

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 81: Datengesteuerte intelligente Gebäude

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 86/2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leitung: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Kontakt zu „IEA Forschungsk Kooperation“: Mag.^a Sabine Mitter

Autorinnen und Autoren:

DI Dagmar Jähnig, DI Michael Gumhalter, Philip Ohnewein (AEE - Institut für Nachhaltige
Technologien)

Dr. Gerald Schweiger (TU Graz)

DI Gundula Weber (AIT)

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Graz, Wien, Mai 2025

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an
iii3@bmimi.gv.at.

Disclaimer:

Dieser Ergebnisbericht wurde von der Fördernehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die Fördernehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die Fördernehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die Fördernehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts im Rahmen der IEA Forschungsk Kooperation. Es wurde vom Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Kooperationsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu unterstützen.

Die IEA Forschungsk Kooperationen umfassen eine breite Palette an Energiethemen mit dem Ziel Energiesysteme, Städte, Mobilitäts- und Industriesysteme fit für eine nachhaltige Zukunft bis 2050 zu machen. Auch Themen wie Gendergerechtigkeit oder Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftsaspekte werden berücksichtigt.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen und Unternehmen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch die vielen IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und neue internationale Standards. Auch in der Marktumsetzung konnten richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Daher werden alle Berichte nach dem Open Access Prinzip in der Schriftenreihe des BMIMI über die Plattform nachhaltigwirtschaften.at veröffentlicht.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhalt

1 Kurzfassung	9
2 Abstract	11
3 Ausgangslage	13
4 Projektinhalt	15
4.1 Ziele und Laufzeit des IEA EBC Annex 81	15
4.1.1 Ziele des Annexes	15
4.1.2 Internationales Konsortium	15
4.1.3 Laufzeit	17
4.2 Gliederung und Methodik	18
4.2.1 Gliederung und Methodik des IEA EBC Annex 81	18
4.2.2 Verwertung und Deliverables	19
5 Ergebnisse	22
5.1 Subtask A: Open Data und Datenplattformen	23
5.1.1 Data Sharing	24
5.1.2 Interoperabilität	25
5.1.3 Metadatenschemata	26
5.1.4 Zugänglichkeit von Daten	27
5.1.5 Anwendungsbeispiel in Österreich	28
5.2 Subtask B: Model-Predictive Control	29
5.2.1 Funktionsweise der modellprädiktiven Regelung	29
5.2.2 Implementierung von MPC	31
5.2.3 Anwendungsbeispiele in Österreich	32
5.3 Subtask C: Anwendungen und Dienstleistungen	45
5.3.1 Benchmarking Algorithmus	45
5.3.2 Fault Detection and Diagnosis	45
5.3.3 Building2Grid	47
5.3.4 Anwendungsbeispiele in Österreich	49
5.4 Subtask D: Fallstudien und Programmierwettbewerb	53
5.4.1 Fallstudien	53
5.4.2 Wettbewerbe	54
5.5 Policy Roadmap	56
5.6 Deliverables von Annex 81	58
5.6.1 State-of-the-Art-Report: Datengesteuerte intelligente Gebäude	58
5.6.2 Opportunities for Government Leadership on Data-Driven Smart Buildings	58
5.6.3 Ein Leitfaden zu Datenplattformen für datengesteuerte intelligente Gebäude	59
5.6.4 Datenbank für Gebädeforschung	59
5.6.5 A Data Sharing Guideline for Buildings and HVAC Systems	61
5.6.6 Survey of metadata schemas for data-driven smart buildings	61
5.6.7 Abschlussbericht Subtask A	63
5.6.8 LBNL Fault Detection and Diagnostics Data Sets	63

5.6.9	A review of data-driven fault detection and diagnostics for building HVAC systems.....	64
5.6.10	Data-driven key performance indicators and datasets for building energy flexibility: A review and perspectives	65
5.6.11	Fallstudien	65
6	Vernetzung und Ergebnistransfer	66
6.1	Veröffentlichungen	66
6.2	Veranstaltungen in Österreich	70
6.2.1	Webinar	70
6.2.2	Workshop beim Innovationskongress.....	70
6.2.3	Verwertung der Projektergebnisse durch die Kooperationspartner	71
7	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	72
	Tabellenverzeichnis	75
	Abbildungsverzeichnis	76
	Literaturverzeichnis.....	78
	Abkürzungen.....	81

1 Kurzfassung

Der Bausektor macht etwa 40% des gesamten Endenergieverbrauchs aus und birgt ein enormes Potenzial zur Energieeinsparung und zur kostengünstigen Reduzierung der CO₂-Emissionen. Jüngste Entwicklungen in der Digitalisierung und auch bei cyber-physischen Systemen haben das Potenzial, die Kosten für den Gebäudebetrieb signifikant zu senken. Intelligente Systeme könnten auf ein großes Potenzial an Daten zurückgreifen, um den Energieverbrauch von Gebäuden durch optimierte und dem tatsächlichen Bedarf angepasste Regelungen zu senken. Dieses Potenzial wird bisher nur selten ausgeschöpft.

Viele dieser kostengünstigen Methoden erfordern keinen nennenswerten Kapitaleaufwand, sondern beruhen auf fundierten Entscheidungen und einer kompetenten Umsetzung von Strategien zur Wartung und Betriebskontrolle von Gebäuden. In der Tat sind viele Gebäude von Anfang an schlecht in Betrieb genommen, so dass sie niemals wie geplant funktionieren. Selbst bei gut in Betrieb genommenen Gebäuden kann sich die Leistung von Systemen im Laufe der Zeit verschlechtern. Dies kann unbemerkt bleiben und zu einer schlechten Performance führen. Studien haben gezeigt, dass „schlecht gewartete und nicht mehr ordnungsgemäß funktionierende Geräte schätzungsweise 15% bis 30% der in Gewerbegebäuden verbrauchten Energie verschwenden“.

Das Vorhandensein von einer großen Menge an Messdaten von Gebäuden bietet große Möglichkeiten. Gleichzeitig sind aber auch viele Punkte ungeklärt, die die Umsetzung dieser neuen Möglichkeiten einschränken. Dazu gehören die Eigentumsfrage von Daten, fehlende Interoperabilität, Datenqualität und Zugang zu Metadaten sowie Cybersicherheit und Datenschutz.

Das übergeordnete Ziel von IEA EBC Annex 81 „Data-Driven Smart Buildings“ bestand darin, den Zugang zu kostengünstigen, qualitativ hochwertigen Daten aus Gebäuden zu verbessern und die Entwicklung datengesteuerter Energieeffizienzanwendungen und -analysen zu unterstützen. Dies ermöglicht die Optimierung der Gebäuderegulungen in Echtzeit und bietet Energieeffizienzdaten und Entscheidungshilfen für Gebäudemanager:innen.

Die übergeordneten Ziele des Annexes wurden erreicht durch

- Bereitstellung von Wissen, Standards, Protokollen und Verfahren für die kostengünstige Erfassung und gemeinsame Nutzung hochwertiger Daten in Gebäuden
- Entwicklung einer Methodik zur Erstellung kontrollorientierter Gebäudemodelle, die das Testen, Entwickeln und Bewerten der Auswirkungen alternativer energieeffizienter Strategien zur HLK-Steuerung von Gebäuden in einer digitalen Umgebung erleichtern
- Entwicklung von Gebäudeenergieeffizienz- (und verwandten) Software-Anwendungen, die zur Reduzierung des Energieverbrauchs in Gebäuden verwendet und idealerweise kommerzialisiert werden können

- Förderung des Transfers der Annexergebnisse durch Fallstudien, Geschäftsmodellinnovation und Ergebnisverbreitung.

IEA EBC Annex 81 untersuchte die Nutzung der Digitalisierung als Instrument zur Verbesserung der Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden. Teilbereiche des Annexes konzentrierten sich sowohl auf (i) Datenanalyse und Softwareanwendungen für künstliche Intelligenz (zur Verbesserung der Energieproduktivität) als auch auf (ii) die digitale (IT-)Infrastruktur, die zur Unterstützung dieser Softwareanwendungen erforderlich ist.

Die Annex81-Projektpartner:innen haben sich geeinigt, datengesteuerte intelligente Gebäude wie folgt zu definieren:

Ein datengesteuertes intelligentes Gebäude ist ein Gebäude, das Digitalisierungstechnologien nutzt, um seinen Betrieb dynamisch zu optimieren, wobei sich die Optimierungsziele typischerweise auf den Energieverbrauch des Gebäudes, die Umweltqualität und die Erfahrungen der Bewohner:innen beziehen.

Der Zugang zu Daten ist für den Erfolg von KI-Anwendungen in intelligenten Gebäuden entscheidend. Daten können lokal zwischen Geräten vor Ort ausgetauscht werden. Die Zugänglichkeit der Daten (für potenzielle Nutzer:innen) wird jedoch durch den Einsatz von Cloud-Technologie erheblich verbessert. Eine Cloud ermöglicht ein breiteres Spektrum an Datenquellen sowohl vor Ort als auch außerhalb des Gebäudes. Mithilfe einer Cloud können Informationen an relevante Personen über entfernte Computer und mobile Geräte effizienter übertragen werden.

Die Teilnehmer:innen von Annex 81 haben eine Umfrage unter führenden Branchenvertreter:innen durchgeführt, um die Probleme und Wünsche der Branche besser zu verstehen. Es wurden sechzehn Interviews geführt, die die Perspektiven der Branche in Europa, Nordamerika und im asiatisch-pazifischen Raum repräsentieren. Zu den befragten Akteuren gehörten Anbieter:innen von Software-as-a-Service (SaaS)-Plattformen, Planungsberater:innen, Gebäudeeigentümer:innen, Hardware-Lieferant:innen und ein Energieeinzelhändler:innen.

Die Interviews ergaben einen starken Wunsch der Industrie, die Digitalisierungstechnologie als Instrument zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen zu nutzen, insbesondere wenn sie kosteneffektiv und einfach zu implementieren ist.

Unter Einbeziehung aller relevanten Informationsquellen wurde eine Reihe von Lösungsansätzen formuliert. Die politischen Lösungen wurden in acht Kategorien eingeteilt und in Form einer Policy Roadmap veröffentlicht.

Für die weitere Markteinführung von digitalen Gebäudeeffizienzprodukten wäre es wichtig, dass Länder den formulierten Empfehlungen folgen, so dass Gebäude in der Zukunft ‚digital ready‘ gemacht werden. Nur so kann eine breite Umsetzung erfolgen.

2 Abstract

The construction sector accounts for around 40% of total final energy consumption and holds enormous potential for saving energy and reducing CO₂ emissions cost-effectively. Recent developments in digitalization and cyber-physical systems have the potential to significantly reduce the costs of building operation. Intelligent systems can draw on a large potential of data to reduce the energy consumption of buildings through optimized controls that are adapted to actual needs. This potential has rarely been exploited to date.

Many of these cost-effective methods do not require significant capital expenditure but are based on sound decisions and the competent implementation of strategies for the maintenance and operational control of buildings. In fact, many buildings are poorly commissioned and never function as designed. Even in well-commissioned buildings, the performance of systems can deteriorate over time. This can go unnoticed and lead to poor performance. Studies have shown that “poorly maintained and malfunctioning equipment wastes an estimated 15% to 30% of the energy consumed in commercial buildings”.

The availability of a large amount of measurement data from buildings offers great opportunities. At the same time, however, there are many unresolved issues that limit the implementation of these new possibilities. These include the question of data ownership, lack of interoperability, data quality and access to metadata as well as cyber security and data protection.

The overarching goal of IEA EBC Annex 81 “Data-Driven Smart Buildings” was to improve access to low-cost, high-quality data from buildings and to support the development of data-driven energy efficiency applications and analysis. This enables the optimization of building controls in real time and provides energy efficiency data and decision support for building managers.

The overall objectives of the Annex were achieved by

- Providing knowledge, standards, protocols and procedures for the cost-effective collection and sharing of high-quality data in buildings
- Developing a methodology for creating control-oriented building models that facilitate testing, developing and evaluating the impact of alternative energy-efficient strategies for HVAC control of buildings in a digital environment
- Develop building energy efficiency (and related) software applications that can be used to reduce energy consumption in buildings and ideally be commercialized
- Promote the transfer of Annex results through case studies, business model innovation and dissemination of results.

IEA EBC Annex 81 investigated the use of digitalization as a tool to improve the energy efficiency of non-residential buildings. Sub-areas of the Annex focused on both (i) data analytics and artificial

intelligence software applications (to improve energy productivity) and (ii) the digital (IT) infrastructure required to support these software applications.

Annex81 project partners collectively agreed that:

A Data-Driven Smart Building is a building that uses digitalisation technologies to dynamically optimise its operation, where optimisation objectives typically relate to site energy use, IEQ, and occupant experience.

Access to data is core to the success of AI applications in smart buildings. Data can be exchanged locally between devices on-premises. However, data accessibility (for potential users) is vastly improved by using cloud technology. The cloud enables a wider range of both on and off-premises data sources to be analysed together. The cloud also enables information to be efficiently distributed to relevant people via remote personal computers and mobile devices.

Annex 81 participants conducted a survey of industry leaders to better understand the issues and desires of the industry. Sixteen interviews were conducted, representing industry perspectives in Europe, North America and Asia Pacific. Stakeholders interviewed included software-as-a-service (SaaS) platform providers, planning consultants, building owners, hardware suppliers and an energy retailer.

The interviews revealed a strong desire from industry to use digitalization technology as a tool to achieve sustainability goals, especially if it is cost-effective and easy to implement.

A number of policy solutions were formulated, drawing on all relevant sources of information. The policy solutions were divided into eight categories and published in the form of a policy roadmap.

For the further market launch of digital building efficiency products, it would be important for countries to follow the recommendations formulated so that buildings are made 'digital ready' in the future. This is the only way to ensure widespread implementation.

3 Ausgangslage

Der Bausektor macht etwa 40% des gesamten Endenergieverbrauchs aus und birgt ein enormes Potenzial zur Energieeinsparung und zur kostengünstigen Reduzierung der CO₂-Emissionen (Economidou 2011). Jüngste Entwicklungen in der Digitalisierung und auch bei cyber-physischen Systemen haben das Potenzial, die Kosten für den Gebäudebetrieb signifikant zu senken. Intelligente Systeme könnten auf ein großes Potenzial an Daten zurückgreifen, um den Energieverbrauch von Gebäuden durch optimierte und dem tatsächlichen Bedarf angepasste Regelungen zu senken. Dieses Potenzial wird allerdings bisher nur selten ausgeschöpft.

- Relevante aufkommende Technologien sind:
- Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) ermöglicht den Zugriff auf vielfältige und kostengünstige Daten zum Status und zur Aktivität von Geräten und Personen in Gebäuden. Mittlerweile sind weltweit fast 18 Milliarden Geräte mit dem Internet verbunden, davon 7 Milliarden IoT-Geräte. Dies wird voraussichtlich jährlich um 39% zunehmen (IoT-Analytics 2018).
- Cloud Computing und Datenanalyse ermöglichen eine umfassende Bewertung der Energieeffizienz und vorausschauende Optimierungen. Künstliche Intelligenz für die automatisierte Fehlererkennung und -diagnose (FDD) und die modellprädiktive Steuerung (MPC) sind nur zwei Beispiele für Anwendungen, mit denen große Energieeinsparungen erzielt werden können (Frost & Sullivan 2017).
- Social Media und digitale Marktplattformen bieten neue Möglichkeiten für den Umgang mit Gebäudenutzer:innen und neue Geschäftsmodelle, die Verhaltensänderungen bei Stakeholder:innen in der gesamten Gebäudebranche fördern können. IEA EBC-Anhang 79 „Nutzer:innenorientierte Gebäudeplanung und -betrieb“ untersucht relevante Wechselwirkungen zwischen Bewohner:innen und Gebäudesystemen und die Nutzung von Data Mining und maschinellem Lernen mit Hilfe von Gebäude- und Nutzer:innendaten.

