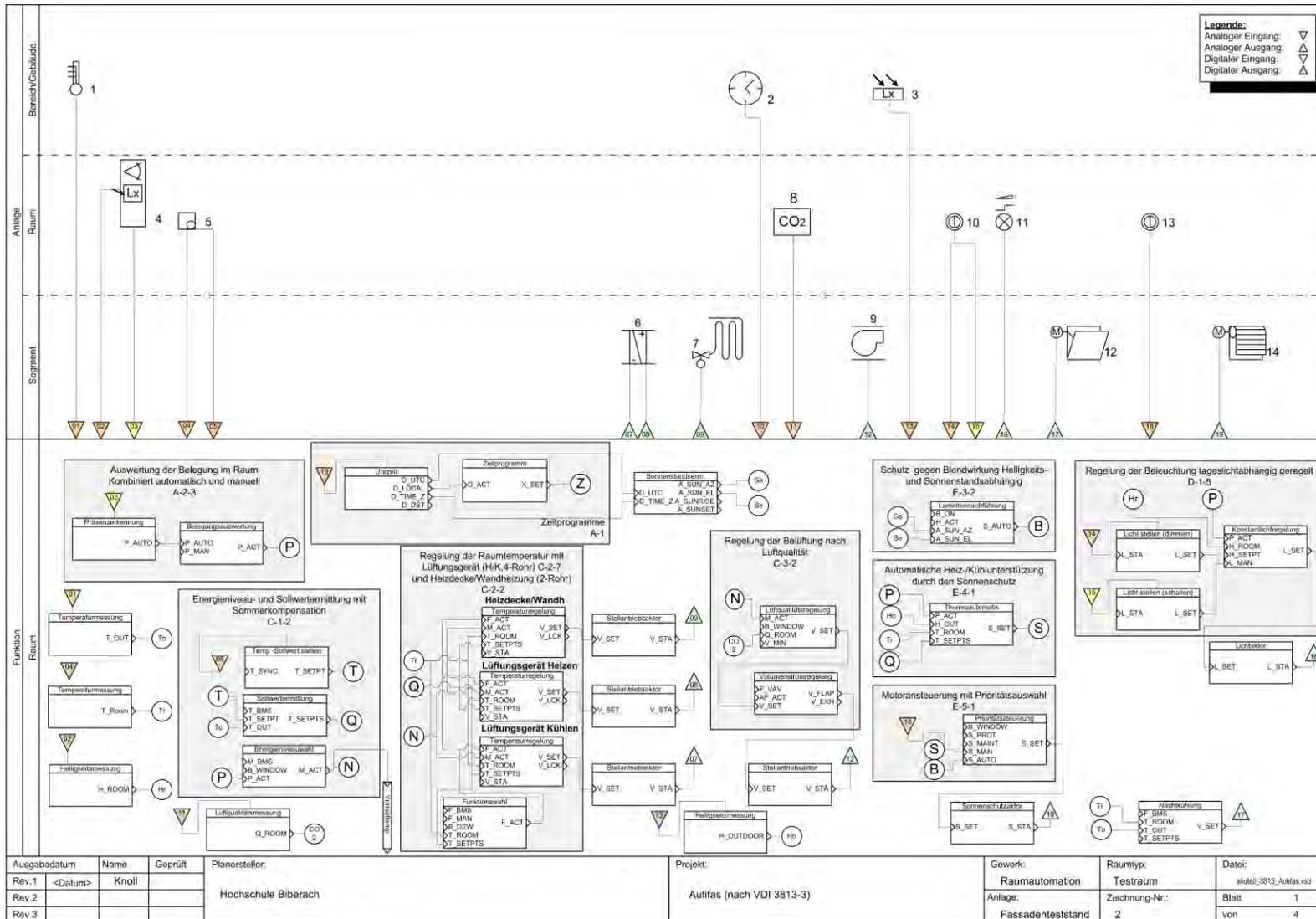


Abbildung 4.31: Automationsschema für Raum und Fassade nach VDI 3813-3.

4.2.5 Implementierungsaspekte des Fassadenteststands mit der modularen Automationsbibliothek

Im Folgenden werden die Planungsvorgaben aus Abschnitt 4.2.2 exemplarisch anhand der Wirkungsweise unterschiedlicher Funktionsbausteine näher untersucht. Dabei erfolgen notwendige Abfragen (z. B. Präsenz oder Nutzungszeit) in vorgelagerten Funktionsbausteinen gemäß der Richtlinie VDI 3813, sodass die eigentliche Regelung (z. B. Heizen) auf ihre Kernfunktion beschränkt werden kann.

Die Ausgangsgrößen der vorgelagerten Funktionsbausteine umfassen die Bereiche Energieniveau, Funktion und Sollwert. Abbildung 4.33 zeigt dabei die Wirkungsweise dieser Funktionsbausteine.

Einige zusätzliche Funktionsbausteine wurden speziell für dieses Projekt entwickelt, um den Fassadenteststand auch ohne übergeordnete Gebäudeautomation zu betreiben. Es handelt sich hierbei um folgende Funktionsbausteine:

- gedämpfte Außentemperatur
- Betreiberautomation
- Sollwertvorgabe
- Umschaltung Heizen_Kuehlen

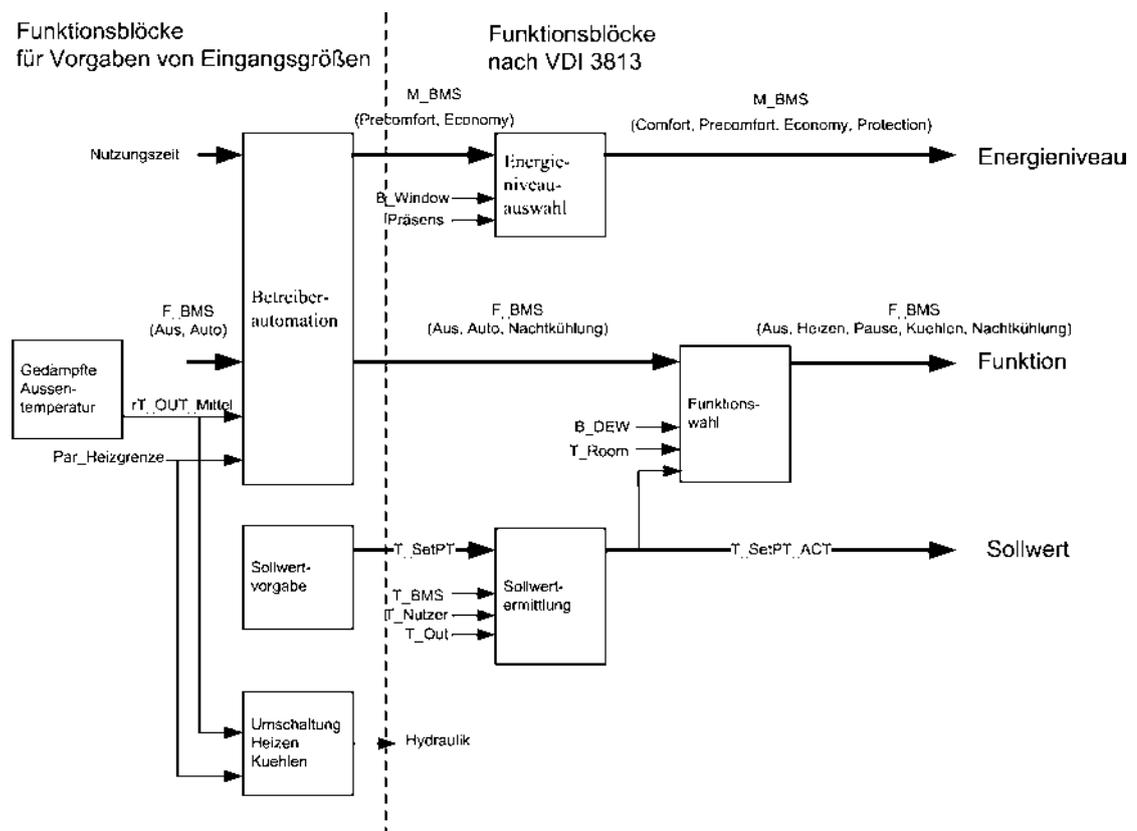


Abbildung 4.33: Wirkungsweise verschiedener Funktionsbausteine auf das Energieniveau, die Funktion und den Sollwert

Die Funktionsbausteine „4.5 Sollwertvorgabe“ und „6.1.2 Gedämpfte Außentemperatur“ sind in Abschnitt 3.4 Bibliothek von Fassaden- und Raumautomationsfunktionen beschrieben. Der Funktionsbaustein „Umschaltung Heizen_Kuehlen“ ist in Abschnitt 4.2.2.1 erläutert.

Der entwickelte Funktionsbaustein „Betreiberautomation“ wird im Folgenden näher beschrieben.

4.2.5.1 Funktionsbaustein Betreiberautomation

Im Funktionsbaustein „Betreiberautomation“ erfolgt die Festlegung des Energieniveaus „M_BMS“ aufgrund der Zeit. Es wird unter folgenden Zuständen unterschieden:

- Außerhalb der Nutzungszeit: M_BMS = Economy
- Innerhalb der Nutzungszeit: M_BMS = Precomfort

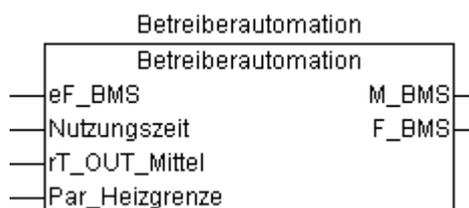


Abbildung 4.34: Funktionsbaustein „Betreiberautomation“

Zusätzlich ist der Funktionsbaustein auch für die Funktion „Nachtkühlung“ verantwortlich. Dabei wird die Nachtkühlung aktiviert, wenn die Funktion "eF_BMS" auf AUTO eingestellt ist, die „gedämpfte Außentemperatur (T_OUT_Mittel)“ über dem Heizgrenzwert (Par_Heizgrenze) liegt und das System außerhalb der Nutzungszeit ist (M_BMS = Economy). Ein weiterer Aktivierungsgrund der Nachtauskühlung besteht im Zustand „Kühlen“ außerhalb der Nutzungszeit.

Das Ablaufdiagramm in Abbildung 4.35 zeigt diesen Teil der Funktion.

Auf Grundlage der Richtlinie VDI 3813 sind den reglungstechnischen Kernfunktionen Heizen, Kühlen, Luftqualität Nachkühlung usw. drei weitere Funktionsbausteine vorgeschaltet.

- Energieniveauauswahl
- Sollwertermittlung
- Funktionswahl

Die Beschreibung der Funktionsbausteine befindet sich bereits in Kapitel 3.4. In Abbildung 4.33 ist die Wirkungsweise der Funktionsbausteine auf Energieniveau, Funktion und Sollwert in einem Strukturbild dargestellt.

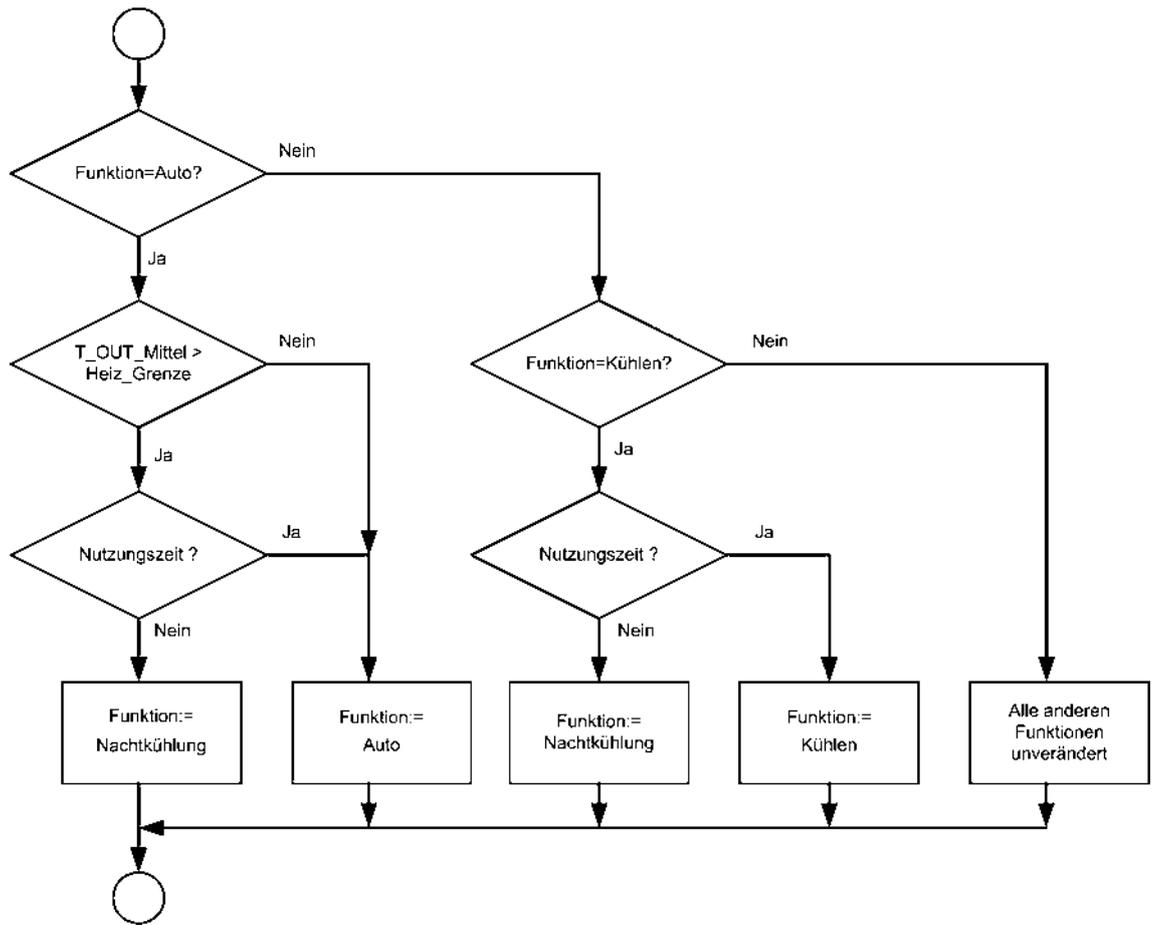


Abbildung 4.35: Ablaufdiagramm "Betreiberautomation"

4.2.5.2 Der Funktionsbaustein Energieniveaueauswahl

Wesentliche Kriterien für eine Energieniveaueauswahl liegen in der Nutzerpräsenz und dem Lüftungsverhalten durch Überprüfen der Fensterkontakte. Dabei gilt:

- Wenn ein Fenster geöffnet ist, wird das Energieniveau (immer) in „Protection“ geändert.
- Wenn die Präsenz P bestätigt ist, wird das Energieniveau in „Comfort“ geändert.

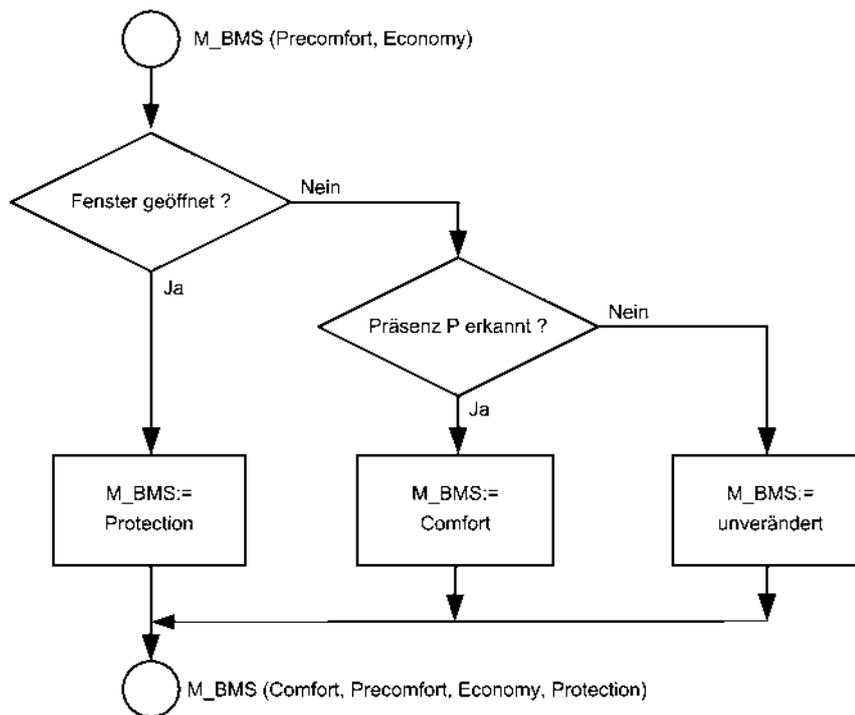


Abbildung 4.36: Ablaufdiagramm „Energieniveaueauswahl“

4.2.5.3 Der Funktionsbaustein Sollwertermittlung

Hierbei wird eine Änderung der Sollwerte durch den Betreiber, den Nutzer und die Außentemperatur ermöglicht (siehe auch Funktion 5.21 in Abschnitt 3.4).

4.2.5.4 Der Funktionsbaustein Funktionswahl

Der Funktionsblock „5.22 Funktionswahl“ ist in Abschnitt 3.4 detailliert beschrieben. Die wesentliche Aufgabe dieses Funktionsbausteins liegt darin die Funktion „AUTO“ in die Zustände „Heizen“, „Pause“ oder „Kühlen“ entsprechend den Auswertungen der Raumtemperatur (T_Room) zu schalten. Im Kühlfall wird der Taupunktsensor (B_DEW) überwacht um eine Kondensation zu verhindern. Der Zustand „0“ tritt ein, wenn die Einstellung „Auto“ verlassen wird („Nicht (Auto)“) und gibt die in der Betreiberautomation definierte Funktionswahl („Aus“ bzw. „Nachtkühlen“) unverändert weiter.

Abbildung 4.37 zeigt die Implementierung als Zustandsgraph.

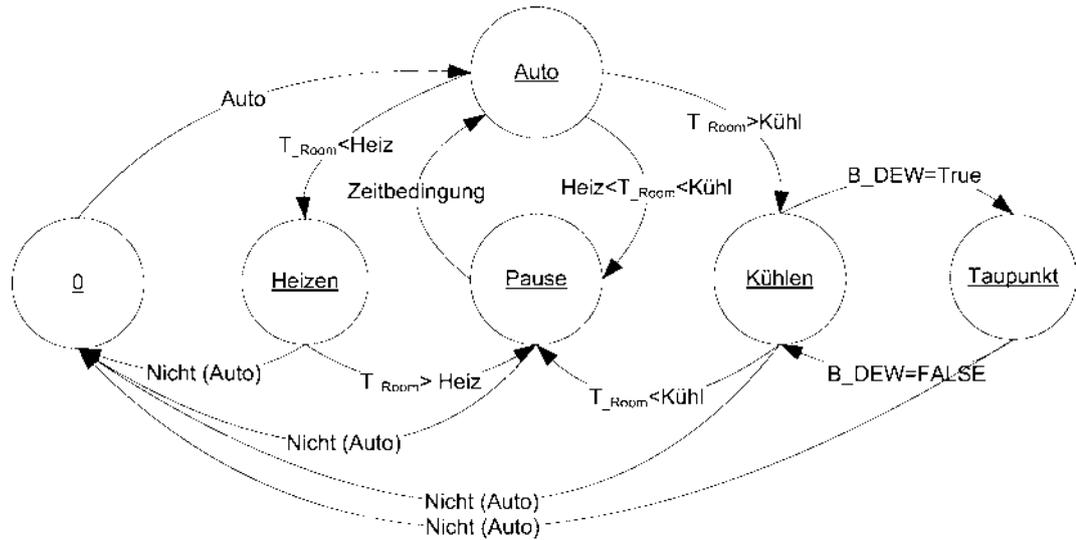


Abbildung 4.37: Zustandsgraph des Funktionsbaustein „Funktionwahl“

4.2.5.5 Regelung der Belüftung nach Luftqualität (Makro C-3-2)

In Abbildung 4.31 wird das Makro C-3-2 verwendet, das für die Luftqualitätsregelung zuständig ist. Es besteht prinzipiell aus dem Funktionsbaustein „Luftqualitätsregelung“ und einem „Volumenstromregler“. In diesem Projekt entfällt der Volumenstromregler, da das Fassadenlüftungsgerät nicht über die notwendigen Sensoren verfügt. Das Stellsignal der „Luftqualitätsregelung“ wird direkt an die Funktion „Aktorfunktion_Ventilator“ weitergegeben. Abbildung 4.38 zeigt die Realisierung im Struktureditor.

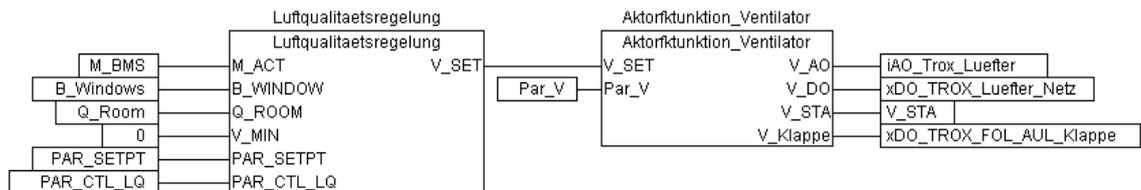


Abbildung 4.38: Regelung der Belüftung nach Luftqualität im Struktureditor

4.2.5.6 CO₂-abhängige Luftqualitätsregelung

Der Kern der Luftqualitätsregelung ist ein auf das Lüftungsgerät angepasster Proportional-Regler (P-Regler). Seine Funktionsweise ist in Abschnitt 4.2.2.7 beschrieben. Das Ablaufdiagramm in Abbildung 4.39 zeigt die vollständige Funktionsweise. Falls ein Fenster geöffnet wird, wird der Ventilator ausgeschaltet. Der P-Regler wird nur dann aktiviert, wenn das Energieniveau M_ACT auf "COMFORT" gesetzt ist. Dies ist nur dann der Fall, wenn der Nutzer anwesend ist.

Außerhalb der Nutzungszeit kann auch eine Grundlüftung vorgesehen werden. Dazu wird das Stellsignal (V_min) berücksichtigt. Dabei setzt sich der größere Wert durch. Für den Testfassadenstand wurde keine Grundlüftung vorgesehen.

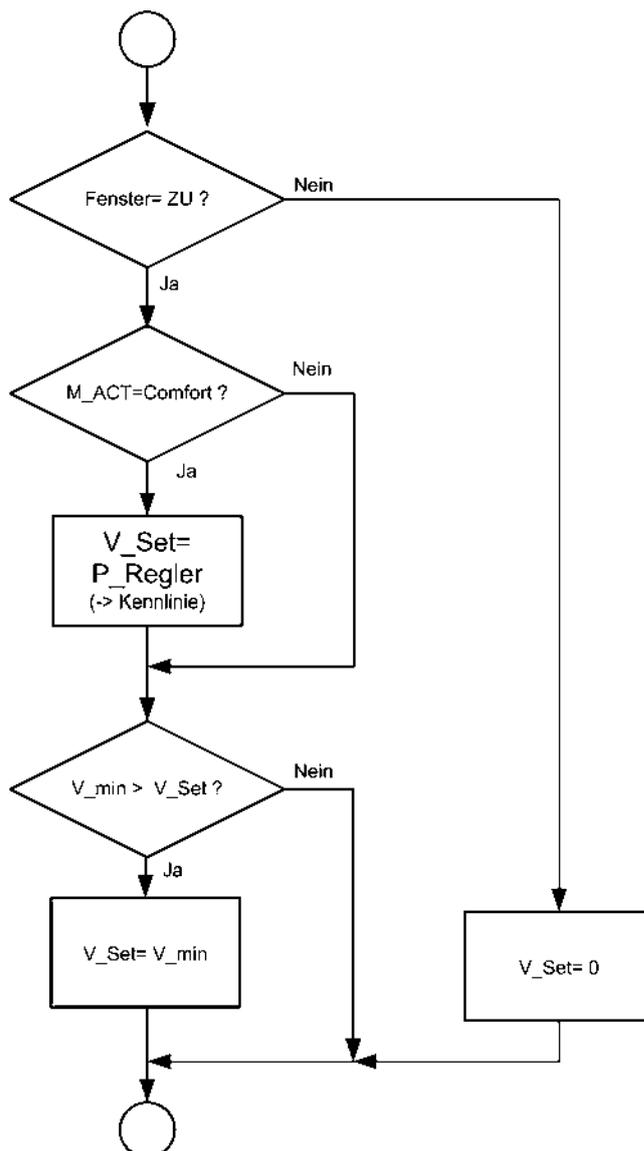


Abbildung 4.39: Ablaufdiagramm für CO₂-abhängige Luftqualitätsregelung.

4.2.5.7 Natürliche Lüftung durch Fassadenklappen

Durch die Möglichkeit, die Fassadenklappen zu öffnen, kann im Sommerfall kühlere Außenluft direkt für die Kühlung verwendet werden. Die Nachtkühlung arbeitet als Zweipunktregler mit Hysterese und muss von dem vorgeschalteten Funktionsbaustein „Betreiberautomation“ über die Funktion (F_BMS = Nachtkühlung) freigegeben werden. Dabei findet die Nachtkühlung in Abhängigkeit von zwei weiteren Kriterien statt:

- Ist die Raumtemperatur (T_{Room}) größer als die Sollraumtemperatur im Zustand Comfort (T_{ComfortHeizen})?
- Ist die Differenz zwischen Raumtemperatur (T_{Room}) und Außentemperatur (T_{Out}) größer dem vorgegebenen Grenzwert (Grenzwert_{max} bzw. Grenzwert_{min})?

