

Forschungsprojekt
Evaluierung von automatisierungstechnischen
Programmen zur optimierten Betriebsführung
gebäudetechnischer Anlagen in der Gebäudewirtschaft
der Stadt Köln
—
Zwischenbericht 2021

Laufzeit: 01.02.2020 – 31.01.2024

Fördermittelgeber: Gebäudewirtschaft der Stadt Köln

Projektleitung: Prof. Dr. Jochen Müller

Projektdurchführung: Eike Hinck (Dipl. Ing.), Jonas
Mosig, Jonas Schmock

Labor für Gebäudeautomation, Technische Hochschule Köln, Betzdorfer
Str. 2, 50679 Köln, Germany

Kurzfassung

Das Forschungsprojekt evaluiert die Implementierung von Optimierungsprogrammen für den automatisierten Betrieb gebäudetechnischer Anlagen. Diese Optimierungsprogramme (zum Beispiel Zeitschaltprogramme) dienen der Sicherstellung eines Energie- und Kosten-optimierten Betriebs von Gebäuden und sind für alle städtischen Neubau- sowie Sanierungsvorhaben im Gebäudebestand verpflichtend (Energieleitlinien der Stadt Köln, Anhang A: Gebäudeautomation).

In enger Kooperation mit der Gebäudewirtschaft der Stadt Köln untersucht das Labor für Gebäudeautomation vom 01.02.2020 bis 31.01.2024 die Automatisierung der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) in insgesamt 32 Liegenschaften bezüglich der Umsetzung der Optimierungsprogramme und deren korrekter Funktionsweise. Hierzu wurde in einem Vorgängerprojekt eine Zertifizierungsumgebung entwickelt, die eine kontinuierliche Überprüfung der Optimierungsprogramme für Heizkreise und raumluftechnischen-Anlagen über ein Referenzjahr in wenigen Stunden ermöglicht. Mit Hilfe der Zertifizierungsumgebung können programmierte Automationsstationen schon vor der Inbetriebnahme oder im Bestand rückwirkungsfrei auf eine korrekte Umsetzung der Optimierungsprogramme hin evaluiert werden.

Bis zum 01.10.2021 wurde die Automatisierung von 34 Heizkreisen in insgesamt 10 Liegenschaften bezüglich der Funktionsweise der Optimierungsprogramme überprüft.

Liegenschaft	Optimierungsprogramme	Maßnahmen	Erwartete Einsparungen	
<i>Ist/Ziel 2024</i>	<i># erfolgreich / # gesamt</i>	<i>notw./ geplant / in Bearbeitung</i>	<i>CO₂ / t a⁻¹</i>	<i>Energie / € a⁻¹</i>
10 / 32	43/136 = 31 %	29 / 18 / 0	75	20.000

31% der überprüften Optimierungsprogramme für Heizkreise erfüllen die geforderte Funktionalität. Hieraus ergeben sich 29 notwendige Maßnahmen, die zu den erwarteten Energieeinsparungen beitragen. Alle Maßnahmen werden den Objektbetreuer*innen der entsprechenden Liegenschaften übergeben. Durch Behebung der aktuellen Mängel in den bislang 10 untersuchten Liegenschaften können geschätzte Einsparungen in Höhe von 75 t CO₂ / Jahr bzw. 20.000 € / Jahr erzielt werden. Die Evaluierungen der Optimierungsprogramme haben ebenfalls spezifische Produktprobleme verschiedener Automationshersteller in der Umsetzung von Optimierungsprogramme aufgedeckt, deren Dokumentation für bestehende und zukünftige Automationsprojekte sehr wertvoll ist.

Bis Ende 2022 ist die Überprüfung der TGA-Optimierungsprogramme von 14 weiteren Liegenschaften geplant, bis Ende 2023 werden alle geplanten Liegenschaften überprüft sein. Durch die Weiterentwicklung der Zertifizierungsumgebung wird ab sofort – zusätzlich zur Überprüfung von Heizkreisen – auch die Automatisierung von raumluftechnischen-Anlagen in die Zertifizierung aufgenommen.

