

Prüfstand für energieeffiziente Automation und Regelung von Gebäuden

S. Hauer, P. Horn, A. Preisler,
F. Heisinger, H. Schwahofer,
A. Frey, M. Gassner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

58/2019

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Prüfstand für energieeffiziente Automation und Regelung von Gebäuden

PEAR

Stefan Hauer, MSc., Philip Horn, MSc.
AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Center for Energy

DI (FH) Dkfm (FH) Andreas Frey MSc, Manfred Gassner
Österreichische Post AG, Konzern-Immobilien

Anita Preisler, MSc.
teamgmi Ingenieurbüro GmbH

DI(FH) Felix Heisinger
IBO- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH

Ing. Hannes Schwahofer
BPS Engineering Technisches Büro zur Planung
haustechnischer Anlagen GmbH

Wien, Jänner 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMVIT publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	6
Abstract	7
1. Ausgangslage	8
2. Projektinhalt	10
3. Ergebnisse.....	12
3.1. Nutzerbefragung	12
3.2. Ableiten von Regelstrategien	12
3.3. Hardware-in-the-Loop (HIL)	14
3.4. Monitoring-Auswertung.....	15
3.5. Integration der PEAR-Methoden in das „Post am Rochus“ Bauprojekt.....	19
3.6. Projektergebnisse in Bezug auf die „Stadt der Zukunft“ Ziele	20
4. Schlussfolgerungen.....	21
4.1. Gewonnene Erkenntnisse.....	21
4.2. Einschätzung des Verwertungspotentials	22
5. Ausblick und Empfehlungen	24
6. Verzeichnisse	25
6.1. Abbildungsverzeichnis.....	25
6.2. Literaturverzeichnis.....	26

Kurzfassung

Die Auslegung und Dimensionierung gebäudetechnischer Anlagen erfolgt nach heutigem Stand der Technik für die maximal auftretenden Leistungen für Heizung, Kühlung und Belüftung. Diese Spitzenlasten treten aber nur zu sehr wenigen Stunden im Jahr auf, womit die Anlagen zum Großteil des Jahres im sogenannten "Teillastbetrieb" sind. Je mehr Betriebszustände mit einer Anlage bewältigt werden können, umso eher kann auf unterschiedliche Teillastzustände effizient reagiert werden. Diese Vielzahl an möglichen Betriebszuständen verlangt nach intelligenten Regelstrategien, die festlegen, wann welche Betriebszustände in der gebäudetechnischen Anlage abgerufen werden sollen. Ohne fundierte Unterstützung von der Haustechnikplanung bzw. vorab durchgeführten theoretischen Analysen, stellt die Entwicklung solcher intelligenten Regelstrategien aktuell eine Schwachstelle im Planungs-, Bau- und Betriebsprozess dar. Die Inbetriebnahme-Phase und die Betriebsoptimierung von komplexen gebäudetechnischen Anlagen sind daher eine Herausforderung für die Regelungstechnik und das Facility Management und setzen üblicherweise viel Zeit und Erfahrung voraus. Das Forschungsprojekt PEAR untersucht, evaluiert und optimiert energieeffiziente gebäudetechnische Systeme hinsichtlich ihrer Regelstrategien mit dem Hauptziel einer Verkürzung der Inbetriebnahme-Phase, sowie einem durchgängig energieoptimierten Betrieb bei gleichbleibender Behaglichkeit. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde eine Erweiterung der Hardware-in-the-Loop (HIL) Methode entwickelt und anhand eines Demonstrationsgebäudes einem begleitenden Praxistest unterzogen. Hardware-in-the-Loop verbindet die Gebäudeautomations-Hardware mit einer Simulationsumgebung, um so das Zusammenspiel zwischen Regelung und (simulierten) Energiesystemen zu analysieren und zu optimieren. Dabei wurden folgende Hauptziele verfolgt:

- die Entwicklung von intelligenten Regelstrategien zum effizienten Betrieb von Teillastzuständen in komplexen gebäudetechnischen Anlagen mittels dynamischer Gebäude- und Anlagensimulation,
- die Weiterentwicklung der HIL Methode als qualitätssichernde Maßnahme, zur Überprüfung von Regelstrategien auf korrekte Funktion und Effizienz.

Durch die Simulation der Regelstrategien konnten wertvolle Inputs für das Engineering der Regelungstechnik-Firma erarbeitet werden. Insbesondere bei komplexen haustechnischen Anlagen kann durch Simulation von Regelstrategien im Vorfeld ein effizienter Betrieb schon von Beginn an erreicht werden. Ein ganz neuer Aspekt der Vorabfunktionsüberprüfung von Regelstrategien konnte mittels der Hardware-in-the-Loop Methode durchgeführt werden. Somit war es möglich, schon vor Inbetriebnahme des Gebäudes Fehler in der Regelungsprogrammierung zu beheben. Die vergleichende Analyse von Regelstrategien mit Hilfe von dynamisch-thermischen Simulationen hat einen enormen Mehrwert, sofern die daraus gewonnen Erkenntnisse auch den nachgelagerten Gewerken kommuniziert werden. Demgegenüber steht der aktuell noch sehr hohe Aufwand der Modellbildung von komplexen haustechnischen Anlagenmodellen. Ein Schwerpunkt zukünftiger Forschung sollte daher auf der Vereinfachung/Beschleunigung der Modellbildung liegen.

Durch den gewählten forschungsintensiven Ansatz wurden essentielle Erkenntnisse und Projektierungsgrundlagen geliefert, inwiefern der Gebäudebetrieb energieoptimiert gestaltet werden kann. Einerseits wird die Anwendbarkeit der entwickelten Konzepte am Testgebäude „Post am Rochus“ demonstriert, andererseits ist durch den generischen Ansatz eine Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf andere Gebäude gegeben.

Abstract

According to current state of the art, building HVAC systems are designed with regard to the maximum expected load (especially heating and cooling). These peak loads, however, are only required a few hours in the year, leaving the system most of the time running in "part-load operation". Efficiency of part-load operation strongly depends on the expertise and experience of the design and planning team. It is a challenging and resource intensive task, which is currently a weakness in the overall planning process.

The research project PEAR examines, evaluates and optimizes energy-efficient building systems in terms of their control strategies with the primary objective of significantly reducing the duration of the commissioning phase, as well as guaranteeing a consistently energy-optimized operation while maintaining comfort. The project developed a new hardware-in-the-loop method, which was tested in the demonstration building "Post am Rochus". Hardware-in-the-loop connects building automation hardware with a simulation environment, in order to analyze and optimize the interaction between controls and (simulated) energy systems. The main project objectives are:

- the development of intelligent control strategies for an efficient operation of part load conditions in complex building systems with a focus on cooling and humidity control using dynamic building and system simulation, and
- the application of the HIL approach as part of quality assurance measures during the development of an optimized building operation.

By using simulations to analyze the control strategies and its effects on efficient operation of the building right from the beginning of the building life cycle, valuable inputs for the control engineering team could be gained. A completely new aspect of quality measures could be achieved using the HIL approach. This allows checking the control strategies in terms of errors and efficiency before it is actually implemented in the building. The comparative analysis of control strategies using dynamic-thermal simulations has enormous benefits, as far as the knowledge gained is communicated to subsequent disciplines. On the other hand, currently high effort is needed for modelling complex service plants. Further research should therefore go into the direction of simplification of simulation models.

The research-intensive approach delivers essential knowledge and engineering fundamentals how building operation can be made more energy efficient. On the one hand, the applicability of the developed concepts is demonstrated in the test building "Post am Rochus" and on the other hand, replicability of results to other buildings is given by the project's generic approach.

1. Ausgangslage

Die Auslegung und Dimensionierung gebäudetechnischer Anlagen erfolgt nach heutigem Stand der Technik für die maximal auftretenden Leistungen für Heizung, Kühlung und Belüftung. Diese Spitzenlasten treten aber nur zu sehr wenigen Stunden im Jahr auf, womit die Anlagen zum Großteil des Jahres im sogenannten "Teillastbetrieb" sind. Wie gut gebäudetechnische Anlagen auf diesen Teillastbetrieb reagieren können, hängt sehr stark vom Know-how des Planungsteams ab, da hier eine flexible hydraulische Verschaltung, sowie das Priorisieren der zur Verfügung stehenden Energiequellen (Umweltenergie, Geothermie, erneuerbare Energien, fossile Energie) eine wichtige Rolle spielen. Je mehr Betriebszustände mit einer Anlage bewältigt werden können, umso eher kann auf unterschiedliche Teillastzustände effizient reagiert werden. Diese Vielzahl an möglichen Betriebszustände verursacht den Bedarf an intelligenten Regelstrategien, die festlegen, wann welche Betriebszustände in der gebäudetechnischen Anlage abgerufen werden sollen. Die Entwicklung dieser intelligenten Regelstrategien der Regelungstechnik in der Inbetriebnahme-Phase ohne fundierte Unterstützung von der Haustechnikplanung bzw. vorab durchgeführten theoretischen Analysen, stellt aktuell eine Schwachstelle im Planungs-, Bau- und Betriebsprozess dar. Die Inbetriebnahme-Phase und die Betriebsoptimierung von komplexen gebäudetechnischen Anlagen sind daher eine Herausforderung für die Regelungstechnik und das Facility Management und setzen üblicherweise viel Zeit und Erfahrung voraus. Wird dieser Phase des Planungs-, Bau- und Betriebsprozesses nicht die entsprechende Wichtigkeit beigemessen, kann auch ein sehr innovatives Konzept seine Vorteile hinsichtlich Energieeffizienz und Nutzerkomfort kaum in die Realität umsetzen (Judex and Hauer, 2018). Die Bereiche Kühlung und Feuchteregulierung verursachen im Büro- und Dienstleistungsbereich einen Großteil des Energiebedarfs im Betrieb (Jandrokovic et al., 2012). Selbst bei reibungslosem Betrieb sind noch keine Aussagen zur Energieeffizienz zu treffen. Gerade bei komplexen gebäudetechnischen Systemen gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten, diese zu betreiben und der effiziente Betrieb hängt maßgeblich von der Flexibilität und der Kompatibilität der realisierten Mess-, Steuer- und Regelungstechnikkomponenten ab.