Sind die Bedingungen nicht erfüllt, so wird die Nachtkühlung beendet.

Abbildung 4.40 gibt die Nachtkühlung im Ablaufdiagramm wieder.

In Abbildung 4.41 ist der Baustein Nachtkühlung um die „Aktorfunktion_Klappe“ ergänzt und als Strukturbild dargestellt.

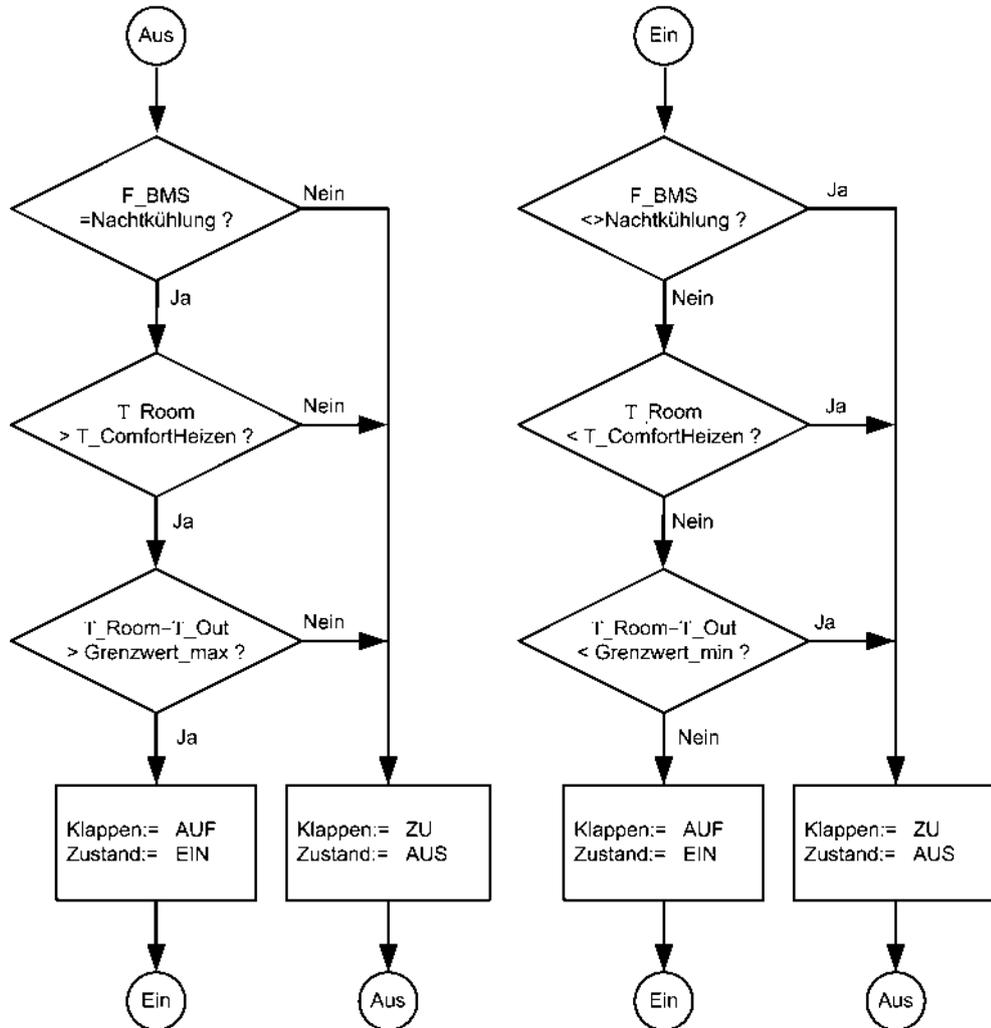


Abbildung 4.40: Ablaufdiagramm für „Nachtkühlung“.

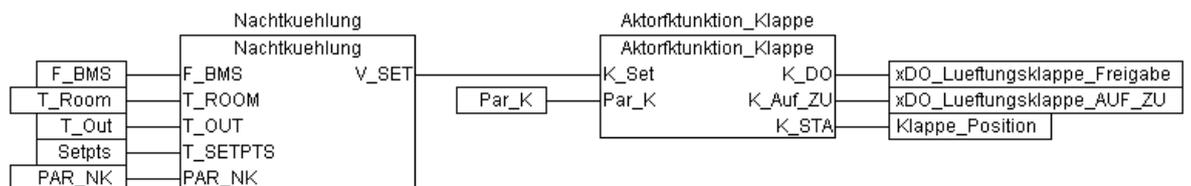


Abbildung 4.41: „Nachtkühlung“ und die „Aktorfunktion_Klappe“ im Struktureditor

4.2.5.8 Der Funktionsbaustein Regelung_Heizen für Boden- und Wandheizungen.

Um den Funktionsbaustein „Regelung_Heizen“ zu aktivieren sind von den vorgeschalteten Funktionsbausteinen verschiedene Entscheidungen zu treffen. Über den Funktionsbaustein „Funktionswahl“ erfolgt die Entscheidung, ob der Heizfall vorliegt, sowie gemeinsam mit dem Baustein „Betreiberautomation“ die Wahl des entsprechenden Energieniveaus. Der Sollwert wird vom Betreiber und Nutzer mittels des Funktionsbausteins „Sollwertvorgabe“ festgelegt.

Durch die vorausgehende Ermittlung von Energieniveau, Funktion und Sollwert kann der Funktionsbaustein „Regelung_Heizen“ auf ihre Kernfunktion beschränkt werden.

In der Ausführung bedeutet dies, dass im Heizfall und entsprechend dem Energieniveau der zutreffende Sollwert aus der Sollwerttabelle entnommen und zur Regelung an den PI-Regler weiter gegeben wird.

Dabei werden für die unterschiedlichen Heizkreise der Wand- und Fußbodenheizung separate Regelungsbausteine verwendet.

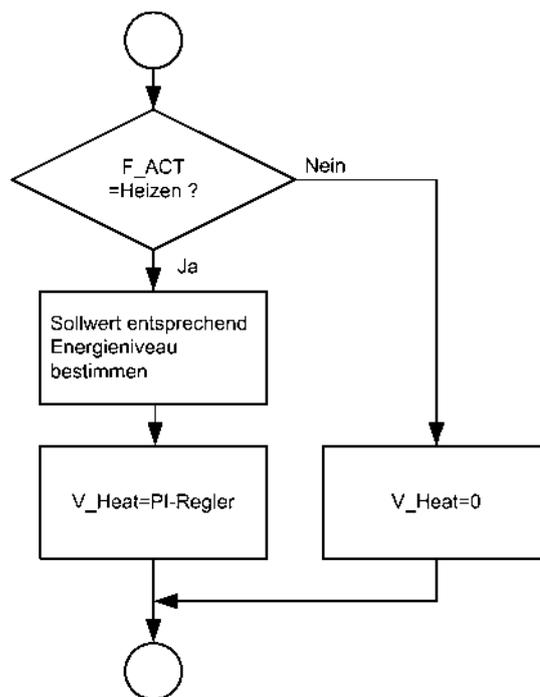


Abbildung 4.42: Ablaufdiagramm für den Funktionsbaustein „Regelung_Heizen“

4.2.5.9 Der Funktionsbaustein Regelung_Kuehlen für Boden- und Wandheizungen.

Dieser Funktionsbaustein ist im Rahmen des Projektes auf seine Kernfunktion beschränkt.

Im Kühlfall wird, wie im Heizfall, entsprechend dem vorliegenden Energieniveau der zutreffende Sollwert aus der Sollwerttabelle entnommen und zur Regelung an den PI-Regler übergeben.

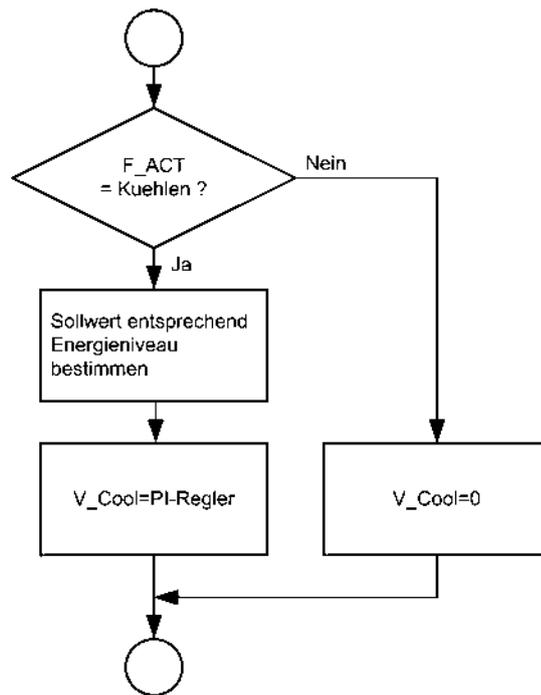


Abbildung 4.43: Ablaufdiagramm für den Funktionsbaustein „Regelung_Kuehlen“

4.2.5.10 Heizen der Zulufttemperatur mit Fassadenlüftungsgerät

Für die Lüftung ist der Funktionsbaustein „Luftqualitätsregelung“ zuständig (siehe Abbildung 4.38). Er wird dann aktiviert, wenn das Energieniveau den Wert „Comfort“ hat.

Im Heizfall wird zusätzlich die Zuluft nachgeheizt, indem ein Zulufttemperaturregler aktiviert wird. Der Funktionsbaustein „Regelung_Heizen_Lüftungsgerät“ ist ein für das Lüftungsgerät des Herstellers TROX angepasster Heizungsregler. Dieser wird aktiviert wenn der aktuelle Wert der Funktion F_ACT den Wert „Heizen“ hat und das aktuelle Energieniveau M_ACT den Wert „Comfort“. Die Zuluft wird mit Raumlufttemperatur eingeblasen.

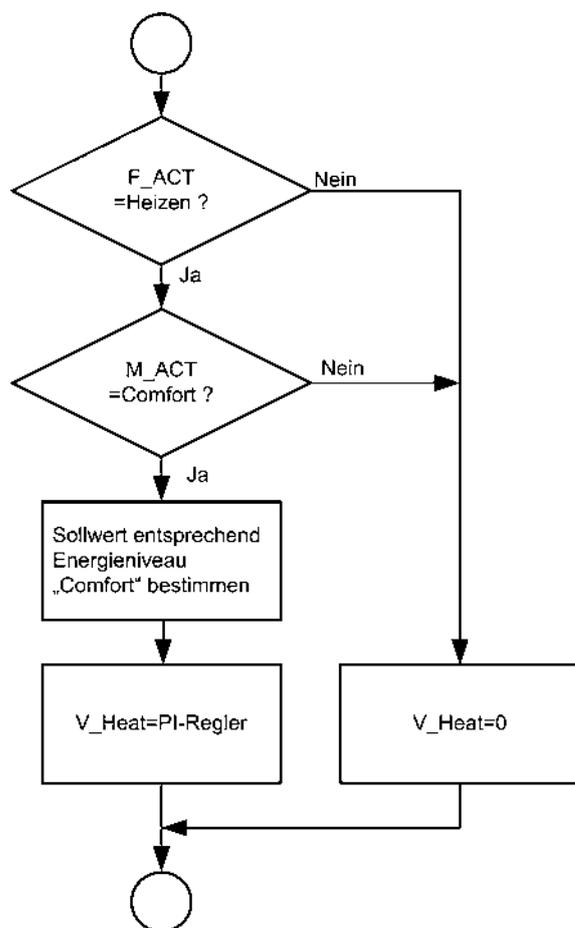


Abbildung 4.44: Ablaufdiagramm für den Funktionsbaustein „Regelung_Heizen_Lüftungsgerät“

4.2.5.11 Kühlen der Zulufttemperatur mit Fassadenlüftungsgerät

Da die Zuluft im Kühlfall gekühlt werden muss, wird ein auf das Lüftungsgerät des Herstellers TROX eingepasster Kühlregler verwendet. Dieser wird aktiviert wenn der aktuelle Wert der Funktion F_ACT den Wert „Kühlen“ hat und das aktuelle Energieniveau M_ACT den Wert „Comfort“. Die Zuluft wird mit Raumlufttemperatur zugeführt.

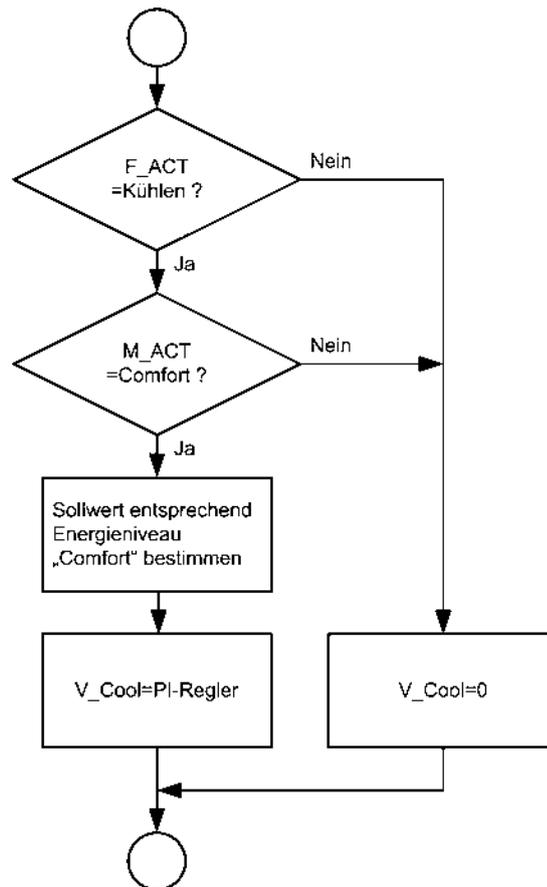


Abbildung 4.45: Ablaufdiagramm für den Funktionsbaustein „Regelung_Kuehlen_Lüftungsgerät“

5 Identifikation von Anlagenparameter und Kennlinien

Die Identifikation von Anlagenparameter und Kennlinien ist primär für die Inbetriebnahme der Steuerung und Regelung des Fassadenteststands von Bedeutung, da die technischen Grenzen der einzelnen Systeme bekannt sein müssen um passende Regelstrategien zu implementieren.

So ist z. B. wichtig, den maximalen Volumenstrom und die maximale Lufteintrittstemperatur in den Raum des Lüftungsgeräts zu kennen, um die maximale Heizleistung berechnen zu können. Anhand dieser kann die Leistung berechnet werden, die zusätzlich von den Flächenheizungen an den Raum abgegeben werden muss.

Neben der Entwicklung der Regelstrategie und der Inbetriebnahme des Teststands können Kennlinien von Anlagenteilen auch Sensoren ersetzen. Ein einfaches Beispiel hierfür ist der Volumenstrom des Lüftungsgeräts der im Wesentlichen von der Drehzahl des Ventilators abhängt. Dieser kann entweder gemessen werden, oder mittels Kennlinie über das Stellsignal berechnet werden.

Mit dieser Methode kann auf einzelne Sensoren verzichtet und Investitionskosten gesenkt werden.

Ein weiteres Anwendungsgebiet für Kennlinienmodelle kann zukünftig eine übergeordnete Raumregelung sein. Stehen z. B. zwei unterschiedliche Systeme für die Beheizung eines Raums zur Verfügung (Lüftungsgerät und Flächenheizung), kann die Steuerung an Hand von Kennlinien der Anlagen und den aktuellen Randbedingungen den zu erwartenden Betriebszustand berechnen. Werden diese Betriebszustände anschließend automatisch bewertet, kann auf Grund der Bewertung das System ausgewählt werden, dass den energieeffizienteren oder behaglicheren Betrieb verspricht.

Aufbauend auf dem vorliegenden Forschungsprojekt sollen zukünftig vorhandene Raum und Anlagensimulationsmodelle an der Hochschule Biberach weiterentwickelt werden. Kennlinien von Anlagenteilen (aus Messungen) können in diesen Projekten zur Validierung von Teilmodellen verwendet werden.

Methoden zur Identifikation von Kennlinien

Messung:

Die Aufnahme von Kennlinien mittels Messtechnik an realen Anlagen bietet mehrere Vor- und Nachteile. Der Aufwand für die Installation der Messtechnik und die Auswertung der Daten kann bei komplexen Messungen so groß werden, dass sich der Aufwand für die erhaltenen Kenntnisse nicht rechtfertigen lässt.

Auch der Einfluss von Störfaktoren kann zum Problem werden, wenn diese nicht identifiziert und eliminiert werden können.

Ein wesentlicher Vorteil von Messungen ist, dass alle Einflussgrößen über die Kennlinie erfasst werden (auch wenn nicht alle Einflussgrößen bekannt sind) und eine reale Kennlinie entsteht.

Simulation:

Bei der Simulation von Anlagenteilen kann der Einfluss einzelner Faktoren gezielt untersucht und eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden. Dies kann zu einem besseren Verständnis über die Zusammenhänge im System führen.

Da Modelle aber eine Vereinfachung der Realität darstellen, ist nicht ausgeschlossen, dass physikalische Effekte nicht oder nur unzureichend modelliert werden und dadurch das Ergebnis verfälscht wird.

Je nach Verfügbarkeit von Modellen und Modellbibliotheken ist der Aufwand für die Modellierung eines Systems unterschiedlich groß. Auch hier kann es wie bei Messungen zu einem hohen, mit den gewonnenen Kenntnissen nicht zu rechtfertigenden Zeitaufwand kommen.

5.1 Lüftungsgerät

5.1.1 Beschreibung der Vorgehensweise

Als Randbedingung werden die gemessene Raumtemperatur und Außentemperatur sowie der Volumenstrom oder die Ventilator Drehzahl (aus Berechnung oder Regelung) vorgegeben. Mit diesen Werten soll anschließend die übertragene thermische Energie durch Wärmerückgewinnung und die benötigte thermische Energie zum Heizen oder Kühlen berechnet werden können. Zusätzlich soll die elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren berechnet werden können.

Volumenströme

Die Volumenströme (Zu- und Abluft) werden mit einem Flügelradanemometer gemessen. Dabei wird die Drehzahl in gleichbleibenden Abständen von 20 auf 100 % erhöht. Die Kennlinie wird aufgenommen, dokumentiert und die Funktion bestimmt.

Leistungsaufnahme

Bei der Bestimmung der Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von der Drehzahl wird analog zu der Bestimmung der Volumenstromkennlinie vorgegangen. Die Ventilator-

drehzahl wird in gleichbleibenden Schritten erhöht und die Leistungsaufnahme gemessen und dokumentiert. Anschließend wird die Funktion in Abhängigkeit der Ventilator Drehzahl bestimmt.

Wärmerückgewinnung

Der Wärmeübertragungskoeffizient, der für die Berechnung der übertragenen Leistung benötigt wird, hängt von der charakteristischen Länge, der Wärmeleitfähigkeit des Fluides, der Reynolds- und der Prandtl-Zahl ab.

Die Reynolds-Zahl ist wiederum eine Funktion der Dichte des Fluides, der Strömungsgeschwindigkeit und der charakteristischen Länge des Wärmeübertragers. Die Nusselt-Zahl ist eine Funktion der dynamischen Viskosität, der spezifischen Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit.

Da die Berücksichtigung aller Einflussfaktoren für eine schnelle und unkomplizierte Erstellung eines Kennlinienmodells nicht in Frage kommt, wurde eine vereinfachte Methode für die Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten gewählt.

Um die übertragene Wärmeleistung des Wärmeübertragers zur Wärmerückgewinnung abschätzen zu können, wurde das Produkt aus dem Wärmeübergangskoeffizienten α und der Wärmeübertragerfläche A in Abhängigkeit des Volumenstroms (Ventilator Drehzahl) bestimmt.

Dazu wird der Luftvolumenstrom variiert. Neben dem Luftvolumenstrom werden die Temperaturen am Ein- und Austritt von Zu- und Abluft am Wärmeübertrager gemessen. Mit den Temperaturen wird die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz berechnet. Anschließend kann mittels Volumenstrom und Ein- und Austrittstemperatur die übertragene Leistung bestimmt werden. Sind die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz und die übertragene Leistung bekannt, kann mit der folgenden Formel das Produkt aus α und A berechnet werden.

$$\dot{Q}_0 = \alpha * A * \Delta\vartheta_m \quad (2)$$

mit

$$\Delta\vartheta_m = \frac{T_{10} - T_{20} - (T_{1L} - T_{2L})}{\ln\left(\frac{T_{10} - T_{20}}{T_{1L} - T_{2L}}\right)} \quad (3)$$

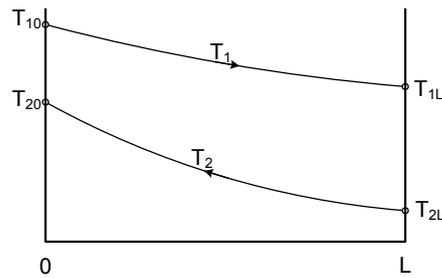


Abbildung 5.1: Temperaturverlauf über einen Gegenstrom Wärmeübertrager (Heizfall)

T_{10} Abluft Eintritt T_{1L} Abluft Austritt
 T_{2L} Zuluft Eintritt T_{20} Zuluft Austritt.

5.1.2 Beschreibung der Ergebnisse

Die erste Kennlinien in Abbildung 5.2 zeigen die Volumenströme der Zu- und Abluft in Abhängigkeit der Ventilator Drehzahl. Der Abluftvolumenstrom ist über den vollständigen Regelbereich höher als der der Zuluft. Dieser Effekt resultiert aus einem geringeren Druckverlust (auf Grund einer besseren Luftführung) im Abluftkanal. Die zusätzliche Luft, die durch den Abluftkanal dem Raum entzogen wird, strömt über undichte Stellen im Raum (z. B. Türschlitz) aus der Versuchshalle in den Testraum nach.

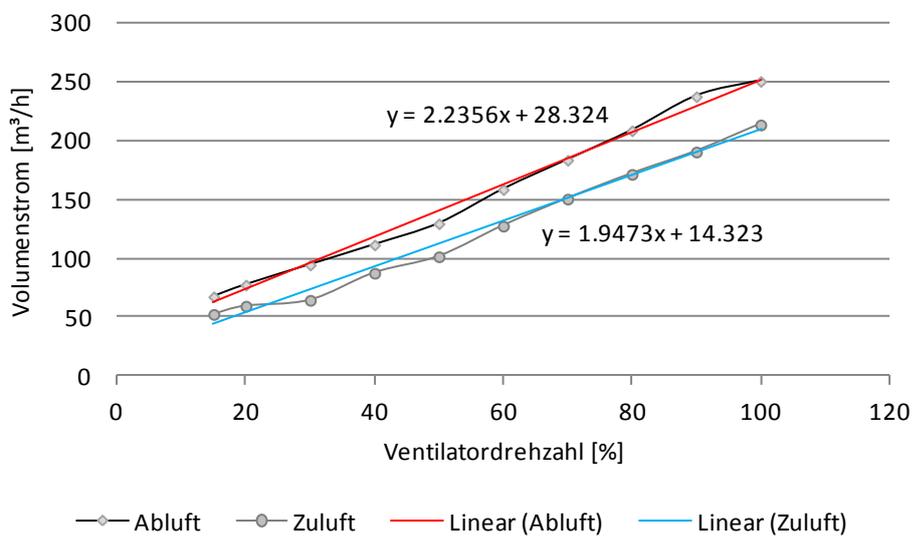


Abbildung 5.2: Volumenströme der Zu- und Abluft in Abhängigkeit der Drehzahl.

Neben dem Volumenstrom wurde auch die Leistungsaufnahme der Ventilatoren gemessen und über die Ventilator Drehzahl aufgetragen. Die resultierende Kennlinie ist in Abbildung 5.3 zu sehen.

Identifikation von Anlagenparameter und Kennlinien

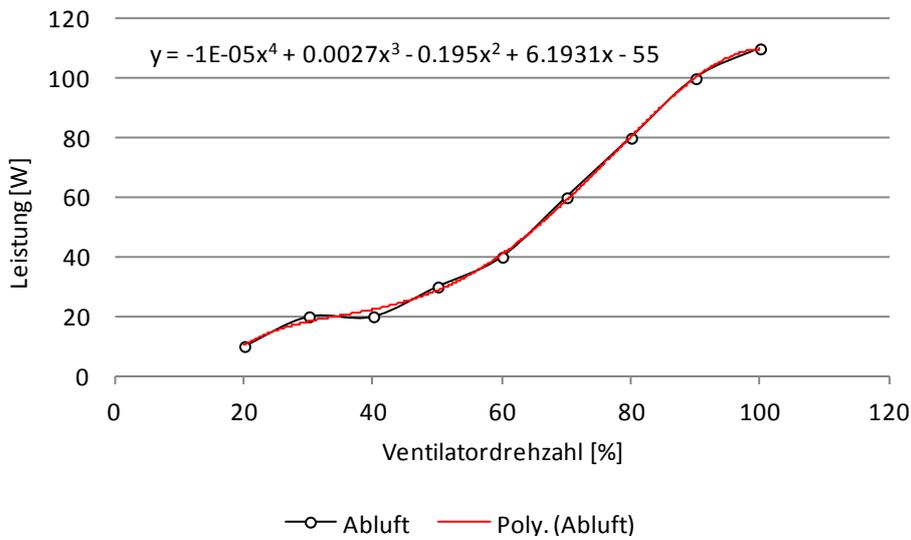


Abbildung 5.3: Leistungsaufnahme der Ventilatoren in Abhängigkeit der Drehzahl.

