

Hochschule Biberach  
University of Applied Sciences  
Institut für Gebäude- und Energiesysteme

Kurzbericht

# 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 (BBSR) 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.



Projektleitung:

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

Projektdurchführung:

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

Biberach, Juli 2013

# 1 Ziel der Forschungsaufgabe

In modernen Gebäuden übernehmen integrierte Fassadensysteme zunehmend gebäudetechnische Funktionen wie Heizen, Kühlen, Lüften, Beleuchten und den Sonnen- und Blendschutz. Dezentrale Systeme bieten hierbei Lösungsansätze, um den veränderten Anforderungen der Raumklimatisierung sowie der Nutzerwahrnehmung zu begegnen.

Die Schwierigkeit der Fassaden- und Raumautomation besteht darin, die vielfältigen, zum Teil gegenläufigen oder in Wechselwirkung stehenden Einzelfunktionen Gewerke übergreifend sinnvoll aufeinander abzustimmen. Dabei ist ein sinnvoller Kompromiss zwischen energetischen und nutzungsspezifischen Randbedingungen (z. B. Behaglichkeit, Art und Umfang des Nutzereingriffs) zu erzielen.

In der derzeitigen Planungspraxis werden diese Teilfunktionen üblicherweise separat von verschiedenen Planungsbeteiligten (Fassadenplaner, Lüftungsplaner, Elektroplaner, Heizungsplaner, MSR-Planer) geplant und ausgeführt und daher i.d.R. nur suboptimal aufeinander abgestimmt. Zudem führt dies immer wieder zu Schnittstellenproblemen technischer und organisatorischer Art im Planungs- und Ausführungsablauf eines Bauvorhabens.

Im Vergleich zur klassischen Gebäudeautomation gibt es für Fassadensysteme derzeit noch keine standardisierte Automatisierungsfunktionen und -konzepte. Ein wesentliches Ziel dieses Forschungsvorhabens ist daher die Entwicklung einer modularen Funktionsbibliothek standardisierter Automationsfunktionen sowie darauf aufbauend der Entwurf integrierter Automatisierungsstrategien aus Einzelfunktionen (z. B. Abstimmung von Sonnen-/Blendschutz, Tageslichtnutzung, Kunstlichtregelung sowie natürlicher und mechanischer Lüftung). Dabei soll neben der bedarfs- und nutzergerechte Auslegung durch Abhängigkeiten und Wechselwirkungen der Funktionen ebenfalls Ansprüche der Energieeffizienz und des Behaglichkeitsempfindens berücksichtigt werden. Hierbei sind integrierte Fassadensysteme als möglichst autarke Subsysteme zu betrachten und geeignet in die Raumautomation sowie in die übergeordnete Gebäudeautomation einzubinden.

In diesem Vorhaben sollen darüber hinaus möglichst einfache Modellierungsansätze als Basis für den Entwurf übergeordneter Automatisierungsstrategien untersucht werden, exemplarisch an einem Fassadenteststand der Hochschule Biberach mit einem spezifischen Fassadensystem. Im weiteren Vorgehen wird geprüft, inwieweit sich diese Ergebnisse allgemeingültig auf die Fassadenautomation übertragen lassen und wo Ansätze für die gezielte Weiterentwicklung von Simulationsmodellen durch die Einbindung von Fassadensystem-Modellen bestehen.

## 2 Durchführung der Forschungsaufgabe

Einen wesentlichen Schwerpunkt in der Durchführung des Forschungsvorhabens stellte die Entwicklung einer modularen Automationsbibliothek für die Fassadenautomation, basierend auf bereits bestehenden Richtlinien für die Raum- und Gebäudeautomation gemäß VDI-Richtlinien VDI 3813<sup>1</sup> und VDI 3814<sup>2</sup> dar.

Hierzu wurden Sensor-, Aktor- und Anwendungsfunktionen basierend auf den Raumautomationsfunktionen nach VDI 3813-2, bezogen auf die Fassadenautomation definiert. Dabei ermöglicht die Darstellung von Funktionsblöcken in einer normkonformen Programmiersprache die Anwendung in verschiedenen Umgebungen. Zudem erfolgt eine Darstellung der Eingabe-, Ausgabeinformationen und Parameter in einer tabellarischen Auflistung und Erläuterungen. Abbildung 2.1 zeigt exemplarisch einen Funktionsblock in der Darstellung nach VDI 3813-2 und Tabelle 2.1 zeigt als Ausschnitt die Zuordnung von Funktionen nach VDI 3813-2 mit der in diesem Vorhaben entwickelten „Autifas-Bibliothek“ für Funktionen der Fassadenautomation.