1 Ziele des Forschungsprojekts

Ziel des Forschungsprojekts ist die Überprüfung der Funktionsweise von Optimierungsprogrammen für den automatisierten Betrieb der Technischen Gebäudeausrüstung in Liegenschaften der Gebäudewirtschaft der Stadt Köln. Die Implementierung von Optimierungsprogrammen (zum Beispiel Zeitschaltprogramme, Start-Stopp-Optimierung) trägt wesentlich zu einem Energie- und Kostenoptimierten Betrieb der technischen Anlagen bei und ist für alle städtischen Neubau- sowie Sanierungsvorhaben im Gebäudebestand verpflichtend (Energieleitlinien der Stadt Köln, Anhang A: Gebäudeautomation). Bis Januar 2024 sollen insgesamt 32 Liegenschaften auf die Umsetzung und Funktionsweise der Optimierungsprogramme hin überprüft werden.

Das Forschungsprojekt beruht auf den Ergebnissen eines Forschungsprojekts zwischen der Gebäudewirtschaft der Stadt Köln und dem Labor für Gebäudeautomation der Technischen Hochschule Köln. In diesem Forschungsprojekt wurde eine Zertifizierungsumgebung entwickelt, die eine kontinuierliche Überprüfung der Optimierungsprogramme für Heizkreise über ein Referenzjahr in wenigen Stunden ermöglicht. Mit Hilfe der Zertifizierungsumgebung kann die Programmierung von Automationsstationen schon vor der Inbetriebnahme oder rückwirkungsfrei im Bestand auf eine korrekte Umsetzung der Optimierungsprogramme hin evaluiert werden.

Die Auswahl der untersuchten Liegenschaften erfolgt nach Vorgaben des Energiemanagements der Gebäudewirtschaft der Stadt Köln und setzt eine grundlegende Kommunikationsfähigkeit bezüglich des Kommunikationsstandards BACnet voraus. Konkret wird die Automatisierung der technischen Anlagen evaluiert und ob deren kommunikationstechnische Anbindung nach Vorgaben der Stadt Köln erfolgt ist, das heißt die in den Energieleitlinien geforderten BACnet-Objekte vollständig implementiert sind. Bei den überprüften technischen Anlagen stehen zu Beginn des Forschungsprojekts vor allem Heizkreise im Fokus der Evaluierung. Im Rahmen des Forschungsprojekts wird jedoch die Funktionalität der Zertifizierungsumgebung kontinuierlich auf raumluftechnische-Anlagen erweitert, so dass mit Heizkreisen und raumluftechnischen-Anlagen ein Großteil der Technischen Gebäudeausrüstung berücksichtigt werden kann. Des Weiteren werden Hersteller-spezifische Auffälligkeiten und Besonderheiten bezüglich der grundlegenden Eignung von Automationsstationen zur Umsetzung der geforderten Automationsfunktionalität analysiert und dokumentiert.

Die Ergebnisse der Evaluierungen werden im jährlichen Zwischenbericht, sowie in Form eines Evaluierungszertifikats für jede Liegenschaft, detailliert und für Nicht-Expert*innen verständlich, dokumentiert. Fehlen Optimierungsprogramme in der Automatisierung der Technischen Gebäudeausrüstung oder sind diese fehlerhaft umgesetzt, werden Maßnahmen zur Behebung der Mängel definiert und an das zuständige Objekt-Center der Gebäudewirtschaft der Stadt Köln übergeben. Erfolgt eine Behebung der Mängel während der Laufzeit des Forschungsprojekts, so wird nach Instandsetzung der Programmierung der Automationsstationen die zu evaluierende Funktionalität erneut überprüft.

2 Optimierungsprogramme

Im Fokus der aktuellen Evaluierung stehen Optimierungsprogramme für die Automation von Heizkreisen mit oder ohne Referenzraumtemperatur.

Bei den Heizkreisen ohne Referenzraumtemperatur werden Anforderungen bezüglich

- Nachtabsenkung • Stützbetrieb
- Jahressimulation
- Zeitplan- und Kalender-Funktionalität (Wochen- und Jahreszeitprogramme) zusätzlich

bei Heizkreisen mit Referenzraumtemperatur

- Raumkorrektur
- Start-Stopp-Optimierung überprüft.