Für die Berechnung des Wärmeübertragers wurde der α^*A wert gemessen bzw. berechnet. Abbildung 5.4 zeigt die aufgenommene Kennlinie (blau).

Da die Kennlinie beim Nachrechnen mit Messdaten (Ventilator Kennlinie und Wärmeübertrager Kennlinie) Abweichungen aufwies wurde eine zweite Kennlinie empirisch ermittelt. Diese ist ebenfalls in Abbildung 5.4 zu sehen. Mit der angepassten Kennlinie konnten die Messergebnisse bestätigt werden.

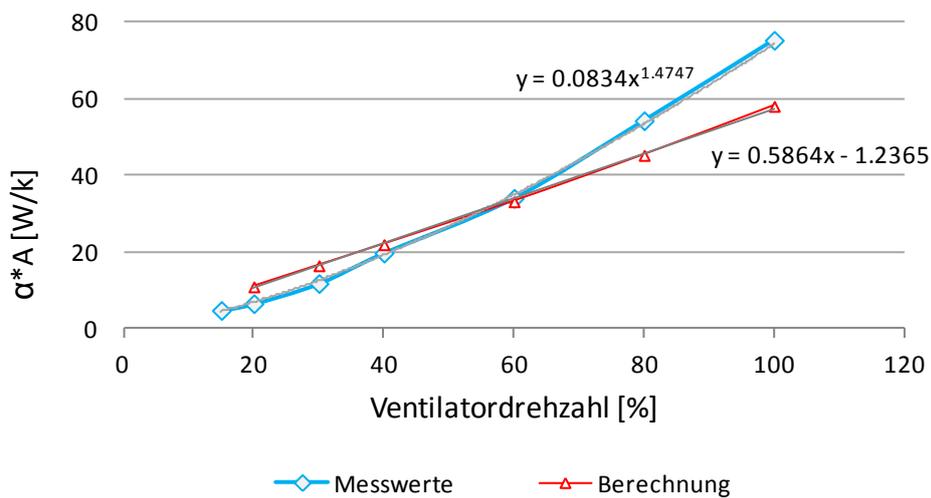


Abbildung 5.4: α^*A Wert in Abhängigkeit der Ventilator Drehzahl.

Berechnung von Kennfeldern des Lüftungsgeräts aus Modelldaten

Die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Messdaten wurden unter konstanten Randbedingungen aufgenommen. Um Kennfelder für unterschiedliche Randbedingungen erzeugen zu können, ist entweder ein deutlich größerer messtechnischer Aufwand erforderlich, oder eine Simulation des Lüftungsgeräts.

Da die Versuche immer vom Wetter abhängig sind, wurde eine einfache Simulation des Lüftungsgeräts bevorzugt.

Das Modell ist wie folgt aufgebaut. Das Modell für die Ventilatoren wurde vollständig aus den bereits im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Kennlinien erstellt.

Das Heizregister wird lediglich als Heizleistung modelliert, da bei den vorliegenden Randbedingungen das Heizregister nicht an seine Leistungsgrenzen gelangt.

Der innere Wärmeübertrager wird mit folgendem Modell beschrieben:

$$T_{\text{Zuluft}_2} = T_{\text{Abluft}_1} + (T_{\text{Zuluft}_1} - T_{\text{Abluft}_1}) \cdot \exp\left(\frac{-\alpha \cdot A}{\dot{v} \cdot \rho \cdot c_p}\right) \quad (4)$$

Mit diesem Modell lässt sich mit Kenntnis des $\alpha \cdot A$ -Werts die Austrittstemperatur aus dem Wärmeübertrager auf der Zuluftseite berechnen. Anschließend kann mit dieser Größe die übertragene Leistung berechnet werden.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta\theta \cdot c_p \quad (5)$$

Die Benutzeroberfläche des Modells ist in Abbildung 5.5 zu sehen. Vorgegeben werden im Modell die Ventilatordrehzahl, Raumlufttemperatur, Zulufttemperatur und die Außenlufttemperatur. Anschließend werden die noch fehlenden Volumenströme, Leistungen und Temperaturen berechnet.

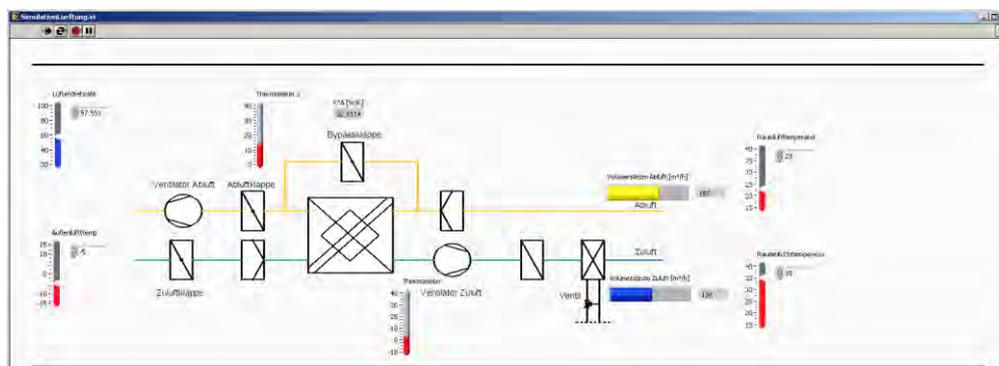


Abbildung 5.5: Benutzeroberfläche des einfachen Lüftungsanlagenmodells.

Ergebnis der Simulation sind dreidimensionale Kennfelder die mit Messwerten abgeglichen werden könne.

Die Folgenden Kennfelder (Abbildung 5.6 und Abbildung 5.7) wurden unter den in Tabelle 5.1 aufgelisteten Randbedingungen erstellt:

Tabelle 5.1: Randbedingungen für die Simulation.

Größe	Wert
Raumtemperatur	23 °C
Zuluft Eintrittstemperatur	35 °C
Außenlufttemperatur	variabel
Ventilator Drehzahl	variabel

Abbildung 5.6 zeigt ein Kennfeld für die Übertragungsleistung des Kreuzstromwärmeübertragers. Für dieses Kennfeld wurden die Außenlufttemperatur und die Ventilator Drehzahl variiert. Die maximal übertragene Leistung liegt bei ca. 1 kW. Diese Leistung kann aber nur mit der maximalen Drehzahl des Ventilators und einer sehr niedrigen Außenlufttemperatur von -15 °C erreicht werden.

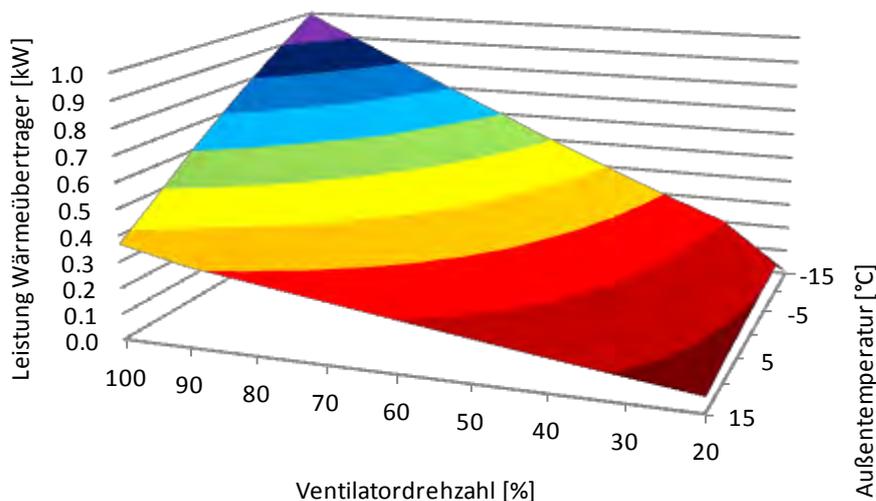


Abbildung 5.6: Kennfeld des inneren Wärmeübertragers.

Das Kennfeld in Abbildung 5.7 zeigt in Abhängigkeit der Ventilator Drehzahl und der Eintrittstemperatur der Luft in den Raum die Heizleistung, die für das Heizen des Raums aufgewendet werden kann.

Identifikation von Anlagenparameter und Kennlinien

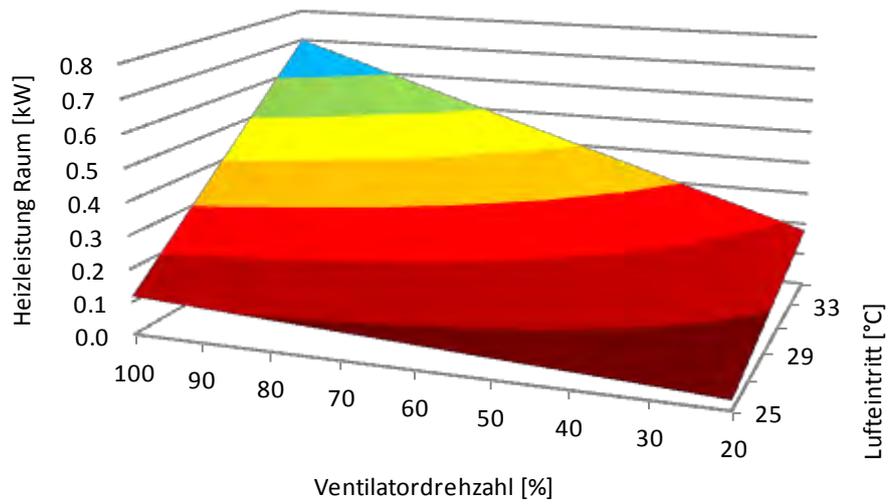


Abbildung 5.7: Kennfeld für die maximale Heizleistung, die das Lüftungsgerät zur Raumheizung beitragen kann.

5.2 Gegenüberstellung der natürlichen und mechanischen Lüftung unter Berücksichtigung der Raumluftströmung

Bezüglich der natürlichen Luftströmung gilt es zunächst, die lüftungstechnische Ankopplung des Fassadensystems an den Raum sowie dessen Dichtheit zu prüfen. Desweiteren ist die Luftströmung im Raum im Hinblick auf die hygienische und energetische Lüftungseffizienz und die thermische Behaglichkeit (Temperatur und Luftgeschwindigkeit) von Interesse. Im vorliegenden Fall stehen grundsätzlich die drei Betriebsarten mechanische Lüftung, natürliche Lüftung und kombinierte Hybrid-Lüftung zur Verfügung. Die übergeordnete Steuerungs- und Regelungsaufgabe der Gebäudeautomation besteht darin, diese aufeinander abzustimmen und in Abhängigkeit von der hygienischen Lüftungseffektivität und energetischen Lüftungswirkung optimal einzusetzen.

Im Heizfall liegt die Aufgabe im Erreichen einer hohen hygienischen Lüftungseffektivität bei geringem Lüftungswärmeverlust und hinreichender thermischer Behaglichkeit. Bezüglich des Kühlfalls tragen die heutigen, gut gedämmten Gebäude und heute typische interne Lasten zu einem Kühlbedarf bei, der auch über den Sommer hinaus besteht (Übergangszeit). Je nach inneren und solaren Lasten kann sogar in der Heizperiode ein Kühlbedarf auftreten. Dabei sind sowohl die Kühlung der Raumluft während der Nutzungszeit als auch die Kühlung der Gebäudemasse außerhalb der Nutzungszeit (Nachtauskühlung) von Bedeutung. Soll während der Nutzungszeit mit Außenluft natürlich gekühlt werden, sind auch dabei die Behaglichkeitsgrenzen zu beachten, insbesondere, wenn eine Kühlung bei geringer Außentemperatur erforderlich wird.

Die im Folgenden dargestellten experimentellen Untersuchungen des natürlichen Luftwechsels und der Raumluftströmung sowie Strömungssimulationen dienen der Charakterisierung der lüftungstechnischen Eigenschaften der Testfassade samt Testraum, um notwendige Basisinformationen für die Einbindung der mechanischen und natürlichen Lüftung in die Fassaden- und Raumautomation zu gewinnen. Vor den durchgeführten experimentellen Untersuchungen des natürlichen Luftwechsels war zunächst die Luftdurchlässigkeit des geschlossenen Testraumes zu prüfen, um die Stärke der daraus resultierenden Infiltration und deren Einfluss auf die weiteren Messungen quantifizieren zu können. Im Zuge dieser Arbeiten wurden auch Undichtigkeiten in der Hülle des Testraumes identifiziert und beseitigt.

5.2.1 Messungen der Luftdurchlässigkeit des Testraumes

Die Prüfungen der (Luft-) Dichtheit bzw. Messungen der Luftdurchlässigkeit des Testraumes wurden mit einem speziellen Gerät für solche Prüfungen vom Typ Blowtest 3000 (Hersteller: LTM) durchgeführt. Das Gerät besteht aus einem Gebläse, welches mit Hilfe eines Montagerahmens und einer Abdichtungsplane in eine vorhandene Öffnung (Türe, Fenster) des zu prüfenden Gebäudes oder Raumes (bzw. einer Kabine) eingebaut wird. Mit dem Gebläse werden schrittweise Über- bzw. Unterdrücke zwischen 10 und 60 Pa aufgebaut und die dabei dem geprüften Raum zugeführten bzw. entnommenen Luftvolumenströme gemessen. Da die vom Gebläse geförderte Luft ausschließlich durch in der geprüften baulichen Hülle vorhandene Undichtigkeiten abgeführt bzw. nachströmen kann, stellt der Gebläsevolumenstrom ein Maß für den durch die geprüfte Hülle strömenden Leckagevolumenstrom dar. Die erforderlichen Messeinrichtungen für Luftdrücke und Luftvolumenstrom sind in das Prüfgerät integriert. Mit Hilfe der ebenfalls integrierten Steuer- und Auswerteeinheit kann das Prüfgerät Messreihen mit mehreren Über- bzw. Unterdrücken selbsttätig durchführen und die Ergebnisse normgerecht auswerten. Dabei wird aus den Messpunkten einer Über- bzw. Unterdruckmessreihe eine Kennlinie gebildet, aus welcher das auf eine Prüfdruckdifferenz von 50 Pa bezogene Messergebnis als Auswertungsergebnis berechnet wird. Für die Auswertung der Messungen wurden folgende Maße des Testraumes herangezogen:

Tabelle 5.2: Lichte Maße des Testraumes.

	Maße
Länge	4,50 m
Breite	2,82 m
Höhe	3,09 m
Grundfläche	12,69 m ²
Raumvolumen	39,21 m ³
Hüllfläche	70,62 m ²

Während aller durchgeführten Messungen war das Gebläse im Türrahmen der Kabine installiert (Abbildung 5.8 links). Da die ersten dieser Messungen inakzeptabel hohe Leckagen des Testraumes aufzeigten, wurden die wesentlichen Undichtigkeiten abgedichtet und nach dieser Revision mit weiteren Messungen die erreichten Verbesserungen nachgewiesen und quantifiziert.



Abbildung 5.8: Testraum während der Luftdurchlässigkeitsmessungen: im Türrahmen eingebautes Prüfgerät (links), Holzpaneel des dezentralen Lüftungsgerätes geschlossen und abgeklebt (Mitte), Holzpaneel geöffnet (rechts).

Messungen vor der Revision der Undichtigkeiten des Testraumes

Zunächst wurden im Testraum vier Messreihen durchgeführt, von denen jeweils zwei aus Messpunkten bei Unterdruck und zwei aus Messpunkten bei Überdruck bestanden. Während dieser Messungen betrug die Innentemperatur im Testraum ca. 23 °C, während eine Umgebungstemperatur von ca. 24 °C herrschte.

Bei den beiden ersten Messreihen waren die Fensterflügel und das Holzpaneel des dezentralen Lüftungsgerätes geschlossen. Zusätzlich waren die im Holzpaneel vorhandenen Lüftungsschlitze beidseitig abgeklebt (Abbildung 5.8, Mitte), damit ausschließlich Undichtigkeiten in der Konstruktion der Testkammer bzw. an den Anschlüssen zwischen Testkammer und Fassadenelement erfasst werden. Die natürliche Druckdifferenz (ohne Gebläsebetrieb) zwischen Testraum und Umgebung betrug 0,2 Pa. Die auf den Normprüfdruck von 50 Pa bezogenen Auswertungsergebnisse dieser beiden Messreihen sind in Tabelle 5.3 dargestellt.

Während der dritten und vierten Messreihe war das Holzpaneel geöffnet (Abbildung 5.8, rechts), um auch die noch vorhandenen Undichtigkeiten im Bereich des Lüftungsgerätes hinter dem Paneel mit zu erfassen. Die natürliche Druckdifferenz (ohne Gebläsebetrieb) zwischen Testraum und Umgebung betrug 2,1 Pa. In diesem Fall reichte die Leistung des Gebläses nicht aus, um Überdrücke von 50 Pa oder mehr aufzubauen. Die in Tabelle 5.4 dargestellten Ergebnisse sind deshalb aus den Messpunkten bei geringeren Druckdifferenzen extrapoliert.

Tabelle 5.3: Ergebnisse der Über- und Unterdruckmessung im Testraum bei geschlossenem Holzpaneel und abgeklebten Lüftungsschlitzten.

Ergebnisse	Unterdruckmessung	Überdruckmessung
n_{50}	19,40	20,23
V_{Leckage}	756 m ³ /h	789 m ³ /h

Tabelle 5.4: Ergebnisse der Über- und Unterdruckmessung im Testraum bei geöffnetem Holzpaneel.

Ergebnisse	Unterdruckmessung	Überdruckmessung
n_{50}	56,89	56,26
V_{Leckage}	2218 m ³ /h	2194 m ³ /h

Bezogen auf die Hüllfläche von ca. 71 m² ergibt dies für die Luftdurchlässigkeit der Hülle des Testraumes einen q_{50} -Wert (Leckagevolumenstrom bei 50 Pa Druckdifferenz pro m² Hüllfläche) von ungefähr 11 m³/(h*m²) bei geschlossenem Holzpaneel und einen q_{50} -Wert von 31 m³/(h*m²) bei geöffnetem Holzpaneel. Gemäß DIN 4108-7:2011-01 darf q_{50} einen Wert von 3 m³/(h*m²) nicht überschreiten, sobald das Gebäude ein bestimmtes Volumen hat, um den Anforderungen an die Luftdurchlässigkeit eines Gebäudes zu genügen. Dieses Volumen wird im Fall des Testraumes zwar bei Weitem nicht erreicht, dennoch kann der geforderte Grenzwert als Kennwert herangezogen werden, da die physikalischen Zusammenhänge im kleinen Testraum genauso gültig sind wie in einem großen Gebäude. In der Praxis erreichbare Werte liegen sogar unter 1 m³/(h*m²). Die Testeinrichtung überschreitet diesen Wert also zunächst um das Zehn- bis Dreißigfache.

Zusätzlich stellt die DIN 4108-7:2011-01 Anforderungen an den n_{50} -Wert. Dieser soll bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlage einen Wert von 3 h⁻¹ und bei Gebäuden mit raumluftechnischer Anlage einen Wert von 1,5 h⁻¹ nicht überschreiten. Mit Ergebnissen von gerundet 20 h⁻¹ bzw. 57 h⁻¹ wird auch dieser Wert in beiden Messungen deutlich überschritten. Aus dem n_{50} -Wert kann über die folgende Umrechnung auf eine zu erwartende mittlere Infiltrationsluftwechselrate \bar{n} eines Gebäudes bei typischen Klimabedingungen, d.h. auch Druckbedingungen, geschlossen werden (12):

$$\bar{n} = \frac{n_{50}}{20} \quad (6)$$

Bei niedrigen, windgeschützten Gebäuden darf der Divisor von 20 auf 30 erhöht werden. Selbst dafür ergäbe sich bei normalen, natürlich auftretenden Druckverhältnissen ein zu erwartender Infiltrationsluftwechsel \bar{n} zwischen 0,7 h⁻¹ und 1,9 h⁻¹ im Testraum. Der Infiltrationsluftwechsel auf Grund von Undichtigkeiten liegt damit im Bereich der zu untersuchenden Luftwechselraten für die natürliche Belüftung des

Testraumes. Bei kleinen Spaltweiten der Lüftungsklappen ist u.U. sogar damit zu rechnen, dass die Infiltration größer ist als die Lüftungsrate über die Klappen im Fassadenelement. In Bezug auf die kontrollierte mechanische Lüftung führt die hohe Undichtigkeit zu einer wesentlichen Beeinträchtigung der Regelung. Die dadurch auftretende unbekannte Luftströmung stört sowohl die Raumtemperierung als auch die Reduzierung der Energieverluste durch Wärmerückgewinnung. Die vorgefundene Undichtigkeit der Kabine stellte somit eine nicht zu vernachlässigende Störgröße in einer in der Praxis in Gebäuden nicht zu erwartenden Größenordnung dar und musste, deshalb deutlich reduziert werden.

Aus der Bernoullischen Gleichung

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} v^2 \quad (7)$$

und der im Test aufgebauten Druckdifferenz von 50 Pa bei einer Dichte der Luft von $1,2 \text{ kg/m}^3$ lässt sich eine Strömungsgeschwindigkeit in den undichten Stellen der Hülle von ca. 9 m/s errechnen. Gemeinsam mit dem ebenfalls protokollierten Volumenstrom während der Messung ergibt dies eine rechnerische Öffnungsfläche der Undichtigkeiten von 240 cm^2 bei geschlossenem Paneel und von 680 cm^2 bei offenem Paneel.

Aufgrund des im Vergleich zum Atmosphärendruck (ca. 100 000 Pa) geringen Druckunterschieds der Luftdichtheitsprüfung kann die Kompressibilität der Luft vernachlässigt und damit die Bernoullische Gleichung angewandt werden.

Während der Messungen wurden undichte Stellen mit Hilfe eines Rauchstiftes und einer Digitalkamera identifiziert und dokumentiert. Dabei konnten die folgenden Stellen als Ursache für die Undichtigkeiten identifiziert werden:

- Fußboden, vor allem im Bereich der Fassade (inkl. dem unter dem Click-Laminat verlaufenden Kabelkanal)
- Anschlüsse vom Fassadenelement an die Kammer umlaufend
- fassadennaher Deckenkoffer (ebenfalls umlaufend)
- untere Ecke und Kante zwischen Frontwand und Seitenwand im Bereich des Risses
- Kante zwischen Frontwand und Decke entlang des Risses
- große Öffnungsfläche im oberen Bereich des Lüftungsgeräts nach außen
- Kabeldurchführungen im Bereich des Lüftungsgeräts

Luftdichtheitsprüfung nach der Revision

Nachdem die vorstehend aufgezählten Stellen abgedichtet worden waren, wurde die Prüfung wiederholt. Es wurden wiederum vier Messreihen, je zwei bei Unterdruck und bei Überdruck durchgeführt. Bei allen diesen Messreihen konnte die notwendige Druckdifferenz von 50 Pa aufgebaut werden. Wie bei den Messungen vor der Revision wurden zwei Messreihen bei geschlossenem Holzpaneel und abgeklebten Lüftungsschlitzten durchgeführt, die beiden anderen bei geöffnetem Holzpaneel.

Während der beiden ersten Messungen bei geschlossenem Holzpaneel herrschten die folgenden Randbedingungen: Außentemperatur 24 °C, Innentemperatur 25 °C, natürliche Druckdifferenz 1,9 Pa. Hierbei wurden die in Tabelle 5.5 dargestellten Ergebnisse erzielt.

Während der im Anschluss durchgeführten dritten und vierten Messreihe bei geöffnetem Holzpaneel stiegen die Innen- und die Außentemperatur um 1 K an, die natürliche Druckdifferenz betrug 1 Pa. Die zugehörigen Ergebnisse enthält Tabelle 5.6.

Tabelle 5.5: Ergebnisse der Über- und Unterdruckmessung nach der Revision des Testraumes bei geschlossenem Paneel und abgeklebten Lüftungsschlitzten.

Ergebnisse	Unterdruckmessung	Überdruckmessung
n_{50}	7,42	7,53
\dot{V}_{Leckage}	289 m ³ /h	293 m ³ /h

Tabelle 5.6: Ergebnisse der Über- und Unterdruckmessung nach der Revision des Testraumes bei geöffnetem Holzpaneel.

Ergebnisse	Unterdruckmessung	Überdruckmessung
n_{50}	8,39	8,13
\dot{V}_{Leckage}	327 m ³ /h	317 m ³ /h

Durch die Abdichtungsmaßnahmen reduzierte sich der q_{50} -Wert bei geschlossenem Holzpaneel von ursprünglich 11 m³/(h*m²) auf ungefähr 4 m³/(h*m²). Die Luftdurchlässigkeit der Hülle konnte also deutlich minimiert werden, da der hüllflächenbezogene Leckagevolumenstrom weniger als die Hälfte des Wertes vor der Abdichtung beträgt.