Viele dieser kostengünstigen Methoden erfordern keinen nennenswerten Kapitaleaufwand, sondern beruhen auf fundierten Entscheidungen und einer kompetenten Umsetzung von Strategien zur Wartung und Betriebskontrolle von Gebäuden (Gilbert 2013, Mills et al. 2004). In der Tat sind viele Gebäude von Anfang an schlecht in Betrieb genommen, so dass sie niemals wie geplant funktionieren. Selbst bei gut in Betrieb genommenen Gebäuden kann sich die Leistung von Systemen im Laufe der Zeit verschlechtern. Dies kann unbemerkt bleiben und zu einer schlechten Performance führen. Dieses Potential wurde von Katipamula und Brambley (2005) dargestellt, die zeigen, dass „schlecht gewartete und nicht ordnungsgemäß gewartete Geräte schätzungsweise 15% bis 30% der in Gewerbegebäuden verbrauchten Energie verschwenden“.

Trotz allgemein positiver finanzieller Renditen und relativ geringer Kapitalanforderungen gibt es eine Vielzahl von nicht monetären Hemmnissen für die Anwendung der neuen Technologien. Hier

spielen vor allem (i) der Zugang zu gebäudespezifischen Informationen und Daten und (ii) der Zugang zu den erforderlichen Funktionalitäten der Gebäudetechnik eine Rolle, um die vorhandenen Daten auch in Energieeinsparungen umzusetzen. Eine zentrale Herausforderung besteht darin, Methoden und intuitive Tools zu entwickeln, mit denen Geräte und Systeme mit schlechter Leistung erkannt und die Leistung und der Betrieb des Gebäudemanagementsystems automatisch optimiert werden können.

Das Vorhandensein von einer großen Menge an Messdaten von Gebäuden bietet große Möglichkeiten. Gleichzeitig sind aber auch viele Punkte ungeklärt, die die Umsetzung dieser neuen Möglichkeiten behindern. Dazu gehören die Eigentumsfrage von Daten, fehlende Interoperabilität, Datenqualität und Zugang zu Metadaten sowie Cybersicherheit und Datenschutz.

4 Projekinhalt

4.1 Ziele und Laufzeit des IEA EBC Annex 81

4.1.1 Ziele des Annexes

Das übergeordnete Ziel des Annexes bestand darin, den Zugang zu kostengünstigen, qualitativ hochwertigen Daten aus Gebäuden zu verbessern und die Entwicklung datengesteuerter Energieeffizienzanalysen und -anwendungen zu unterstützen. Dies ermöglicht die Optimierung der Gebäuderegulungen in Echtzeit und bietet Energieeffizienzdaten und Entscheidungshilfen für Gebäudemanager:innen.

Um das übergeordnete Ziel des Annexes zu erreichen, verfolgte der Annex eine Reihe spezifischer Ziele. Diese zusätzlichen Ziele sind:

- Bereitstellung von Wissen, Standards, Protokollen und Verfahren für die kostengünstige Erfassung und gemeinsame Nutzung hochwertiger Daten in Gebäuden
- Entwicklung einer Methodik zur Erstellung kontrollorientierter Gebäudemodelle, die das Testen, Entwickeln und Bewerten der Auswirkungen alternativer energieeffizienter Strategien zur HLK-Steuerung von Gebäuden in einer digitalen Umgebung erleichtern
- Entwicklung von Gebäudeenergieeffizienz- (und verwandten) Software-Anwendungen, die zur Reduzierung des Energieverbrauchs in Gebäuden verwendet und idealerweise kommerzialisiert werden können.
- Förderung des Wissenstransfers durch Fallstudien, Geschäftsmodellinnovation und Ergebnisverbreitung.

4.1.2 Internationales Konsortium

Der Annex stieß auf großes internationales Interesse. Während der Vorbereitungsphase und auch während der Annex-Laufzeit stießen immer wieder weitere Teilnehmer:innen hinzu. Einige Teilnehmer:innen zogen sich aber auch zum Beispiel aus zeit- oder finanzierungsgründen wieder aus der Mitarbeit zurück.

Der Annex wurde von Dr. Stephen White (CSIRO, Australien) als Operating Agent geleitet. Für die Subtasks wurden jeweils ein Leader und ein Co-Leader bestimmt.

Subtask A: Open Data and Data Platforms
 Leader: Adj. Prof. Stephen White (CSIRO, Australien)
 Co-Leader: Dr. Chun Ping Gao (BCA, Singapur)

- Subtask B: Model-Based Predictive Control
 Leader: Dr. José Candanedo (Canmet, Kanada)
 Co-Leader: Dr Igor Sartori (Sintef, Norwegen)
- Subtask C: Applications and Services
 Leader: Jin Wen (Drexel University, USA)
 Co-Leader: Ivo Martinac (KTH, Schweden))
- Subtask D: Case Studies and Business Models
 Leader: Dr Dimitrios Rovas (University College London, Großbritannien)
 Co-leader: Prof Bo Jørgensen (University Southern Denmark, Dänemark)

In der folgenden Tabelle sind die Teilnehmerländer sowie die jeweils teilnehmenden Institutionen aus diesen Ländern dargestellt.

Tabelle 1: Internationales Konsortium IEA EBC Annex 81

Land	Teilnehmende Institutionen
Australien	University of Wollongong Surround Buildings Evolved Switch CSIRO
Belgien	Belgian Building Research Institute - BBRI
China	Tongji University Tsinghua University
Dänemark	University of Southern Denmark (SCU) Danish Technical University (DTU) Aalborg University
Deutschland	Fraunhofer IEE
Finnland	Aalto University
Großbritannien	University College London
Italien	PTorino
Japan	University of Tokyo (Out) Tokyo Denki University (TDU) Building Services Commissioning Association (BSCA)

Land	Teilnehmende Institutionen
Kanada	Concordia University Canmet University of Alberta
Niederlande	TNO TU Eindhoven
Norwegen	Sintef OsloMet NTNU – Norwegian University of Science and Technology
Österreich	AEE INTEC TU Graz IST AIT
Schweden	KTH Royal Institute of Technology RISE
Singapur	Building and Construction Authority (BCA) National University of Singapore (NUS) Nanyang Technological University (NTU)
USA	LBL - Lawrence Berkeley National Laboratory PARC Drexel University Texas A&M University Syracuse University University of California - Berkeley PNNL - Pacific Northwest National Laboratory

4.1.3 Laufzeit

Die Gesamtlaufzeit des Annex 81 war unterteilt in die

- Vorbereitungsphase: September 2018 bis Mai 2020 (Definition Phase)
- Projektlaufzeit: Juni 2020 bis Juni 2023 (Working Phase)
- Projektabschlussphase: Juli 2023 bis Juni 2024 (Reporting Phase)
- Die Reporting Phase wurde noch einmal bis Mitte 2025 verlängert, um alle Deliverables fertigstellen zu können.

Angestrebte Ziele der nationalen Beteiligung am IEA EBC Annex 81:

Ziel der österreichischen Beteiligung am IEA ABC Annex 81 war es, aktiv in mehreren Arbeitsgruppen des Annexes mitzuarbeiten. Die beteiligten österreichischen Kooperationspartner:innen haben durch bereits abgeschlossene sowie laufende Forschungsprojekte zum Thema schon Wissen aufgebaut, was in den Annex eingebracht werden sollte.

Wie das österreichische Konsortium brachten auch die internationalen Partnerinstitutionen ihr Know-how in den Task ein, viele der Task-Teilnehmer:innen gehören zu den international führenden Institutionen und Unternehmen im Bereich Gebäudetechnik bzw. Informationstechnologie/Digitalisierung. Gerade in dieser interdisziplinären Mischung von Forschungsinstituten und Firmen lag ein großes Potential des Annexes. Die Kooperation erfolgte durch den Erfahrungsaustausch bei Task-Meetings, die Arbeit in themenspezifischen Arbeitsgruppen sowie durch gemeinsame Publikationen und Referenzdokumente, die allen Task-Teilnehmern zur Verfügung standen.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf dem Know-How-Transfer zu österreichischen Stakeholdern. Das durch das österreichische Konsortium aufgebaute und vertiefte Know-how wurde durch gezielte Disseminierungsaktivitäten, wie nationale Workshops, Expert:innengespräche, Tagungen, Beiträge in Fachzeitschriften etc. der interessierten Öffentlichkeit und der österreichischen Industrie zugänglich gemacht.

4.2 Gliederung und Methodik

4.2.1 Gliederung und Methodik des IEA EBC Annex 81

Der Annex war in vier Subtasks aufgeteilt (siehe Abbildung 1). In Subtask A wurden die Grundlagen der Arbeit mit Daten gelegt, während in Subtask B das Thema modellprädiktive Regelung vertieft wurde. In Subtask C wurden Anwendungen und Dienstleistungen dokumentiert und entwickelt, die auf diesen Daten aufbauen. In Subtask D wurde u.a. über Fallbeispiele die Verbreitung von Wissen zu den datengestützten Technologien im Gebäudebereich vorangetrieben.

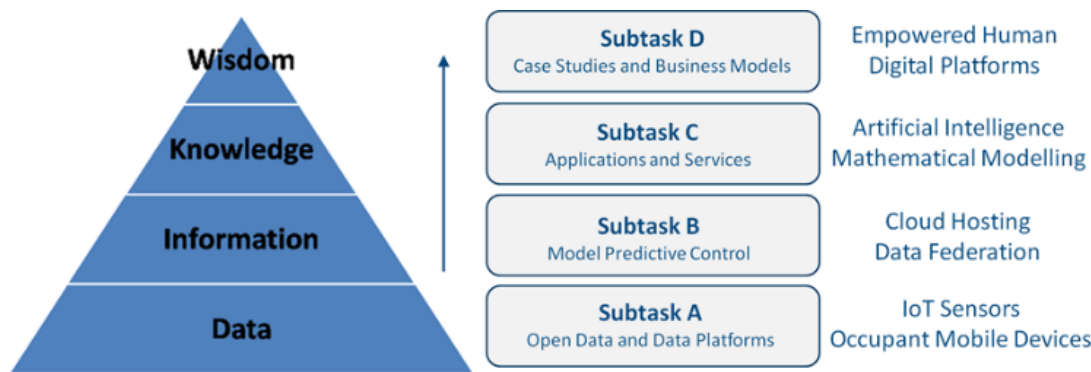


Abbildung 1: Schematischer Aufbau von IEA EBC Annex 81 mit vier Subtasks (Quelle: Stephen White Annex 81)

Die österreichischen Teilnehmer:innen haben sich an allen Subtasks beteiligt, wobei nicht in allen Subarbeitsgruppen mitgearbeitet wurde. Dies orientierte sich an den Interessen und Themenschwerpunkten der drei österreichischen Institutionen.

4.2.2 Verwertung und Deliverables

Der Annex 81 hat eine ganze Reihe von Deliverables produziert. Diese sind in Tabelle 2 zusammengefasst und werden in Abschnitt 5.6 noch einmal kurz beschrieben.

Einige wenige Deliverables wurden bis zum Ende der Laufzeit der österreichischen Beteiligung noch nicht fertiggestellt bzw. publiziert. Dies ist in Tabelle 2 vermerkt. Alle anderen Deliverables können über die angegebenen Links heruntergeladen werden bzw. bei Datenbanken ist der Link dorthin angegeben.

Tabelle 2: Deliverables

Titel des Deliverables und Link	Art der Publikation
State-of-the-Art report fasst Inhalte aus Subtask A, B und C zusammen. https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Annex%20State-of-the-Art%20Report%20(final).pdf	Bericht
Subtask A	
Opportunities for Government Leadership on Data-Driven Smart Buildings https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Opportunities%20for%20Government%20Leadership%20on%20Data-Driven%20Smart%20Buildings.pdf	Positionspapier

A Guide on Data Platforms for Data- Driven Smart Buildings https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/A%20Guide%20on%20Data%20Platforms%20for%20Data-Driven%20Smart%20Buildings%20(final)1.pdf	Bericht
An online repository of exemplar datasets for building analytics research https://buds-lab-building-data-directory-meta-directory-s0imdd.streamlit.app https://data.mendeley.com/datasets/xztfbtsgys/3	Link zu Datenbanken
Data Sharing Guide for Buildings and HVAC Systems https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/IEA%20Annex%2081%20Activity%20A1%20-%20A%20Data%20Sharing%20Guideline%20for%20Buildings%20and%20HVAC%20Systems%20(final)2.pdf	Bericht
Survey of metadata schemas for data-driven smart buildings https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Survey%20of%20meta-data%20schemas%20(final)1.pdf	Bericht
Subtask A Report https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/IEA%20Annex%2081%20Subtask%20A%20Report.pdf	Bericht
Subtask B	
Subtask B Report Bisher nicht veröffentlicht. Wird demnächst erst auf der Homepage on IEA EBC Annex 81 verfügbar sein.	Bericht
Subtask C	
LBLN Fault Detection and Diagnostics Data Sets https://faultdetection.lbl.gov/	Datenbank
A review of data-driven fault detection and diagnostics for building HVAC systems Applied Energy, Volume 339, 1 June 2023, 121030	Journal Artikel
Data-driven key performance indicators and datasets for building energy flexibility: A review and perspectives Applied Energy, Volume 343, 1 August 2023, 121217	Journal Artikel

Subtask C Report Bisher nicht veröffentlicht. Wird demnächst erst auf der Homepage on IEA EBC Annex 81 verfügbar sein.	Bericht
Subtask D	
Case Studies https://datasmartbuildings.org/	Website
Competitions https://adrenalin.energy/	Wettbewerb
Annex 81 – Gesamtbericht Bisher nicht veröffentlicht. Wird demnächst erst auf der Homepage on IEA EBC Annex 81 verfügbar sein.	Bericht

Die Ergebnisse wurden über eine eigene Website (<https://annex81.iea-ebc.org/>), Journale, über Workshops und Veranstaltungen an eine breite Öffentlichkeit vermittelt. In Österreich fanden zwei Workshops statt und in einer Ausgabe der Zeitschrift „nachhaltige technologien“ wurden sechs Artikel zum Annex 81 veröffentlicht.

5 Ergebnisse

IEA EBC Annex81 „Data-Driven Smart Buildings“ war eine Initiative, die darauf abzielte, die Einführung von Digitalisierungstechnologien als Werkzeug für den Einsatz von Analyse- und Steuerungslösungen für die Energieproduktivität zu beschleunigen.

Die Internationale Energieagentur (2017) erklärt das Konzept der Digitalisierung als „die zunehmende Interaktion und Konvergenz zwischen der digitalen und der physischen Welt“, wobei „die digitale Welt drei grundlegende Elemente aufweist:

- Daten: digitale Informationen.
- Analytik: die Nutzung von Daten, um nützliche Informationen und Erkenntnisse zu gewinnen.
- Konnektivität: Austausch von Daten zwischen Menschen, Geräten und Maschinen (einschließlich Maschine-zu-Maschine) über digitale Kommunikationsnetze.

Der Trend zu einer stärkeren Digitalisierung wird durch Fortschritte in allen drei Bereichen ermöglicht: (i) wachsende Datenmengen dank sinkender Kosten für Sensoren und Datenspeicherung, (ii) rasche Fortschritte bei intelligenten Analysen und Rechenkapazitäten und (iii) größere Konnektivität mit schnellerer und billigerer Datenübertragung“.

Die Digitalisierung bietet neue Möglichkeiten zur Energieeinsparung in Gebäuden. Die Internationale Energieagentur (2017) stellte fest, dass die Digitalisierung den Energieverbrauch um etwa 10 % senken könnte, indem Echtzeitdaten zur Verbesserung der betrieblichen Effizienz genutzt werden.

Die Digitalisierung verfolgt grundsätzlich einen datengesteuerten Ansatz für die Verwaltung und Steuerung von energieverbrauchenden Geräten in Gebäuden. Das heißt, die Daten werden auf eine Art und Weise aufgenommen und verarbeitet, die logische Korrelationen/Ursachen auf der Grundlage der beobachteten Ergebnisse ermittelt (anstatt Korrelationen/Ursachen durch theoretische, auf Physik basierende Berechnungsmodelle zu erzwingen).