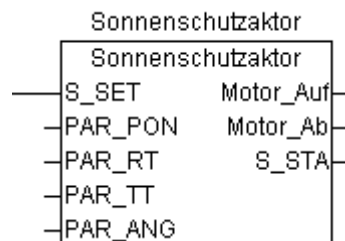


Abbildung 2.1: Automationsfunktion Sonnenschutzaktor

Tabelle 2.1: Zuordnung von Funktionen der Fassadenautomation zu Automationsfunktionen nach VDI 3813-2

VDI 3813-2	Autifas - Bibliothek	Hardware
<b>Funktionen nach dem Entwurf der Richtlinie VDI 3813 Blatt 2</b>		
6.2.3 Sonnenschutzaktor	2.3 Sonnenschutzaktor	
	2.3.1 Sonnenschutzaktor mit digitaler Ausgangsklemme	

Entscheidende Kriterien der Auslegung bilden Aspekte der Energieeffizienz und Behaglichkeit, sowie Nutzungsrandbedingungen bedingt durch Tageszeit, Wetter, Solarstrahlung und Nutzungsart. Die Berücksichtigung der Energieeffizienz erfolgt gemäß den GA-Effizienzklassen nach DIN EN 15232<sup>3</sup>, indem eine Kategorisierung der Funktionen aus Raum- und Gebäudeautomation entsprechend den funktionalen Anforderungen erfolgt.

<sup>1</sup> VDI 3813: Gebäudeautomation (GA) – Blatt 1: Grundlagen der Raumautomation (RA), Blatt 2: Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen); Berlin; Beuth Verlag; Mai 2007 bzw. Mai 2011

<sup>2</sup> VDI 3814: Gebäudeautomation (GA) – Blatt 1: Systemgrundlagen der Raumautomation; Berlin; Beuth Verlag; November 2011

<sup>3</sup> DIN EN 15232: Energieeffizienz von Gebäuden – Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement; Berlin; Beuth Verlag; September 2012

Zur Realisierung der Automatisierung ist außerdem eine entsprechende Ausstattung durch Sensorik (z.B. Temperatur / Feuchte / Luftqualität) und Aktorik (z.B. Dimmaktor, Jalousie-Aktor, Ventile für Heizen/Kühlen) notwendig. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde die Umsetzbarkeit des methodischen Ansatzes anhand der Ergebnisanalyse geprüft und umgesetzt.

Desweiteren wurde eine allgemeingültige Planungsmethodik entwickelt, um den Planungsprozess bei integrierten Fassadensystemen systematisch und standardisiert durchzuführen. Dabei ermöglichen eindeutige Definitionen eine klare und effektive Vorgehensweise sowie die Reduzierung von Missverständnissen. Die Planungsphasen beginnen mit Gewerke übergreifenden Funktionsdefinitionen im Lastenheft, die im Pflichtenheft durch formale Beschreibungen und Darstellung im Ablaufdiagramm, sowie in der nächsten Phase in Automationsschemata und Funktionslisten weiter detailliert werden. Abschließend erfolgt die Ausführung durch die Umsetzung der Planung in Funktionsblöcken und Makrofunktionen gemäß den Programmiersprachen nach IEC 61131<sup>4</sup>.