Bei geöffnetem Holzpaneel ist die Verbesserung noch deutlicher. So fällt der q_{50} -Wert von ursprünglich 31 m³/(h*m²) auf gerundet 5 m³/(h*m²).

Der Wert bei geöffnetem Holzpaneel ist nur unwesentlich größer als bei geschlossenem Panel, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sich die nun noch verblei-

benden Undichtigkeiten größtenteils im Bereich der Kabine und evtl. der Anschlüsse zwischen Kabine und Fassade befinden und nicht mehr im Bereich des Lüftungselements selbst. Die dort vorhandenen großen Undichtigkeiten konnten somit praktisch alle abgedichtet werden.

Der zu erwartende mittlere Infiltrationsluftwechsel \bar{n} bei natürlich vorherrschenden Druckverhältnissen beträgt nach den Abdichtungsmaßnahmen noch voraussichtlich $0,3 \text{ h}^{-1}$ bis $0,4 \text{ h}^{-1}$. Die nach den Abdichtungsmaßnahmen noch verbleibende Öffnungsfläche der nicht beseitigten Undichtigkeiten beträgt rein rechnerisch ungefähr 90 cm^2 bis 100 cm^2 . Da diese noch vorhandenen Undichtigkeiten jedoch nur mit hohem Aufwand zu finden und zu beseitigen sind und die erreichte Luftdichtheit für die vorgesehenen Untersuchungen ausreichte, wurden keine weiteren Abdichtungsmaßnahmen mehr durchgeführt.

Die Undichtigkeiten bewirken bei Lüftungsvorgängen der mechanischen und natürlichen Lüftung einen potenziellen Einfluss von 25 % bei einer Klappenöffnung von 25 % und bei größeren Klappenöffnungen entsprechend weniger.

Die Undichtigkeiten wirken sich bei Lüftungsvorgängen der mechanischen und natürlichen Lüftung in Abhängigkeit der Klappenöffnung bzw. des Luftvolumenstroms aus. Dabei fällt der Einfluss bei höherem Volumenstrom entsprechend niedriger aus (25 % Einfluss bei 25 % Klappenöffnung; < 10 % Einfluss bei 75 ... 100 % Klappenöffnung).

Dabei unterstützen Undichtigkeiten eine gewünschte natürliche Lüftung, wohin gegen sie bei der mechanischen Lüftung die Wirkung einer Wärmerückgewinnung vermindern. Generell ist zu beachten, dass sich ein Luftaustausch über Undichtigkeiten nicht vermeiden lässt.

5.2.2 Messungen der natürlichen Luftwechselrate

Mit Hilfe der Tracergasmethode wurde im Sommer 2011 die Luftaustauschrate des Testraumes bei natürlicher Lüftung über die Zu- und Abluftklappen in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innenluft sowie von der Stellung der Lüftungsklappen untersucht. Bei den Versuchen wurde darauf geachtet, dass die Lufttemperatur des Innenraums wärmer als die der Außenluft ist.

Die Tracergasversuche wurden nach der sogenannten Abklingmethode durchgeführt. Bei dieser wird zu Beginn jeder Messreihe eine bestimmte Menge Tracergas (hier: SF₆) im zunächst geschlossenen Raum ausgebreitet und dort gut vermischt, so dass eine räumlich gleichmäßige Konzentration vorherrscht. Anschließend werden der zeitliche Konzentrationsabfall und aus diesem die zugrunde liegende Luftwechselrate aufgrund von Infiltration oder natürliche Lüftung ermittelt. Im Testraum des Fassadenteststands erfolgte dies durch Probenentnahme mit Spritzen und anschließender Auswertung in einem Gaschromatographen. Der zeitliche Konzentrationsabfall folgt einer e-Funktion. Dementsprechend ergibt die Auftragung des natürlichen Logarithmus der abnehmenden Tracergas-Konzentration über der Zeit eine abfallende Gerade (Abbildung 5.9).

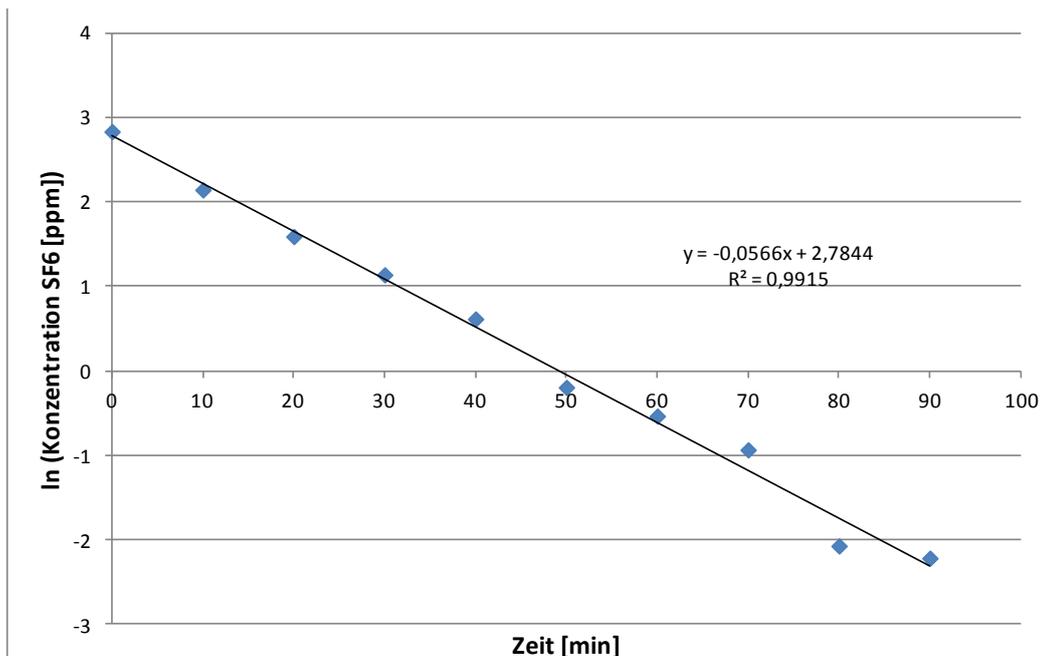


Abbildung 5.9: Konzentrationsabnahme einer Tracergasmessung bei 75% Klappenöffnung, Luftwechselrate $n = 3,4 \text{ h}^{-1}$, Temperaturdifferenz $\Delta \vartheta = 7,86 \text{ K}$ und Windgeschwindigkeit $w = 2,07 \text{ m/s}$.

Insgesamt wurden neun Tracergasmessungen durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 5.7 zusammengestellt sind: vier Messungen bei geschlossenen Klappen zur Ermittlung des Luftwechsels durch Infiltration (0 %), je eine Messung bei 25 %, 50 % und 75 % Klappenstellung sowie zwei Messungen bei vollständig geöffneten Lüftungsklappen (100 %).

Tabelle 5.7: Ergebnisse der Tracergasmessungen.

Datum	Windrichtung	Klappenöffnung	Luftwechselrate n	Windgeschwindigkeit		Temperaturdifferenz Δ ^θ	SQRT (Δ ^θ)	n / SQRT (Δ ^θ)
	[°]			[m/s]	[km/h]			
31.05.2011	261.20	0	0.14	4.03	14.51	4.83	2.20	0.06
14.06.2011	223.81	0	0.45	2.02	7.27	12.06	3.47	0.13
22.07.2011	183.80	0	0.73	1.86	6.70	14.10	3.75	0.19
15.06.2011	185.87	0	0.40	1.70	6.12	9.58	3.10	0.13
15.06.2011	273.82	25	1.43	2.34	8.42	13.32	3.65	0.39
14.06.2011	183.68	50	2.19	1.53	5.51	14.46	3.80	0.58
15.06.2011	226.70	75	3.40	2.07	7.45	7.86	2.80	1.21
22.07.2011	234.02	100	4.35	2.20	7.92	10.31	3.21	1.35
31.05.2011	261.48	100	2.27	3.52	12.67	6.27	2.50	0.91

Wird die Infiltration bzw. Lüftung ausschließlich thermisch, d.h. von der Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur angetrieben, hängt die entstehende Luftwechselrate bei ansonsten identischen Randbedingungen von der Wurzel der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen ab. Die letzte Spalte in Tabelle 5.7 enthält deshalb die spezifische Luftwechselrate bezogen auf die Wurzel der Temperaturdifferenz $\frac{n}{\sqrt{\Delta\theta}}$. Um die spezifische Luftwechselrate durch natürliche Lüftung ausschließlich aufgrund der Klappenöffnung zu erhalten, ist von diesen Werten die ermittelte spezifische Luftwechselrate bei Infiltration (ca. $0,1 \frac{1}{h \cdot \sqrt{K}}$) noch abzuziehen. Unabhängig von dieser Korrektur um die Infiltration sollten die ermittelten Werte der spezifischen Luftwechselrate bei gleichem Öffnungsgrad der Lüftungsklappen identisch sein, wenn keine weiteren Einflussfaktoren maßgebend sind. Dies ist offensichtlich nicht der Fall. Als weiterer Einflussfaktor kommen in erster Linie die durch Wind hervorgerufenen Druckverhältnisse in Frage. Die an der Wetterstation der Hochschule gemessenen Windgeschwindigkeiten während der Messungen waren zwar durchweg nicht sehr hoch, variierten jedoch insgesamt um nahezu den Faktor drei, die Windrichtung um insgesamt ca. 90°. Wie stark die lokalen Windverhältnisse am Fassadenteststand von denen an der Wetterstation in ca. 1,9 km Entfernung abweichen, ist nicht bekannt, jedoch zu erwarten.

Aus den Messungen der Infiltration lassen sich Aussagen über den Einfluss der Temperaturdifferenz treffen, sodass ersichtlich ist, dass die Luftwechselrate durch einen größeren Temperaturunterschied verstärkt wird. Jedoch ist die Einflusshöhe der verschiedenen Kriterien ungeklärt. Die Erstellung von allgemein gültigen Kennlinien des Luftwechsels der natürlichen Lüftung ist aufgrund der unterschiedlichen Einflusskriterien kaum möglich. Für die Regelung bedeutet dies, dass die Klappenöffnung nicht über Kennlinienvorgaben definiert wird. Vielmehr bietet sich die Regelung der Klappenstellung durch Anfangswertvorgabe und im weiteren Nutzungsverlauf über den Gradienten der CO₂-Konzentration an.

5.2.3 Experimentelle Untersuchung des Zuluftstroms und der Luftverteilung

Zur experimentellen Prüfung des Zuluft-Strömungsverlaufs bei mechanischer Lüftung wurden Rauchversuche bei unterschiedlicher Vorgabe der Zulufttemperatur und Ventilatorleistung durchgeführt, siehe Abbildung 5.10.

Die Rauchversuche zeigen deutlich, dass die beste Luftdurchmischung bei einer Zulufttemperatur ähnlich der Raumlufthtemperatur erreicht wird (Zulufttemperatur 23 °C). Wird die Zuluft dagegen wesentlich wärmer als die Raumlufthtemperatur eingeblasen (35 °C), so steigt sie bedingt durch den thermischen Auftrieb rasch nach oben und wird an den Abluftschlitzen wieder abgesaugt. Es entsteht ein Kurzschluss des Luftaustausches. Eine höhere Ventilatorleistung kann bei hohen Zulufttemperaturen den Kurzschluss nicht verhindern, denn die Zuluft strömt dann lediglich mit einer höheren Geschwindigkeit in dieselbe Richtung.

Durch diese Versuche lässt sich die Problematik der fehlenden Auswirkung einer hohen Wärmeleistung des Lüftungsgerätes erklären. Denn im Rahmen messtechnischer Untersuchungen fiel auf, dass trotz hoher Wärmeleistung keine wesentlichen Änderungen der Raumlufthtemperatur zu erkennen sind. Die warme Zuluft kann aufgrund ihres Strömungsverlaufs nicht in die Raumtiefe gelangen und hat damit bezüglich Austausch und Temperierung der Raumlufthtemperatur eine geringe Wirkung.



Abbildung 5.10: Einströmung der Zuluft bei mechanischer Lüftung und unterschiedlicher Zulufttemperatur im Rauchversuch.

5.2.4 Untersuchungen zu Luftströmung und Luftaustausch mit CFD-Strömungssimulationen

Für die Simulation des natürlichen und mechanischen Luftwechsels im Testraum wurde im Rahmen einer studentischen Arbeit (13) ein umfangreiches CFD-Modell erstellt. In dieser Arbeit wurde der Strömungsverlauf im dezentralen Lüftungsgerät, sowie am Eintritt der Zuluft an den Zuluftschlitzten untersucht. Diese Analysen wurden anschließend um Simulationen der Raumluftrömung und den Vergleich zwischen natürlicher und mechanischer Lüftung erweitert.

Das zugrunde liegende Rechengitter ist entsprechend den Anforderungen in der Auslegung der Maschenweite differenziert und ermöglicht durch die gröbere Struktur im Raum eine Eingrenzung des Rechenaufwands. In Abbildung 5.11 sind die Außenluft- und Fortluftöffnungen der mechanischen Lüftung farblich hervorgehoben.

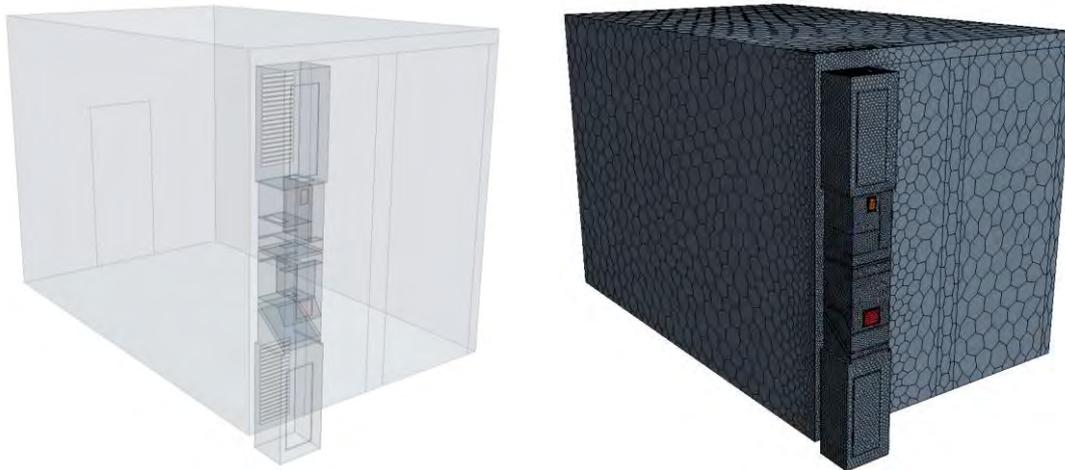


Abbildung 5.11: CFD-Raummodell – Fassadenteststand mit dezentralem Lüftungsgerät
Links: Raumvolumen _ Rechts: Rechengitter.

Die mechanische Lüftung ist über eine gezielte Geschwindigkeits- bzw. Druckvorgabe an den Außenluft- und Fortluftöffnungen definiert. Die natürliche Luftströmung im Raum durch thermischen Auftrieb wird über die Druckdifferenz in Abhängigkeit des Höhenunterschieds zwischen Außenluft- und Fortluftöffnungen und der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen induziert.

In Annahme, dass der simulierte Raum allseitig von ähnlichen Räumen umgeben ist, sind die Oberflächen der innenliegenden Raumschließung als adiabatisch definiert. Außerdem sind weder solare noch innere Wärmelasten berücksichtigt.

Im Folgenden sind die wesentlichen aus den Strömungssimulationen gewonnenen Aussagen zusammengestellt.

Mechanische Lüftung

Bezüglich der mechanischen Lüftung werden Heiz- und Kühlfall betrachtet sowie die Auswirkung unterschiedlicher Volumenströme der Zuluft geklärt. Winter und Sommer sind dabei gemäß den thermischen Randbedingungen (Tabelle 5.8) und den Auslegungsdaten des Wärmetauschers (WT) definiert.

Tabelle 5.8: thermische Randbedingungen des Heiz- und Kühlfalls.

	Winter	Sommer
Außentemperatur ϑ_o	-12 °C	32 °C
Innentemperatur ϑ_i	21 °C	26 °C

Mechanische Lüftung im Winter – Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 90 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\text{Wärmetauscher } \vartheta_{WT} = 60 \text{ °C}, \dot{Q}_{WT} = 1000 \text{ W}$$

Im Heizfall ist darauf zu achten, dass die Zuluft nicht mit einer zu hohen Temperatur in den Raum eingeführt wird. Die Fassade mit dem dezentralen Lüftungsgerät ist die einzige Quelle für Verluste durch Transmission, Lüftung und Infiltration. Ihre hohe wärmetechnische Qualität führt zu einem niedrigen Wärmebedarf.

Der Strömungsverlauf aus Abbildung 5.13 zeigt, dass der thermische Auftrieb den wesentlichen Anteil der Zuluftströmung erfasst und damit kaum Luftbewegungen im Raum erzeugt. Lediglich entlang der etwas kälteren Raumbooberflächen sind geringe Strömungen ersichtlich, wobei auch dies die Lüftungseffektivität kaum erhöht.

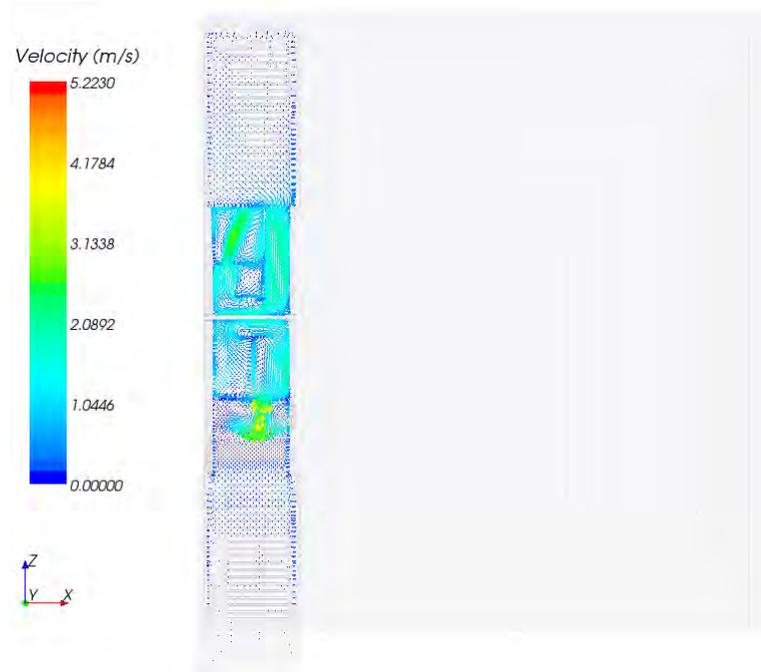


Abbildung 5.12: Strömungsverlauf und Luftgeschwindigkeit im dezentralen Lüftungsgerät (Quer) – mechanische Lüftung, Winter; $90 \text{ m}^3/\text{h}$.

Identifikation von Anlagenparameter und Kennlinien



Abbildung 5.13: Strömungsverlauf und Luftgeschwindigkeit im dezentralen Lüftungsgerät und im Raum – mechanische Lüftung, Winter; 90 m³/h.

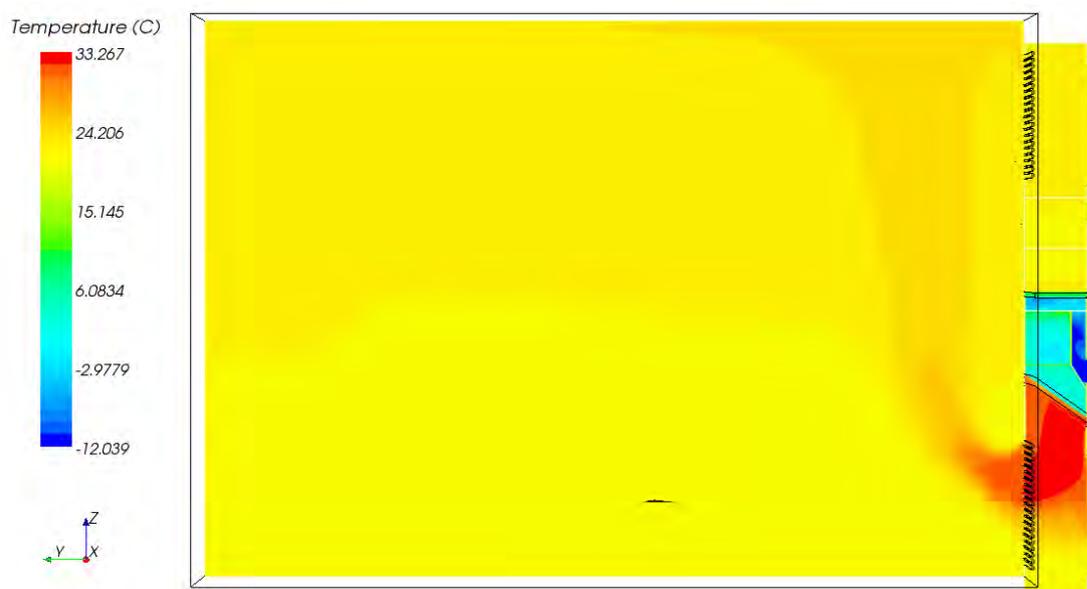


Abbildung 5.14: Raumlufitemperatur – mechanische Lüftung, Winter; 90m³/h.

Entsprechend den Erkenntnissen aus dem Rauchversuch (siehe oben) wird eine weitere Auseinandersetzung mit dem Strömungsverlauf der Zuluft bezüglich der Bedeutung von Zulufttemperatur und Strömungsgeschwindigkeit notwendig. Hierzu dienen die folgenden Gegenüberstellungen von Simulationsvarianten.

Mechanische Lüftung bei unterschiedlichem Volumenstrom

Der Einfluss des Luftvolumenstroms wird anhand des Strömungsverlaufs und des Eintritts der Zuluft an den Zuluftsclitzen dargestellt. Dabei wird die jeweils nahezu gleich temperierte Zuluft mit unterschiedlichen Werten des Volumenstroms in den Raum eingeleitet. Zu berücksichtigen ist, dass die warme Zuluft die Wirkung des thermischen Auftriebs verstärkt und den nach oben gerichteten Strömungsverlauf erzeugt.

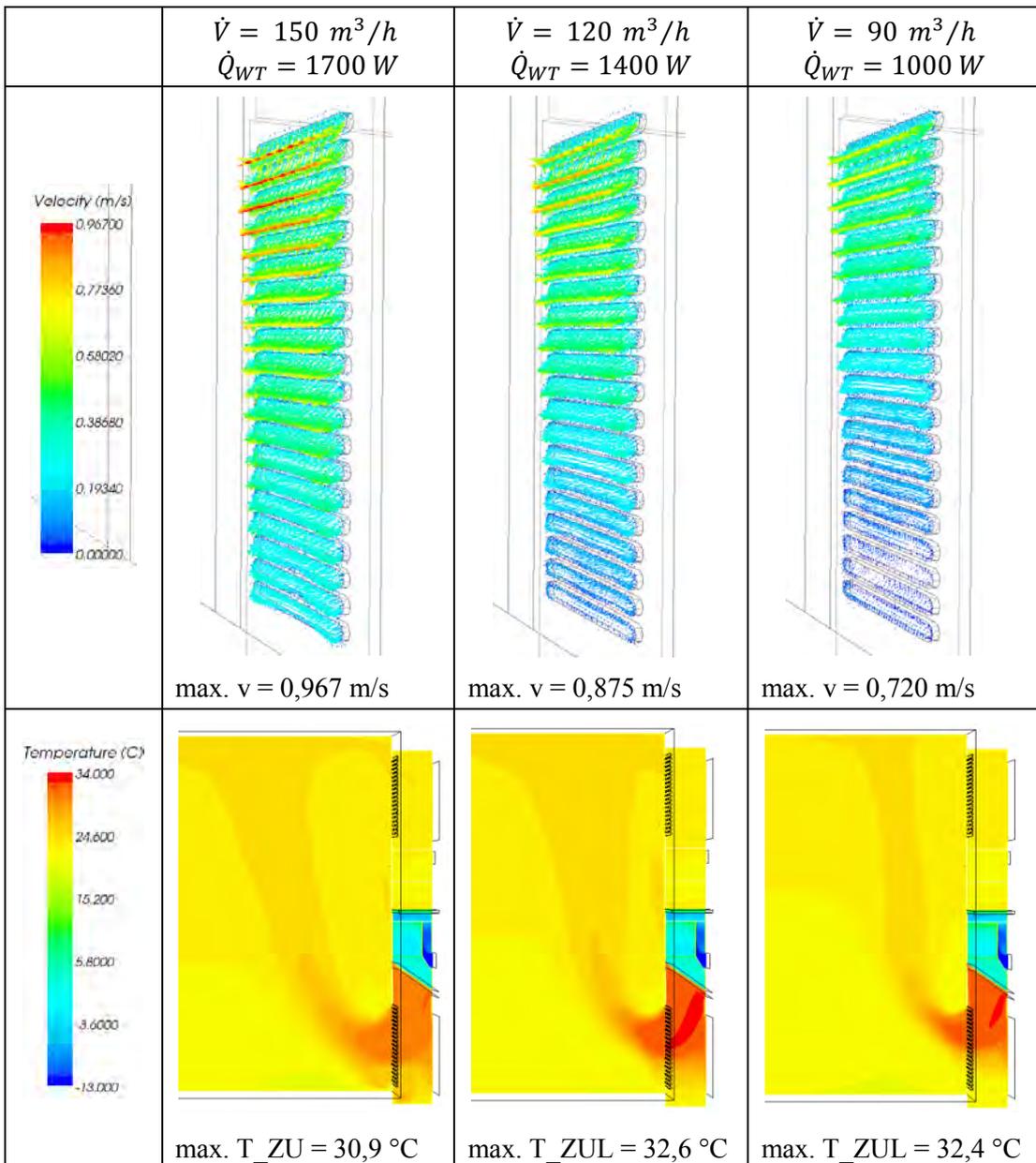


Abbildung 5.15: einströmende Zuluft - Strömungsgeschwindigkeit und Lufttemperatur.