Dieser datengesteuerte Ansatz ist für die Industrie potenziell hochgradig skalierbar, weil

- er den Bedarf an qualifizierten Fachleuten, die sich mit den Merkmalen und der Funktionsweise eines Gebäudes befassen müssen, reduziert und die manuelle Kodierung regelbasierter Rechenmodelle vermeidet.
- leistungsfähige Analysewerkzeuge (z. B. Algorithmen des maschinellen Lernens) eingesetzt werden können, die sich bereits in anderen Branchen bewährt haben.
- IT-Infrastrukturen und -Methoden eingesetzt werden, die die automatische Verarbeitung von Daten und die digitale Kommunikation zwischen Maschinen/Geräten unterstützen und über benutzer:innenfreundliche Schnittstellen für Menschen verfügen.

5.1 Subtask A: Open Data und Datenplattformen¹

Der datengesteuerte Ansatz (und die damit verbundenen Vorteile der Digitalisierung) setzt den Zugang zu relevanten Daten in ausreichender Qualität voraus, um diese automatisierten Prozesse zu steuern. Die Datenerfassung und -verwaltung muss kosteneffizient und vertrauenswürdig sein und mit den Verpflichtungen zur Wahrung der Privatsphäre und der gewerblichen Rechte in Einklang stehen.

Die Arbeitsgruppe „Digitalisierung“ des Energy Efficiency Hub (2022) und verschiedene andere Roadmaps nennen den Zugang zu Daten, Interoperabilität und Datenschutz als drei wichtige Hindernisse für die Einführung der Digitalisierung in Gebäuden.

Bei einer Konsultation der Industrie in Australien (Trianni et al. 2022) wurde festgestellt, dass die Aufgabe der Umsetzung digitaler Energieleistungsstrategien in zwei Schritte unterteilt werden kann: (1) Einrichtung einer IT-Infrastruktur und von Datenverwaltungsdiensten und dann (2) Einsatz datengesteuerter Energieproduktivitätsanwendungen.

Abbildung 2 veranschaulicht diesen zweistufigen Weg und hebt die Hindernisse hervor, die vor allem beim ersten Schritt, der Einrichtung der IT-Infrastruktur und der Datenverwaltungsdienste, zu überwinden sind. Abbildung 2 unterstreicht außerdem die Notwendigkeit, ein Konzept für die Erreichung der „Digital Readiness“ zu entwickeln. In einem Gebäude, das digital ready ist, können dann in einem zweiten Schritt datengesteuerte Anwendungen umgesetzt werden, die beispielsweise den Energieverbrauch senken oder den Nutzer:innenkomfort erhöhen.

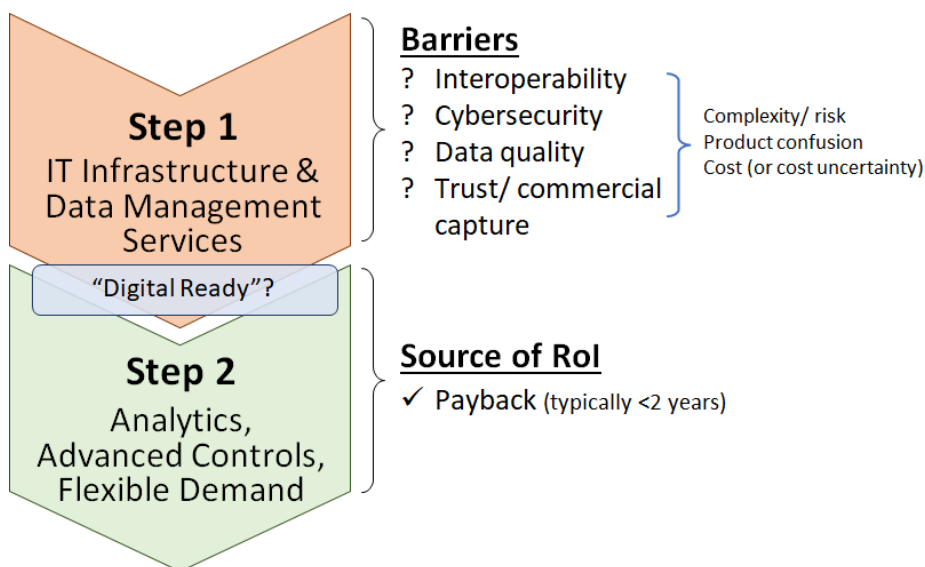


Abbildung 2: Der zweistufige Weg zur Einführung von datengesteuerten Diensten (nach Trianni et al. 2022)

¹ Dieser Abschnitt basiert auf den Inhalten des Endberichts von Subtask A (siehe Deliverables)

Subtask A des IEA EBC Annex 81 konzentrierte sich auf Schritt 1 in Abbildung 2: Einrichtung der IT-Infrastruktur und der Datenverwaltungsdienste, die für den Einsatz von datengesteuerten Softwareanwendungen erforderlich sind. Viele der Faktoren, die berücksichtigt werden sollten, wurden untersucht und beschrieben.

Wie schon erwähnt, sind in Gebäuden und deren Haustechnik immer mehr Daten grundsätzlich vorhanden. Damit diese Daten aber auch von intelligenten Anwendungen genutzt werden können, sind drei Aspekte zu beachten, die im Annex 81 in verschiedenen Unterarbeitsgruppen bearbeitet wurden:

- Daten gemeinsam nutzbar machen (Making data shareable)
- Daten aussagekräftig machen (Making data meaningful)
- Daten zugänglich machen (Making data accessible)

5.1.1 Data Sharing

In Subtask A wurde ein Dokument erarbeitet mit dem Ziel, Schlüsselkonzepte und eine Sprache bereitzustellen, die für die gemeinsame Nutzung von Daten relevant sind („A Data Sharing Guideline for Buildings and HVAC Systems“ (White et al. 2023)). Der Schwerpunkt lag auf Fragen der Datenverwaltung und der Datenqualität, die in Softwareanwendungen zur Energieeffizienz im Zusammenhang mit elektrischen und mechanischen Dienstleistungen in Nichtwohngebäuden beachtet werden müssen.

Zu den Fragen der Datenverwaltung, die berücksichtigt werden müssen, gehören die Verwaltung von Rechten des geistigen Eigentums, ethische Fragen und Datenschutzbestimmungen. Diese Fragen führen zu Risiken, die es zu bewältigen gilt. Die sich daraus ergebenden Risikokontrollen können die Art und Qualität der Daten, die gemeinsam genutzt werden können, und die Situationen, in denen eine gemeinsame Nutzung zulässig ist, einschränken.

Ob eine gemeinsame Nutzung von Daten tatsächlich möglich ist, kann von der Auswahl des Datenplattformanbieters abhängen. Der Anbieter kann die gemeinsame Nutzung der vorhandenen Daten einschränken. Diese Einschränkungen können sich aus der Technologie des Anbieters und/oder aus den kommerziellen Interessen und Governance-Regelungen der Organisation des Anbieters ergeben.

Zu den wichtigsten Schlussfolgerungen und Empfehlungen für Gebäudeeigentümer:innen, die diese Dienstleistungen ermöglichen wollen, gehören:

Daten sollten dem sog. FAIR Prinzip unterliegen. Das heißt, sie sollten auffindbar, zugänglich, interoperabel und wiederverwendbar sein (englisch: Findable, Accessible, Interoperable and Re-useable (FAIR)). Um dies zu erreichen:

- sollten die Anbieter verpflichtet werden, Interoperabilitätsstandards sowohl für (i) die Interoperabilität der Gerätekommunikation (z. B. BACnet) als auch für (ii) die Abbildung von Daten und Datenbeziehungen (informationelle/semantische Interoperabilität) zu verwenden (z. B. Brick Schema, Project Haystack).
- sollte eine geeignete unabhängige cloud-basierte Datenplattform eingerichtet werden, um potenziellen internen und externen Datennutzer:innen den Zugang zu den Daten zu erleichtern. Die Plattform sollte einschlägige Interoperabilitätsstandards nutzen und Schutzmechanismen zum Schutz der Daten ermöglichen.
- sollten Leitlinien und idealerweise einer Zertifizierung für Gebäude, die „digital ready capability“ erreichen, bereitgestellt werden. Dies kann dazu beitragen, das Bewusstsein für diese Themen zu stärken und die Qualifikationsdefizite in der Branche zu überwinden. Sie könnten auch ein nachweisbares Qualitätsmerkmal darstellen, das den Wert von Gebäuden erhöhen könnte.
- sollte eine unabhängige „Dateninstitution“, die die Datenressourcen im Auftrag der Immobilienbranche verwaltet, unterstützt werden. Dies würde es Gebäuden ermöglichen, an der digitalen Wirtschaft teilzunehmen (auf freiwilliger Basis).
- muss für die Nutzung von Daten eine Erlaubnis eingeholt werden. Dazu könnte es erforderlich sein, (i) eine Lizenz zur Nutzung kommerzieller Daten vom/von der jeweiligen Eigentümer:in des Datensatzes zu erhalten und/oder (ii) eine relevante Rechtsgrundlage für die Nutzung personenbezogener Daten zu ermitteln. Wenn personenbezogene Daten verwendet werden, sollten Kontrollmechanismen zum Schutz der personenbezogenen Daten eingerichtet werden, die der Sensibilität dieser Daten angemessen sind.
- sollte idealerweise die Beschaffung der Datenplattforminfrastruktur von der Beschaffung datengesteuerter Softwareanwendungen getrennt werden. Dies hilft dem/der Gebäudeeigentümer:in, eine größere Flexibilität und Datenhoheit zu erreichen und die Bindung an kommerzielle Anbieter zu vermeiden.

5.1.2 Interoperabilität

Nahezu alle Studien zu Hindernissen für die Digitalisierung weisen auf die Bedeutung von Interoperabilitätsproblemen und die Notwendigkeit von Datenstandards hin, um diese zu überwinden. Unabhängig von kommerziellen Anforderungen sollte die für die Erfassung und Verwaltung von Daten verwendete Technologie in der Lage sein, Interoperabilität zu gewährleisten.

Interoperabilitätsbarrieren auf **Geräteebene** (Kommunikation) treten auf, wenn die von den Geräten eines Herstellers verwendeten Kommunikationsprotokolle proprietär sind und daher nicht mit den Geräten anderer Hersteller kommunizieren können. Dies macht es schwierig und kostspielig, Hardwarekomponenten verschiedener Hersteller in ein einheitliches Betriebssystem für das Gebäude zu integrieren. Dies kann auch zu einer Herstellerabhängigkeit und hohen laufenden Servicekosten führen.

BACnet wurde als offenes Kommunikationsprotokoll eingeführt, um dieses Problem zu lösen. BACnet ist sowohl ein internationaler (ISO) als auch ein ANSI-Standard. Es wird von ASHRAE gepflegt. Leider ist die Implementierung von BACnet nicht immer einheitlich, sodass weiterhin Interoperabilitätsprobleme auftreten können. Auch im Hinblick auf die Cybersicherheit ist Vorsicht geboten, da BACnet keine native Verschlüsselung bietet.

Interoperabilitätsbarrieren auf der **Analyseebene** (informativ/semantisch) treten auf, wenn die von Geräten gesammelten Daten ohne Kontextinformationen vorliegen. Wichtige Kontextinformationen umfassen die Quelle und Art der Daten sowie die Zusammenhänge zwischen der Datenquelle und den Merkmalen/Objekten im Gebäude. Diese Kontextinformationen sind in der Regel erforderlich, um Datenanalyseregeln, datengesteuerte Algorithmen und KI im Allgemeinen (z. B. Fehlererkennung und -diagnose, modellprädiktive Regelung) zu implementieren.

O'Reilly (2020) befragte 1.900 Personen, die im Bereich der künstlichen Intelligenz tätig sind, um ihre Sichtweisen zu den Datenqualitätsproblemen zu erfahren, mit denen sie konfrontiert sind. Die Umfrage hob kritische Probleme in Bezug auf (i) schlecht oder gar nicht gekennzeichnete Daten, (ii) inkonsistente Daten und (iii) unorganisierte Datenspeicher und fehlende Metadaten hervor.

5.1.3 Metadatenschemata

Da durch die Digitalisierung die Verfügbarkeit, die Heterogenität und der Umfang von Daten in Gebäuden zunehmen, muss darüber nachgedacht werden, wie diese Daten identifiziert, organisiert und von nachgelagerten datengesteuerten Anwendungen genutzt werden können. Dies kann durch die Verwendung von Metadaten - „Daten über Daten“ - erreicht werden, wie zum Beispiel ihre Herkunft (wie die Daten erzeugt und verwaltet wurden) und ihres Kontexts (woher die Daten stammen und wie sie sich auf das Gebäude beziehen).

Metadaten verleihen den Daten eine Bedeutung, indem sie diese Attribute explizit für die Nutzung verfügbar machen. Dadurch wird vermieden, dass sich Entwickler:innen und ihre Softwareanwendungen die Namen von Datenquellen und die Details von Gebäuden „merken“ müssen, um die Daten nutzen zu können. Stattdessen können diese Datenkonsument:innen die Metadaten für ein Gebäude abfragen, um die gewünschten Datenquellen automatisch und dynamisch zu finden. Metadaten sind ein wichtiger Aspekt der FAIR-Datengrundsätze, die im vorangegangenen Abschnitt erläutert wurden.

Metadaten spielen eine wesentliche Rolle für datengesteuerte intelligente Gebäude. Subtask A hat einen „Survey of metadata schemas for data-driven smart buildings“ (Fierro und Pauwels, 2023) erstellt, mit dem Ziel, Varianten von Metadatenlösungen für intelligente Gebäude zu erforschen und die Herausforderungen und Vorteile der verschiedenen Ansätze aufzuzeigen.

Die Verwendung von Metadaten liefert relevante Informationen für die Automatisierung der Suche nach relevanten Daten, ähnlich wie bei einem Katalogisierungssystem für Bibliotheken. Auf

diese Weise sind Metadaten von zentraler Bedeutung für die Auffindbarkeit und Wiederverwendbarkeit von Daten.

5.1.4 Zugänglichkeit von Daten

Datenplattformen sind ein wichtiges Instrument zur Verteilung von Daten und zur Ermöglichung datengesteuerter intelligenter Gebäudedienste. Eine sorgfältige Abwägung der Funktionalität, der Eigenschaften und der kommerziellen Nutzungsbeschränkungen einer Datenplattform hilft dem/der Gebäudeeigentümer:in, eine effektive Kontrolle über seine Daten zu erlangen (Datenhoheit) und die Datenverwaltung zu rationalisieren.

Eine moderne Datenplattform vereinfacht die Datenerfassung, -pflege und -integration und ermöglicht eine effiziente gemeinsame Nutzung und Verwendung durch Softwareanwendungen. Zu den wichtigsten Schritten bei der Implementierung einer Datenplattform gehören die Festlegung von Zielen, die Durchführung einer Smart-Readiness-Bewertung, die Auswahl einer geeigneten Datenplattform, die Einbindung des Gebäudes in die Plattform, die Aufbereitung und gemeinsame Nutzung von Daten, die Konfiguration von Feedback-Schleifen, die Sicherstellung der Einhaltung von Vorschriften und die Bereitstellung von Benutzer:innenschulungen.

Ein wichtiges Merkmal von Plattformen für datengesteuerte intelligente Gebäude ist, dass sie offen sind, d. h. auf veröffentlichten und dokumentierten Standards und Protokollen beruhen. Wichtig ist, dass „offene Datenplattformen“ nicht „quelloffen“ sein müssen. Solange die Interaktion mit der Plattform nicht von proprietären, lizenzierten, verdeckten oder anderweitig ‚geschlossenen‘ Technologien und Standards abhängt, kann die Plattform als „offen“ gelten, da sie Clients und Anwendungen von Drittanbietern zulässt. Offene Plattformen ermöglichen es Entwickler:innen, Benutzer:innen und anderen Nutzer:innen der Plattform, mit Daten zu interagieren, sie herunterzuladen und zu analysieren, indem sie die Sprache oder Toolchain ihrer Wahl verwenden.