Nachfolgend wird die geforderte Funktionalität der Optimierungsprogramme kurz erläutert (siehe auch Energieleitlinien der Stadt Köln, Anhang A: Gebäudeautomation):

- Nachtabsenkung

Für Heizkreise wird die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur errechnet. Des Weiteren werden Betriebszustände „Tag“ und „Nacht“ über einen Zeitplan eingerichtet. Im Betriebszustand „Nacht“ wird der errechnete Sollwert für die Vorlauftemperatur um einen bestimmten Wert abgesenkt.

- Stützbetrieb

Im Stützbetrieb wird ein Heizkreis in Abhängigkeit der verzögerten Außentemperatur ein- respektive ausgeschaltet. Die Grenzwerte hierfür sind für den Tag- und Nachtbetrieb einzurichten. Sobald die Außentemperatur im Tagbetrieb den Grenzwert überschreitet wird der Heizkreis ausgeschaltet, das heißt die Pumpe wird abgeschaltet und das Heizventil geschlossen. Sollte die Außentemperatur unterhalb dieses Grenzwertes fallen, wird der Tagbetrieb wieder aktiviert. Wird im Nachtbetrieb der Grenzwert unterschritten, so wird die Pumpe eingeschaltet und der Nachtbetrieb aktiviert. Sollte die Außentemperatur den Grenzwert in Nachtbetrieb nicht unterschreiten, kann davon ausgegangen werden, dass die Speichertemperatur des Gebäudes ausreicht, damit das Gebäude nicht auskühlt.

- Raumkorrektur

Das Raumkorrekturprogramm benötigt eine Referenzraumtemperatur. Wird diese im Betrieb nicht erreicht respektive überschritten, so wird der Sollwert der Vorlauftemperatur angehoben respektive abgesenkt. Das Programm darf in der Nachtabsenkung nicht aktiv sein, um ein Auskühlen des Gebäudes zu vermeiden.

- Start-Stopp-Optimierung

Bei diesem Optimierungsprogramm wird die minimale Aufheiz- und maximale Abschaltzeit zum Erreichen des Raumsollwertes „Tag“ und „Nacht“ zum Beginn und Ende der Nutz-zeit

errechnet. Der Beginn und das Ende der Nutz-zeit wird dem aktuellen Wochenschaltprogramm entnommen. Zur Berechnung müssen in Abhängigkeit der Außentemperatur die Gebäudekenndaten von der Automationsstation automatisch ermittelt werden. Zum Erreichen des Raumtemperatursollwerts „Tag“ wird das Gebäude zum Einschaltzeitpunkt im Aufheizbetrieb mit maximaler Vorlauftemperatur erwärmt. Bei Erreichen des Raumsollwerts „Tag“ wird vom Betrieb Aufheizen in den Betrieb „Tag“ umgeschaltet. Beim Erreichen des Ausschaltzeitpunktes (Nachtbetrieb) wird der Vorlauftemperatur-Sollwert auf den Minimalwert abgesenkt, das Regelventil geschlossen und die Pumpe mit einer Nachlaufzeit abgeschaltet. Beim Unterschreiten der Raumtemperatur „Nacht“ wird wieder in den Aufheizbetrieb gewechselt, bis der Raumtemperatursollwert „Nacht“ um 1 Kelvin überschritten ist. Anschließend ist wieder in den Nachtbetrieb, wie vor beschrieben, zu schalten.

Nach Abschluss der Weiterentwicklung der Zertifizierungsumgebung kann mit der Evaluierung von Optimierungsprogrammen in der Automatisierung von raumluftechnischen-Anlagen begonnen werden. Hierbei werden insbesondere folgende Optimierungsprogramme überprüft:

- Enthalpie- und Temperaturregelung
Über die Temperatur und der Enthalpie wird zyklisch die Energiemenge von Abluft und Außenluft, sowie die erforderliche Energiemenge des Zuluft-stroms erfasst und verglichen. In Abhängigkeit von dieser Kenngröße wird die Wärmerückgewinnung/ Umluft-klappen geregelt
- Kaskadenregelung für Lüftungs- und Klimaanlage
Raumluftechnische-Anlagen werden nach Abluft- oder Raumtemperatur und/ oder Raumluftheuchte über eine Kaskadenregelung geregelt. Diese ist bezüglich Sequenz und Regler-konfiguration zu optimieren.
- Raumluftheuchtheitsregelung (CO₂)
Die Luftmenge wird in Abhängigkeit der CO₂-Konzentration angepasst. Präsenzmelder sind in das Regelungs- und Steuerungskonzept mit einzubinden.