Verschiedene Forschungseinrichtungen befassen sich mit dem effizienten Gebäudebetrieb: Die RWTH Aachen hat in einem Projekt „Hardware-In-The-Loop Simulationsverfahren für Hausenergiesysteme“¹ analysiert, das Lawrence Berkeley National Laboratory entwickelte im Projekt „Real-Time Building Energy Simulation Using EnergyPlus and the Building Controls Test Bed“² die BCVTB-Plattform. BCVTB (engl. Building Controls Virtual Test Bed) ermöglicht den Nutzern die Funktionen von EnergyPlus um Regelung und Systemsimulation zu erweitern (Wetter and Haves, 2008). Die University of Illinois hatte im Projekt „Hardware-in-the-Loop Load Emulation for Air-Conditioning and Refrigeration Systems“³ den Schwerpunkt auf Klimaanlage, während die Tongji University, Shanghai im Projekt „A Verification Test Bed for Building Control Strategy Coupling Trnsys with a Real Controller“⁴ auf TRNSYS (engl. TRaNsient Systems Simulation) setzt.

Das Forschungsprojekt PEAR untersucht, evaluiert und optimiert energieeffiziente gebäudetechnische Systeme hinsichtlich ihrer Regelstrategien mit dem Hauptziel einer Verkürzung der Inbetriebnahme-Phase, sowie einem durchgängig energieoptimierten Betrieb bei gleichbleibender Behaglichkeit. Die

¹ http://www.ibpsa.org/proceedings/bausimPapers/2012/BauSIM2012_141.pdf

² <https://simulationresearch.lbl.gov/bcvtb>

³ <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2100&context=iracc>

⁴ http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2011/P_1189.pdf

Akzeptanz von neuen Technologien ist maßgeblich von der Nutzerzufriedenheit abhängig. Für eine erfolgreiche Einführung ist es daher erforderlich, dass diese zumindest gleichbleibend ist, vorteilhafter ist eine Steigerung. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde eine Erweiterung der Hardware-in-the-Loop (HIL) Methode entwickelt und anhand eines Demonstrationsgebäudes einem begleitenden Praxistest unterzogen. Hardware-in-the-Loop verbindet die Gebäudeautomations-Hardware mit einer Simulationsumgebung, um so das Zusammenspiel zwischen Regelung und (simulierten) Energiesystemen zu analysieren und zu optimieren. Die wesentlichen Projektteilziele, die zum Hauptziel führen, sind:

- die Entwicklung von intelligenten Regelstrategien zum effizienten Betrieb von Teillastzuständen in komplexen gebäudetechnischen Anlagen mittels dynamischer Gebäude- und Anlagensimulation. Das Modellierungsziel ist den notwendigen Detaillierungsgrad der Modellbildung unter dem Motto „so einfach wie möglich - so detailliert wie notwendig“ zu evaluieren.
- die Weiterentwicklung der HIL Methode als qualitätssichernde Maßnahme, zur Überprüfung von Regelstrategien auf korrekte Funktion und Effizienz.

Durch den gewählten forschungsintensiven Ansatz werden essentielle Erkenntnisse und Projektierungsgrundlagen geliefert, inwiefern der Gebäudebetrieb energieoptimiert gestaltet werden kann. Einerseits wird die Anwendbarkeit der entwickelten Konzepte am Testgebäude „Post am Rochus“ demonstriert und andererseits ist durch den generischen Ansatz eine Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf andere Gebäude gegeben.



Abbildung 1: Außenansicht des Demonstrationsgebäudes „Post am Rochus“⁵ © Lukas Schaller, derstandard.at

Die hier dargestellten Ergebnisse wurden im Zuge der Errichtungsphase und ersten Nutzungsphase des Demonstrationsgebäudes Konzernzentrale „Post am Rochus“ erarbeitet und integriert. Es handelt sich bei dem Demonstrationsgebäude um ein Hochhaus im 3. Wiener Gemeindebezirk mit 49.300 m² Bruttofläche mit vorwiegend Büronutzung, sowie einem Einkaufszentrum im Erdgeschossbereich (siehe Abbildung 1). Das Raumklima wird mit unterschiedlichen Technologien bereitgestellt, unter anderem Betonkernaktivierung, FreeCooling und Raumluftechnik, die für die Aufgabenstellungen im Zuge des Projekts herangezogen wurden.

⁵ <https://images.derstandard.at/img/2017/11/10/Post003.jpg?tc=e716&s=fab632ff>

2. Projektinhalt

In diesem Projekt wird eine Lösung zur Bewertung der Energieeffizienz von Regelstrategien in den Bereichen Raumluftechnik, Betonkernaktivierung und FreeCooling entwickelt und anhand eines parallelen Bauprojekts validiert. Da sich der mit dem Planungsstand errechnete Energiebedarf oft nicht mit den gemessenen Werten des Betriebs deckt, ist die Hypothese, dass qualitätssichernde Maßnahmen in der Entwicklung des Gebäudebetriebs notwendig sind, indem die Automation und Regelung mit dem Hauptziel der Verkürzung der Inbetriebnahme-Phase (siehe Abbildung 2) auf den Prüfstand gestellt werden.

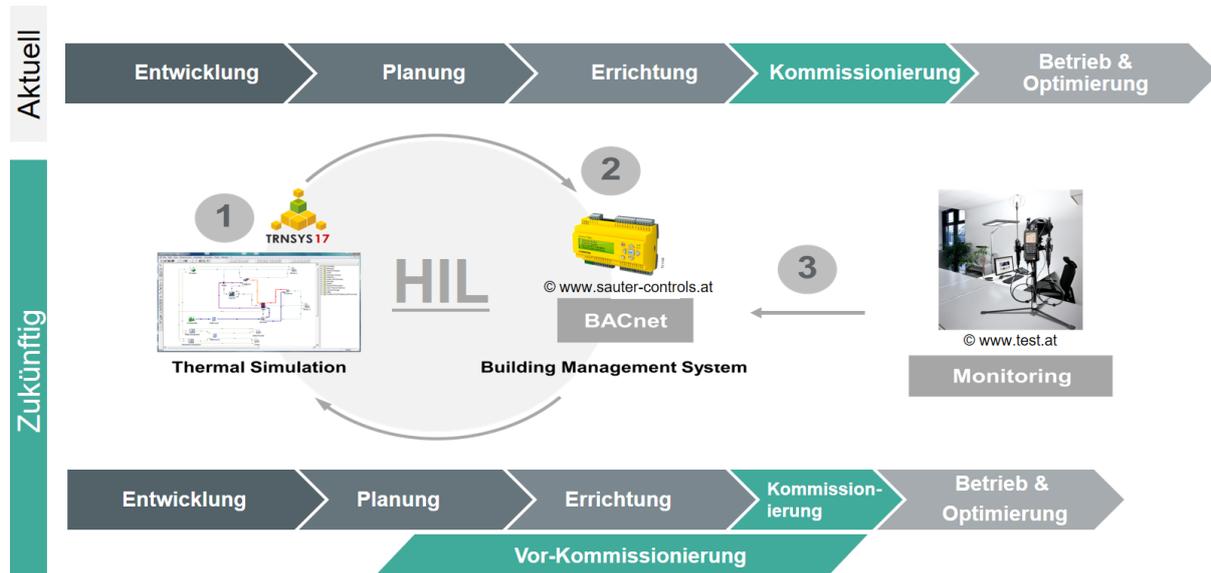


Abbildung 2: Visualisierung der Verkürzung der Inbetriebnahme-Phase und schematische Darstellung der Hardware-in-the-Loop Methodik, die im Rahmen des Arbeitspaketes 4 angewendet werden soll. © AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Abbildung 2 zeigt zusammengefasst die verwendeten Methoden, die im Laufe des Projekts für die Lösungsfindung zur Anwendung kamen. Als zentrales Instrument wurden themenspezifische Workshops mit allen notwendigen Stakeholdern in regelmäßigen Abständen in der Phase der Ausführungsplanung durchgeführt. Situationsabhängig wurden Problem und Aufgabenstellungen besprochen und zielgerichtet Lösungen erarbeitet, die sowohl in das Forschungsprojekt, als auch in die Errichtung des Demonstrationsgebäudes eingeflossen sind. Diese Methode hat sich äußerst bewährt, da mit wenig Ressourcenaufwand, zielgerichtete Lösungen entwickelt werden konnten. Für die Entwicklung und Bewertung möglicher Betriebsfälle der unterschiedlichen Technologien (Betonkernaktivierung, FreeCooling und Raumluftechnik), kam die Methode der thermischen Simulation zur Anwendung. Mit Hilfe der zu entwickelten physikalischen Anlagenmodelle wurden durch rechengestützte Simulation Betriebsfälle energetisch berechnet, evaluiert und bewertet. Die Ergebnisse waren die Basis für die finale Funktionsbeschreibung der zu implementierenden Regelung je Technologie. Fragestellungen der Modelltiefe, d.h. sind Vereinfachungen in der Modellierung zulässig und wie können diese aussehen, stellten sich während der Umsetzung als sehr herausfordernd dar. Trotz getroffener Vereinfachungen war der Modellierungsaufwand für die betrachtenden Technologien aufgrund der Komplexität der zugrundeliegenden Anlagen enorm. Hier besteht weiter Forschungsbedarf, z.B. das Ableiten von Simulationsmodellen aus bestehenden digitalen Planständen „Stichwort BIM“, um den Aufwand einer Modellierung zu reduzieren. Die Methode von HIL wurde im Projekt als qualitätssichernde Maßnahme definiert, um eine korrekte Funktionsüberprüfung der zu