Offene Plattformen sind wichtig, weil sie es ermöglichen, dass eine Reihe von Plattformen und Technologien im selben Ökosystem gleichberechtigt miteinander konkurrieren können, ohne dass die Nutzer:innen der Plattform den Preis für die Bindung an einen bestimmten Anbieter zahlen oder sich für ein Ökosystem entscheiden müssen, in das sie investieren wollen. Offene Schnittstellen dienen als Schnittstelle zwischen den Plattformanbietern und den Plattformnutzer:innen. Solange der Schnittstellenvertrag erfüllt ist, können Plattformentwickler:innen ihre Angebote innovativ gestalten, um bessere Servicequalitäten oder erweiterte Funktionen anzubieten. Die Nutzer:innen der Plattform müssen sich aufgrund der Abstraktion, die die offene Schnittstelle bietet, nicht mit den Implementierungsdetails befassen. Da die Schnittstellen auf offenen, öffentlich zugänglichen und dokumentierten Standards beruhen, besteht für die Nutzer:innen der Schnittstelle außerdem nicht das Risiko, dass die Plattform veraltet oder rückwärtskompatibel ist.

5.1.5 Anwendungsbeispiel in Österreich

Projekt OpenDataPlattform

Im FFG-geförderten Projekt „OpenDataPlattform“ / ODP, koordiniert von der TU Wien / EEG im Rahmen des Green Energy Lab, wurde unter Mitarbeit von AEE INTEC eine Open Data Plattform für Österreich entwickelt, und zwar speziell ausgerichtet auf Energiedaten der elektrischen Energieversorgung.

Die österreichische ODP ist erreichbar unter <https://www.gel-odp.com>. Eine Vorschau der grafischen Benutzeroberfläche und der wichtigsten Funktionalitäten der Plattform ist in Abbildung 3 zu sehen.

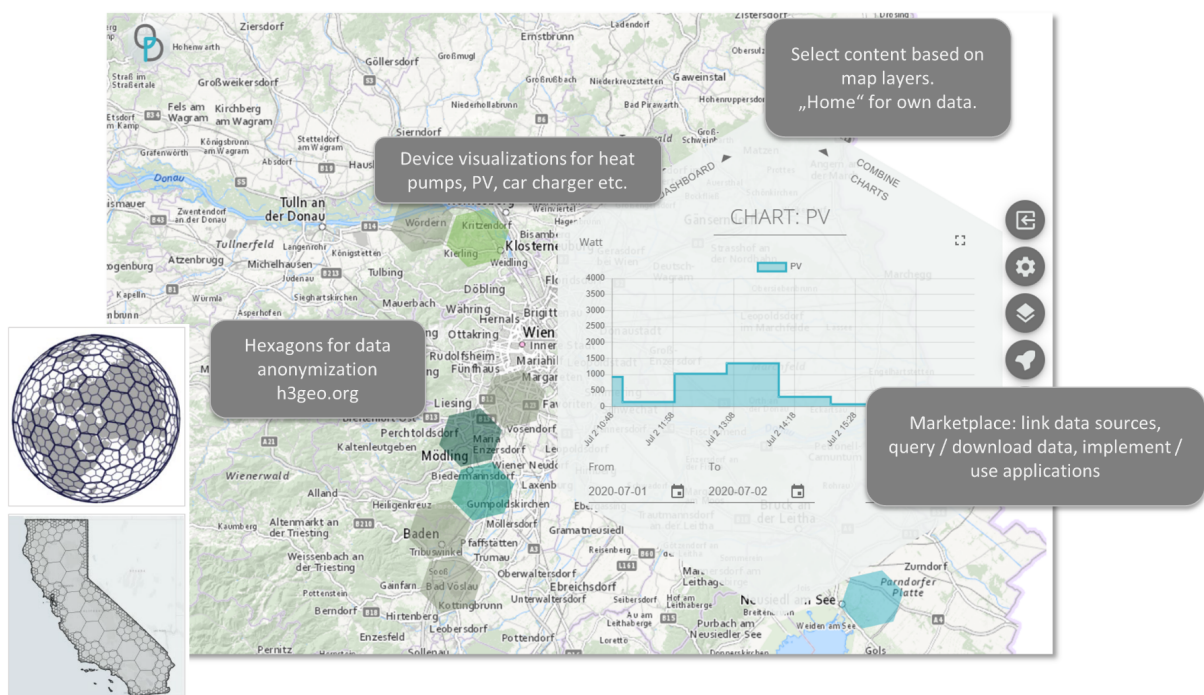


Abbildung 3: Grafische Benutzeroberfläche der österreichischen ODP (Quelle: Projekt OpenData-Plattform).

Die österreichische ODP sieht sich als IoT-Plattform, die darauf abzielt, Stromverbrauchsdaten von Endverbrauchern (Haushalte, KMU) zu sammeln und zu analysieren. Die Energiedatenströme werden über einen Disaggregationsdienst verarbeitet (Suche nach Einzelmustern im Summensignal der elektrischen Leistungen), in Form von Verbrauchsmustern und Clustern analysiert und für kurzfristige wetterabhängige Prognosen verwendet.

Die österreichische ODP Plattform sieht für unterschiedliche User-Rollen verschiedene Zugangsebenen vor, sodass Forschungsinstitute Zugang zu detaillierteren und fein abgestuften Messdaten erhalten können.

5.2 Subtask B: Model-Predictive Control²

Model Predictive Control (MPC) ist eine fortschrittliche Regelungsstrategie, die die Energieeffizienz in Gebäuden verbessert, insbesondere wenn sie in Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HVAC) integriert ist. Sie bietet erhebliche Vorteile für den Betrieb von Gebäuden, Quartieren und Energiegemeinschaften und ist besonders effektiv beim Abwiegen zwischen Benutzer:innenkomfort und Energieverbrauch. Der Einsatz von MPC in Gebäudeenergiesystemen, insbesondere in Verbindung mit erneuerbaren Energiequellen, hat sich als vorteilhaft für einen energieeffizienten Gebäudebetrieb erwiesen und kann auch Nebenziele wie die Reduzierung von Spitzenlasten erreichen. Im Gegensatz zur reaktiven Steuerung, bei der nur auf aktuelle Zustände reagiert wird, erlaubt MPC vorausschauende Entscheidungen und damit effizientere Regelstrategien. Durch präzise Vorhersagen lässt sich z. B. Solarenergie optimal nutzen, die Raumtemperatur vorausschauend anpassen oder thermische Speicher effizient betreiben. In realen Umgebungen wird MPC mithilfe von Sensordaten, Wettervorhersagen und digitalen Gebäudemodellen implementiert. Die Steueralgorithmen berechnen kontinuierlich optimale Regelgrößen und verbessern so Energieeffizienz und Nutzer:innenkomfort. Alternativ kann MPC in einer Simulationsumgebung getestet werden – mithilfe von Emulatormodellen, die reale Gebäude digital nachbilden.

5.2.1 Funktionsweise der modellprädiktiven Regelung

MPC verwendet ein mathematisches Modell der thermischen Dynamik des Gebäudes, um zukünftige Zustände basierend auf aktuellen Bedingungen und Steuereingaben vorherzusagen. Dieses steuerungsorientierte Modell umfasst die thermischen Eigenschaften des Gebäudes sowie die Dynamik des HVAC-Systems und ist an externe Faktoren wie Wetterbedingungen und Belegungsmuster gebunden. Eine Schlüsseleigenschaft von MPC ist der Vorhersagehorizont, der normalerweise von Stunden bis wenigen Tagen reicht. Während dieses Horizonts prognostiziert der Regler das zukünftige Verhalten der Raumtemperaturen und des Energieverbrauchs des Gebäudes. Er wertet verschiedene Szenarien aus, um gewünschte Sollwerte zu erreichen, wie z.B. die Aufrechterhaltung des Komfortniveaus bei gleichzeitiger Minimierung des Energieverbrauchs. Bei jedem Zeitschritt löst MPC ein Optimierungsproblem, das Energieeffizienz, Komfortanforderungen und Betriebsbeschränkungen bestmöglich erfüllt. Sobald die optimale Betriebsstrategie von der MPC bestimmt ist, werden durch die MSR-Technik im Gebäude die nötigen Steueraktionen, wie z.B. die Anpassung von HVAC-Sollwerten, das Umschalten von Energiequellen oder der Betrieb einzelner Komponenten wie Ventile und Pumpen umgesetzt. Dieser Prozess ist auch in Abbildung 4 dargestellt und wiederholt sich bei jedem Regelzeitschritt, wobei Vorhersagen kontinuierlich aktualisiert und Modellparameter und Zustände angepasst werden.

² Dieser Abschnitt enthält Inhalte des noch nicht publizierten Endberichts von Subtask B (siehe Deliverables)

Die Grundlage jeder MPC-Anwendung bildet ein sogenanntes „regelungsorientiertes Modell“. Diese Modelle werden typischerweise in drei Kategorien eingeteilt:

- **White-Box-Modelle** basieren vollständig auf physikalischen Gesetzen und Simulationswerkzeugen wie EnergyPlus oder Modelica. Sie sind besonders gut interpretierbar und extrapolierbar, aber sehr aufwendig in der Erstellung.

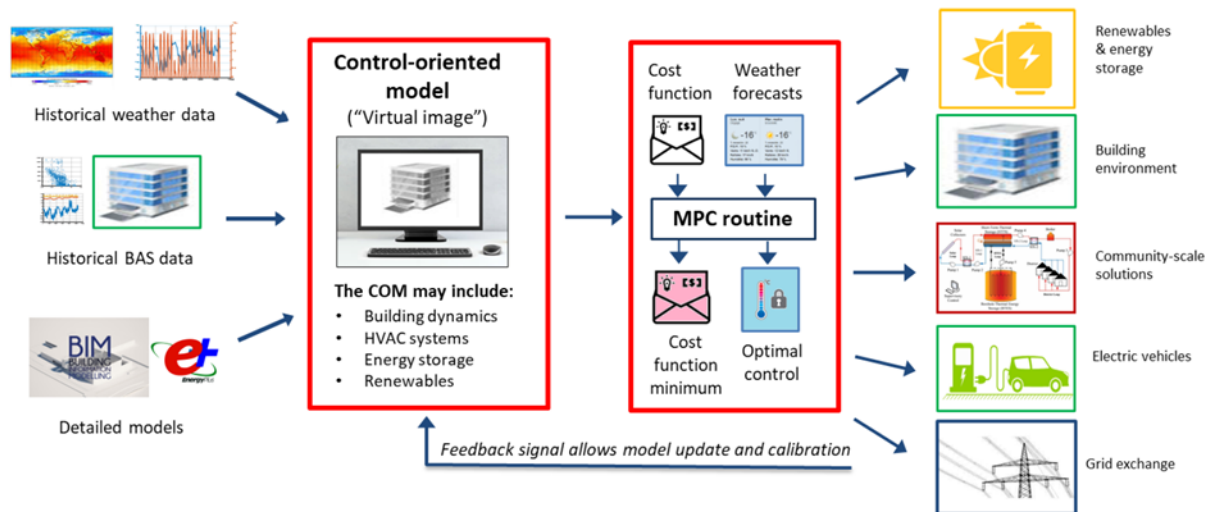


Abbildung 4: Konzept der modellbasierten prädiktiven Regelung im Gebäudeenergiemanagement. (David Blum et al. 2023)

- **Grey-Box-Modelle** kombinieren physikalisches Wissen mit statistischer Datenanalyse. Sie sind meist als stochastische Differentialgleichungen formuliert und ermöglichen eine gute Balance zwischen Modellgenauigkeit, Rechenaufwand und Datenbedarf. Zudem lassen sich Unsicherheiten explizit einbeziehen, was sie besonders praxistauglich macht.
- **Black-Box-Modelle** setzen ausschließlich auf Daten, etwa durch Machine Learning oder Zeitreihenmodelle (z. B. ARIMA, LSTM). Sie sind schnell einsetzbar und erfordern kein physikalisches Verständnis, jedoch sind sie oft nicht interpretierbar und schlecht extrapolierbar.

Je nach Zielsetzung und Datenverfügbarkeit kann auch ein hybrider Ansatz sinnvoll sein. In der Praxis haben sich Grey-Box-Modelle für MPC als besonders geeignet erwiesen.

Ein zentrales Element für die Wirksamkeit von MPC ist der Umgang mit **Störgrößen** wie Solarstrahlung, Außentemperatur oder Personenbelegung. Diese können den Energieverbrauch stark beeinflussen. Um darauf reagieren zu können, werden entsprechende Vorhersagemodelle eingesetzt:

- Wetterdaten (Strahlung, Temperatur) werden aus lokalen Sensoren oder Wetterdiensten bezogen.
- Belegungsprognosen können aus Kalenderdaten oder Sensornetzwerken gewonnen werden.

- Weitere Störgrößen wie interne Lasten oder Nutzer:innenverhalten müssen durch passende Modelle oder Annahmen berücksichtigt werden.

Grey-Box-Modelle sind dabei besonders hilfreich, da sie Unsicherheiten in den Eingangsgrößen integrieren und so robuste Regelstrategien ermöglichen. Für eine erfolgreiche MPC-Implementierung ist die Qualität dieser Vorhersagen entscheidend. Ein wachsendes Forschungsfeld ist die Kombination von MPC mit **Machine Learning (ML)**, vor allem im Bereich **Forecasting** (z. B. Energieverbrauch, Innenraumtemperatur, Lastprofile). Hierbei lassen sich ML-Modelle nutzen für:

- Datengetriebene Vorhersagen zukünftiger Systemzustände, z. B. mittels Recurrent Neural Networks (RNN) oder Long Short-Term Memory (LSTM).
- Systemidentifikation: ML kann zur automatischen Modellbildung genutzt werden (Black-Box oder zur Unterstützung von Grey-Box-Modellen).
- Steuerung: Deep Reinforcement Learning (DRL) bietet Potenzial für selbstlernende Regler, die aus Simulation oder Echtbetrieb lernen.

Praxisbeispiele im Bericht Subtask B Report IEA EBC Annex 81 - Data-Driven Smart Buildings³ zeigen erfolgreiche Ansätze, u. a. bei Net-Zero-Gebäuden, Laborbauten oder Smart Grids. Die Kombination von MPC mit ML ermöglicht eine höhere Prognosegüte, schnellere Anpassung an neue Bedingungen und eine schrittweise Automatisierung der Regelung.

5.2.2 Implementierung von MPC

Die Implementierung von MPC in HVAC-Systeme umfasst mehrere wichtige Schritte, die im Folgenden für einen Ansatz mit Grey-Box Modellen oberflächlich beschrieben ist.

- **Echtzeit-Datenerfassung:** Integration von Sensoren und vernetzten Zählern, um Echtzeitdaten zu Innentemperaturen, Luftfeuchtigkeit, Belegung und Energieverbrauch bereitzustellen. Einsatz von Prognosen, um externe Bedingungen wie Wetter, internen Lasten oder Warmwasserverbrauch vorherzusagen evtl. unter Verwendung von ML-Methoden.
- **Steuerschnittstelle:** Entwicklung einer Schnittstelle zwischen MPC-Software und MSR-Technik, um die optimierten Vorgaben für Stellgrößen auf das HVAC-System anzuwenden. Dies kann z.B. das Anpassen von Sollwerten für Thermostate, das Ansteuern von Lüftern, Kesseln und Wärmepumpen sowie das Modulieren von Klappen und Ventilen für die Luft- und Wasserverteilung umfassen.
- **Systemmodellierung:** Entwicklung und Trainieren eines mathematischen Modells der thermischen Gebäudedynamik und des HVAC-Systems. Dies kann mit Tools wie MAT-

³ Zum Zeitpunkt dieses Berichts noch nicht veröffentlicht. Zu einem späteren Zeitpunkt auf <https://annex81.iea-ebc.org/> abrufbar.