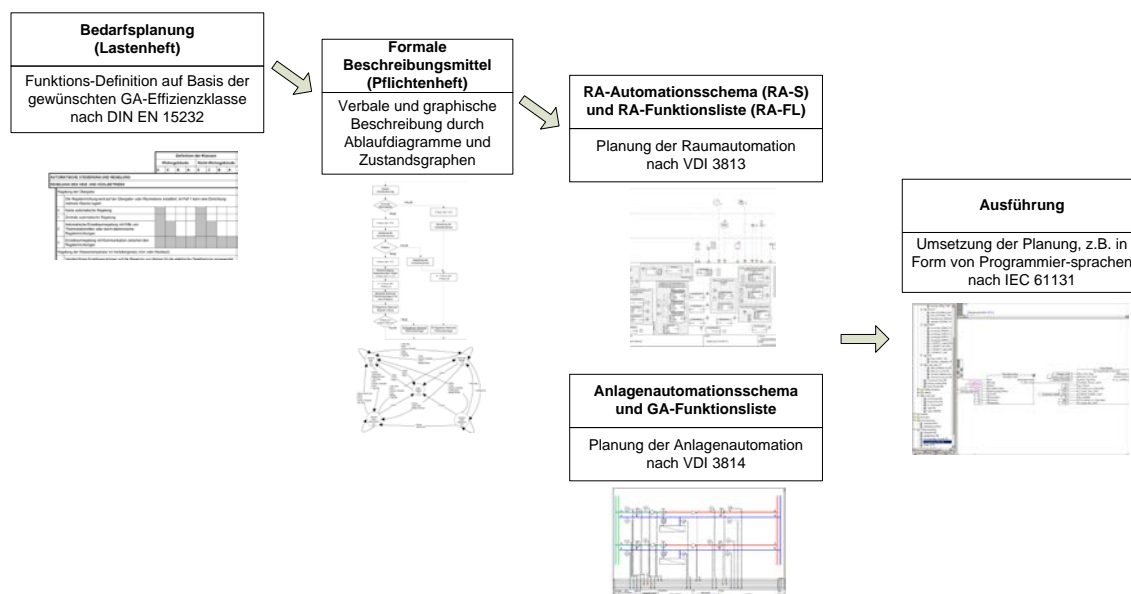


Abbildung 2.2: Übersicht zur allgemeingültigen Planungsmethodik in verschiedenen Planungsphasen

Die konkrete Anwendung und Prüfung der entwickelten Automationsbibliothek erfolgt am Fassadenteststand der Hochschule Biberach, welcher aus einem Testraum mit Wärme- und Kälteversorgung zur Temperierung der Umschließungsflächen und des Luftwärmeübertragers sowie einem Fassadenelement der Firma Wicona besteht, s. Abbildung 2.3.

<sup>4</sup> IEC 61131: Speicherprogrammierbare Steuerung: Berlin; Beuth Verlag; Dezember 2009



Abbildung 2.3: Testfassade mit Testraum und Hydraulik

Das Fassadenelement beinhaltet doppelverglaste Fenster, denen eine Einfachverglasung vorgelagert ist. Im Zwischenraum befinden sich Sonnen- und Blendschutz sowie die Beleuchtung. Über die gesamte Fassadentiefe ist zudem ein dezentrales Lüftungsgerät integriert, das über Lüftungsklappen neben der mechanischen Lüftung ebenfalls eine natürliche Luftströmung, sowie die Kombination beider (Hybrid-Lüftung) ermöglicht.

Die gesamte Automatisierung von Fassade, Raum und hydraulischem System sowie die Erfassung wissenschaftlicher Messwerte erfolgt über eine übergeordnete Automationsstation (AS). Dabei lässt sich die Hardware-Struktur der Automation in drei Ebenen differenzieren:

- a) Die Feldebene beinhaltet sämtliche Sensoren und Aktoren, die über analoge Signale oder Buskommunikation Informationen austauschen.
- b) In der Automationsebene sind die Automationsstation sowie zwei Unterstationen für die differenzierte Erfassung und Verarbeitung von Daten enthalten.
- c) Die Managementebene dient der Visualisierung von Messergebnissen, der Fernüberwachung und dem übergeordneten Eingriff in Steuerung und Regelung der Feld- und Automationsebene.

Abbildung 2.4 zeigt als Übersicht das umgesetzte Automationssystem für den Testfassadenstand.