implementierenden Regelung, die direkt in der entsprechenden Hardware implementiert ist, zu überprüfen. Grobe Fehler oder Inkonsistenzen in der Regelungssequenz sollte somit vor einer eigentlichen Implementierung kosten- und ressourcengünstig überprüft werden, um eine Verkürzung der Inbetriebnahme-Phase zu unterstützen. Die entwickelte Methode stellte sich zu nächst als herausfordernd dar, da sowohl Schnittstellen zur realen Hardware, als auch eine Modellanpassung der bestehenden Simulationsmodelle je Technologie durchgeführt werden mussten. Der entwickelte HIL-Ansatz konnte erfolgreich umgesetzt werden. Er erfüllte seinen Zweck, da Fehler in der Programmierung bereits vor der eigentlichen Inbetriebnahme im Gebäude gefunden werden konnten. Die entwickelte Lösung eignet sich vor allem für in sich geschlossene Regelungen, d.h. Regelungen die nicht über mehrere Hardware-Einheiten aufgeteilt sind. Für die Validierung der umgesetzten Regelstrategien und einer neuerlichen Qualitätskontrolle, wurden klassische Methoden der Messdatenauswertung gewählt. Dadurch konnten wertvolle Erkenntnisse für einen energieeffizienten Gebäudebetrieb gewonnen werden, die auf einen optimierten Betrieb abzielt.

Die Umsetzung des PEAR-Projekts und die damit erarbeiteten Lösungen erfolgten unter Anwendung der vorgestellten Methoden in Anlehnungen an die folgenden Arbeitspakete:

- AP2 Anforderungsdefinition: Zuerst wurden diverse Anforderungen hinsichtlich Regelungstechnik, Gebäudeautomation, Regelungsoptimierung, Sensordefinition für Monitoring und Evaluierung, definiert.
- AP3 Regelstrategien: Auf Basis der Ergebnisse aus AP2 wurden optimierte Regelstrategien für die Technologien Betonkernaktivierung, FreeCooling und Raumluftechnik entwickelt. Die evaluierten und energetisch bewerteten Ergebnisse dienten als Basis für die Ableitung von Funktionsbeschreibungen, um diese Regelstrategien in die Gebäudeleittechnik des Demonstrationsgebäudes „Post am Rochus“ zu integrieren.
- AP4 Hardware-in-the-Loop: Es wurde eine Laborumgebung geschaffen, die eine Durchführung von HIL Tests erlaubt. Die entwickelten Regelstrategien wurden auf einem Hardwaremodul installiert und anschließend mit einem physikalischen Simulationsmodell – ein vereinfachtes äquivalentes Modell zur realen Anlage – auf korrekte Funktion und Effizienz überprüft.
- AP5 Monitoring und Evaluierung: Das Gebäudeverhalten, insbesondere das Verhalten der HKLS Anlagentechnik, wurde basierend auf realen Monitoringdaten hinsichtlich optimalen Gebäudebetriebs analysiert und evaluiert. Durch diese Analysen konnten optimierte Betriebsparameter abgeleitet werden.
- AP6 Dissemination: Es wurden Vorschläge definiert, wie das entwickelte Konzept durch seinen generischen Ansatz auf andere Gebäudeprojekte übertragen werden kann. Weiters wurden die Erkenntnisse auf diversen Fachkonferenzen durch Vorträge und Konferenzpapers publiziert.

3. Ergebnisse

Nachfolgend werden die wichtigsten im Projekt PEAR erarbeiteten Ergebnisse und Projekthighlights dargestellt.

3.1. Nutzerbefragung

In Kooperation mit der Universität Wien fanden drei Online Umfragen unter den MitarbeiterInnen der Post AG statt, mit dem Ziel, Feedback über die Zufriedenheit des neuen Gebäudes inkl. Raumkomfort zu erhalten. Die erste fand im Zeitraum 28.09. - 27.10.2017 vor der Umsiedlung statt (am Standort Haidingergasse 1), die zweite von 20.02. - 13.03.2018 nach der Übersiedlung in den Standort „Post am Rochus“ und die dritte von 11.06. - 02.07.2018 ca. ein halbes Jahr nach der Übersiedlung. Es nahmen 592, 552 bzw. 494 Personen teil. Dabei haben die gleichen 331 Teilnehmer zwischen Umfrage 1-2 bzw. 308 zwischen Umfrage 2-3 teilgenommen, wodurch eine Analyse der Veränderung zwischen den Umfragen möglich war.

Abbildung 3 zeigt als Zusammenfassung die subjektiv wahrgenommene Veränderung des Raumkomforts zwischen der zweiten und dritten Umfrage. Man sieht, dass sich die Veränderung der Wahrnehmung zum Besseren oder Schlechteren bei der Temperatur und der Zugluft die Waage hält, die Luftfeuchtigkeit aber als deutlich verbessert (d.h. die aufgetretenen technischen Schwierigkeiten wurden durch eine Auswertung der Monitoringdaten während des Projektverlaufs erkannt und konnten behoben werden) beurteilt wurde.

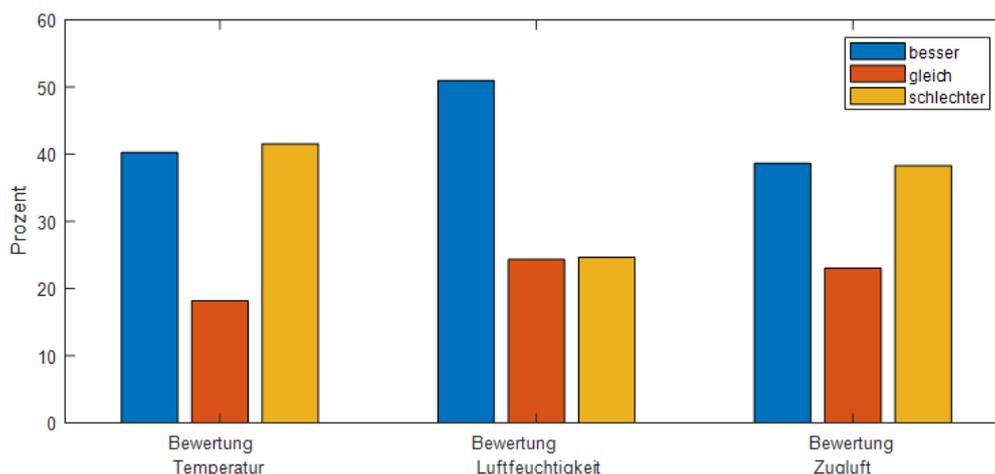


Abbildung 3: Subjektive Veränderung des Raumkomforts zwischen zweiter (kurz nach dem Umzug in den Standort „Post am Rochus“) und dritter Umfrage (ca. ein halbes Jahr nach dem Umzug) © AIT Austrian Institute of Technology GmbH

3.2. Ableiten von Regelstrategien

Für die Konzeption der Regelstrategien wurden für die definierten Technologien physikalische Simulationsmodelle in der Simulationsumgebung TRNSYS 17 erstellt. Abbildung 4 zeigt das simulierte Anlagenschema, abgebildet in TRNSYS. Es beinhaltet die Technologien Betonkernaktivierung, FreeCooling und Raumluftechnik.

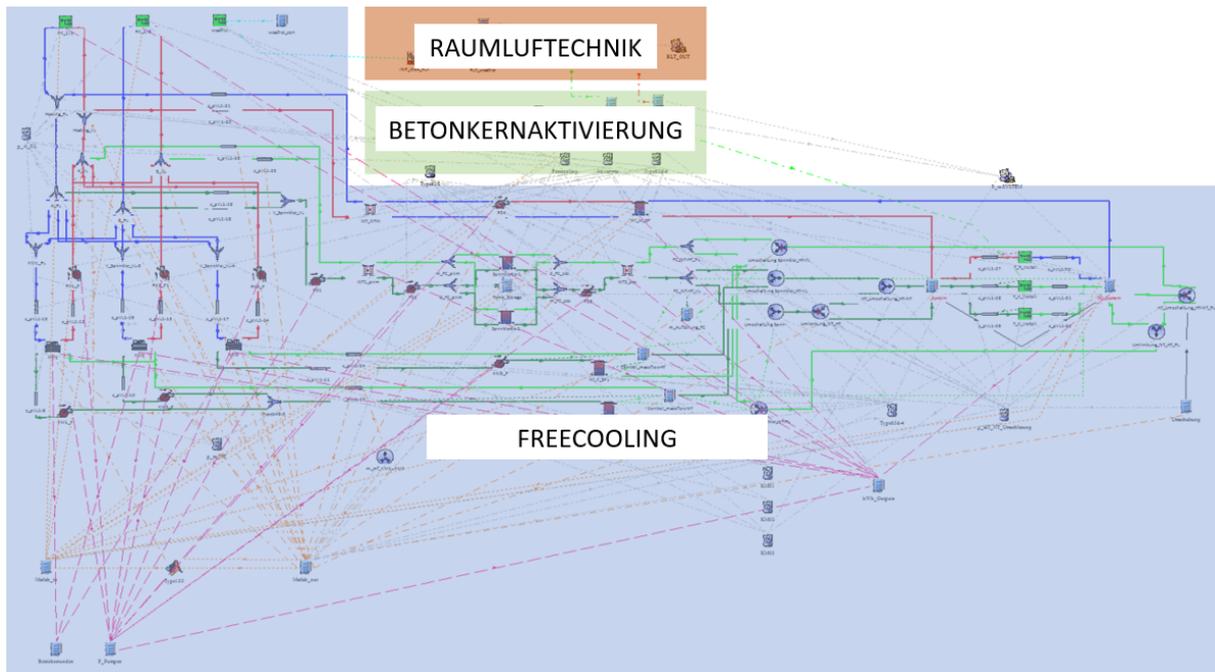


Abbildung 4: Schematische Darstellung des HKLS Anlagenmodells der „Post am Rochus“ in der Simulationsumgebung TRNSYS © AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Basierend darauf wurden je nach Technologie unterschiedliche Betriebsfälle definiert, anschließend mittels thermischer Simulation berechnet und energetisch bewertet. Abbildung 5 zeigt beispielhaft neun unterschiedliche Betriebsfälle, die mit Hilfe dynamischer Simulation bewertet wurden. Die Betriebsfälle wurden in eine Parameterstudie übergeführt, d.h. jeder Betriebsfall wurde mit unterschiedlichen Parametern und Regelstrategien modelliert und im Anschluss bewertet.