LAB/Simulink, Gekko, Pyomo oder spezieller Software zur Gebäudeenergiesimulation erfolgen. Essenziell ist dabei auch die Definition von Randbedingungen innerhalb derer sich die Systemzustände bewegen dürfen und das Formulieren einer Zielfunktion. Diese Zielfunktion enthält eine oder mehrere gewichtete Größen, nach denen der Systembetrieb optimiert werden soll. (z.B.: Energiekosten, CO₂ Emissionen, Leistungsspitzen, ...)

- **Optimierungsalgorithmus:** Einsatz eines Optimierungsalgorithmus, der in der Lage ist, das definierte Optimierungsproblem (LP, MILP, QP, ...) zuverlässig und innerhalb der vorgegeben Regelzeitschrittweite unter Berücksichtigung der verfügbaren Rechenressourcen zu lösen.
- **Feedbackschleife:** Implementierung einer Feedbackschleife, die das Regler-interne Modell dem tatsächlichen Systemzustand nachführt durch Zurückführung von observierbaren Variablen und Schätzung von nicht observierbaren Variablen durch geeignete Methoden (z.B. Kalman Filter). Ein langfristiges Lernen der Modellparameter wird durch den Einsatz von Moving Horizon Estimation (MHE) sichergestellt, wobei das reglerinterne Modell mit Messdaten verglichen wird und Parameter optimiert werden, sodass eine möglichst geringe Abweichung erreicht wird.

5.2.3 Anwendungsbeispiele in Österreich

Im Folgenden sind Implementierung von MPC in nationalen Forschungsprojekten im Gebäudesektor dargestellt. Für das Erreichen der Ergebnisse in den einzelnen nationalen und internationalen Forschungsprojekten stellte sich der Wissensaustausch im IEA EBC Annex 81 zu MPC Regelungen besonders förderlich heraus.

Sol4City Simulationsstudie, Mehrfamilienhaus

In dem hier vorgestellten Forschungsvorhaben Sol4City⁴ wird untersucht, inwieweit der Einsatz von MPC elektrische Last- und Einspeisespitzen in einem beispielhaften Mehrparteiengebäude reduzieren kann und welche Komponenten der dargestellten Gebäudetechnik am stärksten davon beeinflusst werden. Im Rahmen des Forschungsprojekts wird ein MPC-Regler entwickelt, welcher in einer Co-Simulation mit einem detaillierten Gebäude- und Anlagenmodell getestet und speziell auf das Potenzial zur Netzdienlichkeit untersucht wird. Als zentrale Zielfunktion für den verwendeten Algorithmus dient ein leistungsabhängiger Netztarif für Bezug und Einspeisung von Strom. Indikatoren zur Leistungsbewertung von Energieflexibilität, Netzinteraktion und Lastabgleich werden verwendet und für spezifische Systemkomponenten und Varianten vergleichend dargestellt.

Mit einer dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation wird eine umfassende Analyse verschiedener Szenarien zur Energieversorgung eines Referenzgebäudes untersucht. Dabei werden zeitlich hochaufgelöste Jahreslastprofile für den Warmwasserbedarf und den elektrischen Haushalts-

⁴ <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/sol4city.php>

strombedarf berücksichtigt. Durch die Variation der solaren Erzeugungsmethoden, Speichertechnologien und Regelungen können unterschiedliche Konfigurationen auf energie- und netzbezogene Kennwerte untersucht werden. Im Folgenden werden die vorliegenden Randbedingungen, Varianten und Bewertungskriterien beschrieben. Die Methodik baut auf den Randbedingungen und Tätigkeiten aus Gumhalter & Ramschak (2022) und Gumhalter & Ramschak (2023) auf.

Im Rahmen des Sol4City-Projekts wurden die Rahmenbedingungen österreichischer Wohngebäude analysiert, ein repräsentatives Neubaugebäude definiert (Abbildung 5) und charakterisiert, wobei eine detaillierte Beschreibung dieses Prozesses bei Gumhalter & Ramschak (2022) zu finden ist.



Abbildung 5: SEB Nr.21: Mehrfamilienhaus aus Sol4City Simulationsstudie (zeigt die Süd- und Ost-Fassade), Quelle: AEE INTEC

Die Vorteile der modellprädiktiven Regelung (MPC) gegenüber klassischen, regelbasierten Energiemanagementsystemen liegen in der Möglichkeit, durch integrierte Optimierung mehrere Regelziele gleichzeitig zu verfolgen und abzuwägen. Dabei wird ein semiphysikalisches Modell (Grey Box) der thermischen Gebäudedynamik und des Wärmebereitstellungssystems kontinuierlich mit Mess- oder Simulationsdaten aktualisiert. Zu jedem Regelzeitpunkt wird ein Optimierungsproblem basierend auf diesem Systemmodell und den vorhergesagten Randbedingungen gelöst, um eine optimale Betriebsstrategie zu definieren. Die in Abbildung 6 dargestellte Struktur des verwendeten MPC-Reglers basiert auf (Putz et al. 2023) und ist um ein Modul für PVT-Anlagen und einen leistungsabhängigen Stromtarif erweitert.

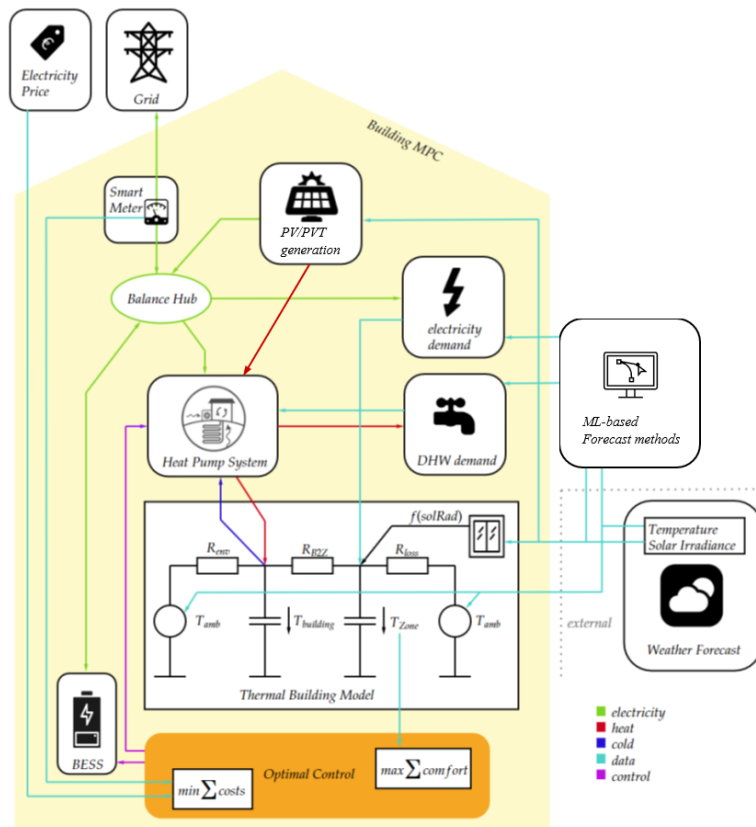


Abbildung 6: Implementiertes MPC-Schema. Basierend auf Putz et al. (2023).

Die Berücksichtigung der Netzleistung als zusätzliche Zielgröße führt zu einem dynamischen Pareto-Problem. Die zu minimierende Kostenfunktion berücksichtigt neben den Energiekosten auch leistungsabhängige Netztarife und Behaglichkeitskriterien. Die Entwicklung dieser Kostenstruktur und die Definition der Schnittstellen zwischen den Optimierungsergebnissen der MPC und der Steuerung des Energiesystems sind zentrale Bestandteile des Forschungsvorhabens. Als Stellgrößen für die Anlagentechnik in der Gebäudesimulation dienen die Sollwerte von Raumtemperaturen, Vorlauftemperaturen, Wärmepumpenleistung und die Lade-/Entladeleistungen von Batteriespeichern. Die definierten Systemvarianten werden mithilfe von Kennzahlen miteinander verglichen. Dabei wird zwischen Load Match Indikatoren und Grid Load Indikatoren unterschieden, um die verschiedenen Wirkungsbereiche der betrachteten Regelungsmethoden und Haustechnikkomponenten aufzuzeigen. Die Definition der hier verwendeten Indikatoren basiert auf Farulla et al. (2021).

Auszug aus den Projektergebnissen

Die in Abbildung 7 dargestellten Netzspitzenleistungen (PC und OPP) zeigen, dass MPC in der Lage ist, bei gleichbleibender technischer Ausrüstung des Gebäudes, diese zu reduzieren. Vor allem die Systemkombination aus Batterie und MPC erweist sich in diesem Zusammenhang als besonders wirksam. Interessanterweise zeigt sich, dass das Szenario mit dem höchsten solaren Deckungsgrad nicht zwangsläufig auch die besten Leistungswerte in Bezug auf das Netz aufweist.

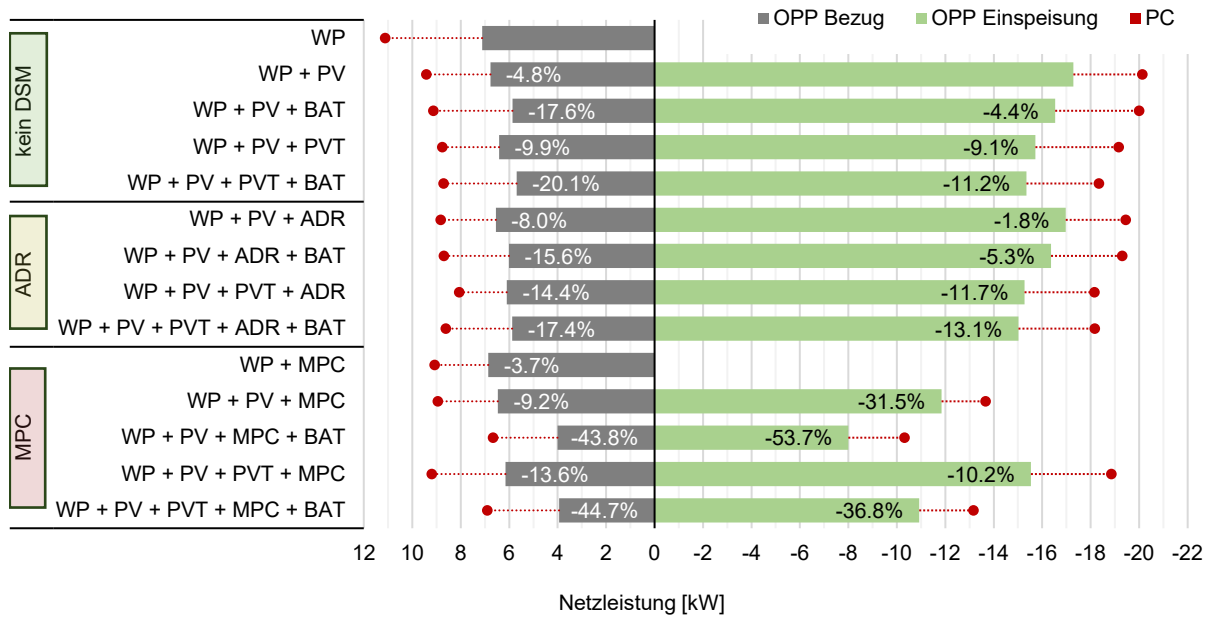


Abbildung 7: OPP (One Percent Peak Power) und PC (Peak Capacity) für alle Systemvarianten. Die Prozentangaben beim Netzbezug geben die Reduktion der OPP zum Szenario WP an wohingegen die Prozentangaben bei der Netzeinspeisung die Reduktion der OPP zum Szenario WP + PV angegeben wird. Die roten Markierungen stellen die jeweilig einmal auftretenden Spitzenleistungen (PC) für Bezug und Einspeisung dar. Aus: Gumhalter et al. (2024)

Die in dieser Studie präsentierten Ergebnisse erweitern das Verständnis von Energiemanagementsystemen mittels MPC und demonstrieren deren Effektivität in der Optimierung von solarem Deckungsgrad und Netzbelastung. Durch die Implementierung von MPC in solaren Versorgungskonzepten für Mehrfamilienhäuser konnte eine signifikante Steigerung des solaren Deckungsgrades erreicht werden, was insbesondere durch den optimalen Betrieb der Batterie verursacht wird. Diese Systemkonfiguration führte auch zu einer Reduktion des Strombedarfs und einer erhöhten Eigenverbrauchsquote, was den Netzbezug drastisch senkt. Des Weiteren zeigt die Analyse, dass die Kombination aus Batteriespeichern und MPC eine besonders effektive Strategie darstellt, um Netzspitzenleistungen zu reduzieren und die Netzbelastung zu optimieren. Auch die Zeitliche Verschiebung von Wärmebereitstellung im Gebäude liefert signifikante Beiträge zur Netzentlastung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Einsatz von MPC in Kombination mit fortschrittlichen Wärmepumpensystemen, PVT und Energiespeichern eine nachhaltige Lösung bietet, um die Energieeffizienz in Gebäuden zu steigern und gleichzeitig die Netzbelastung zu minimieren. Diese Technologie ermöglicht eine präzisere Steuerung und Nutzung von Energieflüssen im Gebäude, was zu einem optimierten Betrieb führt, der sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile bietet. Die Ergebnisse legen nahe, dass derartige Systeme in zukünftigen Anwendungen breiter implementiert werden sollten, um die Ziele einer nachhaltigen Energieversorgung zu unterstützen.

Angeichts der positiven Ergebnisse dieser Studie wird deutlich, dass der effektive Einsatz von modellprädiktiven Regelungen und anderen datenbasierten Methoden eine umfangreiche Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigen Daten voraussetzt. Dies gilt sowohl für Neubauten als auch für die Sanierung bestehender Gebäude. Zukünftige Strategien zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors sollten daher nicht nur Renovierungen umfassen, sondern auch eine gezielte Digitalisierung der Energieinfrastrukturen in Gebäuden.

Danksagung

Die Förderung zum Projekt Sol4City erfolgt durch das Bundesministerium für Klima-schutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Projektnummer FO999886948).

EXCESS Demo Gebäude Graz

Die österreichische Demo Objekt des H2020 Forschungsprojekts EXCESS⁵ betrifft ein ehemaliges Futtermittelsilo (siehe Abbildung 8), das zu einem Plusenergiegebäude mit gemischter Nutzung umgebaut wird. Der Standard eines Plusenergiehauses wird erreicht, indem die bestehende thermische Masse der Gebäudestruktur aktiviert wird. Dies geschieht durch den Einsatz vorgefertigter multifunktionaler Fassadenelemente mit integrierten Photovoltaikmodulen, die den Wärme-, Kälte- und Strombedarf des Gebäudes decken.

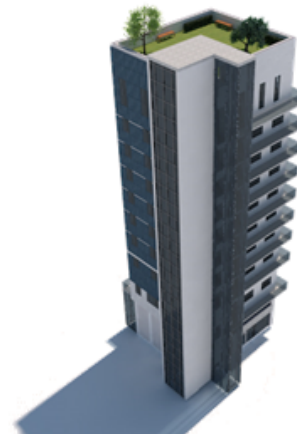


Abbildung 8: Ursprünglicher Zustand des Futtermittelsiloturms (links) und 3D-Rendering der geplanten Sanierung (rechts), Quelle: AEE INTEC

Das Gebäude wird über Grundwasser-Wärmepumpen beheizt und gekühlt, die in das Heiz-, Kühl- und Energienetz des Standorts integriert sind. Ziel ist es, lokal erzeugten Strom aus den in die Fassade integrierten Photovoltaikmodulen zu nutzen. Die Wärmepumpe speist entweder den Speicher für Warmwasser (DHW) oder den Speicher für Raumheizung (SH), der die Verbraucher mit

⁵ <https://positive-energy-buildings.eu/>

Energie versorgt. Im Sommer ist eine Kühlung durch direktes Freikühlen über den Brunnen vorgesehen, gleichzeitig erfolgt eine Kühlung in Kombination mit der Warmwasserbereitung. Die Verbindung zwischen Gebäude und Anlagentechnik bildet die multifunktionale Fassade mit einer aktiven Schicht zur Wärmeübertragung an bzw. von der bestehenden Wand, welche den dahinterliegenden Raum konditioniert.