3 Aktueller Projektfortschritt

Bis zum 01.10.2021 wurde die Automatisierung von 34 Heizkreisen in insgesamt 10 Liegenschaften bezüglich der Funktionsweise der Optimierungsprogramme überprüft. Den aktuellen Projektfortschritt zeigt der dargestellte Zeitstrahl. Das Projektziel – die Evaluierung der Optimierungsprogramme in 32 Liegenschaften bis Januar 2024 – wird nach aktueller Abschätzung sicher erreicht.

4.1 Untersuchte Anlagen und Gebäude 4.1.1 Heizkreise

Evaluierung	# Heizkreise	Nachtabse- n- kung	Stützbetrie- b	Raum- tempkorr- .	Start- Stop- p	Einsparpotenti- al CO ₂ / t a ⁻¹	Einsparpotenti- al € a ⁻¹
Brüggener Straße (Aula)	3/5	✓	✓	✗	✗	~5	1.000,-
Ottostraße - Grundschule	1/4	✓	✓	✓	—	~4,2	800,-
Leyendecker Straße	5/5	✓	✗	✗	✗	~2,7	600,-
Kirchweg 138	7/7	✓	✓	✗	✗	~4,7	900,-
Freiligrathstra- ße	5/5	✓	✓	✗	✗	~7,7	1.600,-
Geilenkirchener Straße	6/6	✓	✗	✗	✓	~8,4	1.800,-
Genovevastra- ße	1/4	✗	✗	✗	✗	~14	2.500,-
Alzeyer Straße	4/6	✗	✓	✗	✗	~3,6	700,-
Ricarda- Huch-Straße	1/6	✗	✗	✗	✗	~17	8.500,-
Steinberger Straße	7/7	✗	✓	✗	✗	~8,4	1.800,-

✓ = Anforderungen erfüllt ✗ = Anforderungen nicht erfüllt — = Evaluierungsproblem

Die Tabelle zeigt eine Übersicht der Liegenschaften in denen Heizkreise untersucht wurden. In den Objekten:

- Leyendeckerstraße
- Geilenkirchener Straße
- Freiligrathstraße
- Alzeyer Straße
- Steinbergstraße wurden alle Heizkreise überprüft. In den anderen aufgeführten

Anlagen erfolgte die Evaluierung nur stichprobenartig. Auffallend ist, dass zum großen Teil die Anforderungen an die Umsetzung der Optimierungsprogramme nicht erfüllt werden. Zudem wurden die eingestellten Sollwerte zum Reduzieren der Vorlauftemperatur für die Nachtabenkung nicht eingehalten wurden, beim Stützbetrieb gab es oftmals keine Hysterese.

Ein gravierender Mangel ist die Verfügbarkeit von Software-Objekten zur Realisierung der Optimierungsprogramme, die jedoch außer Funktion/Betrieb sind. Die Auswertungen zeigen, dass in allen Liegenschaften Einsparpotenziale vorliegen. In wenigen lassen sich Maßnahmen aufgrund der einzusparenden Kosten nicht wirtschaftlich darstellen. In der Mehrzahl (zum Beispiel Liegenschaft Ricarda-Huch-Straße) liegt der Return of Invest innerhalb eines Jahres. Interessant ist in diesem Fall auch, dass Einsparpotenziale bei Fernwärme um ein vielfaches höher sind als bei der eigenen Erzeugung der Wärme über Erdgas. Dies wird sich aufgrund der steigenden CO₂-Bepreisung in den nächsten Jahren vermutlich relativieren. Erkennbar ist, dass auch bei Liegenschaften mit bereits implementierten Maßnahmen (zum Beispiel Liegenschaft Ottostrasse) noch immer Einsparpotenziale vorhanden sind.

Exemplarisch werden nachfolgend die Ergebnisse dreier Liegenschaften genauer dargestellt, die mit Automationsstationen unterschiedlicher Hersteller ausgerüstet sind.