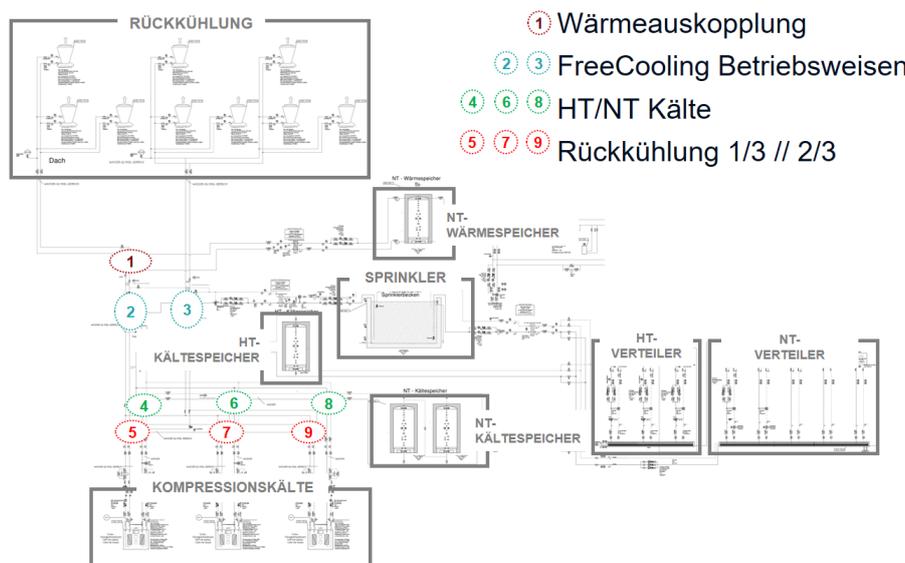


Abbildung 5: Schematische Darstellung von neun unterschiedlichen Betriebsfällen der verbauten HLK Anlage im Demonstrationsgebäude „Post am Rochus“ © AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Aufbauend auf den energetischen Bewertungen konnten gemeinsam mit der MSR ausführenden Firma Funktionsbeschreibungen und Regelungsparameter für die Implementierung für das Gebäude „Post

am Rochus“ abgeleitet werden. Teilmodelle des in Abbildung 4 gezeigten Modells werden für die nachstehenden qualitätssichernden Maßnahmen des HIL Ansatzes wiederverwendet.

3.3. Hardware-in-the-Loop (HIL)

Parallel zur Parameterstudie und Regelstrategieableitung erfolgt eine qualitätssichernde Maßnahme durch die HIL Methode, d.h. die Kopplung eines realen Reglers mit einem physikalischen Modell (erstellt in TRNSYS) in der Simulationsumgebung Building Control Virtual Test Bed (BCVTB). Die Regler-Hardware ist vom selben Typ wie sie im Gebäude „Post am Rochus“ zum Einsatz kam. Für die zu untersuchenden Technologien wurden die entwickelten Modelle für den Zweck von HIL adaptiert und im Anschluss erfolgreich mit dem Regler verbunden. Der Regler kommuniziert über BACnet/IP mit dem BCVTB. Der Regler operiert in seiner normalen Umgebung, genau wie er es in einem realen Gebäude tun würde. Abbildung 6 zeigt die HIL Umgebung, d.h. die Kopplung eines realen Reglers mit einem virtuellen Anlagenmodell via BACnet/IP dargestellt in BCVTB.

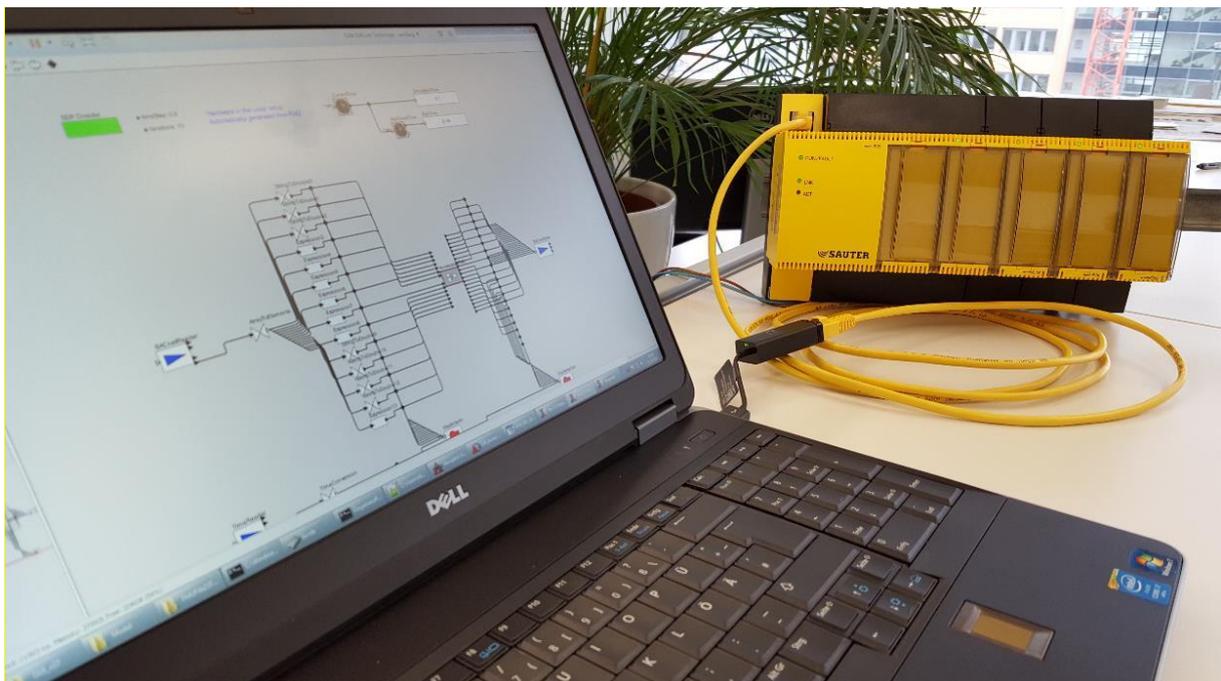


Abbildung 6: Darstellung HIL Umgebung (Simulationsmodell mit realer Hardware) © AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Abbildung 7 zeigt beispielhaft eine Auswertung, die im Rahmen der HIL Überprüfung entstand. Dabei wurde die korrekte Funktion eines Lüftungsreglers im Winterfall untersucht. Ziel ist es, dass die Zielgrößen 40 % relative Luftfeuchtigkeit in der Abluft und 20 °C Zulufttemperatur erreicht werden. Fehler durch falsche Ventilstellungen würden somit noch vor realer Inbetriebnahme erkannt werden. Im Zuge der qualitätssichernden Maßnahmen im PEAR-Projekt konnte ein kleiner Programmierfehler z.B. das Nicht-Öffnen des Nachheizregisterventils im Sommerfall, gleichzeitiges Heizen und Kühlen bei der Betonkernaktivierung, erkannt und an die verantwortlichen Stakeholder zur Bearbeitung weitergegeben werden. Dieser Fehler hätte sich in Form von zu geringen Zuluft-Temperaturen und dem damit einhergehenden Komfort- und Effizienzverlust geäußert. Durch den Zeitplan des Bauvorhabens wäre dies erst nach Übergabe des Objektes und am Ende des Projektes schlagend geworden. Die Fehlerbehebung hätte dann vergleichsweise einen höheren Aufwand (zeitlich und finanziell) verursacht.