Nutzer:innenzentrierte Anwendungen spielen eine entscheidende Rolle bei der Förderung einer Energiegemeinschaft. Diese Anwendungen ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung und Verifizierung der Energieeinsparungen sowohl auf Prosumer- als auch auf Gebäudeebene. Zudem gewährleisten sie eine transparente Aufteilung der Vorteile durch Energieoptimierung unter den Prosumern auf Basis präziser Energiemessungen.

Am Demonstrationsstandort in Graz wurde ein übergeordnetes modellprädiktives Regelungssystem (MPC) implementiert, um das gesamte Energiesystem des Gebäudes zu optimieren und gleichzeitig den Nutzer:innenkomfort aufrechtzuerhalten. Dieses fortschrittliche System überwacht den thermischen Zustand der Gebäudehülle und sorgt so für eine effiziente Energienutzung. Die MPC-Steuerung ist nahtlos mit den einzelnen intelligenten Raumregelungen verbunden und bildet eine mehrstufige Energiemanagementlösung. Durch die Berücksichtigung des gesamten Energieökosystems, einschließlich Photovoltaikanlagen (PV) und Wärmepumpen, passt das MPC-System dynamisch die Heiz- und Kühlvorgänge an. Seine prädiktiven Fähigkeiten beruhen auf der Analyse verschiedener Eingaben wie historischen Energiedaten, Echtzeit-Belegungsinformationen und Wettervorhersagen. Datenbasierte Prognosealgorithmen in Kombination mit semi-physikalischen Gebäudemodellen ermöglichen es dem System, Energiebedarf und Systemzustände vorherzusehen und proaktiv anzupassen, um Effizienz zu steigern und Kosten zu senken. Abbildung 9 zeigt den Aufbau des internen Gebäudemodells der MPC, das zur vorausschauenden Optimierung dient und kontinuierlich durch eine Moving Horizon Estimation aktualisiert wird. Dadurch kann das System sich

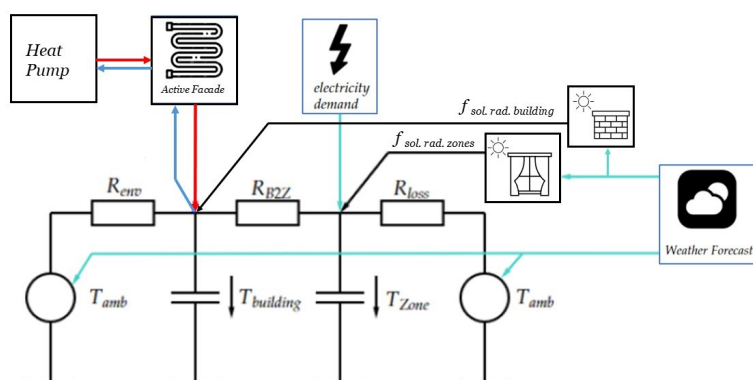


Abbildung 9: RC-Darstellung des verwendeten thermodynamischen Gebäudemodells zur Vorhersage der Temperatur sowie des Wärme- und Kältebedarfs des Demonstrationsgebäudes, Quelle: AEE INTEC

Auswirkungen von Model Predictive Control

Die Entscheidung zur Implementierung von MPC wurde durch die besonderen Herausforderungen des Gebäudes mit großen thermischen Zeitkonstanten motiviert, die durch die thermische Aktivierung der Fassade entstehen. Standard-Heizungsregelungen haben Schwierigkeiten, diese Verzögerungen sowie die Einflüsse von Randbedingungen wie Wetter und Belegung zu bewältigen. Die aktivierten thermischen Massen dienen jedoch auch als bedeutender Energiespeicher, der es ermöglicht, den Energieverbrauch in Zeiten der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien zu verlagern, ohne den Nutzer:innenkomfort zu beeinträchtigen.

Im Projektverlauf wurde aufgrund von Bauverzögerungen eine detaillierte Simulation (IDA ICE) für das Demonstrationsgebäude aufgebaut, was die Möglichkeit bot wiederholbare und vergleichbare Experimente unter identischen Randbedingungen durchzuführen. Diese Methode ermöglichte neben einer reduzierten Umsetzung on-site eine gründliche Bewertung der Leistung von modellprädiktiven Regelungsalgorithmen (MPC) im Vergleich zu konventionellen regelbasierten Energiemanagementsystemen und Standardregelverfahren ohne Lastverschiebung.

Co-Simulations-Experimente zeigten, dass MPC die Lastverschiebungsfähigkeit des Wärmepumpensystems deutlich verbessert, wie in Abbildung 10 für eine exemplarische Winterwoche dargestellt. Der Vergleich des Energiebedarfs zwischen Standardregelung, konventionellem EMS und MPC zeigt, dass die MPC erneuerbaren Strom aus dem BiPV-System priorisiert und gleichzeitig geforderte Raumtemperaturen einhält. Es wurde festgestellt, dass eine Temperaturflexibilität von rund 2 °C ausreicht, um die Energieeffizienz des Gebäudes erheblich zu steigern.

Die Implementierung des im Rahmen von EXCESS entwickelten MPC-Algorithmus führte zu deutlichen Verbesserungen in allen bewerteten Aspekten. In Bezug auf den absoluten Energiebedarf (siehe Tabelle 3) wurde der Energieverbrauch für Heizung und Kühlung signifikant reduziert.

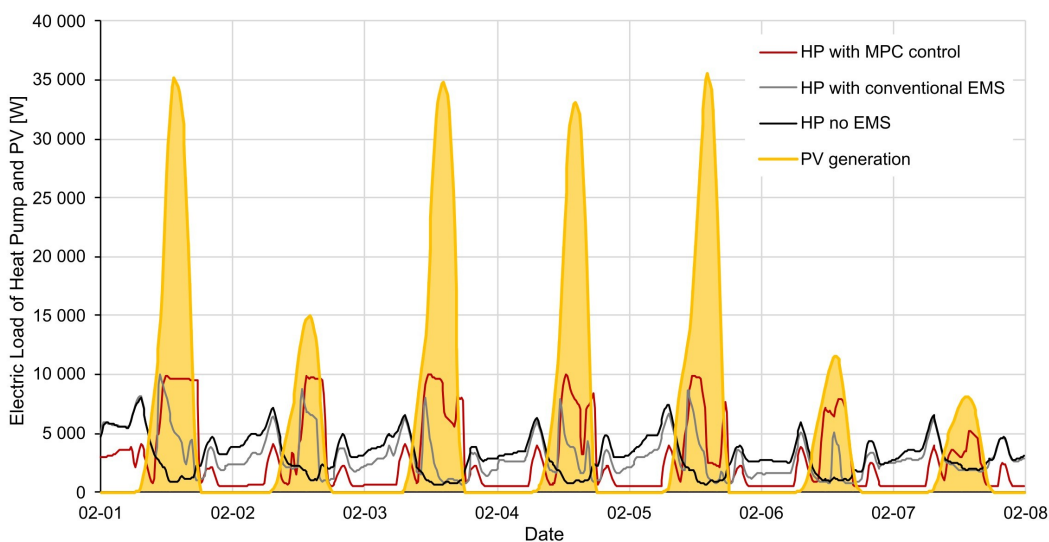


Abbildung 10: Vergleich des Strombedarfs der Wärmepumpe für verschiedene Regelsysteme, getestet mit dem österreichischen Demonstrationsgebäude, in Bezug auf die verfügbare PV-Erzeugung während einer durchschnittlichen Winterwoche im Februar, Quelle: AEE INTEC

Die Ergebnisse in Tabelle 4 verdeutlichen die weitere Reduzierung des Netzbezugs und der Netzeinspeisung und zeigen signifikante Verbesserungen beim On-Site Energy Ratio, was den Status des Demonstrationsprojekts als Plusenergiegebäude (PEB) unterstreicht. Besonders beim Load Cover Factor für Heizung und Warmwasserbereitung (DHW) wird im Vergleich zu Standardregelung und konventionellen EMS ein deutlicher Fortschritt erzielt: fast 60 % des Wärmebedarfs werden durch erneuerbare Energie am Standort gedeckt. Darüber hinaus stieg der gesamte Load Cover Factor des Gebäudes auf 57,8 %.

Tabelle 3: Absoluter Energiebedarf und Energieerzeugung des österreichischen EXCESS Demonstrators für verschiedene Regelsysteme

	Total Generation [kWh/a]	Electricity Demand Heating + DHW [kWh/a]	Electricity Demand Cooling [kWh/a]	Household Electricity Demand [kWh/a]	Grid Import [kWh/a]	Grid Export [kWh/a]
No EMS	62006.0	15743.8	4508.3	21858.8	22090.6	42092.8
Conventional EMS	62006.0	16943.1	4752.5	21858.8	21263.2	39821.9
MPC Control	62006.0	13270.7	4505.5	21858.8	16707.8	39079.2

Tabelle 4: Energiebezogene KPIs des österreichischen EXCESS Demonstrators für verschiedene Regelsysteme

	On Site Energy Ratio	Load Cover Factor Heating + DHW	Load Cover Factor Cooling	Load Cover Factor Household Electricity	Total Load Cover Factor	Total Supply Cover Factor
No EMS	147.5%	32.2%	69.3%	54.1%	47.5%	32.2%
Conventional EMS	142.6%	42.7%	70.8%	53.5%	51.2%	35.9%
MPC Control	156.4%	59.9%	73.0%	53.5%	57.8%	37.0%

Durch den Einsatz einer multi-kriteriellen Optimierung wurde ein weiteres Ziel erreicht: die Reduzierung von Lastspitzen im Stromnetz. Wie in Abbildung 11 dargestellt, konnte eine Reduktion von

12,3 % bei den höchsten 1 % der Netzlastsituationen (berechnet auf Basis eines gleitenden 15-Minuten-Mittelwerts) beim Netzimport erzielt werden. Dies ist besonders wertvoll, da dadurch Kapazitäten für andere Anwendungen wie das Laden von Elektrofahrzeugen freigemacht werden, was die Fähigkeit des Systems unterstreicht, zu einem ausgewogeneren und nachhaltigeren Energiesystem beizutragen.

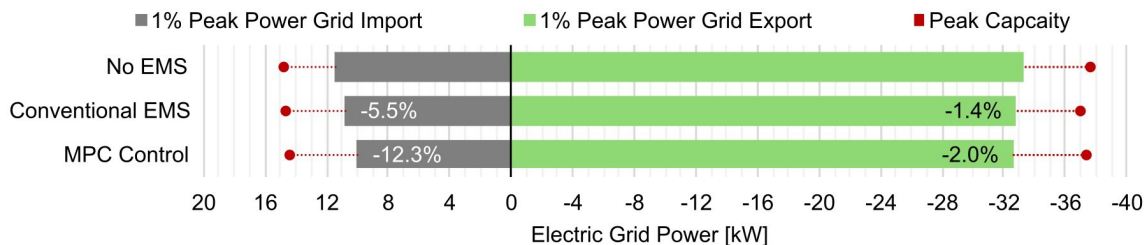


Abbildung 11: Auswirkungen verschiedener Regelungskonzepte auf das Netzverhalten erhalten des österreichischen EXCESS Demonstrationsgebäudes, Quelle: AEE INTEC

Danksagung

Dieses Projekt wurde gefördert durch das Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon2020 research and innovation program LC-EEB-03-225 2019 - New developments in plus energy houses (IA) im Rahmen des Projekts EXCESS "FlexiBle user-Centric Energy poSitive houseS" [grant number 870157].

HybridLSC Demo Gebäude Wien Donaufeld

Im Forschungsprojekt HybridLSC⁶ wird ein Konzept zur thermischen Aktivierung von Bauteilmassen (TABs) um Flexibilität für Netze und Energieversorger bereitzustellen untersucht. Dabei werden Herausforderungen im Betrieb und in der Systemplanung identifiziert und behandelt. Basierend auf Betriebsdaten aus einem realen Fernwärmenetz und konzeptionellen Daten für ein geplantes Wohnbauprojekt in Wien, Österreich, wird eine Simulationsstudie durchgeführt, um folgende Fragestellung zu beantworten:

Wie können TABs mit fortschrittlichen Demand Side Management (DSM)-Strategien durch modellprädiktive Regelung (MPC) optimiert werden, um den Ausbau von Fernwärmenetzen zu unterstützen, insbesondere indem Nachfragepeaks abgefedert werden, etwa durch den Ausgleich nicht verschiebbarer Lasten wie der Spitzenlasten der Trinkwassererwärmung (DHW), sodass neue Gebäude netzunterstützend wirken?

Die Methodik dieser Studie konzentriert sich auf die Bewertung der Möglichkeit, Heizlasten zu verschieben, um die Gesamlastkurve eines Fernwärmenetzes zu glätten – insbesondere in Szenarien, in denen nicht verschiebbare Lasten wie DHW einen erheblichen Teil der gelieferten Energie ausmachen und zu Lastspitzen führen. Zwei unterschiedliche Varianten werden zur Analyse definiert: eine Basisvariante mit regelbasierter Steuerung unter Verwendung außentemperaturabhängiger

⁶ <https://greenenergylab.at/projects/hybrid-lsc/>

Heizkurven und eine Systemvariante mit dynamischer Optimierung durch MPC. Die Berechnungsgrundlage ist eine umfassende Energiesimulation, die am Beispielgebäude mit der Software IDA ICE von EQUA (2023) durchgeführt wurde. Dieses Gebäudemodell wurde erstmals von Stipsits (2024) basierend auf Planungsdaten implementiert. Eine 3D-Darstellung der Gebäudegeometrie ist in Abbildung 12 zu finden. Die Simulationsexperimente werden über die gesamte Heizsaison hinweg



Abbildung 12: 3D-Ansichten des untersuchten geplanten Wohngebäudes (links: Ansicht von Nordwesten, rechts: Ansicht von Südosten) (Quelle: Stipsits (2024))

durchgeführt, wobei der Fokus auf der kältesten Woche des Jahres (12. bis 18. Februar) liegt, basierend auf einem ASHRAE-Referenz Klimadatensatz für die Stadt Wien.

Für die angewandte modellprädiktive Regelung (MPC) und die Moving Horizon Estimation (MHE) wurde zunächst ein semiphysikalisches Modell entwickelt, das bereits in einer früheren Studie Putz et al. (2023) Anwendung fand. Aufbauend auf diesem Modell integriert das System zusätzlich einen Fernwärmeanschluss und wird in seiner RC-äquivalenten Form in Abbildung 13 dargestellt.

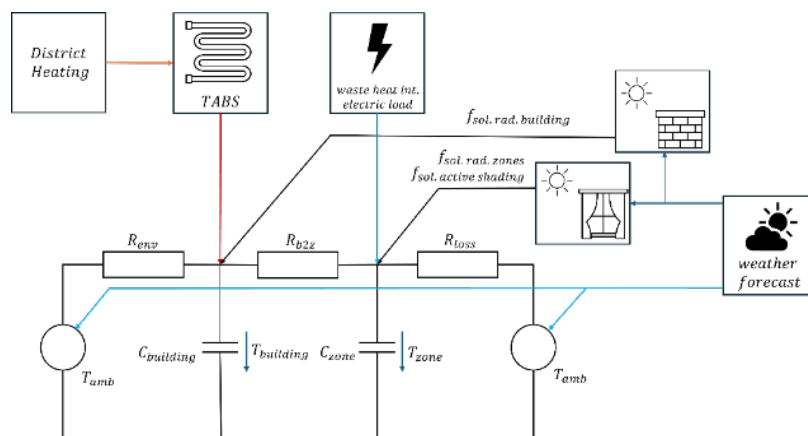


Abbildung 13: RC-Äquivalentes Modellabbild des MPC und MHE internen Grey Box Models (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024))

Das Regelungsziel besteht darin, Lastspitzen beim Heizwärmebedarf des Gebäudes, einschließlich des Bedarfs an Trinkwarmwasser (DHW), zu reduzieren. Dies wird unter anderem durch einen leistungsabhängigen Wärmetarif in der Zielfunktion umgesetzt. In einer Co-Simulation wird der modellbasierte Regler mit dem hochdetaillierten Gebäude- und Systemmodell in IDA ICE gekoppelt

und betrieben. In dieser Co-Simulation werden tägliche Lastverschiebungsaufgaben im Gebäude durch MPC-Regelung optimiert, während gleichzeitig klassische Parameterschätzungen auf Basis dynamischer Daten aus der IDA ICE-Simulation mittels MHE durchgeführt werden. Zusätzlich wird innerhalb des Reglers ein Zustandsbeobachter eingesetzt, um die strukturelle Temperatur des Gebäudes zu schätzen. Darüber hinaus liefert die IDA ICE-Simulation wichtige Daten über den thermischen Komfort der Zonen sowie über das hydraulische System, einschließlich der Rücklauftemperatur und des Wärmestroms der TABS. Das MPC-Framework wird mit dem dynamischen Modellierungs- und Optimierungspaket GEKKO in Python implementiert (Beal et al., 2018; Hedengren et al., 2014).