4.1.2 Liegenschaften

4.1.2.1 Leyendecker Straße

In dieser Liegenschaft ergab die Auswertung, dass die Nachtabenkung nach dem Sollwert in die Errechnung der Vorlauftemperatur einfließt und die minimale und maximale Vorlauftemperatur eingehalten wird. Bei der Untersuchung des Stützbetriebs fiel auf, dass die Abschaltung der Pumpe nicht korrekt war. Der Schaltbefehl der Pumpe war nach Grenzwertüberschreitung noch längere Zeit aktiv. Beim Raumkorrekturprogramm wurde die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Raumtemperatur richtig korrigiert. Das Raumkorrekturprogramm war auch im Nachtbetrieb aktiv und arbeitete gegen die Nachtabenkung. Die Start-Stopp-Optimierung verwendet nur die Start-Optimierung, der geforderte Stopp vor Nutzungsende wird nicht durchgeführt. Zudem wurde festgestellt, dass bei drei Heizkreisen Sollwerte für die Raumtemperatur vorhanden sind, die aber keinen Einfluss auf das hinterlegte Programm haben.

4.1.2.2 Geilenkirchener Straße

In dieser Liegenschaft ist die Auswertung für die einzelnen Heizkreise sehr unterschiedlich ausgefallen. Normalerweise treten die ermittelten Fehler in allen Heizkreisen auf, was hier nicht der Fall ist.

Zusammenfassend wurden folgende Fehlfunktionen erkannt:

- während der Nutz-zeit wurde die Vorlauftemperatur abgesenkt
- Soll-Vorlauftemperatur bei 0°C bei einer Außentemperatur von -10°C
- bei einer Außentemperatur unterhalb des Grenzwerts wurde die Pumpe ausgeschaltet
- Soll-Vorlauftemperaturen erreichten Werte, die oberhalb der maximalen Vorlauftemperaturen lagen
- Start-Stopp-Optimierung wurde nicht in allen Heizkreisen fehlerfrei implementiert

4.1.2.3 Steinberger Straße

Die Steinberger Straße ist eine von mehreren Liegenschaften, in denen Optimierungsprogramme für die Automation der Technischen Gebäudeausrüstung (Start-Stopp-Optimierung oder Raumkorrekturprogramm) gänzlich fehlen, das heißt nicht implementiert sind. Diese müssen im Automationsprogramm nachträglich realisiert werden. Die Nachtabsenkung wird bei einer Außentemperatur von -10°C nicht mehr berücksichtigt. Der Stützbetrieb und das Raumkorrekturprogramm arbeiten nach den Anforderungen der Gebäudewirtschaft der Stadt Köln. Bezüglich der Start-Stopp-Optimierung war der Stoppbetrieb nicht aktiv und die maximale Aufheizzeit wurde nicht eingehalten.

4.1.2.4 Kirchweg

Im Kirchweg ergab die Auswertung, dass Nachtabsenkung und Stützbetrieb überwiegend funktionierten. Bezüglich des Raumkorrekturprogrammes und der Start-Stopp-Optimierung sind einzelne Fehlfunktionen aufgefallen:

- Raumkorrekturprogramm:
 - Höhe der Nachtabsenkung wird nicht in die Berechnung der Soll-Vorlauftemperatur einbezogen
- Start-Stopp-Optimierung:
 - Ist die Ist-Raumtemperatur kleiner beziehungsweise gleich wie die Soll-Raumtemperatur bleibt die Anlage auch tagsüber im Aufheizbetrieb. Eigentlich sollte die Anlage in den Normalbetrieb wechseln. Somit lässt sich sagen, dass die maximale Aufheizzeit nicht eingehalten wird.
 - Der Stoppbetrieb ist nicht aktiv.

Auffälligkeiten:

- HZG401:
 - Keine Korrektur der Vorlauftemperatur bei Abweichung Raumtemperatur
- HZG402:
 - Im Stützbetrieb ist der Stellbefehl für das Ventil dauerhaft zu und der Schaltbefehl der Pumpe dauerhaft aus.
 - Stützbetrieb wurde während der Prüfung der Start-Stopp-Optimierung nicht aktiv
 - Aufheizbetrieb nicht mit maximaler Vorlauftemperatur
 - Absenkbetrieb nicht mit minimaler Vorlauftemperatur
- HZG406:
 - Bei einer verzögerten Außentemperatur von 14°C funktioniert Stützbetrieb nicht
- HZG407
 - Stützbetrieb funktioniert nicht (Schaltbefehl der Pumpe dauerhaft ein)

4.2 Raumluftechnische-Anlagen

Erste Ergebnisse werden ab November 2021 erwartet.