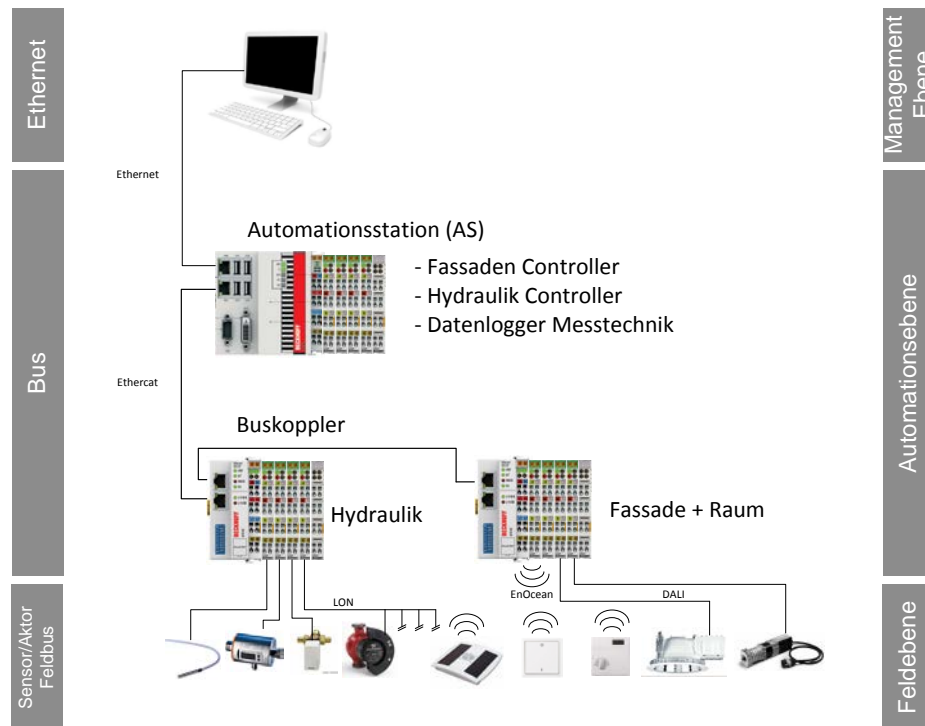


Abbildung 2.4: Automatisierungstechnisches Konzept für die Testfassade inkl. Testraum

Die Grundlage zur Programmierung der Automatisierung bieten Ablaufdiagramme als formale Beschreibungsmittel, die grafisch die Ablaufstruktur dokumentieren, sowie Automationsschemata und Funktionslisten gemäß VDI 3813 und VDI 3814, die einen Bezug der einzelnen Funktionen und Makrofunktionen zueinander abbilden.

In den experimentellen Untersuchungen mit dem exemplarischen Fassadenelement spielt zudem die Identifikation von Anlagenparametern und Kennlinien für die Inbetriebnahme der Steuerung und Regelung des Fassadenteststands eine wesentliche Rolle. Möglichkeiten der Erfassung bieten hierbei experimentelle Untersuchungen der realen Anlagen mittels Messtechnik sowie gezielte Betrachtung einzelner Faktoren in Simulationsanalysen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden Volumenstrom und Wärmeübertrager des Lüftungsgeräts, Zuluft-Einströmung und Luftströmung im Raum sowie Sonnen- und Blendschutz unter Berücksichtigung der Beleuchtungsstärke und Solarstrahlung näher untersucht.

Der Ansatz einer höherwertigen Regelung wurde mit einer optimierten Sollwertvorgabe von Temperatur und Zuluftvolumenstrom unter Berücksichtigung von Energieeffizienz und Behaglichkeitsaspekten verfolgt. In der übergeordneten Regelung fließen Parameter der Module Entscheidungskriterien, Lüftungsvarianten und Energieniveaus ein und nehmen direkten Einfluss auf die Sollwertauslegung.

Unter dem Modul Entscheidungskriterien sind hierbei Aspekte von Energieeffizienz sowie thermischer und hygienischer Behaglichkeit zu verstehen. Dabei ist zu beachten, dass die einzelnen Kriterien in Wechselwirkung zueinander stehen und im Zusammenhang zu sehen sind.

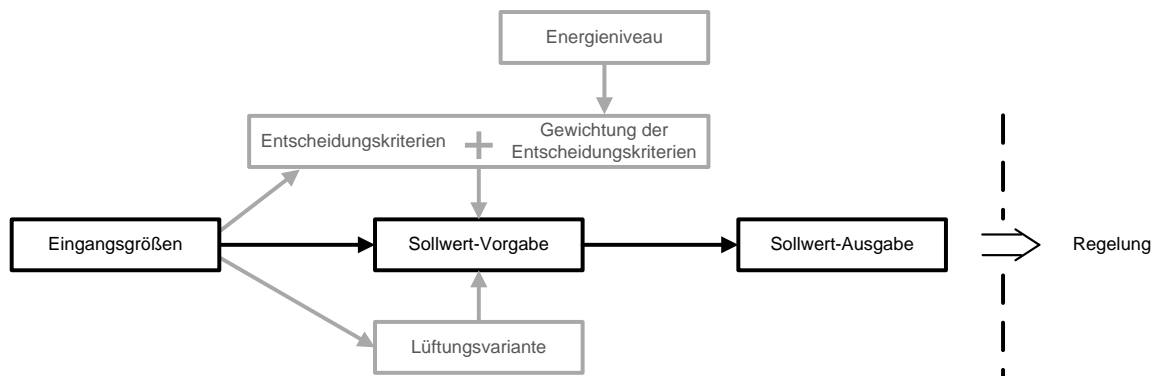


Abbildung 2.5: Modulare Struktur der übergeordneten Regelung mit Berücksichtigung der Kriterien Energieeffizienz und Behaglichkeit