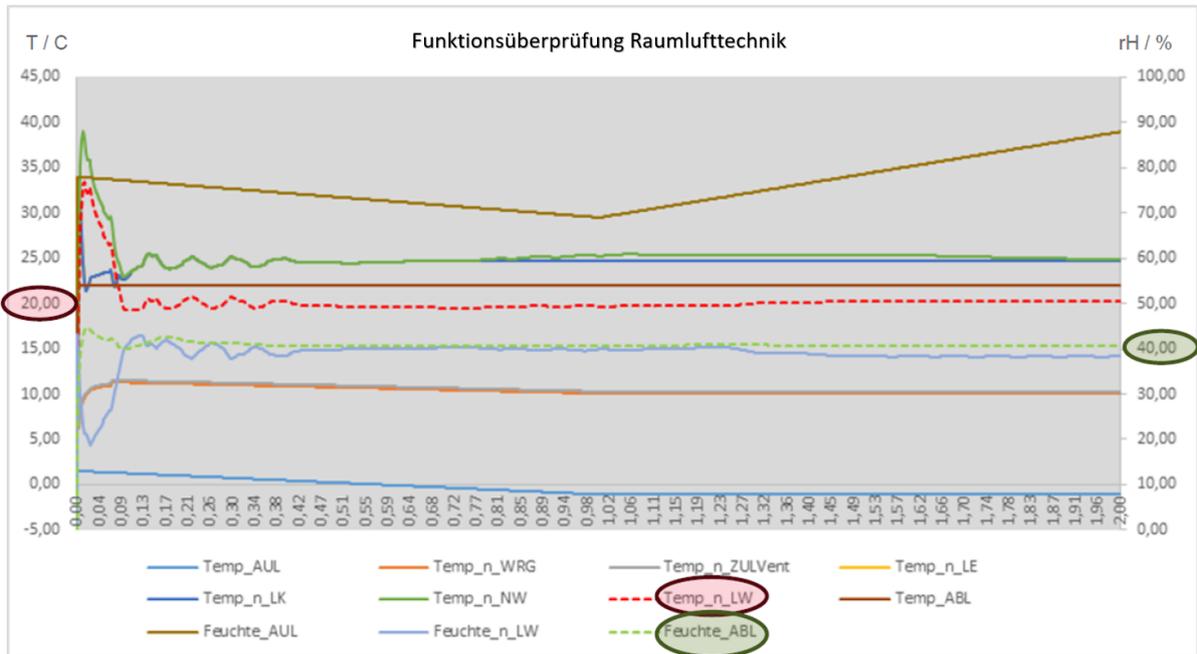


Abbildung 7: Ergebnis HIL Kopplung (Regler mit einem TRNSYS Simulationsmodell), zeitlicher Verlauf unterschiedlicher Messgrößen, unter anderem die Zielgrößen Abluftfeuchte (grün), Zulufttemperatur (rot) © AIT Austrian Institute of Technology GmbH

3.4. Monitoring-Auswertung

Basierend auf den zur Verfügung gestellten und durch das Projektteam aufbereiteten Monitoringdaten, wurde im letzten Schritt die gemeinsame Datenauswertung und Dateninterpretation je Technologie (Raumluftechnik, Betonkernaktivierung, FreeCooling) durchgeführt. Ziel war es, Rückschlüsse auf den optimalen Gebäudebetrieb und Verbesserungspotential zu beschreiben. Die nachfolgenden Kapitel zeigen beispielhaft einige Highlights der Auswertung.

Raumluftechnik- Lüftungsgerät

In Abbildung 8 ist die Auswertung der Betriebsmodi der Bürolüftungsanlagen LG01 und LG02 (rot: heizen, blau: kühlen) dargestellt. Im Zuge der Monitoring-Auswertung wurde festgestellt, dass die Bürolüftungsanlagen grundsätzlich auch diese vorgesehenen Regelsequenzen durchlaufen. Es konnten jedoch noch drei zusätzliche Betriebsmodi (Modus 2', Modus 4' und Modus -2') im Vergleich zu den durchgeführten Regelstrategie-Simulationen festgestellt werden.

4'	ON	ON	OFF	ON	ON
4	ON	ON	OFF	ON	OFF
3	ON	OFF	OFF	ON	OFF
2'	ON	ON	OFF	OFF	ON
2	ON	ON	OFF	OFF	OFF
1	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
0	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
1	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
2	ON	OFF	ON	OFF	OFF
2'	ON	OFF	ON	ON	OFF
3	ON	OFF	OFF	OFF	ON
4	ON	OFF	ON	OFF	ON
5	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
6	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
7	OFF	OFF	ON	OFF	ON

Abbildung 8: Betriebsmodi Auswertung Lüftung © teamgmi

Darauf aufbauend haben detaillierte Auswertungen gezeigt, dass Optimierungspotential für einen effizienteren Betrieb (energetisch, behaglich) trotz der begleitenden PEAR-Maßnahmen vorhanden ist. Nachfolgend sind einige beispielhafte Empfehlungen für den optimierten Betrieb aufgelistet:

- Abbildung 9 (linke Grafik) zeigt, dass die Abluftfeuchte im Kühlmodus -2 nicht immer den minimalen Grenzwert von 40 % relativer Luftfeuchte erreicht, jedoch immer noch in einem akzeptablen Bereich > 30 % relativer Luftfeuchte liegt. Abbildung 9 (rechte Grafik) zeigt, dass die Zulufttemperatur im Kühlmodus -4 teilweise wesentlich unter dem minimalen Grenzwert von 20 °C liegt, was zu Komforteinbußen führen kann.

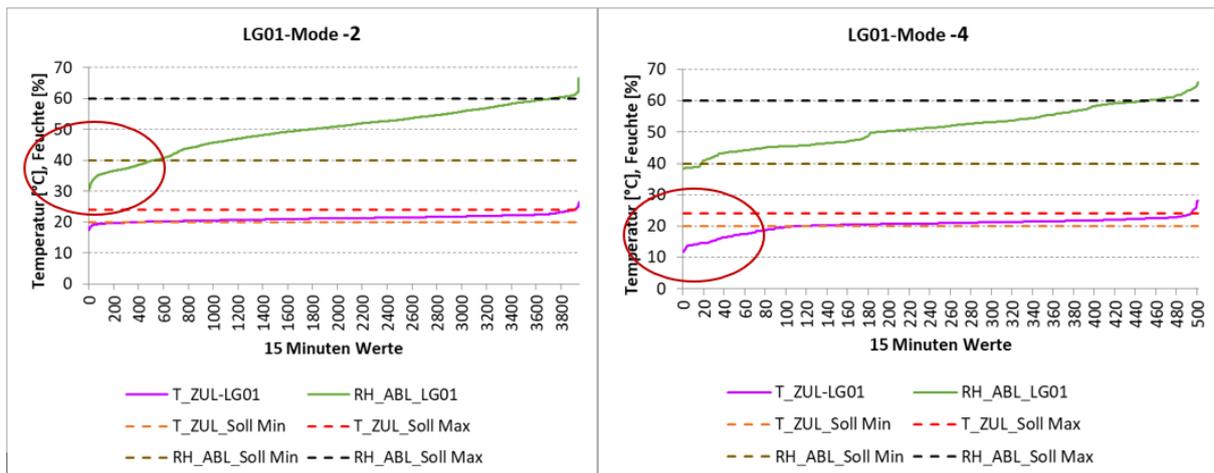


Abbildung 9: links: Sortierte Werte Zulufttemperatur und Abluftfeuchte Bürolüftung im Kühlmodus -2, Sommer 2018, rechts: Sortierte Werte Zulufttemperatur und Abluftfeuchte Bürolüftung im Kühlmodus -4, Sommer 2018 © teamgmi

- Funktionsüberprüfung des Nachheizregisters: Überprüfung der teilweise zu niedrigen Zulufttemperaturen im Kühlbetrieb. Dies sollte aus Komfortgründen vermieden werden.
- Adaptierung des Sollwerts der Zulufttemperatur: bei niedriger Außentemperatur, Sollwert von 24 °C auf 21 °C ändern, wodurch verhindert wird, dass das Nachheizregister im Winterfall in

Betrieb geht. Daraus ergibt sich eine energetische Verbesserung, unter Einhaltung der Komfortkriterien.

Bauteilaktivierung

Mit Hilfe der Monitoringdaten konnten die Raumtemperaturen der Büroräume mit aktivierter Betondecke in diversen Teilbereichen analysiert werden. Abbildung 10 zeigt beispielhaft die Ergebnisse der Auswertung fünf exemplarischer Regelungszonen (HK-T-011 bis 015) von Büroräumen des vierten Obergeschosses Neubau. Abbildung 10 (links) stellt die Häufigkeitsverteilung der Raumtemperatur dar, Abbildung 10 (rechts) den dynamischen Verlauf der Raumtemperatur von Mitte Dezember 2017 bis Anfang September 2018 dar. Bis auf einige Ausreißer bzw. Zeiträume liegen die Werte im normkonformen (EN ISO 7730, Kategorie B, Raumtemperatur, Sommerfall: $24,5\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$, Winterfall: $22,0\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$) behaglichen Bereich. Die Ausreißer wurden im Zuge der Abstimmungsmeetings mit der Post AG diskutiert und an den Gebäudebetreiber weitergeben. Weitere Empfehlungen konnten nicht abgeleitet werden.