Die Grafiken in Abbildung 5.15 zeigen, dass die Zuluft vorwiegend durch die oberen Schlitze in den Raum eintritt und dort höhere Strömungsgeschwindigkeiten aufweist als in den unteren Schlitzen.

Je kleiner der Volumenstrom ist, desto mehr konzentriert sich die Zuluftströmung an den oberen Schlitzen. Im dritten Beispiel ($90 \text{ m}^3/\text{h}$) durchströmt die Zuluft effektiv nur noch das obere Drittel der Zuluftschlitzte. Außerdem wird die Strömung bei kleinerem Volumenstrom im Raum stärker vom thermischen Auftrieb beeinflusst. Dies bedeutet, dass die Zuluft kaum in die Raumtiefe eindringt, sondern direkt nach oben strömt, wo sie als Abluft den Raum wieder verlässt.

Mechanische Lüftung bei unterschiedlicher Zulufttemperatur

Betrachtet man die Auswirkung der Differenz zwischen Zuluft- und Raumtemperatur, so lassen sich bei gleichem Volumenstrom drei grundsätzliche Fälle unterscheiden. Dabei ist die Zuluft gegenüber der Raumlufttemperatur wärmer, gleich temperiert oder kühler.

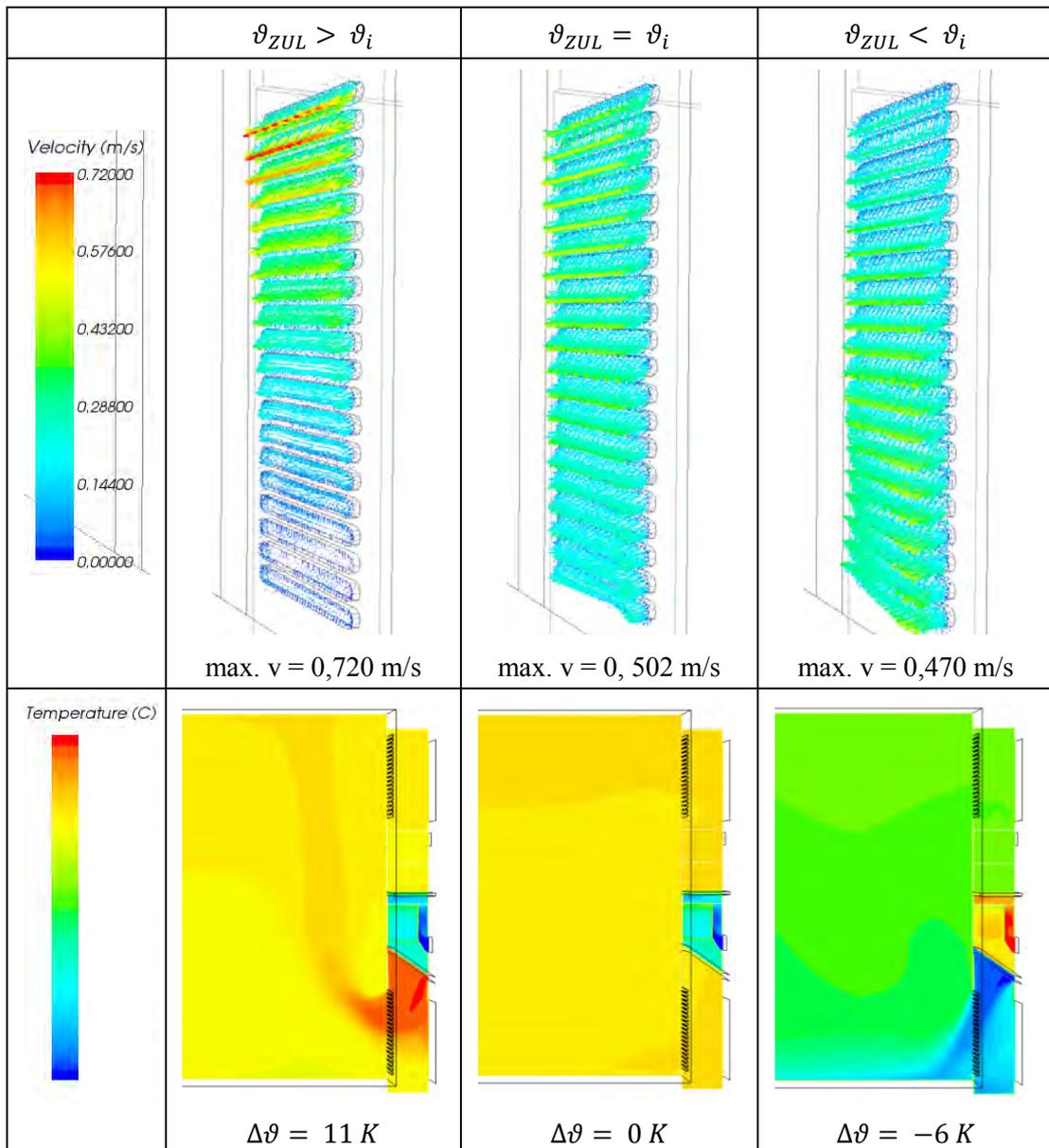


Abbildung 5.16: Geschwindigkeit und Verlauf der einströmenden Zuluft.

Der Effekt des thermischen Auftriebs bei hoher Zulufttemperatur ist aus dem ersten dargestellten Fall ersichtlich. Diesem werden nun Untersuchungen einer kühleren Zuluft entgegengesetzt, d.h. die Zuluft wird bei annähernd Raumtemperatur bzw.

wesentlich kühlerer Zulufttemperatur in den Raum geleitet. In Abbildung 5.16 sind zwei Beispiele aus dem Heizfall mit -12 °C Außenlufttemperatur und ein Beispiel aus dem Kühlfall bei 32 °C Außenluft dargestellt. Erwartungsgemäß strömt die Zuluft bei der Raumlufttemperatur ähnlicher Temperatur über die Schlitze annähernd gleichmäßig in den Raum ein. Der Strömungsverlauf im Raum selbst verläuft hauptsächlich entlang des Fußbodens, wobei sich keine gebündelte Zuluft-Strömung im Raum ausbildet.

Im Fall kühler Zuluft fällt diese bereits nach dem Wärmetauscher ab und strömt vor allem durch die unteren Zuluftschlitze in den Raum. Im Raum selbst fällt die Strömung weiter ab und bewegt sich entlang des Fußbodens in den Raum. Durch das tiefe Eindringen durchströmt die zugeführte Luft einen größeren Teil des Raumvolumens und ermöglicht eine raumfüllendere Luftbewegung und damit einen effektiveren Luftaustausch im Raum.

Natürliche Lüftung

Die Simulationen der natürlichen Lüftung zeigen, dass die Auswirkungen des natürlichen Lüftungssystems im Wesentlichen von der Ausführung und den jeweiligen Randparametern abhängig sind. So führt ein unkontrolliert hoher Luftaustausch bei kaltem Außenklima zu einer starken Auskühlung der Raumluft und wirkt sich damit sowohl auf das Behaglichkeitsempfinden als auch den Energiebedarf negativ aus.

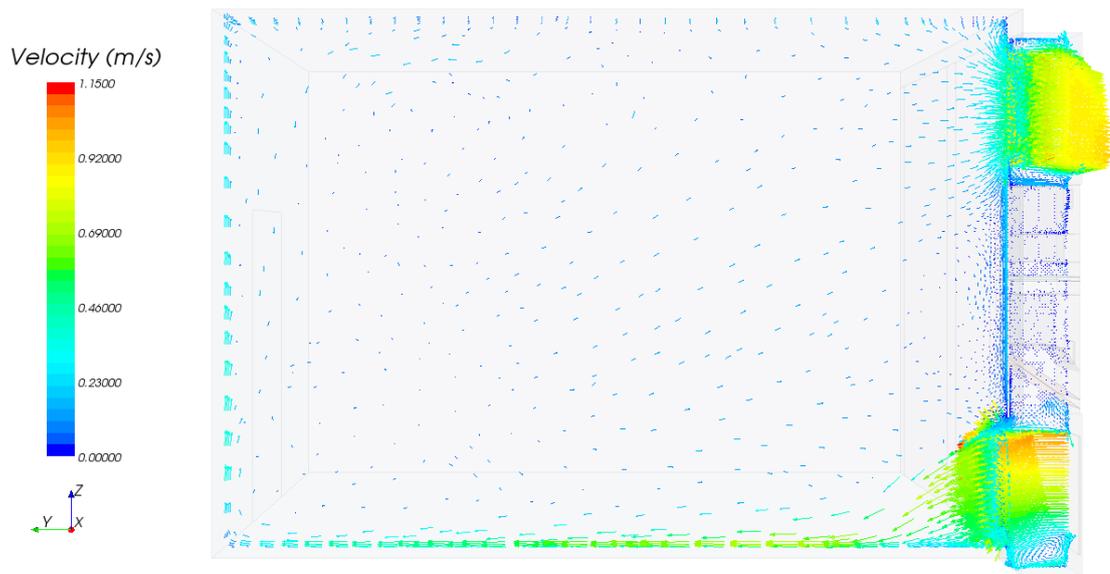


Abbildung 5.17: Strömungsverlauf und Luftgeschwindigkeit – natürliche Lüftung, Winter; -12°C .

Die Zuluft strömt an den Zuluft-Schlitzten, über die gesamte Höhe und Breite der Zuluftöffnung ein. Die maximale Strömungsgeschwindigkeit beträgt $v = 1,169 \text{ m/s}$ und nimmt zum Öffnungsrand hin etwas ab. Neben Bewertungen der Luftgeschwindigkeit ist außerdem zu berücksichtigen, dass die Zugluft sehr kalt ist, was global und lokal im Raum zu thermischer Unbehaglichkeit führt.

In Abbildung 5.18 sind die einströmende kalte Zuluft sowie die Temperaturschichtung und die starke Raumauskühlung sichtbar. In der Realität würde eine solche Lüftungssituation durch Nutzereingriff beendet, bevor der Raum zu stark abkühlt.

Identifikation von Anlagenparameter und Kennlinien

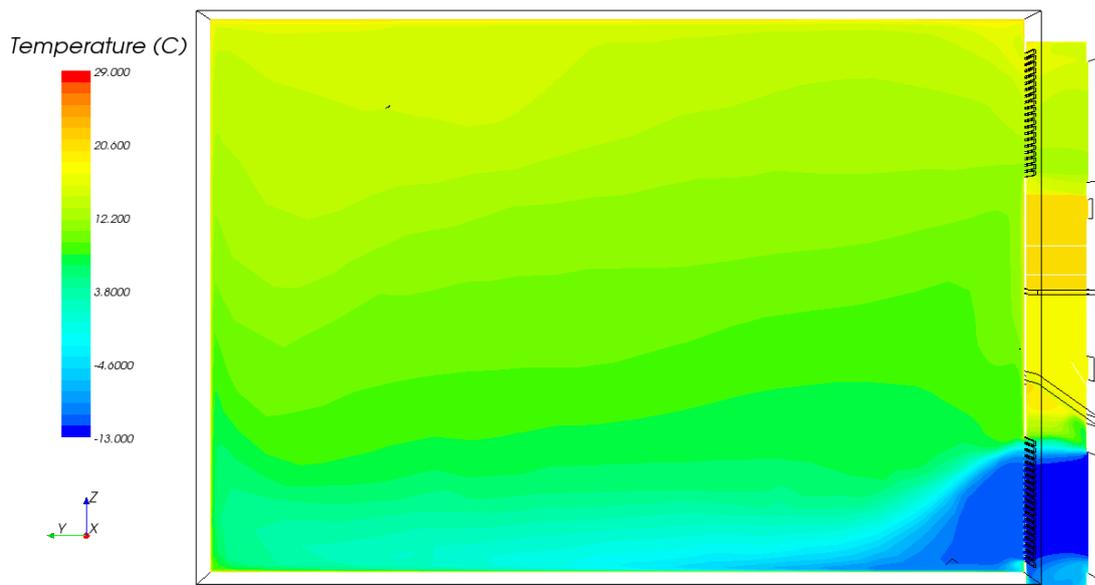


Abbildung 5.18: Raumlufthemperatur – natürliche Lüftung, Winter; -12 °C.

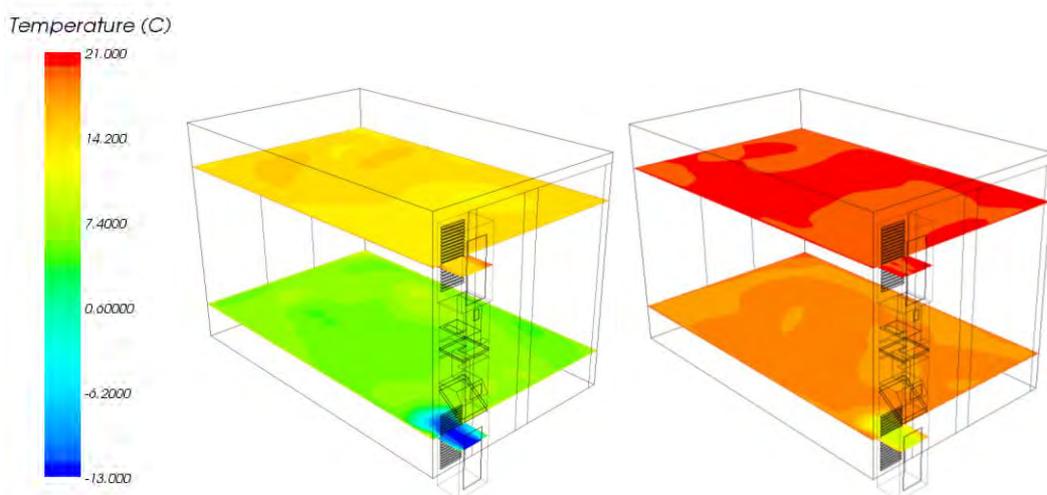


Abbildung 5.19: Raumlufthemperatur (Höhe: 0,5 m | 2,5 m) - natürliche Lüftung, Winter;
Links: $\vartheta_o = -12\text{ °C}$; Rechts: $\vartheta_o = 10\text{ °C}$.

Realitätsnäher ist das im Folgenden aufgezeigte Szenario bei 10 °C Außentemperatur.

Abbildung 5.19 stellt die beiden Simulationsrechnungen gegenüber. Dargestellt ist die Raumlufthemperatur auf den Höhen 0,5 m und 2,5 m. Die Unterschiede zwischen den Temperaturverteilungen zeigen deutlich die Auswirkungen des hohen Luftaustausches durch die natürliche Lüftung.

Bezüglich des Strömungsverlaufs führt bei höherer Zulufttemperatur die geringere Temperaturdifferenz der Zuluft zur Raumluft außerdem zu einer wesentlich geringeren Auswirkung des Kaltluftabfalls und einer horizontalen Einströmung der Zuluft horizontal in den Raum. Hierbei ist zu bedenken, dass durch die Zugluft weiterhin thermisch unbehagliche Situationen entstehen können, zumal höhere Strömungsgeschwindigkeiten entstehen.

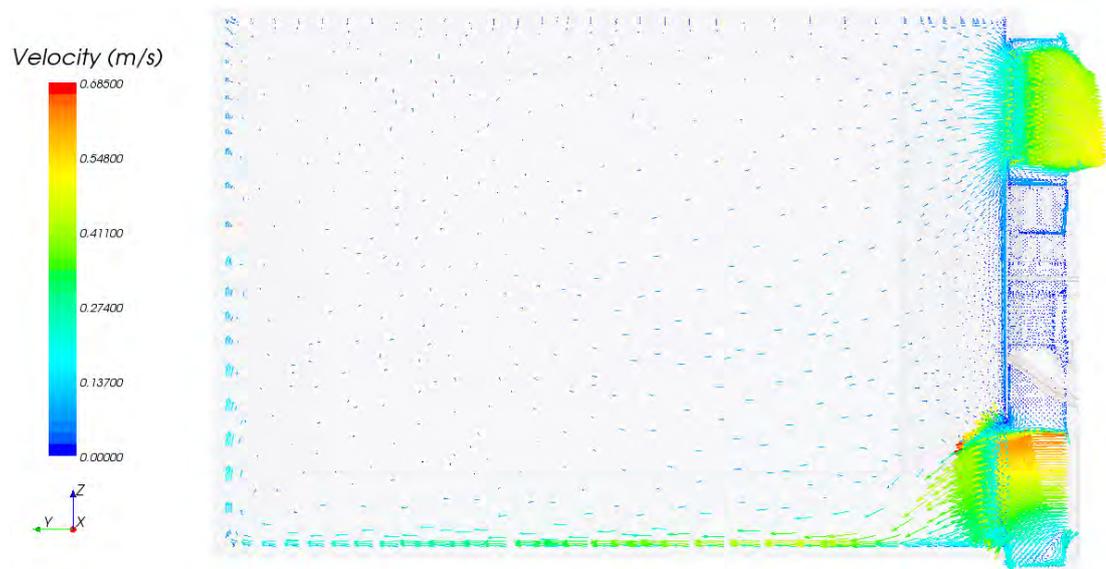


Abbildung 5.20: Strömungsverlauf und Luftgeschwindigkeit - natürliche Lüftung, Winter _ 10 °C.

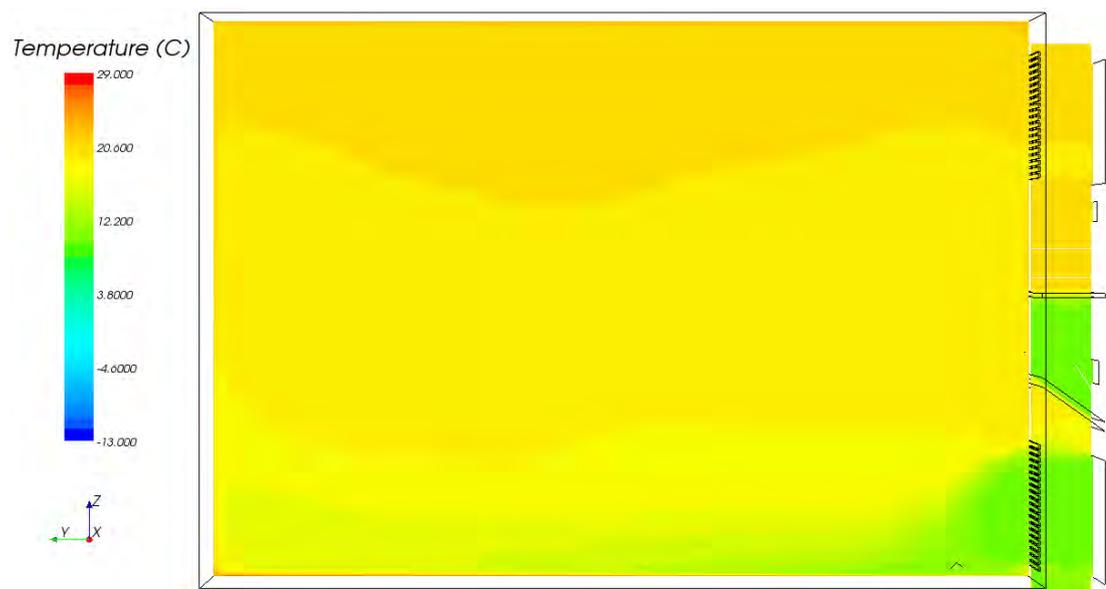


Abbildung 5.21: Raumlufttemperatur – natürliche Lüftung, Übergangszeit _ 10 °C.

Die Simulationen und die energetische Raumbilanz zeigen deutlich, dass Anforderungen an die Raumkühlung bereits bei kaltem Außenklima auftreten können. In diesen Fällen besteht die Möglichkeit, die natürliche Lüftung und damit das Kühlpotenzial der Außenluft zu nutzen. Um diese Chancen wahrzunehmen empfiehlt es sich entsprechende Entscheidungsparameter in der Regel- und Steuerungsstrategien aufzugreifen.

Die Darstellung der Zuluftströmung in Strömungslinien zeigt den Verlauf im dreidimensionalen Raum. Es ist ersichtlich, dass sich die kühlere Zuluft entlang des Fußbodens in alle Richtungen ausbreitet, größtenteils an den Wänden hoch steigt und Richtung Raummitte wieder abfällt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich die Strömungsgeschwindigkeit im Verlauf verlangsamt und sich die Luft in Raummitte kaum noch bewegt.

Von Bedeutung und Aussagekraft ist ein Vergleich der natürlichen Luftwechselraten, wie sie sich aus einer vereinfachten physikalischen Berechnung (als Kalkulationstabelle implementiert), der Strömungssimulation und der Tracergasmessung ergeben. Um zu gewährleisten, dass die drei Betrachtungsmethoden auf einer vergleichbaren Ebene einander gegenüber gestellt werden, müssen die Ergebnisse der Tracergasmessung zunächst um die spezifische Luftwechselrate der Infiltration ($0,1 \frac{1}{h \cdot \sqrt{K}}$) bereinigt werden. Der Vergleich erfolgt bei 100 % Klappenöffnung und jeweils ähnlichen Temperaturdifferenzen zwischen Außenluft und Raumluft. Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind in Tabelle 5.9 zusammengestellt.

Tabelle 5.9: Methodenvergleich der spezifischen Luftwechselrate.

	Temperaturdifferenz [K]	Spezifische Luftwechselrate [1/(h*√K)]	Temperaturdifferenz [K]	Spezifische Luftwechselrate [1/(h*√K)]
phys. Berechnung	9,00	3,87	4,00	3,87
CFD-Simulation	9,00	2,19	4,00	1,61
Tracergasmessung	10,31	1,25	6,27	0,81

Wesentlich für die Interpretation der sich deutlich voneinander unterscheidenden Ergebnisse sind die in den drei Verfahren jeweils berücksichtigten bzw. vernachlässigten Effekte.

1. Vereinfachte physikalische Berechnung:

Diese basiert auf den Druckunterschieden durch thermischen Auftrieb, die von der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen sowie den Höhenunterschieden zwischen korrespondierenden Zu- und Abluftöffnungen hervorgerufen werden. Aus diesen Druckunterschieden werden Strömungsgeschwindigkeiten in jeder Zu- bzw. Abluftöffnung unter Annahme einer idealen, reibungsfreien Strömung berechnet, woraus sich mit den Öffnungsflächen Zu- und Abluftvolumenströme ergeben. Die Luftwechselrate wird als Verhältnis des gesamten Zu- bzw. Abluftvolumenstroms zum Raumvolumen

berechnet (nominelle Luftwechselrate). Druckverluste durch Reibung, Umlenkung, Einschnürung usw. sowie eine evtl. nicht ideale Durchmischung der Raumluft werden hierbei somit nicht berücksichtigt. Diese Berechnungsmethode liefert damit einen oberen Grenzwert der zu erwartenden Luftwechselrate.

2. CFD-Simulation:

Antrieb ist auch hier (ausschließlich) der thermische Auftrieb. Durch die Abbildung der Geometrie und Strömungswege werden Druckverluste durch Reibung, Umlenkung, Einschnürung usw. berücksichtigt.

Als Luftwechselrate wird ebenfalls die nominelle Luftwechselrate ausgewertet, d.h. die Durchmischung der Raumluft wird zwar simuliert, geht aber nicht in die Auswertung der Luftwechselrate ein.

3. Tracergasmessung:

Bei der Tracergasmessung erfolgt die Ermittlung der Luftwechselrate über den Konzentrationsabfall des Indikatorgases. Damit wird der tatsächliche Luftaustausch im Raum gemessen und somit, neben Strömungsverlusten bzw. -hindernissen, die Lüftungseffektivität berücksichtigt.

Aus dem Verhältnis der aus der CFD-Simulation ermittelten nominellen Luftwechselrate und dem Ergebnis der Tracergasmessungen kann die Lüftungseffektivität abgeschätzt werden.

$$\varepsilon = \frac{n_{Tracergas}}{n_{CFD}} = \frac{1,25}{2,19} = 0,571 \quad \text{bzw.} \quad \frac{0,81}{1,61} = 0,503 \quad (8)$$

Die Ergebnisse aus Gleichung (8) zeigen eine Lüftungseffektivität deutlich kleiner eins und korrespondieren damit mit den Erkenntnissen der experimentellen Untersuchungen zur Raumströmung in der Testkabine.

5.2.5 Ergebnisse der Messungen und Untersuchungen zur Lüftung

Abschließend lassen sich aus den im Vorhaben durchgeführten Untersuchungen sowohl objektspezifische Ergebnisse bezüglich des Lüftungsgerätes als auch Erkenntnisse für grundsätzliche Anwendungen in der Raumautomation formulieren.