Desweiteren basiert die Regelung auf der Differenzierung der Energieniveaus entsprechend der Nutzungsanforderungen in Absenkniveau, Bereitschaftsniveau und Komfortniveau gemäß Richtlinie VDI 3813-2. Der Entscheidungsablauf in der Auswahl des Energieniveaus erfolgt in einem Ablaufdiagramm, bei dem die Parameter Zeit, Präsenz und individuelle Beeinflussung berücksichtigt werden. Die Ausgabewerte umfassen neben der Sollwertvorgabe für die Raumtemperatur auch die Gewichtung der Entscheidungskriterien und stufen damit Energieeffizienz und Behaglichkeit in ihrer jeweiligen Bedeutung ein. Dies bedeutet, dass die Anwesenheit von Personen das Bestreben einer energieeffizienten Regelung zugunsten des Behaglichkeitsempfindens zurück stellt.

Die Unterscheidung der Lüftungsvarianten in natürliche und mechanische Lüftung sowie kombinierte Hybrid-Lüftung bietet eine Auswahl, die von der erwünschten Lüftungsfunktion und aktuellen thermischen Rahmenbedingungen abhängt.

Die Auseinandersetzung mit übergeordneten Steuer- und Regelstrategien liegt im Bestreben Einsatz und Koordination unterschiedlicher gebäudetechnischer Systeme anhand von Behaglichkeit und Energieeffizienz zu optimieren. Dabei sind widersprüchliche Auswirkungen durch bestehende Wechselwirkungen der Entscheidungskriterien sowie unterschiedliche Wahrnehmungsintensitäten der Nutzer zu berücksichtigen. Für die Gewichtung der Kriterien bedeutet dies, dass jeweilige Anteile situationsabhängig optimal zu ermitteln sind. Eine außenluftgeführte Lüftung kann bei extremen Außenlufttemperaturen eine hohe hygienische Behaglichkeit bewirken und gleichzeitig zu Einschränkungen der Energieeffizienz und thermischen Behaglichkeit führen.

Insbesondere bezüglich der hygienischen Behaglichkeit ist außerdem darauf zu achten, dass der Nutzer bedingt durch Adaption keine zuverlässige Wahrnehmung der Raumluftqualität besitzt und damit einer messtechnischen Klimaeinschätzung bedarf. Die entscheidende Aussage der Gewichtungsverteilung liegt in der Differenzierung der Situation und dem damit verbundenen Priorisieren einzelner Entscheidungskriterien. Im Rahmen des Forschungsvorhabens findet lediglich eine Unterscheidung zwischen Energieeffizienz und Behaglichkeit statt, ohne zusätzlich zwischen thermischem und hygienischem Behaglichkeitsempfinden zu differenzieren. 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 und der Beeinflussung durch den Nutzer. Wobei die Grenzen für den individuellen Eingriff so gewählt werden, dass die Behaglichkeit stets höher priorisiert wird.

### 3 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Das primäre Ergebnis dieses Forschungsvorhabens ist eine offene, modulare Automationsbibliothek für die Fassadenautomation, die exemplarisch auf das untersuchte Fassadenelement an der Hochschule Biberach und bezogen auf die Funktionen Heizen, Lüften und Beleuchten ausgelegt, geprüft und dokumentiert ist. Die bereits geläufigen Regelstrategien und Bibliotheksmodule der Raumautomation nach VDI 3813-2 dienten hierbei als Grundlage für die Entwicklung der modularen Bibliothek für die Fassadenautomation. Die Umsetzung erfolgte gemäß den Energieeffizienzklassen nach DIN EN 15232, der Funktionsdarstellung nach VDI 3813/3814 und den Programmierungssprachen nach IEC 61131.