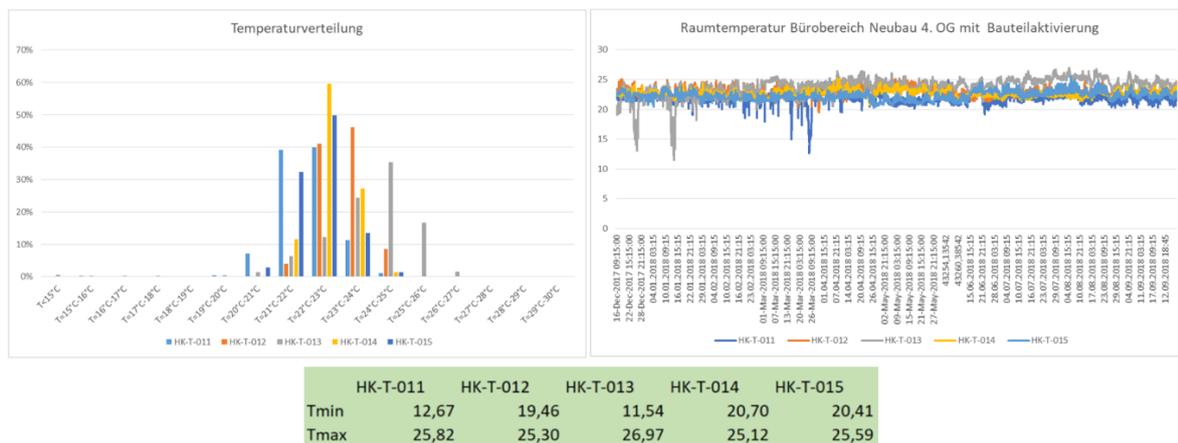


Abbildung 10: Links: Temperaturverteilung der Bürozonen Neubau 4. Obergeschoss, Rechts: dynamischer Verlauf der Raumtemperatur der Bürozonen Neubau 4. Obergeschoss (Dez 2017, Aug 2018), Mitte: Zusammenstellung min. max. Raumtemperatur © IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie

FreeCooling

Auf Basis der aufbereiteten Monitoringdaten wurde das Schaltverhalten der Kältemaschinen hinsichtlich FreeCooling untersucht. In Abbildung 11 sind exemplarisch drei unterschiedliche Schaltzustände identifiziert. Phase 3 zeigt den idealen FreeCooling Betrieb: die Versorgung von Hochtemperatur- (HT) und Niedertemperatur- (NT) Kälte über das Sprinklerbecken. In Phase 1 erfolgt die Versorgung über die Kältemaschine, was aufgrund der niedrigen Außentemperatur ($< 6\text{ °C}$) nicht passieren sollte. Trotz der begleitenden PEAR-Maßnahmen besteht hier weiteres Optimierungspotential zur Reduktion des Energieaufwandes (verminderter Einsatz der Kältemaschinen) als auch hinsichtlich der Lebensdauer der Kältemaschinen (aufgrund verminderter Taktung) und damit geringerer Serviceintervalle/Kosten. Im Zuge des letzten Konsortialmeetings wurden u.a. folgende Empfehlungen für den optimierten Betrieb erarbeitet:

- Ab einer Außentemperatur von z.B. $< 6\text{ °C}$ und gleichzeitiger NT-Kälteanforderung, sollen die Kältemaschinen gesperrt werden, um einen korrekten FreeCooling Betrieb zu ermöglichen. Ein Zuschalten der Kältemaschinen soll erst dann erfolgen, wenn die Außentemperatur einen noch festzulegenden Grenzwert übersteigt, bzw. das FreeCooling Potenzial (Speicherzustand des

Sprinklerbeckens) ausgeschöpft ist. Neben dem NT-FreeCooling sollte eine ähnliche Strategie auch für das HT-FreeCooling definiert werden.

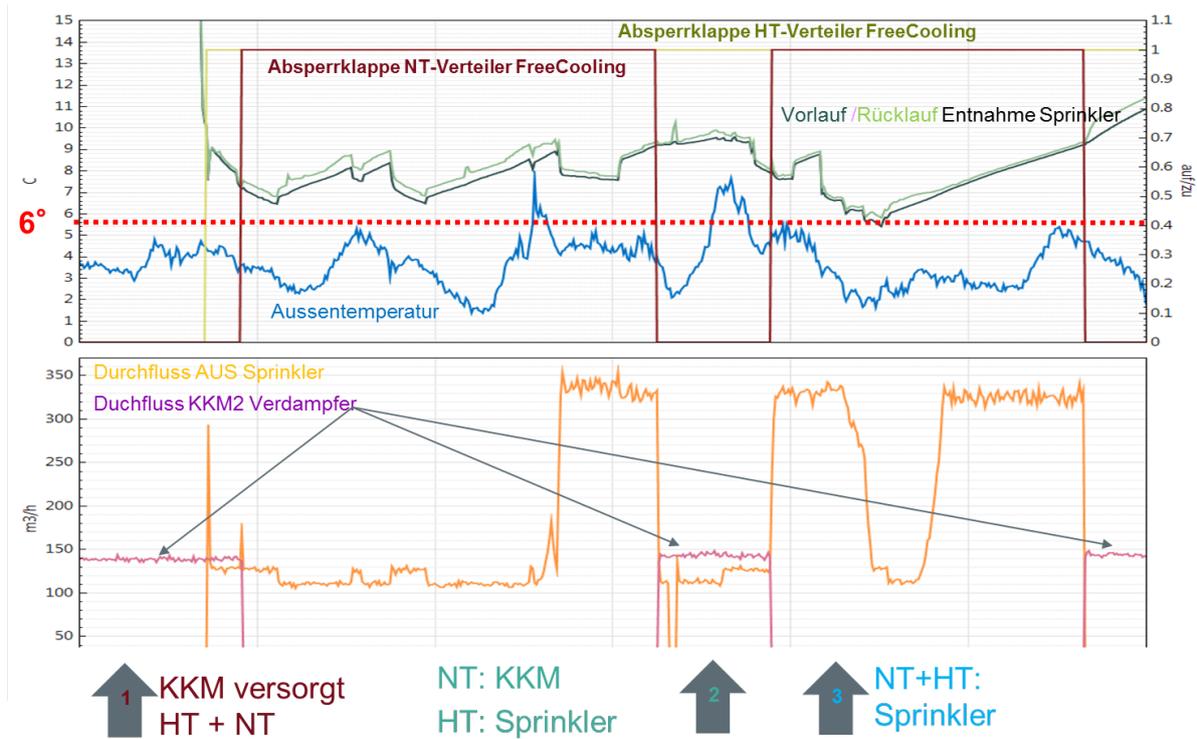


Abbildung 11: Darstellung dreier Betriebsmodi zur Kältebereitstellung im Februar 2018 © AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Neben dem FreeCooling Betrieb wurde ebenfalls der reguläre Betrieb der Kältemaschinen untersucht. Auffallend war ein teilweise auftretendes starkes Takten, d.h. Einschalten und schnelles darauffolgendes Abschalten der Kältemaschine, siehe Abbildung 12. Im Zuge der Projektlaufzeit konnte keine Lösung/Empfehlung erarbeitet werden. Die Fehler wurden der Post AG und dem Gebäudebetreiber weiterkommuniziert. Aus jetziger Sicht handelt es sich um ein hydraulisches Problem, das durch nicht funktionierende Pumpen oder Ventile erzeugt werden kann. Optimierungsmaßnahmen wurden im Zuge des letzten Konsortialmeetings mit der Post AG besprochen.

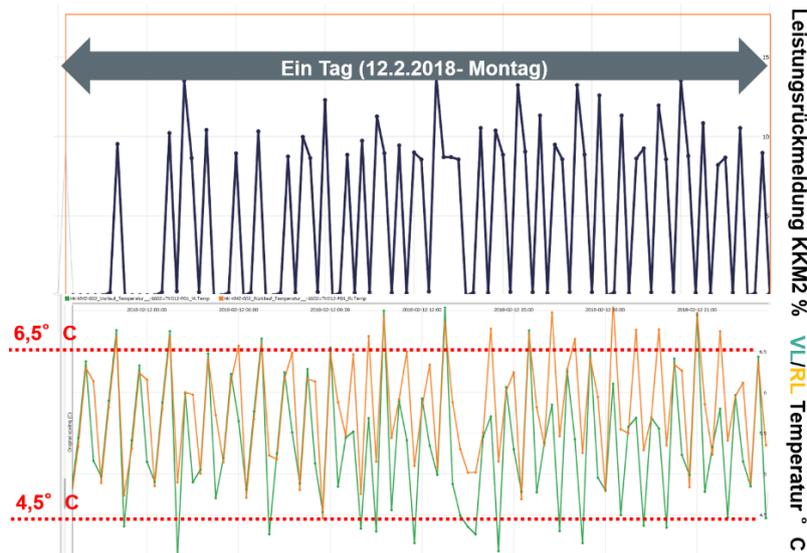


Abbildung 12: Auswertung der Kältemaschine 2 hinsichtlich Taktung an einem beispielhaften Tag Februar 2018 © AIT Austrian Institute of Technology GmbH

3.5. Integration der PEAR-Methoden in das „Post am Rochus“ Bauprojekt

Die Integration der Ergebnisse aus PEAR in den Bauprozess des Demonstrationsgebäudes „Post am Rochus“ ist in Abbildung 13 dargestellt. Wesentlich sind hierbei folgende Meilensteine:

- M1: Einbindung Regelungstechnik von Totalunternehmer (TU) in das Forschungsprojekt
- M2: Integration der Ergebnisse in Anlagenregelung durch Regelungstechnik von TU
- M4: Datenübertragung Monitoring