Ergebnisse der Studie aus Gumhalter & Gradl (2024)

Bei der zu Vergleichszwecken implementierten Standardregelung führt die niedrigste auftretende Außentemperatur von $-14,6\text{ °C}$ in der kältesten Woche des Jahres zu einer Spitzenlast für Raumheizung von 140 kW. Abbildung 14 zeigt, dass der Einsatz von MPC zur Lastverschiebung unter Berücksichtigung des Trinkwarmwasserbedarfs (DHW) zu niedrigeren und zeitlich verschobenen Lastspitzen führt. Der gesamte Wärmebedarf des Gebäudes ergibt sich aus der Summe der Heizleistung, die in den TABS für die Raumheizung verwendet wird, und dem Wärmebedarf für den DHW-Verbrauch, wie in Abbildung 15 dargestellt.

Der gesamte Wärmebedarf dieser Woche wird in den Dauerkurven in Abbildung 16 für die Standardregelung und MPC verglichen. Es zeigt sich, dass der höchste auftretende Lastspitzenwert um 27 % reduziert werden kann – eine signifikante Senkung, insbesondere in der kältesten Woche des Jahres. Beim Vergleich der verschobenen Energiemengen von Zeiten hoher Nachfrage zu Zeiten niedrigerer Nachfrage ist zu beobachten, dass die Reduktion der Spitzenlast mit einem insgesamt höheren Energieverbrauch einhergeht. Dieser Anstieg beträgt 12,7 % im Szenario der kältesten Woche und 6,3 % in der durchschnittlichen Winterwoche.

Dieser signifikante Anstieg ist hauptsächlich auf zwei Effekte zurückzuführen. Erstens zeigt der Vergleich der erreichten Raumtemperaturen für die Variante mit Standardregelung (Abbildung 17) und der Variante mit MPC-basierter Lastverschiebung (Abbildung 18), dass die MPC-Variante die Einhaltung des Raumtemperatur-Sollwerts von 22 °C besser gewährleistet und nie die untere Komfortgrenze von 21 °C unterschreitet. Das Gebäude mit Standardregelung ohne prädiktive Komponenten hat aufgrund der hohen Trägheit der thermischen Gebäudedynamik Schwierigkeiten, die Solltemperaturen zu halten. Der höhere Energiebedarf der MPC-Variante ist daher auf höhere Hüllflächenverluste bei gleichzeitig verbessertem Temperaturkomfort zurückzuführen. Zweitens führt das leichte Vorheizen der Betonstrukturen zu erhöhten Wärmeverlusten über die Gebäudehülle und thermische Brücken, was als tatsächlicher Speicherverlust interpretiert werden kann.

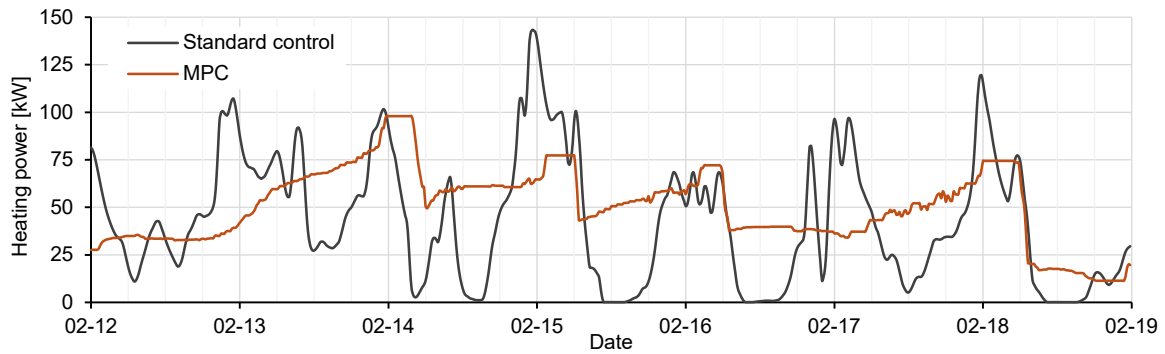


Abbildung 14: Heizleistung des TABS-Systems im Vergleich zwischen Standardregelung und MPC während der kältesten Woche des Jahres. (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024))

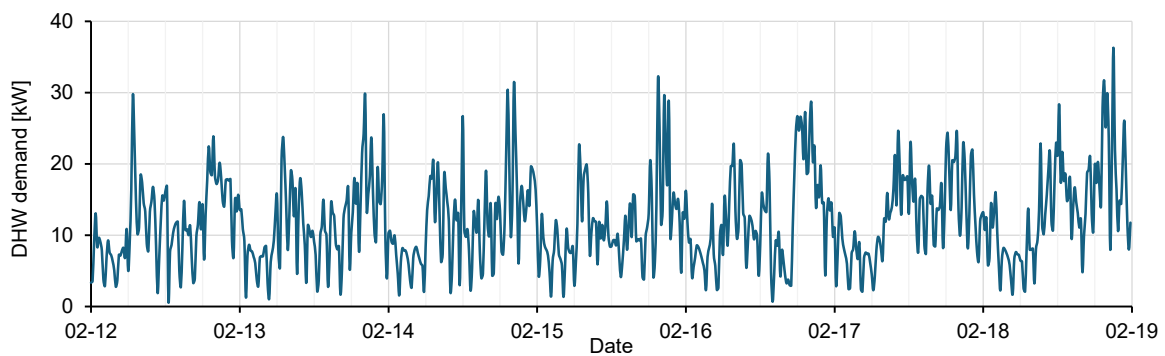


Abbildung 15: Angenommener Energiebedarf des Gebäudes während der kältesten Woche des Jahres für die Bereitstellung von Warmwasser (DHW). (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024))

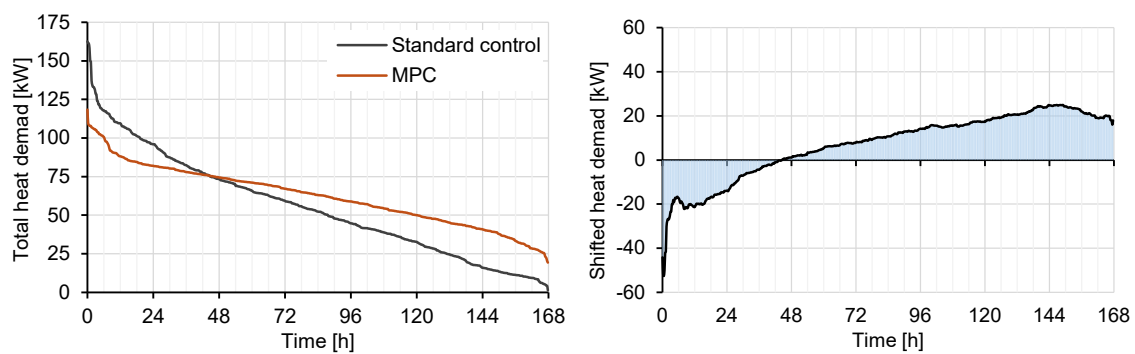


Abbildung 16: Dauerkurven des gesamten Wärmebedarfs einschließlich TABS und Trinkwarmwasser (DHW) für Standardregelung und MPC-Variante in der kältesten Woche des Jahres (links). Unterschied zwischen den Dauerkurven, der die Reduktion der Spitzenlast und die verschobene Energiemenge darstellt (rechts). (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024))

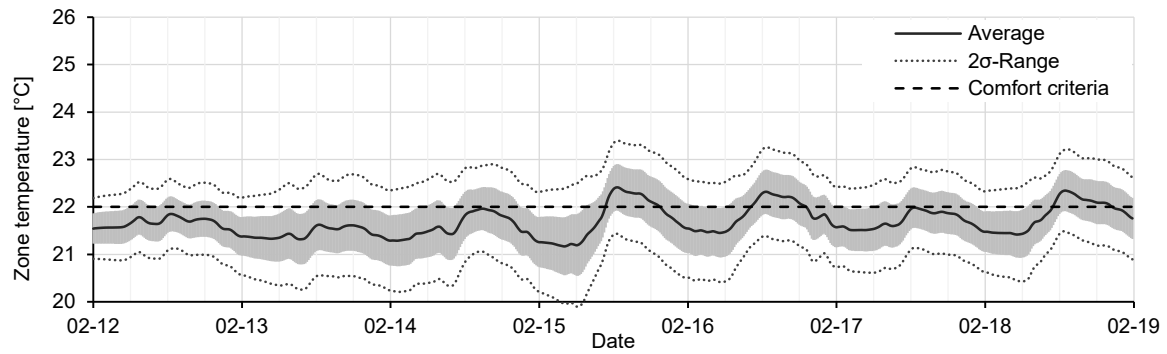


Abbildung 17: Durchschnittliche Raumtemperatur der Gebäudezonen und Standardabweichung während der kältesten Woche des Jahres mit Standardregelung. (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024))

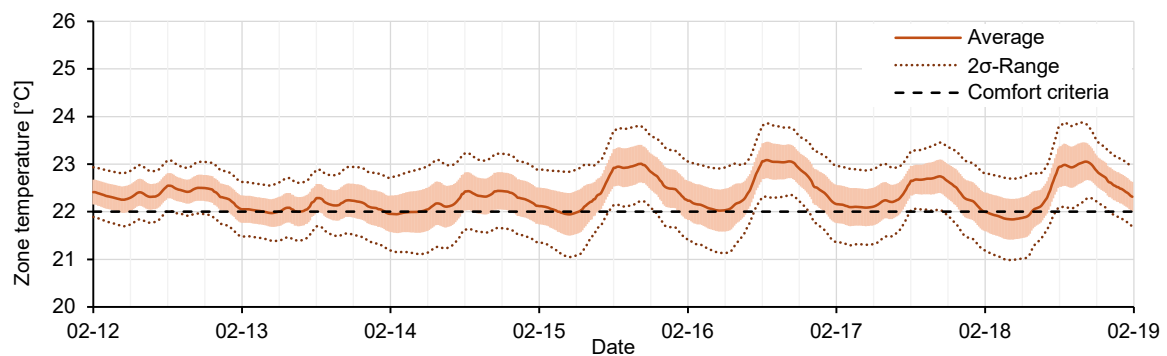


Abbildung 18: Durchschnittliche Raumtemperatur der Gebäudezonen und Standardabweichung während der kältesten Woche des Jahres mit MPC-Regelung. (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024))

Danksagung

Das Projekt HybridLSC wird vom österreichischen Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie unterstützt [FFG-Projektnummer 880768]. Die Veröffentlichung wurde durch das nationale Beteiligungsprojekt des internationalen IEA EBC Annex 83 – Positive Energy Districts unterstützt [FFG-Projektnummer FO999890451].

5.3 Subtask C: Anwendungen und Dienstleistungen⁷

5.3.1 Benchmarking Algorithmus

Das Benchmarking der Gebäudeperformance ist ein entscheidender Schritt auf dem Weg zu energieeffizienten und komfortablen Gebäuden. Aufgrund der komplexen Natur der damit verbundenen multikriteriellen Bewertung ist dies jedoch eine Herausforderung. Im Idealfall müssen Gebäude sowohl energieeffizient sein und den Bewohner:innen Komfort bieten als auch in der Lage sein, Dienstleistungen für die Energienetze in Form von Energieflexibilität zu erbringen. KPIs können wichtige Informationen liefern und dabei helfen, zu bewerten und zu verfolgen, ob Gebäude ihre Ziele erreichen (Van Gorp 2005).

Im Annex 81 wurden daher Benchmarking-Algorithmen für die Gebäudeperformance mit besonderem Schwerpunkt auf den Key Performance Indicators (KPI) untersucht. KPIs sollten zugänglich, quantifizierbar und umsetzbar sein (Li et al 2021). Die in der Literatur gefunden KPIs wurden in Kategorien eingeteilt, die in Abbildung 19 dargestellt sind. Insgesamt wurde 60 verschiedene KPIs identifiziert.

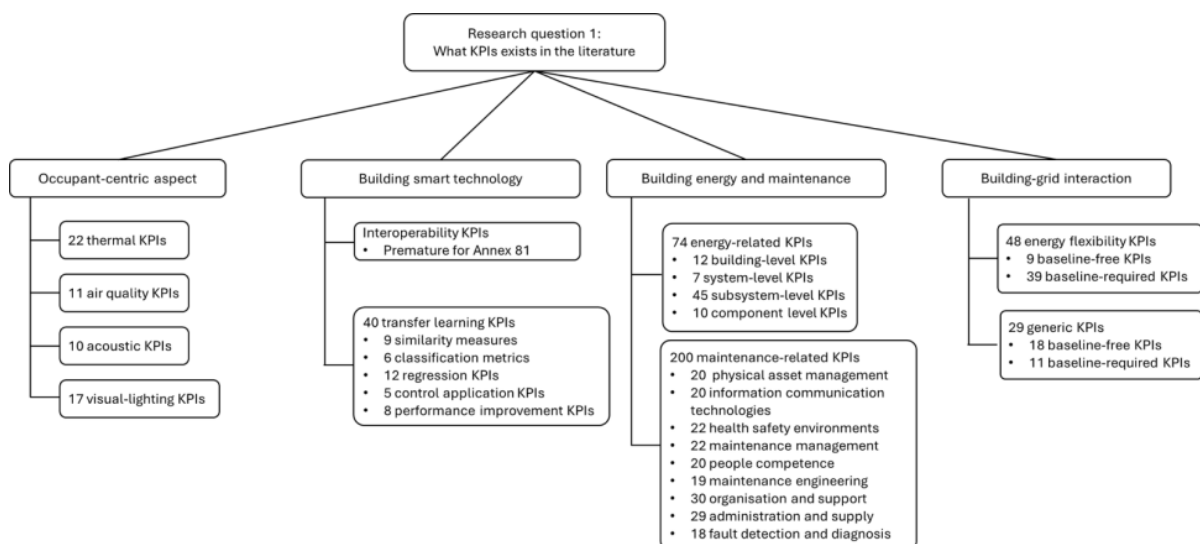


Abbildung 19: Überblick über KPIs in der Literatur

5.3.2 Fault Detection and Diagnosis

Mit der zunehmenden Verbreitung von Gebäudeautomationssystemen und den Fortschritten in den Bereichen Datenerfassung, Sensorik und maschinelles Lernen hat die datengetriebene Fehlererkennung und -diagnose (FDD) für Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HLK-Systeme) in Gebäuden in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Trotz dieser technischen Entwicklun-

⁷ Dieser Abschnitt enthält Inhalte des noch nicht publizierten Endberichts von Subtask C (siehe Deliverables)

gen ist die tatsächliche Marktdurchdringung datengetriebener FDD-Methoden bislang noch begrenzt. Die klassischen, regelbasierten Ansätze – also Methoden, die auf statischen „Wenn-dann“-Regeln oder Entscheidungsbäumen beruhen – dominieren weiterhin den Markt.