Auf Basis dieser Normen und Richtlinien kann eine standardisierte Planungsmethodik angewendet werden, die eine strukturiertere und systematische Vorgehensweise im Planungsprozess und der anschließenden Ausführung ermöglicht. Durch diese Methodik werden die Funktionen und insbesondere die Makrofunktionen der Richtlinie VDI 3813-2 angewendet. Da in der Praxis sehr oft Probleme mit individuell erstellten Programmierungen auftreten, stellt die Anwendung dieser fest definierten Funktionen eine besondere Qualität hinsichtlich des Einsatzes standardisierter Funktionen dar. Im Rahmen des Projektes entstand dazu eine modulare und jederzeit einfach erweiterbare Automationsbibliothek, die auf diesen Funktionen basiert.

Bei der konkreten Umsetzung auf den an der Hochschule Biberach vorhandenen Fassadenteststand zeigten sich allerdings auch die Grenzen dieser Methodik, da eine durchgängige Anwendung von standardisierten Funktionen mit dem Fassadenstand teilweise nicht ohne weiteres umsetzbar war. Ein Grund waren beispielsweise die praktischen Randbedingungen, die durch den Fassadenstand bedingt sind, z.B. in Hinblick auf die eingesetzte Hardware für das Lüftungsgerät aber auch die Wahl der konkreten Hardware für die Automatisierungslösung. Hier bedurfte es entsprechender hardwarespezifischer Anpassungen, die auch in der Praxis immer erforderlich sein werden.

Bei der Verwendung von definierten Makrofunktionen hat sich gezeigt, dass der Programmierer in diese Systematik einen erhöhten Einarbeitungsaufwand hat, da zunächst die Methodik und Vorgehensweise auf Basis der VDI 3813 verstanden werden muss. Sobald diese Einarbeitung aber erfolgt ist, kann der Programmierer systematischer und effektiver eine Lösung umsetzen. Insbesondere wenn ein Programmierer z.B. für Optimierungen in Bestandsanlagen eingreifen muss, kann Zeit gespart werden, da dann die Einarbeitung in eine vorhandene individuelle Programmierung entfällt.



Für die Untersuchungen zu Ansätzen von verbesserten Regelungsstrategien wurden ergänzend zu experimentellen Untersuchungen am Fassadenteststand verschiedene Simulationsuntersuchungen durchgeführt. Die hier genutzten Methoden umfassten CFD-Strömungssimulationen zur Untersuchung der Zuluft-Strömung beim Eintritt und der Raumluftrömung. Desweiteren dienten für die Entwicklung und Prüfung von Regelungskonzepten thermische Raumsimulationen.

Die Auseinandersetzung mit Kennfelder- und Kennlinienmodellen zeigte, dass sich quantitative Zusammenhänge von Komponenten und Teilsystemen gut abbilden lassen und grundsätzlich zur Unterstützung der Regelung bei fehlender Messeinrichtung dienen können. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass Kennfelder- und Kennlinienmodelle in der Darstellung des Informationsgehalts auf konkrete Anlagenkonstruktion beschränkt sind und Abhängigkeiten von Einflussfaktoren für allgemeine Zusammenhänge beliebiger Konstruktionen i.d.R. nicht umfassend wiedergeben können.

Angewendet auf die Lüftungsregelung bedeutet dies zum Beispiel, dass sich mit einer Klappensteuerung und entsprechender Sensorik (z. B. CO<sub>2</sub>-Sensor) Regelungsstrategien für eine kontrollierte natürliche Lüftung – und in Kombination mit einer mechanischen Lüftung auch für eine hybride Lüftung – umsetzen lassen. Bei fehlender Sensorik lassen sich die Messwerte durch das Hinterlegen entsprechender Kennlinien des Lüftungsvorgangs ersetzen. In beiden Fällen muss die übergeordnete Raumautomation zunächst über den Einsatz der Betriebsart zwischen natürlicher, mechanischer oder hybrider Lüftung unter Energieeffizienz- und Behaglichkeitsgesichtspunkten entscheiden.

Mit den in diesem Vorhaben durchgeführten experimentellen und theoretischen Untersuchungen konnten wertvolle grundlegende Erkenntnisse hinsichtlich den Möglichkeiten aber auch Grenzen von übergeordneten Regelungsstrategien im Kontext von Energieeffizienz, Nutzerkomfort und Behaglichkeitsaspekten gewonnen werden. Hierzu besteht allerdings noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf für weitergehende Anschlussprojekte, um zu fundierten tiefergehenden und vor allem allgemeingültigeren Aussagen kommen zu können.