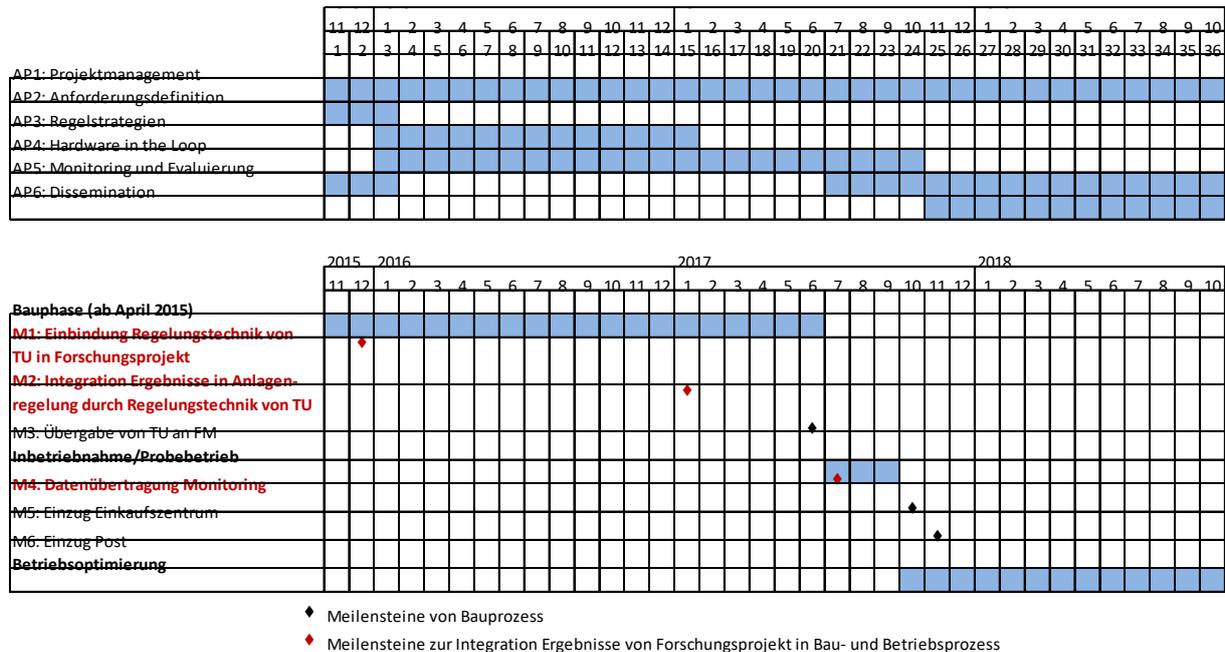


Abbildung 13: Meilensteine zur Integration PEAR-Ergebnisse in Bau- und Betriebsprozess © teamgmi

Wichtig ist hier die Definition der Meilensteine zur Einbindung des für die Errichtung verantwortlichen Totalunternehmers (TU) in einer frühen Phase der Errichtung (Meilenstein 1). Methodisch waren für

diese Phase thematisch gegliederte Expertenworkshops zwischen PEAR-Partnern (Forschungsunternehmen, Haustechnikplaner, Bauphysik, Bauherr), TU (Regelungstechnik-Firma, ausführende Firma Haustechnik, Baufirma) und Facility Management vorgesehen. Bis zu Meilenstein 2 galt es, die wesentlichen Analysen von Seiten PEAR durchgeführt zu haben, um eine Integration der Ergebnisse durch die Regelungstechnik-Firma des TU in die Regelungsprogrammierung zu ermöglichen. In dieser Phase waren die Simulationen der Regelstrategien, sowie die HIL-Analysen angesetzt. Meilenstein 4 ist erforderlich für die Evaluierung des Anlagenbetriebs sowie eventueller Optimierungsmaßnahmen. Die Evaluierung des Anlagenbetriebs wurde mittels Vergleich von Monitoringdaten mit den Sollwerten aus der Simulation der Regelstrategien, sowie den Ergebnissen aus den HIL-Analysen durchgeführt. Abschließend wurde eine Liste an Lessons Learned erstellt, die insbesondere auf die Anwendung der hier durchgeführten Methoden in Nachfolgeprojekten abzielt (siehe beispielhaft Kapitel 0).

3.6. Projektergebnisse in Bezug auf die „Stadt der Zukunft“ Ziele

Erreichung der Energieeffizienz ist eines der wichtigsten Ziele der Energiepolitik – in erster Linie, um die Verwaltung der etablierten Ressourcen zu verbessern sowie den Energieverbrauch zu minimieren und eine damit verbundene Verringerung der Auswirkungen auf die Umwelt zu erzielen. Hauptgrund für diesen enorm steigenden Energiebedarf sind die Ansprüche an den Raumkomfort und damit die Klimatisierung. Dieses Forschungsvorhaben trägt zur Erhöhung der Energieeffizienz bei, indem die Inbetriebnahme-Phase eines Demonstrationsgebäudes deutlich verkürzt werden soll und daher ein Beitrag zum Schließen der Lücke im Wissenstransfer zwischen Planung und Betrieb eines Gebäudes geschaffen wird. Durch die erhöhte Energieeffizienz und die damit verbundene Energieverbrauchssenkung wird ein wichtiger Beitrag zum Klima- und Umweltschutz geleistet – ohne Einbußen beim Komfort. Dieses Projekt kann als Prototyp für eine frühzeitige Optimierung der Regelstrategie dienen und kann in den Ablauf eines Projektes für eine gebäudetechnisch komplex aufgebaute Immobilie als qualitätssichernde Maßnahme eingeplant werden. Dadurch unterstützt es die „Stadt der Zukunft“ Ziele „Resiliente Städte und Stadtteile mit hoher Ressourcen- und Energieeffizienz, verstärkter Nutzung erneuerbarer Energieträger sowie hoher Lebensqualität“ und „Aufbau und Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute“.

4. Schlussfolgerungen

4.1. Gewonnene Erkenntnisse

Als sehr positiv kann der durchgängige Informationsfluss von Regelungskonzepten von der Planungsphase zur Errichtungsphase bewertet werden. Dies konnte durch die Expertenworkshops und die gemeinsame Erarbeitung von Regelstrategien mit der Regelungstechnik-Firma im Zuge des PEAR-Projektes gewährleistet werden. Durch die Simulation der Regelstrategien konnten wertvolle Inputs für das Engineering der Regelungstechnik-Firma erarbeitet werden. Insbesondere bei komplexen haustechnischen Anlagen kann durch Simulation von Regelstrategien im Vorfeld ein effizienter Betrieb schon von Beginn an erreicht werden.

Ein ganz neuer Aspekt der Vorabfunktionsüberprüfung von Regelstrategien konnte mittels der Hardware-in-the-Loop Methode durchgeführt werden. Somit war es möglich, schon vor Inbetriebnahme des Gebäudes Fehler in der Regelungsprogrammierung zu beheben. Das Zeitfenster für diese Methode hat sich als relativ kurz herausgestellt, da die finale Programmierung der Anlagenregelung üblicherweise kurz vor Inbetriebnahme – wenn alle dafür erforderlichen Anlagen errichtet sind und deren Kennzeichnung eindeutig ist – vorliegt.

Durch den Vergleich von Monitoringdaten mit dem Sollbetrieb aus der Simulation konnten Fehlbetriebe rasch identifiziert und analysiert werden. Da die Monitoringauswertung jedoch nur die erste Phase der Nutzung beinhaltet, sind die Daten noch nicht repräsentativ für die Effizienz der haustechnischen Anlagen. Die Auswertung eines weiteren Betriebsjahres ist hier interessant.

Ein zentrales Ziel des Forschungsprojektes war die Verkürzung der Inbetriebnahme-Phase der untersuchten Technologien. Aus Sicht der hier beteiligten Partner ist dieses Ziel von den folgenden vier Faktoren abhängig:

- funktionale Qualitätssicherung auf Einzelkomponentenebene
- korrekte hydraulische Einregulierung der HKLS Anlagenteile
- für die Inbetriebnahme relevante Dokumentationsunterlagen zur Verfügung stellen (Vorabzug der Version der endgültigen Dokumentation)
- geeignete Regelstrategien auf Systemebene

Eine weitere Erkenntnis aus dem Prozess ist, dass man für die Qualitätssicherung in der Inbetriebnahme-Phase einen separaten Betreuer für den Bereich Energietechnik neben dem Facility Management benötigt. Gründe dafür sind zum Beispiel folgende:

- Haustechnik Know-how (Verständnis komplexer Zusammenhänge, Datenauswertung)
- Einbezug des Planungsteams (Überlegungen aus Planung zu Funktion der Anlage)
- Verantwortlichkeiten für Einschulung und Qualitätssicherung

Eine wertvolle Erkenntnis aus dem Prozess ist, dass ein reduzierter Probetrieb auf die Überprüfung von Basisfunktionen – ohne die wesentlichen Betriebszustände der Anlage zu prüfen – zu erheblichem Mehraufwand im Betrieb führt.

Zur Erreichung eines effizienten Anlagenbetriebes von Beginn an ist daher eine Qualitätssicherung der Probetriebsphase erforderlich:

- Definition wichtiger Betriebszustände für Probetrieb
- Abstimmung mit dem MSR-Unternehmen für geeigneten Probetrieb

Die gewonnenen Erkenntnisse werden von jedem Partner individuell in Folgeprojekten, sowohl in der Privatwirtschaft bei zukünftigen Planungs- und Bauprojekten, als auch in der Forschung weiterverwendet. Lessons Learned im Bereich wissenschaftlicher Planungsbegleitung durch Simulation, bzw. die Erkenntnisse aus dem HIL-Ansatzes werden in weiteren Projekten verwendet. Die Vorabüberprüfung der Regelung ist eine universell einsetzbare Methode, die auf unterschiedliche Anlageteile angewendet werden kann. Die erarbeitenden Ergebnisse sind insbesondere für Bauherren, die qualitätsbegleitenden Maßnahmen im Bauprozess anwenden wollen, interessant. Darüber hinaus können unterschiedliche Stakeholder wie TGA Fachplaner, MSR Techniker und Facility Manager davon profitieren.