Die Betrachtung des konkreten Lüftungsgerätes erfolgte anhand von CFD-Simulationen. Die hieraus ersichtlichen Totzonen im Lüftungsgerät bieten Potenzial zur Verbesserung der Luftführung (13). Zudem bestehen aufgrund ungleichmäßiger Durchströmung der lamellenförmigen Zuluftöffnungen der untersuchten Fassade und aufgrund eines niedrigen hygienischen Lüftungswirkungsgrades bei natürlicher Lüftung (ca. 0,6) Möglichkeiten, den effektiven Luftaustausch weiter zu optimieren.

Bezüglich einer übergeordneten Raumautomationsstrategie zeigen die durchgeführten Untersuchungen die Bedeutung der folgenden Systemeigenschaften:

- a) Hygienisch erforderlicher Luftwechsel während der Nutzungszeit:
Die mit einer bestimmten Raum-Fassaden-Konfiguration erreichbaren Luftwechselraten, durch natürliche Lüftung, können einer übergeordneten Raumautomation als Entscheidungshilfe dienen. Grundfragen hierbei sind:
 - Ab welcher Temperaturdifferenz zwischen Innenraumluft und Außenluft kann der hygienisch erforderliche Luftwechsel mit natürlicher Lüftung sichergestellt werden (Mindestluftmenge)?
 - In welchem Temperaturbereich ist eine natürliche Lüftung während der Nutzungszeit ohne Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit möglich?
 - Unter welchen Randbedingungen ist welche Lüftungsart (natürlich, hybrid, mechanisch) die energetisch günstigste (Lüftungswärmeverlust vs. Stromverbrauch für Luftförderung vs. Wärmerückgewinnung)?

Der Energieverlust im Heizfall bzw. der Auskühleffekt im Kühlfall der mit dem natürlichen Lüftungsaustausch verbunden ist, kann aus dem Lüftungswirkungsgrad abgeschätzt werden. Dabei ist zu beachten, dass sich der thermische Lüftungswirkungsgrad $\varepsilon_{th} = \frac{\vartheta_{ab} - \vartheta_{zu}}{\langle \vartheta \rangle - \vartheta_{zu}}$ über die Temperaturdifferenz ermittelt und damit, unabhängig vom hygienischen Lüftungswirkungsgrad (hier: $\varepsilon = ca. 0,5 \dots 0,6$), auch Werte größer 1 möglich sind.

Mit einer Klappensteuerung und entsprechender Sensorik (z. B. CO₂-Sensor) kann eine Regelungsstrategie für eine kontrollierte natürliche Lüftung – und in Kombination mit einer mechanischen Lüftung auch eine hybride Lüftung – umgesetzt werden. Ist z. B. aus Kostengründen kein Sensor vorhanden, können der Steuerung der natürlichen Lüftung Grundkennlinien in Abhängigkeit von der Außentemperatur vorgegeben werden. In beiden Fällen muss die übergeordnete Raumautomation über den Einsatz der Betriebsart natürliche bzw. hybride Lüftung unter Energieeffizienz- und Behaglichkeitsgesichts-

punkten entscheiden. Dafür ist es erforderlich, dass die genannten Informationen vorliegen.

b) Nachtauskühlung:

Aus den ermittelten Kenndaten sowie Eigenschaften der Raumluchtströmung kann ein übergeordneter Algorithmus auch hierfür entscheiden, bei welchen Randbedingungen eine Nachtauskühlung mit natürlicher Lüftung in Betracht kommt.

Dass die experimentelle bzw. simulationstechnische Ermittlung der benötigten Systemeigenschaften der natürlichen Lüftung mit den heute verfügbaren Methoden möglich ist, wurde am Beispiel der untersuchten Testfassade nachgewiesen.

5.3 Sonnen- und Blendschutz

Um integrierte, energieeffiziente Automationskonzepte für Fassadensysteme entwickeln zu können, ist neben den Heiz-, Kühl- und Lüftungsfunktionen das Verständnis für das gegenseitige und zum Teil gegenläufige Zusammenspiel von Sonnen- und Blendschutz, Tageslichtnutzung sowie künstlicher Beleuchtung von Bedeutung. Solarenergieeintrag in den Raum und Tageslichtnutzung sind naturgemäß eng aneinander gekoppelt und hängen sehr stark von den äußeren und inneren Randbedingungen (Witterung, Fassadensystem, Regelungs-/ Automatisierungsstrategie, Nutzung / Nutzungszeiten / Nutzerverhalten usw.) ab. Darüber hinaus beeinflussen sie – entweder direkt als Solareintrag oder indirekt über den verbleibenden Kunstlichtbedarf – die Heiz- und Kühlenergiebilanz des Raumes. So ist es z. B. sinnvoll, die Steuerung des Sonnen-/ Blendschutzes im Zusammenspiel mit der Tageslichtnutzung im Sommer und Winter unterschiedlich anzusetzen, um die Ausnutzung der Solarerträge im Heizfall sowie die Reduzierung von Kühllasten im Sommer jeweils energetisch vorteilhaft zu berücksichtigen. Moderne Lamellen-Jalousien vereinen die Funktionen Sonnen-/ Blendschutz sowie Tageslichtnutzung über vertikal geteilte und getrennt steuerbare Behänge, teilperforierte Lamellen usw. in einer Einheit. Die abhängig von der Beleuchtungssituation sowie Tages- und Jahreszeit einstellbaren Lamellenstellungen derartiger Jalousien haben einen großen Einfluss auf die, in den Raum eingebrachten thermischen Lasten, welche über einen resultierenden g-Wert berücksichtigt werden können. Die exakte Bestimmung der richtungsabhängigen g-Werte ist allerdings komplex und nur mittels aufwändiger Berechnungen bzw. Laboruntersuchungen möglich. Für konkrete Jalousiesysteme mit Lamellenverstellung sind richtungsabhängige g-Werte in hinreichender Detailliertheit für die Untersuchung von Regelstrategien nur in Einzelfällen verfügbar und untersucht. Insbesondere für das hier umgesetzte innovative integrierte Fassadensystem gibt es noch keine hinreichende Datenbasis. Deshalb soll experimentell durch Messungen des Strahlungs- und Lichtdurchgangs durch die Fassade sowie der resultierenden Beleuchtungsstärken im Raum festgestellt werden, welche Auswirkungen die Variation der Stellungen des Sonnen-/ Blendschutzes auf den Tageslicht- und Strahlungseinfall in den Testraum und damit auf den noch erforderlichen Anteil an Kunstlicht und die solaren Lasten hat. Schwerpunkt ist hierbei die Erfassung und Überprüfung der grundsätzlichen Abhängigkeit der Kenngrößen von der Lamellenstellung, um diese bei der Konzeption der Automatisierungsstrategien berücksichtigen zu können. Aus diesen Messergebnissen sollen über Identifikationsverfahren Kennlinienmodelle bzw. Kennfelder generiert werden, welche den Licht- und Strahlungsdurchgang beschreiben. Außerdem ist zu untersuchen, wie diese Kennlinienmodelle, ausgehend von der konkreten Fassaden-/ Raumkonstellation durch Parametrierung, verallgemeinert werden können. Die Kennlinienmodelle werden anschließend in die Entwicklung der energieeffizienten Automatisierungsstrategien integriert.

5.3.1 Beschreibung der Vorgehensweise

Bestimmung der Beleuchtungsstärke:

Die Beleuchtungsstärke wird in Höhe eines Schreibtisches abhängig von der Raumtiefe und dem Lamellenwinkel gemessen.

Beispiel Fassadenteststand:

Da das Lüftungsgerät eine, wenn auch geringfügige Verschattung für einen Teil des Raums darstellt, soll mindestens eine Versuchsreihe durchgeführt werden, bei der neben der Raumtiefe auch die Position der Sensoren in der Breite des Raums variiert.

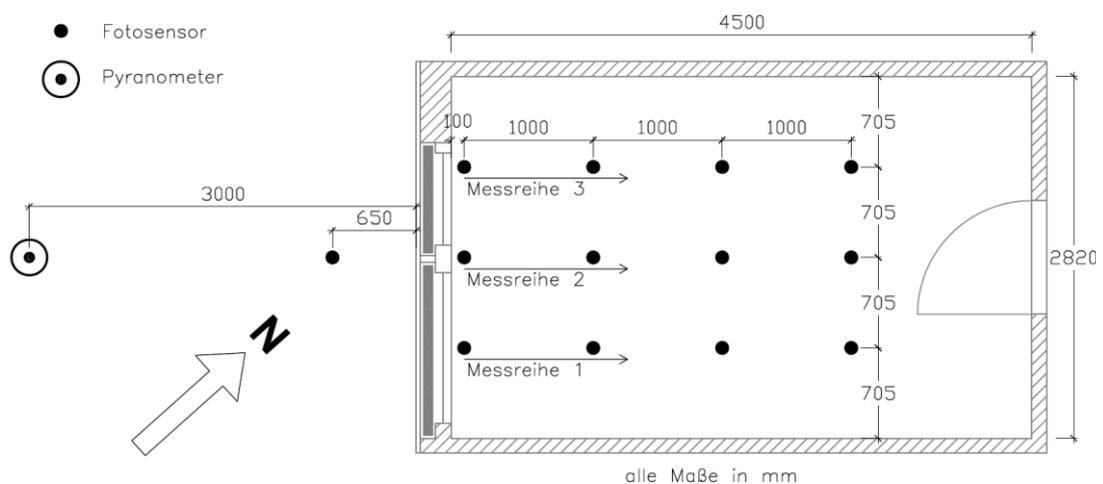


Abbildung 5.22: Anordnung der Messfühler im und außerhalb des Raums.

Bestimmung des g-Werts

Je nach Sonnenstand wird ein Teil der auf das Fassadensystem einfallenden Solarstrahlung reflektiert. Ein Teil der Solarstrahlung wird von der Verglasung absorbiert und als Wärme wieder an die Umgebung abgegeben. Diese beiden Effekte sorgen für eine Reduzierung der Solarstrahlung, die im Raum ankommt. Im Raum wird ein Teil der einfallenden Strahlung absorbiert und ein Teil durch Rückreflexion aus dem Raum reflektiert.

Neben der Erwärmung des Raums durch die direkte Solarstrahlung gibt der Raum durch die Wärmeleitung der Fassade je nach Wetterlage einen Wärmestrom an die Umgebung ab, oder nimmt einen Wärmestrom auf.

Beispiel Fassadenteststand:

Eine Besonderheit des zu untersuchenden Fassadensystems ist die Doppelfassade. Die vorgelagerte Scheibe ist im oberen und unteren Bereich geöffnet, so dass sich im

Konzept zur messtechnischen Bestimmung des g-Wertes

Der Strahlungstransmissionsgrad kann messtechnisch bestimmt werden. Es wird mit zwei Pyranometern auf der Außen- und Innenseite der Fassade die eingestrahelte Leistung gemessen und der Transmissionsgrad berechnet. Soll aus den Messwerten ein Kennfeld für die Automatisierung erstellt werden, so ist für jeden möglichen Sonnenstand der Transmissionsgrad messtechnisch oder rechnerisch zu ermitteln. Die Messung stellt eine Vereinfachung dar, da die Rückreflexion aus dem Raum nicht bestimmt werden kann.

Der sekundäre Wärmeabgabegrad in den Raum kann über die Messung der Oberflächentemperatur der Verglasung und der Raumlufttemperatur rechnerisch ermittelt werden. Die Wärmeabgabe der Fassade an die Umgebung lässt sich dagegen messtechnisch nicht bestimmen und muss simuliert werden.

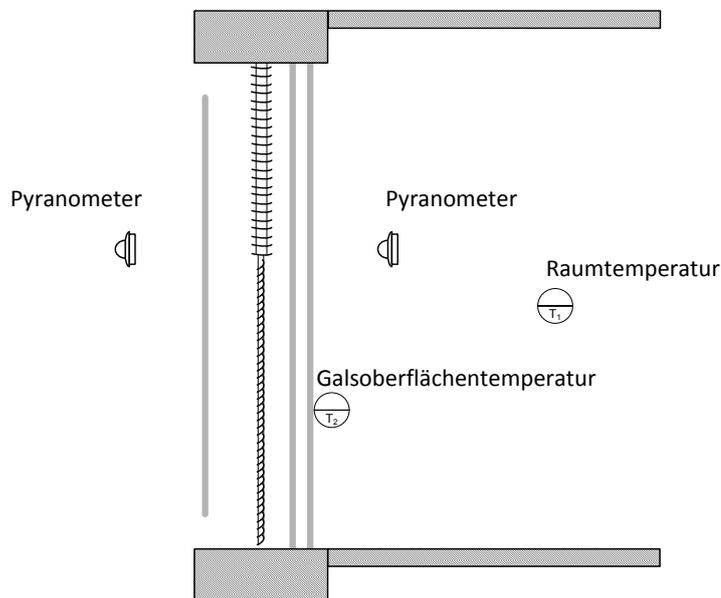


Abbildung 5.24: Schematische Darstellung des Messaufbaus für die Bestimmung des g° - Wertes der Fassade.

5.3.2 Beschreibung der Ergebnisse

Messtechnische Untersuchungen zur Beleuchtungsstärke im Raum

Die Beleuchtungsstärke wurde in Abhängigkeit der Raumtiefe und des Lamellenwinkels aufgenommen. Die Messergebnisse sind in Abbildung 5.25 zu sehen. Bei einem Lamellenwinkeln von 10 bzw. 20 % werden nahezu die gleichen Beleuchtungsstärken erreicht. Auffällig ist jedoch die große Abnahme zwischen den Lamellenwinkeln von 20 und 30 %. Hier sinkt die Beleuchtungsstärke um etwa 100 Lux.

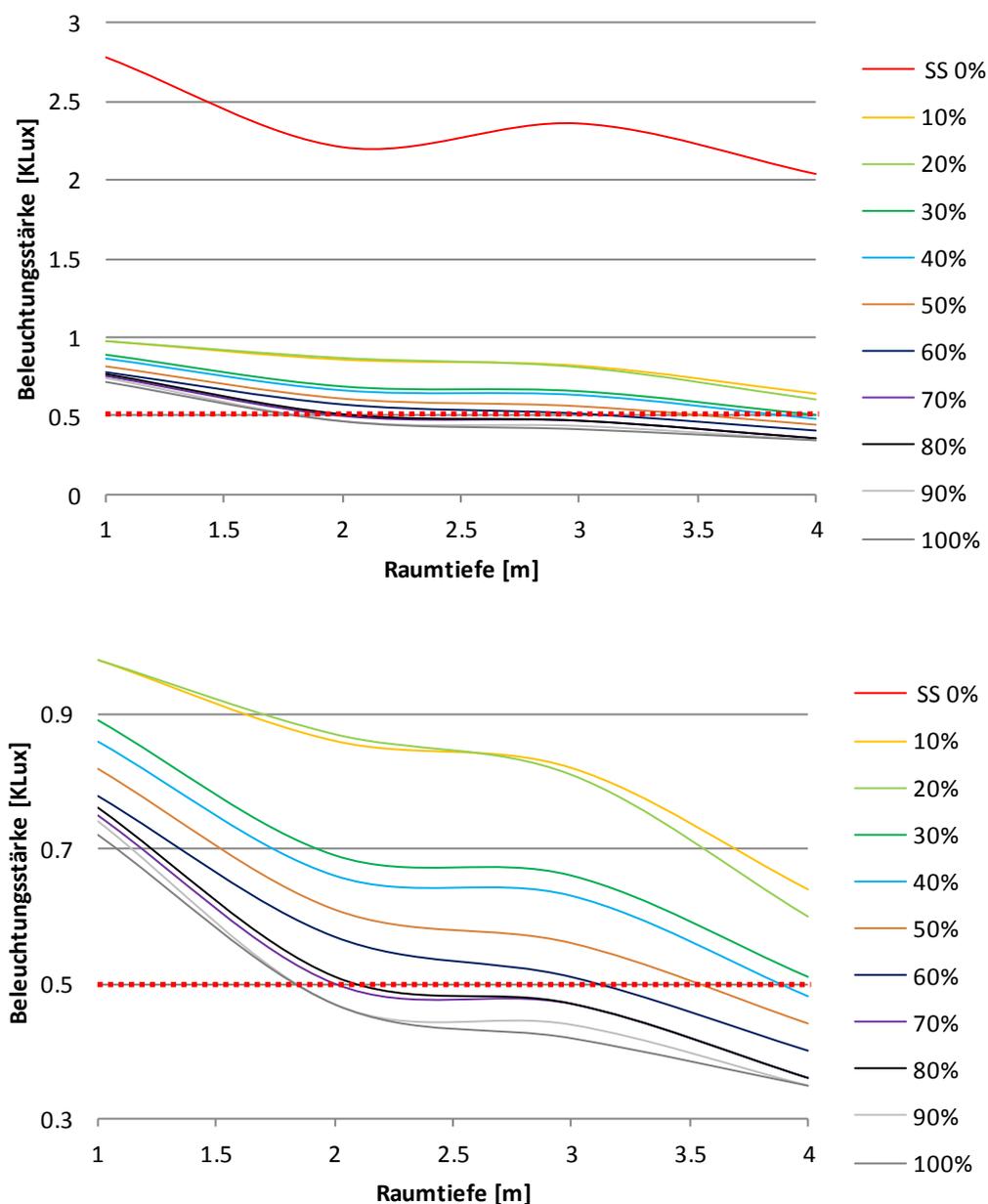


Abbildung 5.25: Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit der Raumtiefe und des Lamellenwinkels.

Bei einem Lamellenwinkel von 30 % wird über die gesamte Raumtiefe eine Beleuchtungsstärke von über 500 Lux erreicht, genügend um die Arbeitsplatzrichtlinien einzuhalten (rote gestrichelte Linie). In der Mitte des Raums ist noch ein Lamellenwinkel von 60 % akzeptabel, um Arbeitsplatzbedingungen zu schaffen.

Neben der Beleuchtungsstärke ist die eingestrahelte Leistung von Interesse, da diese im Sommerfall im Wesentlichen für die inneren Lasten verantwortlich ist. In Abbildung 5.26 sind die Messergebnisse der Leistungsmessung zu sehen. In rot sind die Messwerte dargestellt, die ohne Sonnen- und Blendschutz aufgenommen wurden. Direkt an der Fassade wurden Werte von über 450 W/m² gemessen, was etwa 50 % der im Außenbereich gemessenen Leistung entspricht.

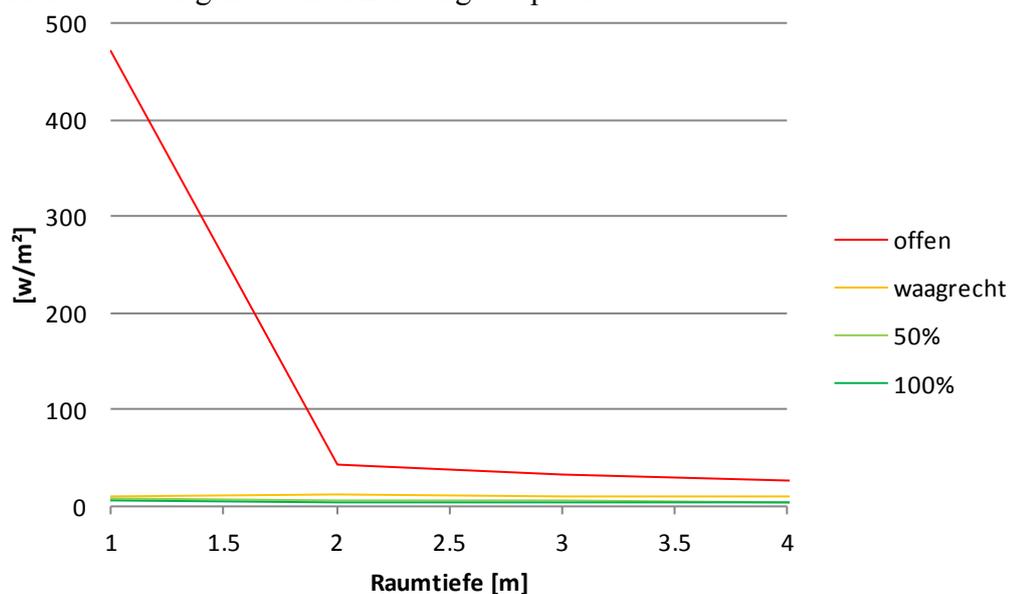


Abbildung 5.26: Leistung pro Quadratmeter in Abhängigkeit der Raumtiefe und des Lamellenwinkels.

Sobald sich die Lamellen in waagrechter Position befinden sinkt die Leistung pro Quadratmeter drastisch auf unter 12 W/m². Dies ist darauf zurückzuführen, dass keine direkter Strahlung sondern nur noch diffuses Licht in den Raum gelangt. Die Leistungen für waagrechte Lamellen und 50 bzw. 100 % Lamellenwinkel sind in Abbildung 5.27 zu sehen.

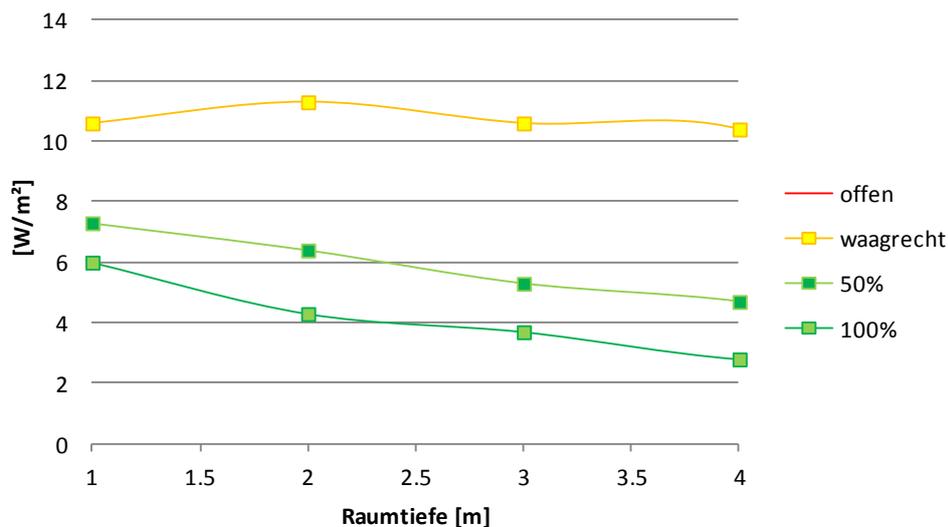


Abbildung 5.27: Leistung pro Quadratmeter in Abhängigkeit der Raumtiefe und des Lamellenwinkels.

Ermittlung eines richtungsabhängigen g-Wertes zur Berücksichtigung bei der Berechnung der Kühllast

Der Strahlungstransmissionsgrad kann messtechnisch und rechnerisch richtungsabhängig bestimmt werden, was allerdings eine Simulation erfordert, da aufgrund des Messaufbaus nur punktuell gemessen werden kann. Der sekundäre Wärmeabgabegrad nach innen kann gemessen bzw. berechnet werden. Der Wärmestrom, der die Fassade wieder verlässt, kann aber nur über eine Simulation bestimmt werden. Die Berechnung wird dadurch sehr aufwendig, da sowohl messtechnische Untersuchungen als auch Simulationsstudien durchgeführt werden müssen. Dieser Ansatz konnte in diesem Vorhaben aus zeitlichen Gründen nicht weiter verfolgt werden, erscheint aber als eine wissenschaftlich herausfordernde und lohnenswerte Aufgabe für weitergehende Forschungsaufgaben.

Das Einbeziehen des Gesamtenergiedurchlassgrads in eine Steuerung bzw. Regelung kann bei großen Gebäuden sinnvoll sein, da sich in diesem Fall der große Aufwand rechtfertigen lässt. Es ist allerdings zusätzliche Messtechnik notwendig, die durch den Nachweis der Energieeinsparung durch die optimierte Regelung erst noch zu rechtfertigen ist.

6 Höherwertige Regelstrategien unter Berücksichtigung der Behaglichkeit

Im Rahmen der Masterthesis „Behaglichkeit als Regelgröße - Erweiterung eines Raummodells zur Berücksichtigung der Behaglichkeit als Regelgröße und Analyse der Regelungsoptimierung“ (14) fand eine Vertiefung der Behaglichkeit in Steuer- und Regelstrategien statt. Schwerpunkte der Ausarbeitung betreffen vor allem die Abbildung und Definition der Behaglichkeit innerhalb der Raumsimulation, sowie die weiterführende Berücksichtigung in der Raumregelung.

Als Grundlage dient der Ansatz nach P. O. Fanger (DIN ISO EN 7730) zur Ermittlung des vorausgesagten mittleren Raumklimas und dem entsprechenden prozentualen Anteil unzufriedener Nutzer. In der Umsetzung werden die ursprünglich sechs Eingangsparameter auf drei einfach zu bestimmende Parameter reduziert, die Bekleidungsisolations, den Aktivitätsgrad und die Raumlufttemperatur. Mit der Beschränkung auf die wesentlichen Einflussgrößen wird es möglich die Komplexität des Ermittlungsverfahrens einzugrenzen, bei gleichzeitig erhöhter realisierbarer Anwendung. Im Vergleich zum normierten Ermittlungsverfahren nach Fanger sind die Ergebnisse trotz Reduzierung gut wiederzugeben. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der Vereinfachung im Verfahren mit Grenzen in der Umsetzung zu rechnen ist, da sich die Auslegung auf einzelne Zusammenhänge aufbaut.