4.3 Maßnahmen

Für einen optimierten Betrieb der Technischen Gebäudeausrüstung müssen die geforderten Optimierungsprogramme fehlerfrei realisiert werden. Hierzu sind in den untersuchten Liegenschaften folgende Maßnahmen erforderlich:

Evaluierung	Maßnahmen
Brüggener Straße (Aula)	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenspiel zwischen den Programmen Raumkorrektur und Start-Stopp muss überprüft werden. • Ansteuerung RLT-Anlage muss hinsichtlich des Unterdrucks überprüft werden
Ottostraße	<ul style="list-style-type: none"> • Nachtabsenkung => Programm anpassen • Raumkorrektur => Programm anpassen
Leyendecker Straße	<ul style="list-style-type: none"> • Nachtabsenkung => Programm anpassen • • Raumkorrektur => Programm anpassen • Start-Stopp-Optimierung => Programm anpassen
Kirchweg	<ul style="list-style-type: none"> • Raumkorrektur => Programm anpassen • Start-Stopp-Optimierung => Programm anpassen
Freiligrathstraße	<ul style="list-style-type: none"> • Stützbetrieb => Programm anpassen • Raumkorrektur => Programm anpassen • Start-Stopp-Optimierung => Programm anpassen
Geilenkirchener Straße	<ul style="list-style-type: none"> • Nachtabsenkung => Programm anpassen • • Stützbetrieb => Programm anpassen • Raumkorrektur => Programm anpassen • Start-Stopp-Optimierung => Programm anpassen
Genovevastraße	<ul style="list-style-type: none"> • Nachtabsenkung => Programm anpassen • • Stützbetrieb => Programm anpassen • Raumkorrektur => Programm anpassen • Start-Stopp-Optimierung => Programm anpassen
Alzeyer Straße	<ul style="list-style-type: none"> • Nachtabsenkung => Programm anpassen • Raumkorrektur => Programm anpassen • Start-Stopp-Optimierung => Programm anpassen
Ricarda-Huch Straße	<ul style="list-style-type: none"> • Nachtabsenkung => Programm anpassen • • Stützbetrieb => Programm anpassen • Raumkorrektur => Programm anpassen • Start-Stopp-Optimierung => Programm anpassen

Steinberger Straße	<ul style="list-style-type: none"> • Nachtabenkung => Programm anpassen • Start-Stopp-Optimierung => Programm anpassen
	<ul style="list-style-type: none"> •

Jede der dargestellten 29 Maßnahmen wird an die jeweiligen Objekt-Center übermittelt. Hierbei werden die Beiträge des fehlerhaften Raumtemperaturprogramms zum Einsparpotenzial als gering betrachtet und bedürfen einer Priorisierung bezüglich ihrer wirtschaftlichen Umsetzung.

Aufgrund der aktuellen Corona- Lage es nicht zurzeit nicht absehbar, wie in der kommenden Heizperiode mit der Belüftung der Schulräume umgegangen wird. Bisher sieht das bestehende Lüftungskonzept vor, in den Pausen und innerhalb der Unterrichtsstunde bei Bedarf zu lüften. Durch Nachfragen bei den Objektbetreuern wurde "bei Bedarf" so interpretiert, dass die Fenster auch in der Unterrichtsstunde dauerhaft geöffnet wurden. Damit entsprechend Energie in die Klassenräume eingebracht werden kann, wurden die eingebauten Thermostatventile auf eine Raumtemperatur von 22-24°C eingestellt. Leider ist es nicht erkennbar, in welchen Gebäuden diese Maßnahmen durchgeführt worden sind oder nicht.

Anhang: Zertifizierungsprotokolle

Diesem Zwischenbericht liegen Auswertungen der Evaluierung von Optimierungsprogrammen für Heizkreise der folgenden Liegenschaften zugrunde:

- Brüggener Straße (Aula)
- Ottostraße
- Leyendecker Straße
- Kirchweg
- Freiligrath-straße
- Geilenkirchener Straße
- Genoveva-straße
- Alzeyer Straße
- Ricarda-Huch-Straße
- Steinberger Straße