4.2. Einschätzung des Verwertungspotentials

Bauherr (Post AG)

Seitens des Bauherrn Post AG wurde eine interdisziplinäre Herangehensweise zur Qualitätssicherung der Inbetriebnahme dieser komplexen Gebäudetechnik gewünscht und forciert. Dies zeigt schon die hohe Priorität des Themas Nachhaltigkeit bei der Planungsphase und der ÖGNI Zertifizierung. Ein Forschungsprojekt zum Test der Regelungen war also ein guter Ansatz, um hier möglichst viele Probleme bzw. Fehler bereits im Vorfeld zu erkennen und somit die Betriebsführung bei der ohnehin intensiven Inbetriebnahme-Phase möglichst zu entlasten. Der Primat der energieeffizienten Auslegung der Systeme und des energieeffizienten Gebäudebetriebs stand immer im Vordergrund. Sehr positiv hat sich das Engagement und die Kontinuität des gebäudetechnischen Planungsteams und die Bereitschaft des Totalunternehmers (TU), dieses Begleitprojekt zu unterstützen, ausgewirkt. Eine wesentliche Komponente für das Gelingen eines effizienten Gebäudebetriebs ist das Einphasen der Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt in die Praxis. Für den Bauherrn hat sich gezeigt, dass die Verschränkung eines Forschungsvorhabens und der Ausführung mit einer begleitenden, hochqualifizierten gebäudetechnischen Qualitätssicherung Hand in Hand gehen muss. Dieses Qualitätsmanagement (QM) muss den technischen Betriebsführer eng einbinden sowie fordern und fördern. Ein wesentlicher Faktor zum raschen und energieeffizienten Betrieb ist ausreichend Zeit für die Abnahme, Übernahme und den Probetrieb der Gebäude- und Leittechnik zum Hochfahren und Einregulieren der Systeme einzuplanen und durchzuführen. Die Erkenntnisse zu Verbesserungen werden in eine QM-Phase einfließen und durch ein Monitoring gesichert. Aus Sicht des Bauherrn ist Verwertungspotential zu erkennen, da die PEAR-Methoden zur Qualitätssteigerung in der Planung und im Betrieb geführt haben. Durch frühzeitige Fehlererkennung konnten teilweise kostspielige Fehler vermieden werden. Für zukünftige komplexe und hochenergieeffiziente Bauvorhaben kann die PEAR-Methode als qualitätssichernde Maßnahme empfohlen werden.

Planungsteam (teamgmi, IBO, BPS)

Für teamgmi sind die im Forschungsprojekt PEAR durchgeführten Analysen eine wertvolle Ergänzung und Qualitätssicherung für die Regelung von komplexen haustechnischen Anlagen. Die derzeit im Planungs- und Bauprozess vorhandene Informationslücke zwischen der Konzeption der HKLS-

Anlagenregelung in der Planung zur Umsetzung durch die Regelungstechnikfirma konnte mit PEAR geschlossen werden. teamgmi bieten diese Analysen als zusätzliche Leistungen (Expertenworkshops, Simulationen von Regelstrategien, HIL- und Monitoring-Auswertungen) in aktuellen Akquisitionsprojekten in Kooperation mit dem AIT an.

Mit Hilfe des PEAR-Ansatzes wird eine entscheidende Lücke zwischen der Planung, Inbetriebnahme und dem tatsächlichen Betrieb geschlossen. Bei innovativen Gebäuden mit hohen Effizienz- und Komfortanforderungen ist eine Gebäudesimulation und das zugehörige Monitoring bereits eine übliche Vorgehensweise im Planungs- bzw. Betriebsprozess. In vielen Fällen können jedoch erst spät Fehler in der Ausführung der haustechnischen Anlage erkannt werden bzw. sind die genauen Ursachen schwer zuzuordnen. Mit Hilfe von der PEAR-Methode kann frühzeitig eingegriffen werden und Fehler früher und besser erkannt bzw. sogar im Vorfeld vermieden werden. Aus Sicht der Planung und Bauprozessbegleitung ist durch die PEAR-Methode Verwertungspotential vorhanden. Durch diese qualitätsbegleitenden Maßnahmen ergeben sich Alleinstellungsmerkmale am Markt, die als zusätzliches Service für Bauherrn angeboten werden können.

Wissenschaftlicher Partner (AIT)

Die Ergebnisse aus Hardware (Controller)-in-the-Loop haben gezeigt, dass ein Verwertungspotential für die Qualitätsmaßnahmen zur HKL Regler-Funktionsüberprüfung vorhanden ist. Erste Gespräche mit interessierten Stakeholdern auf Fachmessen haben gezeigt, dass Interesse für dieses qualitätssteigernde Service besteht. Dies gilt einerseits für den Bauherrn, andererseits für ausführende Firmen im Bereich MSR als auch HKLS. Kritisch angemerkt sei an dieser Stelle das kleine Zeitfenster, dass in Realität für eine solche Überprüfung zur Verfügung steht. Diese Lücke bzw. Einschränkung gilt es sukzessive zu reduzieren, insbesondere auch die dadurch eingeschränkte Zeit für die Modellbildung der zu überprüfenden Komponenten. Hinsichtlich wissenschaftlicher Planungsbegleitung des Bauherrn kann die PEAR-Methode durch die Prozessbeschreibung auf andere Projekte umgelegt werden. Die Bewusstseinsbildung bzw. das Darstellen des Mehrwerts gegenüber einem Standardbauprozess gilt als Hemmschwelle bzw. Herausforderung für eine mögliche Verwertung, da oft wenig finanzieller Spielraum besteht und somit ein zusätzliches Service gut begründet werden muss.

5. Ausblick und Empfehlungen

Die vergleichende Analyse von Regelstrategien mit Hilfe von dynamisch-thermischen Simulationen hat einen enormen Mehrwert, sofern die daraus gewonnen Erkenntnisse auch den nachgelagerten Gewerken kommuniziert werden. Demgegenüber steht der aktuell noch sehr hohe Aufwand der Modellbildung von komplexen haustechnischen Anlagenmodellen. Ein Schwerpunkt zukünftiger Forschung sollte daher auf der Vereinfachung/Beschleunigung der Modellbildung liegen.

Des Weiteren erscheint die Definition einer „dynamischen Baseline“ für den Gebäudebetrieb extrem relevant, da die Modelle, die während der Planung erstellt wurden, den tatsächlichen „as-built“ Stand nicht ausreichend gut wiedergeben. Entwicklungstechnisches Fernziel könnte eine sich automatisch aktualisierende Simulation sein, welche dem Facility Management periodisch (z.B. monatlich) Rückmeldung zur Qualität des Betriebs gibt (z.B. Energieeffizienz- und Komfortziele).

Weiters sollte die Methode Hardware-(Controller)-in-the-Loop für komplexe HKLS-Anlagenregelung weiter aufgebaut werden. Das in der Praxis oft geringe Zeitfenster bedarf einer schnelleren, vereinfachten Modellbildung. Zusätzlich sollten Lösungen entwickelt werden, die es erlauben, auch hoch komplexe HKLS Regelstrategien (d.h. über mehrere Substationen verteilt) kosteneffizient untersuchen zu können.

6. Verzeichnisse

6.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Außenansicht des Demonstrationsgebäudes „Post am Rochus“ © Lukas Schaller, derstandard.at.....	9
Abbildung 2: Visualisierung der Verkürzung der Inbetriebnahme-Phase und schematische Darstellung der Hardware-in-the-Loop Methodik, die im Rahmen des Arbeitspaketes 4 angewendet werden soll. © AIT Austrian Institute of Technology GmbH	10
Abbildung 3: Subjektive Veränderung des Raumkomforts zwischen zweiter (kurz nach dem Umzug in den Standort „Post am Rochus“) und dritter Umfrage (ca. ein halbes Jahr nach dem Umzug) © AIT Austrian Institute of Technology GmbH.....	12
Abbildung 4: Schematische Darstellung des HKLS Anlagenmodells der „Post am Rochus“ in der Simulationsumgebung TRNSYS © AIT Austrian Institute of Technology GmbH	13
Abbildung 5: Schematische Darstellung von neun unterschiedlichen Betriebsfällen der verbauten HLK Anlage im Demonstrationsgebäude „Post am Rochus“ © AIT Austrian Institute of Technology GmbH	13
Abbildung 6: Darstellung HIL Umgebung (Simulationsmodell mit realer Hardware) © AIT Austrian Institute of Technology GmbH	14
Abbildung 7: Ergebnis HIL Kopplung (Regler mit einem TRNSYS Simulationsmodell), zeitlicher Verlauf unterschiedlicher Messgrößen, unter anderem die Zielgrößen Abluftfeuchte (grün), Zulufttemperatur (rot) © AIT Austrian Institute of Technology GmbH	15
Abbildung 8: Betriebsmodi Auswertung Lüftung © teamgmi	16
Abbildung 9: links: Sortierte Werte Zulufttemperatur und Abluftfeuchte Bürolüftung im Kühlmodus - 2, Sommer 2018, rechts: Sortierte Werte Zulufttemperatur und Abluftfeuchte Bürolüftung im Kühlmodus -4, Sommer 2018 © teamgmi	16
Abbildung 10: Links: Temperaturverteilung der Bürozonen Neubau 4. Obergeschoss, Rechts: dynamischer Verlauf der Raumtemperatur der Bürozonen Neubau 4. Obergeschoss (Dez 2017, Aug 2018), Mitte: Zusammenstellung min. max. Raumtemperatur © IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie	17
Abbildung 11: Darstellung dreier Betriebsmodi zur Kältebereitstellung im Februar 2018 © AIT Austrian Institute of Technology GmbH.....	18
Abbildung 12: Auswertung der Kältemaschine 2 hinsichtlich Taktung an einem beispielhaften Tag Februar 2018 © AIT Austrian Institute of Technology GmbH.....	19
Abbildung 13: Meilensteine zur Integration PEAR-Ergebnisse in Bau- und Betriebsprozess © teamgmi	19

6.2. Literaturverzeichnis

Jandrokovic, M., Mandl, D., Kapusta, F., 2012. Energiekennzahlen in Dienstleistungsgebäuden.

Judex, F., Hauer, S., 2018. Hardware-in-the-loop: eine Chance für die Gebäudeautomatisierung. TGA-Plan. 2018, TGA-Planung 6–7.

Wetter, M., Haves, P., 2008. A Modular Building Controls Virtual Test Bed for the Integrations of Heterogeneous Systems, in: Third National Conference of IBPSA-USA. Presented at the SimBuild 2008, Berkeley.



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)