Die maßgebende Bedeutung der Behaglichkeit und das Ziel ihrer Berücksichtigung in der Anlagen- und Raumregelung liegt in dem Bestreben mit steigender Zufriedenheit der Nutzer ebenfalls eine höhere Produktivität und Leistung zu erreichen. Mit dem Menschen als Indikator der Behaglichkeitsthematik macht es zudem nur Sinn die Behaglichkeit als weiteres Entscheidungskriterium im eigentlichen Belegungszeitraum zu berücksichtigen. Denn Behaglichkeit definiert sich erst über das menschliche Empfinden und wird durch dieses in seiner Bedeutung relevant. In Bezug auf die Regelstrategie trifft dies auf Anwendungen im Rahmen des Energieniveaus „*Comfort*“ zu.

Mit der Vertiefung der optimierten Regelung findet eine detaillierte Betrachtung möglicher Entscheidungskriterien statt, um eine effektive und produktive Beeinflussung der Regelung zu ermöglichen. Dabei umfasst der methodische Ansatz eine optimierte Sollwertvorgabe durch Verschiebung der Sollwerte für Raumtemperatur und Volumenstrom der Lüftung.

6.1 Module der Regelungsoptimierung

Der Schwerpunkt der Regelungsoptimierung liegt im strukturellen Aufbau durch Beeinflussung und Abhängigkeiten der Abläufe. Aus diesem Grund erfolgt eine detaillierte Analyse der einzelnen Module der Regelung. Die Struktur des Regelungsablaufs ist der Darstellung aus Abbildung 6.1 zu entnehmen. Hier wird deutlich, dass parallel zur Beurteilung der Entscheidungskriterien das Energieniveau und die Lüftungsvariante situationsbedingt ermittelt werden.

In die Sollwertermittlung fließen die Eingangsgrößen dabei zum Einen direkt ein und zum Anderen werden sie im Rahmen der Entscheidungskriterien und zur Definition der Lüftungsart berücksichtigt.

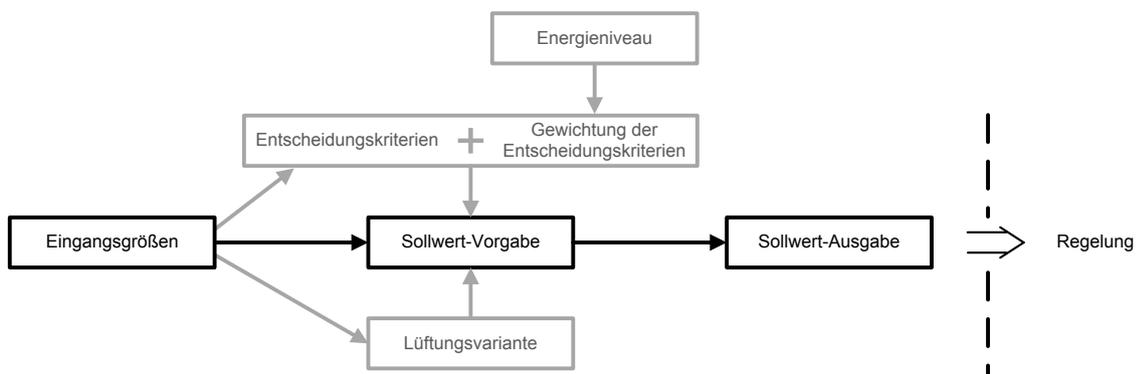


Abbildung 6.1: Modulare Struktur der Regelungsoptimierung.

Entscheidungskriterien

Im Rahmen der Regelungsoptimierung werden Entscheidungskriterien definiert, um die Themenbereiche Energieeffizienz, thermische und hygienische Behaglichkeit abzudecken. Dabei erfolgt die Betrachtung der thermischen Behaglichkeit im Rahmen der Raumklimabeurteilung bezüglich der allgemeinen thermischen Behaglichkeit (predicted mean vote, PMV) und der lokalen Behaglichkeit aufgrund von Zugluft (draught risk, DR). Für die hygienische Behaglichkeit sind CO₂-Konzentration und CO₂-Anstieg zur Berücksichtigung der Luftqualität entscheidend. Mit der CO₂-Konzentration, als Maß der Luftverunreinigung durch den Menschen, wird damit die Hauptbelastung der Raumluft abgedeckt. Bezüglich der Energieeffizienzbetrachtung wird eine Vereinfachung heran gezogen, sodass anstatt der über einen längeren Zeitraum und nachwirkend ersichtliche Energiebilanz der direkte Nutzereingriff berücksichtigt wird. Dabei definiert sich der Nutzereingriff über entstehende Abweichungen von der optimierten Regelung.

Mit den Entscheidungskriterien der Energieeffizienz und Behaglichkeit werden in gewissem Maß widersprüchliche Themen in Zusammenhang gestellt. Ziel ist es entsprechend den Anforderungen eine optimale Kombination, über die Gewichtung der Kriterien zu erzielen. Insbesondere bei der Auslegung der hygienischen Behaglichkeit ist darauf zu achten, dass der Nutzer keine zuverlässige Wahrnehmung für die Raumluftqualität hat. Aufgrund von Adaption und undifferenzierter Wahrnehmung

der hygienischen Behaglichkeit ist diese für den sich im Raum befindenden Nutzer schwer nach zu vollziehen. Schnelle Änderungen der Luftqualität sind zwar gut wahrzunehmen, jedoch lässt sich eine schleichende Verschlechterung der Luft nur im Vergleich zu einer anderen Luftqualität bemerken. Damit ist im Bereich der hygienischen Behaglichkeit zwar ein größerer Spielraum möglich, jedoch nimmt auch die Bedeutung der Regelung zu. Denn dem Nutzer kann eine gute Luftqualität geboten werden, noch bevor er einen Mangel feststellt. Ein weiteres Kriterium der hygienischen Behaglichkeit wird mit der außenluftgeführten Lüftung deutlich und so können extreme Außenlufttemperaturen zur Einschränkung von Energieeffizienz und thermischer Behaglichkeit beitragen.

Energieniveaus

Die Regelung baut auf einer Differenzierung in unterschiedliche Energieniveaus auf, die in Anlehnung an VDI 3813-2 (7) entsprechend den Nutzungsanforderungen in Bereitschaftsniveau, Absenkniveau und Komfortniveau unterschieden werden. Wesentliche Ausgabewerte sind hierbei Sollwertvorgabe der Raumtemperatur und die Gewichtung der Entscheidungskriterien, welche die Bereiche Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit, sowie thermische und hygienische Behaglichkeit abdecken. Im Komfortniveau kann der Nutzer außerdem die optimierte Gewichtungsvorgabe manuell, seinen persönlichen Ansprüchen entsprechend, variieren.

Die unterschiedliche Gewichtung der Entscheidungskriterien liegt in den Anforderungen des jeweiligen Energieniveaus begründet. Sodass die Anwesenheit von Personen das eigentliche Bestreben der energieeffizienten Regelung und ihre Bedeutung, zugunsten des Behaglichkeitsempfindens, zurück stellt.

Lüftungsvarianten

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Fassadenregelung liegt in der Auslegung der möglichen Lüftungskonzepte. Dabei wird zwischen natürlicher und mechanischer Lüftung, sowie der kombinierten Hybridlüftung unterschieden. Die Auswahl der Lüftungsvarianten, sowie die Auslegung von Volumenstrom und Temperatur der Zuluft sind von der Lüftungsfunktion und den thermischen Rahmenbedingungen abhängig. Der Lüftungsvorgang dient in erster Linie dem Luftaustausch und ist darüber hinaus für die zusätzliche Temperierung der Raumlufttemperatur im Behaglichkeitsniveau und die natürliche Kühlung verantwortlich.

Die entscheidenden Kriterien für die Auslegung des Volumenstroms sind die aktuelle CO₂-Konzentration und die Raumtemperatur oder Außentemperatur, bezüglich der natürlichen Kühlung im Sommerfall. Dabei wird die Außentemperatur oft als Auslegungsgröße vorgezogen, denn sie ist über Messstationen direkt verfügbar, wirkt auf alle Gebäudetypen gleichermaßen und wird von Nutzern unterschiedlicher Gebäude gleich wahrgenommen.

Die Differenzierung zwischen natürlicher und mechanischer Lüftung besteht in dem Bedarf eines zusätzlichen mechanischen Antriebs oder Temperierung der Zuluft und der gewünschten Nutzung der Wärmerückgewinnung. Mit der Hybridlüftung wird eine Kombination aus natürlicher und mechanischer Lüftung möglich, indem zwischen Zuluft und Abluft differenziert wird.

6.2 Thermische Behaglichkeit als Regelgröße

In Abbildung 6.2 wird ein Einblick in die Vielfalt der Einflussfaktoren der thermischen Behaglichkeit gegeben. Dabei werden die Einflussfaktoren zum Einen in ihrer Messbarkeit und Belegbarkeit und zum Anderen in ihrer Auswirkung auf die Wahrnehmung unterschieden. Die Wirkung der Faktoren auf einzelne Personen kann jedoch sehr unterschiedlich ausfallen und ist damit, vergleichbar mit Wahrnehmung und Reaktion des Einzelnen, nur ansatzweise vorherzusehen. Im Umgang mit vorhandener Ungenauigkeit, Annahmen und unscharfem Wissen bietet sich die Anwendung der Fuzzy-Control-Methodik bei der Ermittlung von Behaglichkeit und Nutzerakzeptanz, sowie der anschließenden Einbindung in die Regelung, an. Ein weiteres Vorteil der Fuzzy-Logik ist die verbale Formulierung der Wechselwirkungen und Zusammenhänge, die in der Definition der Regeln zum Ausdruck kommt und die menschliche Wahrnehmung gut nachempfinden. Die Beurteilung der Behaglichkeit stellt dabei einen Teilaspekt dar, um die Raumregelung aus Sicht des Menschen zu optimieren.

Wesentliche Kriterien der thermischen Behaglichkeit stellen Bekleidungsisolation, Aktivitätsgrad und operative Raumtemperatur dar. Somit wird bei gleich bleibender Bekleidung und Aktivität über den Tag die Behaglichkeitswahrnehmung vor allem durch Temperaturänderungen beeinflusst. Ein behagliches Raumklima definiert sich dabei über auftretende Abweichungen des definierten Behaglichkeitsbereiches. Sowohl durch Überschreitungen aufgrund hoher Wärmegewinne als auch durch Unterschreitungen bei kaltem Lufteintrag.

Aussagen zu Auswirkungen der Sollwertvorgabe von Raumtemperatur und Zuluft-Volumenstrom auf das Behaglichkeitsempfinden gründen sich dabei auf Ergebnisse vorausgehender Simulationsanalysen. Ein wesentliches Einflusskriterium liegt neben dem absoluten Temperaturverlauf in der mittleren Raumtemperatur, sodass im Mittel niedrige Temperaturen, nahe der unteren Behaglichkeitsgrenze, schneller zu Unterschreitungen des Behaglichkeitsbereiches führen. Dagegen trägt ein Anstieg der mittleren Raumtemperatur bei höherem Heizenergiebedarf zur größeren Akzeptanz des Raumklimas beim Nutzer bei.

Kurzweilige Erhöhung oder Senkung der Temperatur wirken sich dagegen weder auf den Energiebedarf noch auf die Behaglichkeit erheblich aus.

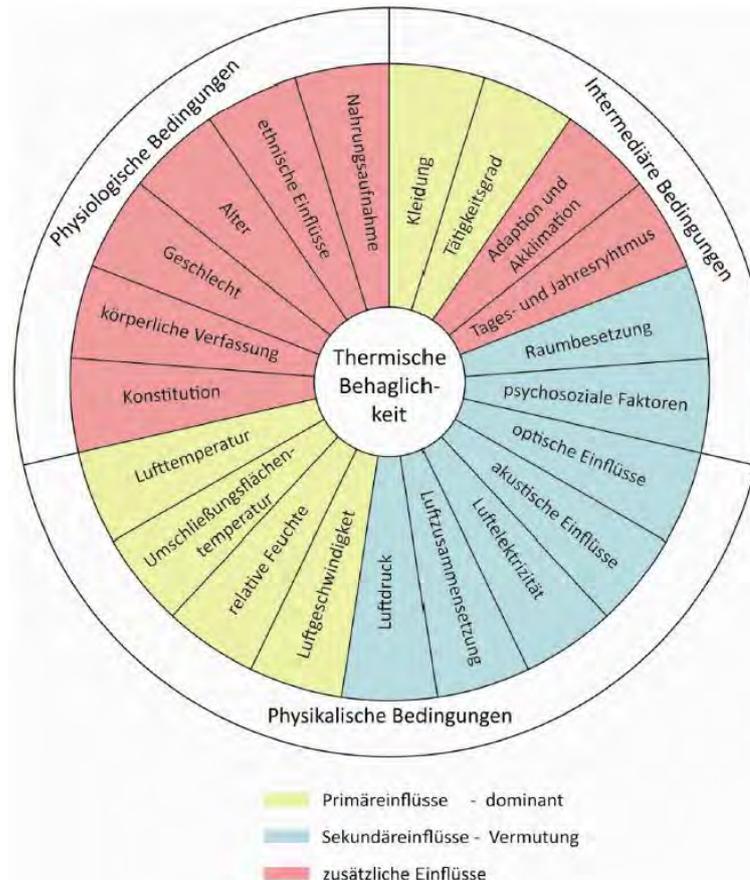


Abbildung 6.2: Einflüsse der thermischen Behaglichkeit.

Im Vergleich zum oftmals trägen Heizvorgang wirken sich Änderungen im Bereich der Volumenstrom-Sollwertvorgabe wesentlich stärker aus. So bewirken geringe Volumenströme allgemein eine Reduzierung des Zugluftrisikos. Dagegen wird bei warmen Raumtemperaturen ein hoher Luftwechsel vom Nutzer bevorzugt. Diese Empfindung ist durch eine erhöhte Wärmeabgabe an der Hautoberfläche bedingt. Mit einer kontrollierten Raumlüftung wird es damit möglich auf situationsbedingte Bedürfnisse einzugehen und extreme Einschränkungen, wie sie beim Stoßlüften und kalter Außenluft auftreten, zu vermeiden.

Die Berücksichtigung der Behaglichkeit in der Raumregelung dient dazu, neben der reinen Temperatur ebenfalls die Empfindung des Nutzers über Bekleidung und Aktivität zu berücksichtigen. Die Berücksichtigung der Nutzerentscheidung eine Wahl zwischen Behaglichkeit und Energieeffizienz zu treffen, erhöht zudem die Nutzerakzeptanz.

Bezüglich der Fassadenregelung, insbesondere der Lüftungsregelung ist neben der allgemeinen thermischen Behaglichkeit ebenfalls die lokale Behaglichkeit aufgrund von Zugluftrisiko durch lokale Luftbewegung zu berücksichtigen.

6.3 Regelungsoptimierung

Mögliche Auswirkungen des veränderlichen Außenklimas auf Ansprüche an das Raumklima und Beeinflussung der Wahrnehmung sind schwer nachzuvollziehen. Jedoch können diese zumindest durch die Anpassung der Bekleidungsisolation berücksichtigt werden und damit in die Behaglichkeitswahrnehmung einfließen.

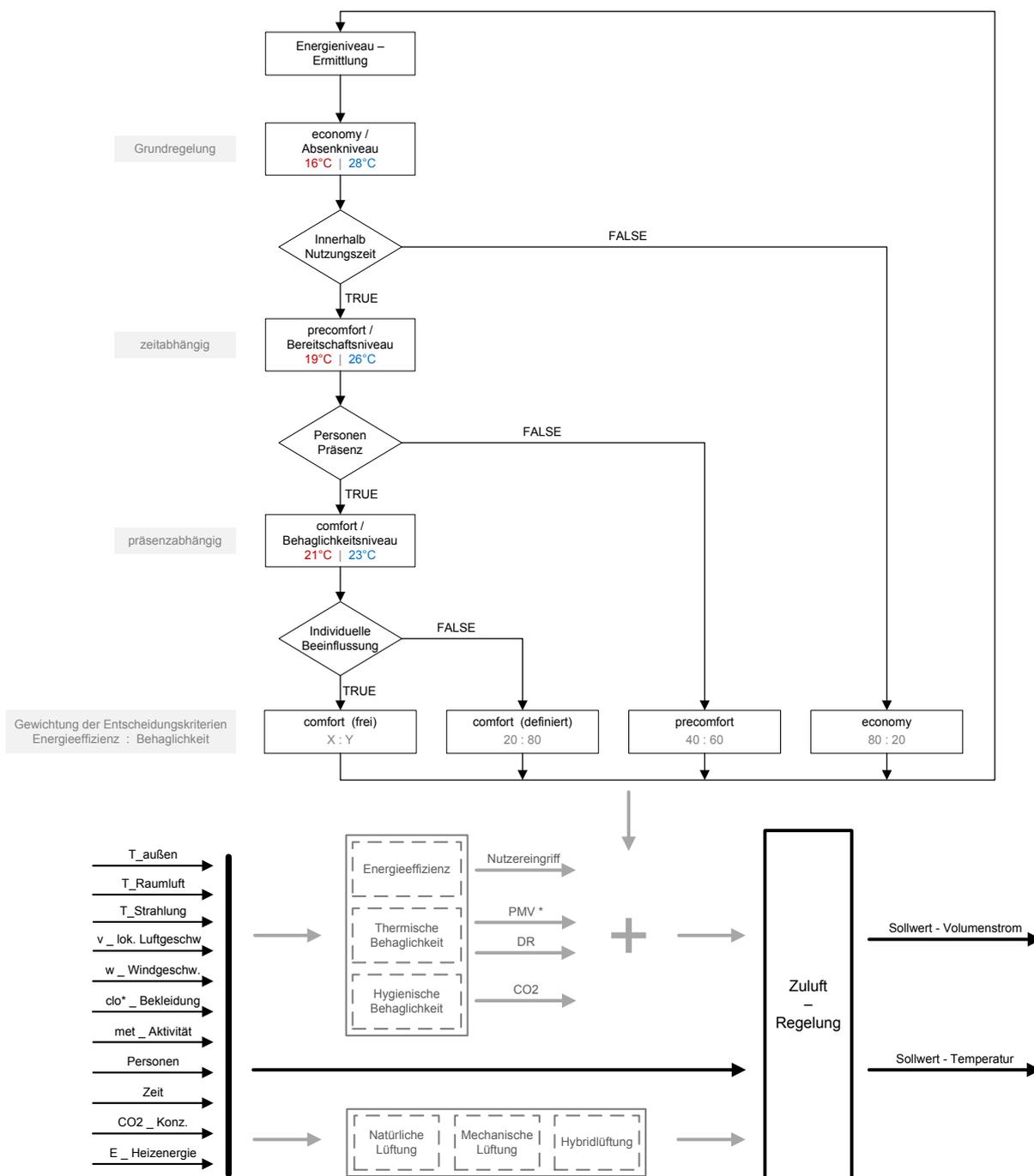


Abbildung 6.3: Ablaufdiagramm der optimierten Regelung.

Wesentliche Eingangsgrößen für die Ermittlung der optimalen Sollwerte Volumenstrom und Temperatur der Zuluft sind physikalische Werte aus den Bereichen Außenklima und Raumklima. Die Wechselwirkung zwischen Nutzer und Raum beeinflusst außerdem die Sollwert-Ermittlung. Dabei greift der Nutzer zum einen aktiv in die Regelung ein und zum Anderen erfolgt ein passiver Informationsaustausch in Form von Wärmefluss und durch die ununterbrochene Wahrnehmung.

Ein weiteres wesentliches Kriterium der Regelung ist die Trägheit der Flächentemperierung, mit einer zu langsamen Reaktionsfähigkeit für schnelle Laständerungen. Aus diesem Grund wird im Behaglichkeitsniveau bei häufigen Laständerungen die Flächentemperierung durch eine Zulufttemperierung ergänzt. Damit kann das Raumvolumen in kurzer Zeit und ohne großen Aufwand auf die gewünschte Temperatur gebracht werden. Außerdem bietet sich für die Flächenelemente die Anwendung eines optimierten Start/Stop-Mechanismus an. Mit dieser Maßnahme kann die notwendige Vorlaufzeit zur Erbringung der geforderten Leistung berücksichtigt und gewährleistet werden. Das zeitabhängige Schalten ermöglicht ein gleitendes energieoptimiertes Ein-/ Ausschalten unter Berücksichtigung bestimmter Kriterien, um dadurch den optimalen Wechsel zwischen zwei Zuständen zu gewährleisten.

Abbildung 6.3 stellt in Ergänzung zu Abbildung 6.1 eine detaillierte Ausführung des optimierten Regelungsablaufs zur Sollwert-Ermittlung dar. Neben der Auflistung der Eingangsgrößen sind die Entscheidungskriterien mit Kennwerten und einer möglichen Gewichtungverteilung abgebildet. Die entscheidende Aussage der Gewichtungverteilung liegt in der Differenzierung der Situation und dem damit verbundenen Priorisieren einzelner Entscheidungskriterien. Das Absenkniveau (economy) stellt im Grunde keine Anforderungen an die Behaglichkeit oder Nutzerakzeptanz, da in diesem Zeitraum von keiner Personenbelegung ausgegangen wird. Im Bereitschaftsniveau (precomfort) steigt die Bedeutung der Behaglichkeit an, um den Raum für eine mögliche Belegung vorzubereiten. Bezüglich der hygienischen Behaglichkeit sollte zu diesem Zeitpunkt die geforderte Luftqualität gewährleistet werden, damit eintretende Nutzer keine Einschränkung erfahren. Das Behaglichkeitsniveau (comfort) unterscheidet zwischen der Gewichtungsvorgabe (comfort - definiert) und der Beeinflussung durch den Nutzer (comfort – frei). Wobei die Grenzen für den individuellen Eingriff so gewählt werden, dass die Behaglichkeit stets höher priorisiert wird.

Um eine effektive Regelungsoptimierung zu ermöglichen ist eine vorausschauende Berücksichtigung zukünftiger Ereignisse notwendig. Dadurch können bei einem geregelten Arbeitsrhythmus zum Beispiel Lüftungsvorgänge auf bevorstehende Pausen verlegt werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die ursprüngliche Bedeutung der Fassade, Abgrenzung zum Außenraum mit Schutzfunktion sowie ästhetische Gestaltung und Repräsentation nach außen hin, wird zunehmend durch die Integration technischer Systeme verändert. Dies bedeutet, dass die Fassade eine Veränderung vom passiven Bauelement zur aktiven Komponente der Gebäudetechnik durchläuft, indem vermehrt flexible und reaktionsfähige Systeme der Beleuchtung, Lüftung, Heizung und Kühlung, sowie des Sonnen- und Blendeschutzes in das Fassadensystem integriert werden.

Wichtig für einen zuverlässigen und energieeffizienten Anlagenbetrieb ist das aufeinander abgestimmte Zusammenspiel der verschiedenen Systeme untereinander innerhalb der Fassade, aber auch im Wechselspiel mit dem Raum und den im Raum gewünschten Nutzungsanforderungen. Dies kann zusammengefasst als Raum- und Fassadenautomation bezeichnet werden. Bisher gab es hierfür keine standardisierten Automatisierungsstrategien.

In diesem Forschungsprojekt „Automatisierung innovativer Fassadensysteme mit integrierter technischer Gebäudeausrüstung unter Berücksichtigung von Behaglichkeitsaspekten – AUTIFAS“ wurde diese Thematik anhand detaillierter Untersuchungen eines Testraums mit Fassadenelement untersucht. Ein Schwerpunkt lag dabei in der nutzergerechten Verknüpfung von Einzelsystemen, um durch die Automatisierung möglichst standardisierte und energieeffiziente Funktionsabläufe zu gewährleisten.

Das primäre Ziel dieses Forschungsprojekts war die Entwicklung einer modularen Automationsbibliothek. Die Automationsbibliothek für die Fassadenautomation wurde exemplarisch für die im Vorhaben untersuchte Testfassade inklusive der versorgungstechnischen Einrichtungen zum Heizen, Kühlen, Lüften und Beleuchten entworfen und auf einer Automationsstation umgesetzt, getestet und ausführlich dokumentiert. Die bekannten Regelstrategien und Bibliotheksmodule der Raumklimatik dienten hierbei als Grundlage für die Entwicklung der modularen Automationsbibliothek für die Fassadenautomation. Die Umsetzung erfolgte gemäß den Energieeffizienzklassen nach DIN EN 15232, der Funktionsdarstellung nach VDI 3813 / VDI 3814 und den Automations Sprachen nach IEC 61131.

Neben dem Entwurf und der Umsetzung der Automationsbibliothek und der Automatisierung des exemplarischen Fassadenteststands wurden Untersuchungen zu übergeordneten Regelstrategien, in welche neben Energieeffizienzkriterien auch die Bewertung der Behaglichkeit eingeflossen ist, durchgeführt und an Hand von Simulationsmodellen umgesetzt und getestet.

Für die detaillierte Situationsanalyse sowie für die Entwicklung optimierter Regelungsstrategien wurden ergänzend verschiedene Simulationsuntersuchungen herangezogen. Die Simulationsmethoden umfassen u.a. CFD-Strömungssimulationen zur Untersuchung der Zuluft-Strömung beim Eintritt und im weiteren Verlauf im Raum sowie thermische Raumsimulationen zu Regelungskonzepten.

Die ergänzende Auseinandersetzung mit Kennfelder- und Kennlinienmodellen, von der Entwicklung bis zur Anwendung, zeigte, dass sich dadurch quantitative Zusammenhänge bei Komponenten und Teilsystemen gut abbilden lassen, um diese bei fehlender Messeinrichtung der Regelung vorzugeben. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass Kennfelder- und Kennlinienmodelle in der Darstellung des Informationsgehalts auf die konkreten Anlagen-/ Fassadenkonstruktion begrenzt sind und Abhängigkeiten von mehreren Einflussfaktoren für allgemeine Zusammenhänge für beliebige Fassadenkonstruktionen nur eingeschränkt wiedergegeben werden können.

Weitergehende Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der integrierten Fassadenautomation sollten sich neben der kontinuierlichen Erweiterung der Automationsbibliothek mit übergeordneten Steuer- und Regelstrategien beschäftigen, die den Einsatz und die Koordination der verschiedenen gebäudetechnischen Systeme an Hand verschiedener Gütekriterien wie Behaglichkeits- und Energieeffizienzkriterien optimieren. Hierbei sind allerdings neben experimentellen Untersuchungen noch geeignete Simulationsmodelle zu entwickeln und zu validieren. Neben den üblicherweise eingesetzten mathematisch-physikalischen Simulationsmodellen hat sich durch die Untersuchungen in diesem Vorhaben herausgestellt, dass die in diesem Vorhaben ansatzweise untersuchten Kennfelder- und Kennlinienmodelle eine gute Alternative bzw. Ergänzung zur physikalisch-theoretischen Modellbildung darstellen können.

Literaturverzeichnis

1. *VDI 3814-1: Gebäudeautomation (GA) - Systemgrundlagen*. Berlin : Beuth-Verlag, November 2011.
2. *DIN EN ISO 16484: Systeme der Gebäudeautomation (GA)*. Berlin : Beuth Verlag.
3. *DIN EN 15232: Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebädemanagement*. Berlin : Beuth-Verlag, April 2012.
4. *VDI 3813: Gebäudeautomation (GA) - Grundlagen der Raumautomation; Blatt 1: Grundlagen, Blatt 2: Funktionen*. Berlin : Beuth-Verlag, Mai 2011.
5. *DIN 66001: Sinnbilder für Datenfluss- und Programmablaufpläne*. Berlin : Beuth-Verlag, September 1966.
6. *DIN V 18599-11: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 11: Gebäudeautomation*. Berlin : Beuth Verlag, Dezember 2011.
7. *VDI 3813-2. Gebäudeautomation (GA) - Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen)*. Berlin : Beuth-Verlag, Mai 2011.
8. *IEC 61131: Speicherprogrammierbare Steuerungen*. Berlin : Beuth Verlag, Dezember 2009.
9. *VDI 3813-3: Gebäudeautomation - Anwendungsbeispiele für Raumtypen und Funktionsmakros in der Raumautomation*. September 2012 (Entwurf).
10. *Hydro Building Systems GmbH*. Ulm : s.n., 2005.

11. **Bäumler, Armin.** Theoretische und experimentelle Untersuchungen zu integrierten Fassadensystemen. *Master Thesis*. Biberach : Hochschule Biberach, 2007.
12. **Liddament, M W.** *A Guide to Energy Efficient Ventilation* . Warwick UK : International Energy Agency , 1996.
13. **Kley, Christian und Hasert, Anita.** *Modellierung und Untersuchung des Wicona-Fassadenteststand der HBC mit CFD*. Biberach : s.n., 2011. Studienarbeit Strömungssimulation.
14. **Hasert, Anita.** Behaglichkeit als Regelgröße - Erweiterung eines Raummodells zur Berücksichtigung der Behaglichkeit als Regelgröße und Analyse der Regelungsoptimierung. *Master Thesis*. Biberach : Hochschule Biberach, November 2011.
15. [Online] http://www.greier-greiner.at/hc/sph_dreieck.htm.

Nomenklatur

Formelzeichen

A	m^2	Fläche
CO_2	ppm	Kohlendioxidkonzentration
c_p	$kJ/kg\ K$	Wärmekapazität
ε	-	Lüftungseffektivität
ε_{th}	-	thermische Lüftungseffektivität
g	-	Gesamtenergiedurchlassgrad
H	lux	Helligkeit
K_p	-	Proportionalitätsfaktor der P-Regelstrecke
\dot{m}	kg/s	Massenstrom
n_{50}	$1/h$	Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz
\bar{n}	$1/h$	zu erwartende mittlere Luftwechselrate
Δp	Pa	Druckdifferenz
q_{50}	m^3/hm^2	Luftdurchlässigkeit der Hülle bei 50 Pa Druckdifferenz
q_i	W/m^2	sekundärer Wärmeabgabegrad nach innen
\dot{Q}_{WT}	W	Heizleistung des Wärmeübertragers
ρ	kg/m^3	Dichte
S_a	°	Sonnenstand Azimut
S_e	°	Sonnenstand Elevation
T_n	s	Nachstellzeit
ϑ, T	°C	Temperatur
ϑ_{ab}	°C	Ablufttemperatur
ϑ_i	°C	Innentemperatur

Nomenklatur

ϑ_o	°C	Außentemperatur
ϑ_{WT}	°C	Temperatur des Wärmeübertragers
ϑ_{zu}	°C	Zulufttemperatur
$\Delta\vartheta$	K	Temperaturdifferenz
τ_e	l	Strahlungstransmissionsgrad
v	m/s	Geschwindigkeit
\dot{V}	m ³ /h	Volumenstrom
$\dot{V}_{Leckage}$	m ³ /h	Leckagerate
y	%	Stellgröße Regler
w	m/s	Windgeschwindigkeit

Abkürzungen

AS	Automationsstation
CFD	Computational Fluid Dynamics (numerische Strömungsmechanik)
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
DDC	Direct Digital Control
GA	Gebäudeautomation
GA-S	Gebäudeautomations-Schema
GA-FL	Gebäudeautomations-Funktionsliste
HLK	Heizung, Lüftung, Klimatisierung
LON	Local Operating Network
MSR	Messen, Steuern, Regeln
RA	Raumautomation
RA-FL	Raumautomations-Funktionsliste
RA-S	Raumautomations-Schema
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TGA	Technische Gebäudeausrüstung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1:	Planungsmethodik.	12
Abbildung 3.2:	Funktionsblock für „Präsenzerkennung“ mit SR_MDS_Solar_315 Multisensor.	21
Abbildung 3.3:	Funktionsblock für „Lufttemperaturmessung“ mit PT 100-Klemme KL 3202.	22
Abbildung 3.4:	Funktionsblock für Lufttemperaturmessung mit Thermokon SR65.	23
Abbildung 3.5:	Kennlinie zur Berechnung der Temperatur aus dem Binärwert. .	24
Abbildung 3.6:	Funktionsblock für Lufttemperaturmessung mit Thermokon SR04rH.	25
Abbildung 3.7:	Funktionsblock für Lufttemperaturmessung mit Thermokon SR04CO2.	26
Abbildung 3.8:	Funktionsblock für „Lufttemperaturmessung“ mit Thermokon SR04PST.	27
Abbildung 3.9:	Funktionsblock für Helligkeitsmessung mit Thermokon SR_MDS_Solar_315.	28
Abbildung 3.10:	Funktionsblock für Luftqualitätsmessung mit Thermokon SR04CO2.	29
Abbildung 3.11:	Funktionsblock für Luftfeuchtemessung mit Thermokon SR04rH.	30
Abbildung 3.12:	Funktionsblock für „Dali Lichtaktor“.	31

Abbildung 3.13:	Funktionsblock für „Sonnenschutzaktor“.	33
Abbildung 3.14:	Funktionsblock für „Temperaturregelung“.	35
Abbildung 3.15:	Funktionsblock Aktorfunktion Ventilator.	37
Abbildung 3.16:	Funktionsblock der Aktorfunktion „Klappe“.	39
Abbildung 3.17:	Funktionsblock für „Licht stellen“.	40
Abbildung 3.18:	Verhalten der Bedien- und Anzeigefunktion „Licht stellen“.	41
Abbildung 3.19:	Funktionsblock der Bedien- und Anzeigefunktion „Sollwertvorgabe“.	42
Abbildung 3.20:	Funktionsblock für „Präsenz melden“ mit Thermokon SR04PST.	43
Abbildung 3.21:	Funktionsblock für Bedien- Anzeigefunktion „Ventilatorstufe“ mit Thermokon SR04PST.	44
Abbildung 3.22:	Funktionsblock für die Bedien- und Anzeigefunktion „Sollwert Temperatur“ mit Thermokon SR04PST.	45
Abbildung 3.23:	Funktionsblock für die Bedienfunktion „Taster 2-fach“ mit Thermokon SR04PST.	46
Abbildung 3.24:	Funktionsblock für die Anwendungsfunktion „Belegungsauswertung“.	47
Abbildung 3.25:	Funktionsblock für „Konstantlichtregelung“.	49
Abbildung 3.26:	Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Prioritätssteuerung“.	52
Abbildung 3.27:	Funktionsblock für „Sonnensautomatik“.	54
Abbildung 3.28:	Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Lamellennachführung“.	56
Abbildung 3.29:	Funktionsblock für die Anwendungsfunktion „Thermoautomatik“.	59
Abbildung 3.30:	Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Energieniveauwahl“.	62
Abbildung 3.31:	Sollwerte aller Energieniveaus nach VDI2813-2 (7).	63

Abbildung 3.32:	Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Sollwertermittlung“.	64
Abbildung 3.33:	Kennlinie Sollwertverstellung durch Sommerkompensation.....	65
Abbildung 3.34:	Übergangsbedingungen/Funktionswahl nach VDI3813-2 (7). ...	66
Abbildung 3.35:	Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Funktionswahl“.....	67
Abbildung 3.36:	Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Temperaturregelung“.	69
Abbildung 3.37:	Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Luftqualitätssteuerung/-regelung“.....	71
Abbildung 3.38:	Funktionsblock der Anwendungsfunktion „Nachtkühlung“.....	73
Abbildung 3.39:	Funktionsblock der Funktionserweiterung „Sonnenstandsberechnung“.....	75
Abbildung 3.40:	Funktionsblock der Funktionserweiterung „Gedämpfte Außentemperatur“.....	77
Abbildung 3.41:	Makroübersicht nach dem Richtlinienentwurf VDI 3813-3 (9)...	78
Abbildung 4.1:	Außenansicht und Querschnitt der Fassade (10).....	82
Abbildung 4.2:	Explosionszeichnung des Fassadenelements (10).....	82
Abbildung 4.3:	Außenansicht der Testfassade.....	83
Abbildung 4.4:	Schematische Darstellung der Lüftungsanlage (RI-Schema).....	84
Abbildung 4.5:	Querschnitt des Fassadenelements.....	84
Abbildung 4.6:	Aufbau der Wände und des Bodens (11).....	85
Abbildung 4.7:	Innenansicht des Testraums.....	86
Abbildung 4.8:	Natriumdampflampen (links), DALI-Leuchten (rechts).....	86
Abbildung 4.9:	Hydraulisches System zur Kaltwasserversorgung des Fassadenteststands.....	88

Abbildung 4.10:	Hydraulische Anbindung der Verbraucher in das Heiz-/Kühlsystem.	89
Abbildung 4.11:	Automatisierungstechnisches Konzept für die Testfassade inkl. Testraum.	92
Abbildung 4.12:	Sequenz Kühlen / Heizen nach VDI 3813-2 (7).....	94
Abbildung 4.13:	Zustandsgraph Heizen/Kühlen.	96
Abbildung 4.14:	Ablaufdiagramm Heizen/Kühlen.	97
Abbildung 4.15:	Ablaufdiagramm Präsenz.	97
Abbildung 4.16:	Ablaufdiagramm Zeitprogramm.....	98
Abbildung 4.17:	Ablaufdiagramm Sollwertermittlung.	98
Abbildung 4.18:	Ablaufdiagramm Heizfall.....	100
Abbildung 4.19:	Ablaufdiagramm Kühlfall.	102
Abbildung 4.20:	Kennlinie Ventilator Drehzahl in Abhängigkeit des CO ₂ -Gehalts.	103
Abbildung 4.21:	Ablaufdiagramm für CO ₂ – abhängige Volumenstromregelung.	104
Abbildung 4.22:	Ablaufdiagramm für Steuerung der Natürlichen Lüftung.....	105
Abbildung 4.23:	Ablaufdiagramm für Jalousiesteuerung.	107
Abbildung 4.24:	Ablaufdiagramm für Konstantlichtregelung.	109
Abbildung 4.25:	Automationsschema Hydraulik – Teil 1.....	111
Abbildung 4.26:	Automationsschema Hydraulik – Teil 2.....	112
Abbildung 4.27:	Funktionsliste Hydraulik – Teil 1.....	113
Abbildung 4.28:	Funktionsliste Hydraulik – Teil 2.....	114
Abbildung 4.29:	Legende Ein- und Ausgänge.	116
Abbildung 4.30:	Funktionsmakro A-2-3 nach VDI 3813-3 (Entwurf) (9).....	116

Abbildung 4.31:	Automationsschema für Raum und Fassade nach VDI 3813-3.	119
Abbildung 4.32:	Funktionsliste für Raum und Fassade nach VDI 3813-3.	120
Abbildung 4.33:	Wirkungsweise verschiedener Funktionsbausteine auf das Energieniveau, die Funktion und den Sollwert	121
Abbildung 4.34:	Funktionsbaustein „Betreiberautomation“	122
Abbildung 4.35:	Ablaufdiagramm “Betreiberautomation“	123
Abbildung 4.36:	Ablaufdiagramm „Energieniveauwahl“	124
Abbildung 4.37:	Zustandsgraph des Funktionsbaustein „Funktionswahl“	125
Abbildung 4.38:	Regelung der Belüftung nach Luftqualität im Struktureditor ...	125
Abbildung.4.39:	Ablaufdiagramm für CO ₂ -abhängige Luftqualitätsregelung. ...	126
Abbildung.4.40:	Ablaufdiagramm für „Nachtkühlung“	127
Abbildung 4.41:	„Nachtkühlung“ und die „Aktorfunktion_Klappe“ im Struktureditor.....	127
Abbildung 4.43:	Ablaufdiagramm für den Funktionsbaustein „Regelung_Heizen“	128
Abbildung 4.44:	Ablaufdiagramm für den Funktionsbaustein „Regelung_Heizen_Trox“	130
Abbildung 4.45:	Ablaufdiagramm für den Funktionsbaustein „Regelung_Kuehlen“	129
Abbildung 4.46:	Ablaufdiagramm für den Funktionsbaustein „Regelung_Kuehlen_Trox“	131
Abbildung 5.1:	Temperaturverlauf über einen Gegenstrom Wärmeübertrager (Heizfall)	135
Abbildung 5.2:	Volumenströme der Zu- und Abluft in Abhängigkeit der Drehzahl.	135
Abbildung 5.3:	Leistungsaufnahme der Ventilatoren in Abhängigkeit der Drehzahl.	136

Abbildung 5.4:	$\alpha \cdot A$ Wert in Abhängigkeit der Ventilator Drehzahl.	136
Abbildung 5.5:	Benutzeroberfläche des einfachen Lüftungsanlagenmodells. ...	137
Abbildung 5.6:	Kennfeld des inneren Wärmeübertragers.	138
Abbildung 5.7:	Kennfeld für die maximale Heizleistung, die das Lüftungsgerät zur Raumheizung beitragen kann.	139
Abbildung 5.8:	Testraum während der Luftdurchlässigkeitsmessungen: im Türrahmen eingebautes Prüfgerät (links), Holzpaneel des dezentralen Lüftungsgerätes geschlossen und abgeklebt (Mitte), Holzpaneel geöffnet (rechts).	142
Abbildung 5.9:	Konzentrationsabnahme einer Tracergasmessung bei 75% Klappenöffnung, Luftwechselrate $n = 3,4 \text{ h}^{-1}$, Temperaturdifferenz $\Delta \vartheta = 7,86 \text{ K}$ und Windgeschwindigkeit $w = 2,07 \text{ m/s}$	147
Abbildung 5.10:	Einströmung der Zuluft bei mechanischer Lüftung und unterschiedlicher Zulufttemperatur im Rauchversuch.	149
Abbildung 5.11:	CFD-Raummodell – Fassadenteststand mit dezentralem Lüftungsgerät Links: Raumvolumen _ Rechts: Rechengitter. ..	150
Abbildung 5.12:	Strömungsverlauf und Luftgeschwindigkeit im dezentralen Lüftungsgerät (Quer) – mechanische Lüftung, Winter; $90 \text{ m}^3/\text{h}$	151
Abbildung 5.13:	Strömungsverlauf und Luftgeschwindigkeit im dezentralen Lüftungsgerät und im Raum – mechanische Lüftung, Winter; $90 \text{ m}^3/\text{h}$	152
Abbildung 5.14:	Raumlufttemperatur – mechanische Lüftung, Winter; $90 \text{ m}^3/\text{h}$.	152
Abbildung 5.15:	einströmende Zuluft - Strömungsgeschwindigkeit und Lufttemperatur.	153
Abbildung 5.16:	Geschwindigkeit und Verlauf der einströmenden Zuluft.	155
Abbildung 5.17:	Strömungsverlauf und Luftgeschwindigkeit – natürliche Lüftung, Winter; -12°C	157
Abbildung 5.18:	Raumlufttemperatur – natürliche Lüftung, Winter; -12°C	158

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5.19:	Raumlufttemperatur (Höhe: 0,5 m 2,5 m) - natürliche Lüftung, Winter; Links: $\vartheta_o = -12 \text{ °C}$; Rechts: $\vartheta_o = 10 \text{ °C}$	158
Abbildung 5.20:	Strömungsverlauf und Luftgeschwindigkeit - natürliche Lüftung, Winter $_ 10 \text{ °C}$	159
Abbildung 5.21:	Raumlufttemperatur – natürliche Lüftung, Übergangszeit $_ 10 \text{ °C}$	159
Abbildung 5.22:	Anordnung der Messfühler im und außerhalb des Raums.	165
Abbildung 5.23:	Absorption und Rückreflexion der Solarstrahlung an der Verglasung des Fassadenelements.	166
Abbildung 5.24:	Schematische Darstellung des Messaufbaus für die Bestimmung des g° - Wertes der Fassade.	167
Abbildung 5.25:	Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit der Raumtiefe und des Lamellenwinkels.	168
Abbildung 5.26:	Leistung pro Quadratmeter in Abhängigkeit der Raumtiefe und des Lamellenwinkels.	169
Abbildung 5.27:	Leistung pro Quadratmeter in Abhängigkeit der Raumtiefe und des Lamellenwinkels.	170
Abbildung 6.1:	Modulare Struktur der Regelungsoptimierung.	172
Abbildung 6.2:	Einflüsse der thermischen Behaglichkeit.	175
Abbildung 6.3:	Ablaufdiagramm der optimierten Regelung.	176

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1:	Funktionen mit GA-Effizienzklasse C.	8
Tabelle 3.2:	Funktionen mit GA-Effizienzklasse B.	8
Tabelle 3.3:	Funktionen mit GA-Effizienzklasse A.	9
Tabelle 3.4:	Funktionen mit GA-Effizienzklasse A des Testraums mit integriertem Fassadenelement.	13
Tabelle 3.5:	Zuordnung Funktionen VDI 3813-2 (7) und DIN EN 15232 (3).	16
Tabelle 3.6:	Funktionen nach dem Entwurf der Richtlinie VDI 3813 Blatt 2.	18
Tabelle 3.7:	Parameter Präsenzerkennung -Funktion SR_MDS_Solar_315.	21
Tabelle 3.8:	Parameter der Sensorfunktion „Lufttemperaturmessung“ mit PT 100-Klemme KL 3202.	22
Tabelle 3.9:	Parameter der Sensorfunktion Temperaturmessung mit EnOcean SR65.	23
Tabelle 3.10:	Parameter der Sensorfunktion „Lufttemperaturmessung“ mit Thermokon SR04rH.	25
Tabelle 3.11:	Parameter der Sensorfunktion „Lufttemperaturmessung“ mit Thermokon SR04CO2.	26
Tabelle 3.12:	Parameter der Sensorfunktion „Lufttemperaturmessung“ mit Thermokon SR04PST.	27
Tabelle 3.13:	Parameter der Sensorfunktion „Helligkeitsmessung“ mit Thermokon SR_MDS_Solar_315.	28

Tabelle 3.14: Parameter der Sensorfunktion „Luftqualitätsmessung“ mit Thermokon SR04CO2.....	29
Tabelle 3.15: Parameter der Sensorfunktion „relative Luftfeuchte“ mit Thermokon SR04rH.....	30
Tabelle 3.16: Parameter der Aktorfunktion „DALI-Lichtaktor“.....	32
Tabelle 3.17: Parameter der Aktorfunktion „Sonnenschutzaktor“.....	34
Tabelle 3.18: Parameter der Aktorfunktion für „Stellantriebsaktor“.....	36
Tabelle 3.19: Parameter der Aktorfunktion „Ventilator“.....	37
Tabelle 3.20: Parameter der Aktorfunktion „Klappe“.....	39
Tabelle 3.21: Parameter der Bedien- und Anzeigefunktion „Licht stellen“.....	40
Tabelle 3.22: Parameter der Bedien- und Anzeigefunktion „Sollwertvorgabe“.....	42
Tabelle 3.23: Parameter der Bedien- und Anzeigefunktion „Präsenz melden“.....	43
Tabelle 3.24: Parameter der Bedien- und Anzeigefunktion „Ventilatorstufe“.....	44
Tabelle 3.25: Parameter der Bedien- und Anzeigefunktion „Sollwert Temperatur“ mit Thermokon SR04PST.....	45
Tabelle 3.26: Parameter der Bedienfunktion „Taster 2-fach“ mit Thermokon SR04PST.....	46
Tabelle 3.27: Parameter der Anwendungsfunktion „Belegungsauswertung“.....	47
Tabelle 3.28: Parameter der Anwendungsfunktion „Konstantlichtregelung“.....	49
Tabelle 3.29: Parameter der Anwendungsfunktion „Prioritätssteuerung“.....	52
Tabelle 3.30: Parameter der Anwendungsfunktion „Sonnensautomatik“.....	54
Tabelle 3.31: Parameter der Anwendungsfunktion „Lamellennachführung“.....	56
Tabelle 3.32: Parameter der Anwendungsfunktion „Thermoautomatik“.....	59
Tabelle 3.33: Parameter der Anwendungsfunktion „Energieniveauwahl“.....	62
Tabelle 3.34: Parameter für die Anwendungsfunktion „Sollwertermittlung“.....	64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.35: Parameter der Anwendungsfunktion „Funktionswahl“.....	67
Tabelle 3.36: Parameter der Anwendungsfunktion „Temperaturregelung“.....	69
Tabelle 3.37: Parameter der Anwendungsfunktion „Luftqualitätssteuerung/- regelung“.....	71
Tabelle 3.38: Parameter der Anwendungsfunktion „Nachtkühlung“.....	73
Tabelle 3.39: Parameter der Funktionserweiterung „Sonnenstandsberechnung“.....	75
Tabelle 3.40: Parameter der Funktionserweiterung „Gedämpfte Außentemperatur“.....	77
Tabelle 3.41: Makro-Funktionen nach dem Entwurf der Richtlinie VDI 3813 Blatt 3 (9).....	79
Tabelle 4.1: Sensoren und Aktoren.....	87
Tabelle 4.2: Datenpunktliste.....	90
Tabelle 5.1: Randbedingungen für die Simulation.....	138
Tabelle 5.2: Lichte Maße des Testraumes.....	141
Tabelle 5.3: Ergebnisse der Über- und Unterdruckmessung im Testraum bei geschlossenem Holzpaneel und abgeklebten Lüftungsschlitzen.....	143
Tabelle 5.4: Ergebnisse der Über- und Unterdruckmessung im Testraum bei geöffnetem Holzpaneel.....	143
Tabelle 5.5: Ergebnisse der Über- und Unterdruckmessung nach der Revision des Testraumes bei geschlossenem Paneel und abgeklebten Lüftungsschlitzen.....	145
Tabelle 5.6: Ergebnisse der Über- und Unterdruckmessung nach der Revision des Testraumes bei geöffnetem Holzpaneel.....	145
Tabelle 5.7: Ergebnisse der Tracergasmessungen.....	148
Tabelle 5.8: thermische Randbedingungen des Heiz- und Kühlfalls.....	151
Tabelle 5.9: Methodenvergleich der spezifischen Luftwechselrate.....	160

Kontakte: Hochschule Biberach, Karlstr. 11, 88400 Biberach

Prof. Dr.-Ing. Martin Becker	Tel.:	07351/582-253
	Fax:	07351/582-299
	E-Mail:	becker@hochschule-bc.de

Prof. Dr.-Ing. Roland Keonigsdorff	Tel.:	07351/582-255
	Fax:	07351/582-299
	E-Mail:	koenigsdorff@hochschule-bc.de