Eine im Rahmen von IEA EBC Annex 81 durchgeführte Literaturstudie liefert eine systematische Übersicht über bestehende datengetriebene FDD-Methoden und deren Einsatzbereiche in HLK-Systemen. Sie zeigt, dass solche Methoden auf eine Vielzahl von Komponenten und Subsystemen angewendet werden, darunter Air Handling Units mit variabler Luftvolumenregelung (AHU-VAV), Fan-Coil-Units (FCU), Chiller sowie Heizkessel.

Ein Schwerpunkt der untersuchten Studien lag auf sekundären AHU-VAV-Systemen, die für die Beheizung und Kühlung mehrerer Zonen zentral sind. Etwa 35 % der analysierten Arbeiten konzentrieren sich auf diese Systeme, gefolgt von Studien zu Chiller-Systemen mit 32 %. Typische Fehlerquellen in AHU-VAV-Systemen betreffen Stellglieder und Komponenten wie Klappen, Ventile von Heiz- und Kühlregistern, Ventilatoren und Luftkanäle.

Im Bereich der Chiller liegt der Fokus vor allem auf dem Dampfkomppressionskreislauf (Vapor Compression Cycle, VCC). Die untersuchten Fehler lassen sich in zwei Hauptkategorien unterteilen: (i) Lokale Fehler, z. B. Verschmutzung des Verflüssigers, verringerter Wasserfluss, nicht kondensierbare Gase im Kältemittel oder verringerter Wasserfluss im Verdampfer. (ii) Systemische Fehler, wie Kältemittelverluste bzw. -unterladung, Überladung oder übermäßiger Ölanteil.

Ein weiterer Forschungsbereich betrifft gebäudeübergreifende Fehleranalysen, die in rund 17 % der Arbeiten thematisiert wurden. Die Komplexität auf dieser Ebene ergibt sich aus dem Zusammenspiel verschiedener Faktoren wie Gebäudedynamik, äußeren Klimabedingungen, Betriebszeiten der Systeme und Komfortanforderungen der Nutzer:innen. Diese Wechselwirkungen führen zu komplexen Energieverbrauchsmustern, die schwer eindeutig zu interpretieren sind.

Bezüglich der Datenquellen, die zur Entwicklung und Validierung datengetriebener FDD-Methoden verwendet werden, zeigt sich ein gemischtes Bild: 48 % der Studien basieren auf Labordaten, 32 % auf Messdaten aus realen Gebäuden, 20 % auf Simulationsdaten.

Während gebäudeweite FDD-Methoden überwiegend auf realen Felddaten basieren, beruhen Anwendungen auf Systemebene (z. B. VRF, AHU, Chiller) meist auf Labordaten.

Die Evaluation datengetriebener FDD-Methoden erfolgt über eine Vielzahl etablierter Metriken, die in drei Hauptgruppen unterteilt werden können: (i) Allgemeine Evaluierungsmetriken wie True Positive Rate (TPR), False Negative Rate (FNR) und Correct Diagnosis Rate (CDR); (ii) Klassifikationsmetriken wie F-Score, Konfusionsmatrix, Receiver Operator Characteristic (ROC), und Area Under the Curve (AUC); (iii) statistische Tests zur Signifikanzbewertung wie z. B. t-Test.

Basierend auf der Literaturrecherche konnten zentrale Herausforderungen für die Weiterentwicklung und breitere Markteinführung datengetriebener FDD-Methoden identifiziert werden:

- Praxistaugliche Implementierung in realen Gebäuden.
- Einheitliche Bewertungsmetriken, Benchmarks und Wirkungsanalysen von Fehlern.
- Skalierbarkeit und Übertragbarkeit der Modelle.
- Erklärbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Diagnoseergebnisse.
- Datenschutz und IT-Sicherheit.
- Einbindung der Nutzer:innen.

Diese Erkenntnisse sollen dazu beitragen, gezieltere, anwendungsnahe und akzeptierte datengetriebene FDD-Produkte der nächsten Generation zu entwickeln.

5.3.3 Building2Grid

Um die Umwelt- und Nachhaltigkeits Herausforderungen im Energiesektor zu bewältigen und den Übergang von fossilen Brennstoffen zu fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen (EE) zu ermöglichen, ist ein drastischer Wandel im Betrieb der derzeitigen Energiesysteme, der Energienetze und der daran angeschlossenen Gebäude erforderlich (siehe Abbildung 20).

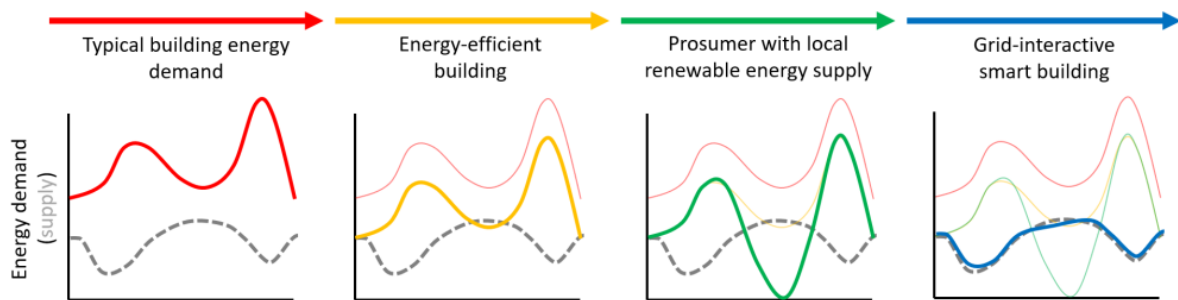


Abbildung 20: Paradigmenwechsel: Hin zu Building-to-Grid-Diensten von energieeffizienten, intelligenten Gebäuden, die an nachhaltige Netze angeschlossen sind, in denen erneuerbare Energiequellen dominieren (Johra 2023).

Gebäude verfügen über ein gewisses Energieflexibilitätpotenzial. Sie sind in der Lage, ihren Energiebedarf und ihr Energieerzeugungsprofil kurzfristig (einige Stunden oder Tage) an die klimatischen Bedingungen, die Bedürfnisse der Nutzer:innen und die Anforderungen des Energienetzes anzupassen oder zu modulieren, ohne die technischen Möglichkeiten der Gebäudesysteme und den Komfort der Bewohner:innen zu beeinträchtigen.

Strategien zur Flexibilisierung der Gebäudeenergie (in Form von Demand Response) ermöglichen eine Laststeuerung/-modulation, um den lokalen Energienetzen Building-to-Grid (B2G)-Dienste anzubieten. Diese B2G-Dienste unterstützen die Anpassung des Energienachfrageprofils an das Energieversorgungsprofil in intelligenten Netzen, die von erneuerbaren Energien dominiert werden. Sie

helfen auch bei der Bewältigung anderer Netzherausforderungen wie Spannungs- und Frequenzstabilität in elektrischen Netzen, Begrenzung der Spitzenleistung und lokale Engpasseffekte in thermischen und elektrischen Netzen, hohe Kosten und CO₂-intensiver Betrieb von Spitzenstromerzeugern, negative Strompreise, kostspielige Verstärkung oder Erweiterung der Netze oder beschleunigte Alterung von Wasserversorgungsnetzen durch den instabilen Betrieb thermischer Netze.

Derzeit wird die groß angelegte Orchestrierung von B2G-Diensten, die von einer Vielzahl verschiedener dezentralisierter Prosumer und Energieflexibilitätsanlagen erbracht werden, größtenteils durch Anreizsignale gesteuert, die von Energienetzen gesendet werden (z. B. dynamischer Energiepreis oder CO₂-Intensität des Netzes). Energieendverbraucher, die B2G-Dienste anbieten, können somit belohnt werden, indem sie den Gebäudebetrieb so optimieren, dass die Betriebskosten aufgrund des dynamischen Energiepreises über einen kurzen Zeithorizont (typischerweise 25 Stunden oder bis zu einigen Tagen) minimiert werden. Alternativ kann der B2G-Dienstleister direkt für die Durchführung einer bestimmten Demand-Response-Aktion bezahlt werden, z. B. für die Reduzierung des Spitzenstrombedarfs um einen vorher vereinbarten Betrag in einem bestimmten Zeitfenster.

Die Entwicklung, Erprobung, Analyse und optimale Verwaltung einer großen Anzahl dezentraler Flexibilitäts-Assets und zahlreicher B2G-Dienstleister erfordert einen robusten, rationalisierten und interoperablen Rahmen für die Bewertung von Demand-Response-Maßnahmen, der KPIs für die verschiedenen Szenarien, Systemkonfigurationen und Beteiligten umfasst. Er sollte auch zuverlässige Energiebedarfs-Basismodelle enthalten, um das kontrafaktische Referenz-Energieprofil eines Gebäudes bei der Durchführung von Demand Response zu ermitteln [Li et al 2023, Johra und Li 2023].

Die Aktivitäten im Bereich Building-to-Grid konzentrierten sich auf die Entwicklung einer Online-Plattform zum Sammeln, Bewerten, Vergleichen, Präsentieren und Fördern konkreter Fälle von Gebäuden, die Dienstleistungen (wie Demand-Response-Dienste) für das Energienetz erbringen.

Um die Entwicklung und das Benchmarking von B2G-Diensten im großen Maßstab zu unterstützen, sammelte Annex 81 16 Datensätze, die eine Vielzahl von B2G-Studien repräsentieren und Daten verschiedener Gebäudetypen aus realen Gebäuden, Hardware-in-the-Loop-Testbeds und numerischen Simulationen umfassen. Es wurde festgestellt, dass die primitiven Variablen, die für die Berechnung der verschiedenen datengesteuerten Gebäudeenergie-Flexibilitäts-KPIs erforderlich sind, nur schlecht mit den Merkmalen der gesammelten B2G-Datensätze übereinstimmen. Dies bedeutet, dass die gesammelten Datensätze für die Bewertung der Nachfragereaktion nur von begrenztem Nutzen sind und die Anwendbarkeit der meisten überprüften KPIs eingeschränkt ist.

Die drei am einfachsten zu berechnenden Energieflexibilitäts-KPIs sind die Energieeffizienz von Demand Response, die Umgestaltung des Nachfrageprofils und der Energie-/Durchschnittsleistungs-Lastabwurf. Auf der Grundlage der EFont-Ontologie (Li und Hong 2022) hat Annex81 eine Open-Source-Toolbox in Form eines Python-Pakets (energy-flexibility-kpis) für die datengesteuerte Be-

wertung von Demand Response und Energieflexibilität in Gebäuden entwickelt. Die Bewertungswerkzeuge dieses Python-Pakets sind in einer Online-Webanwendung implementiert, die B2G-Dienstleistungsfälle vorstellt. Sie ermöglichen jedem Benutzer:innen die schnelle Durchführung einer datengesteuerten Energieflexibilitätsanalyse auf frei zugänglichen oder hochgeladenen Datensätzen.

5.3.4 Anwendungsbeispiele in Österreich

Projekte Digitaler Zwilling / Arrowhead Tools

In den letzten Jahren wurden von AEE INTEC zwei Projekte zur Entwicklung und ersten Umsetzung eines digitalen Zwillings an realen Gebäuden in Österreich abgeschlossen. Dieser digitale Zwilling ist ein detailliertes Simulationsmodell mit der Software IDA ICE, das in Echtzeit mit Messdaten aus einem realen Gebäude abgeglichen wird. Dadurch existiert ein Modell, das zu jedem Zeitpunkt den realen Zustand des Gebäudes und seiner Anlagentechnik darstellt. Dieses Modell kann dann zur automatisierten Fehlererkennung oder zur Optimierung der Regelung genutzt werden. Ziel ist ein reduzierter Energiebedarf und ein besserer Nutzer:innenkomfort.

Die eigentliche Arbeit an den Demonstrationsobjekten sowie die Entwicklung der Software (sog. Building Tracker) geschah innerhalb der folgenden zwei Projekte.

- EU Projekt „Arrowhead Tools“ (2019 – 2022, EU ECSEL Joint Undertaking Grant agreement Nummer 826452)⁸. In diesem Projekt wurde als einer von vielen Use Cases einerseits die Software für den digitalen Zwilling weiterentwickelt, andererseits am neuen Forschungsgebäude von Infineon Austria in Villach eingesetzt. Hier lag der Schwerpunkt auf der Abbildung von mehreren Büro- und Besprechungsbereichen mit dem Ziel, den Betrieb von Heizung, Kühlung und Lüftung zu optimieren.
- „Stadt der Zukunft“-Projekt „Digitaler Zwilling“ (2019 – 2023, FFG Projektnummer 867345)⁹. Hier wurde dieselbe Methode im Bürohochhaus H2 in Wien angewendet. Hier ging es hauptsächlich darum, die Kälteanlage abzubilden, um den Betrieb optimieren zu können.

⁸ <https://tools.arrowhead.eu/home/>

⁹ <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/digitaler-zwilling.php>

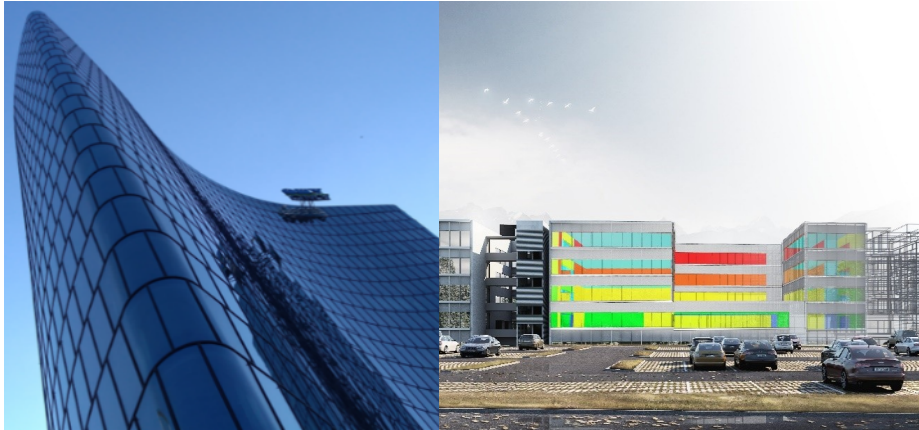


Abbildung 21: Bürogebäude H2 in Wien (links) und F&E Gebäude Infineon, Villach (rechts), Foto: AEE INTEC (links) und Arrowhead Tools Projekt (rechts)

In den beiden Projekten wurden unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt, so dass einerseits Erfahrungen in der Abbildung von Räumen und dem dazugehörigen Nutzer:innenkomfort vorliegen. Andererseits wurden auch Erkenntnisse bei der Erstellung eines digitalen Zwillings eines bestimmten Teils der Anlagentechnik gesammelt.

Die Architektur des digitalen Zwillings war unterschiedlich. In einem Fall wurde das Simulationsmodell in einer Cloud mit Daten aus dem Gebäude versorgt, im anderen Fall wurde auf eine rein lokale Lösung gesetzt.

Als ein wichtiger Faktor wurden die Wetterdaten identifiziert. Auch hier gibt es verschiedene Lösungen, die bei den beiden Gebäuden umgesetzt und erprobt wurden. Zusätzlich wurde eine Studie zum Vergleich von verschiedenen Messmethoden und deren Genauigkeit im Vergleich mit Online-Wetterdaten durchgeführt.

Der günstigste Fall für die Erstellung eines digitalen Zwillings ist, wenn in der Planungsphase des Gebäudes bereits eine Gebäude- und Anlagensimulation durchgeführt wurde, um Gebäude und Haustechnik zu optimieren. In diesem Fall kann das bestehende Modell für die Echtzeitsimulationen einfach übernommen werden. Gegebenenfalls muss es noch in einigen Punkten an die tatsächliche Umsetzung angepasst und mit Messdaten validiert werden. Auch eine Dokumentation des Gebäudes im Rahmen von BIM könnte die Erstellung des Modells deutlich vereinfachen.

Die entscheidende Frage ist aber nicht nur, ob ein BIM Modell für ein Gebäude existiert, sondern vor allem, ob die hinterlegten Daten auch geeignet sind, um in ein Simulationsmodell überführt zu werden. Auch wenn beispielsweise ein IFC-Modell vom Architekten erstellt wurden, heißt das nicht, dass dort alle Angaben hinterlegt sind, die für das Simulationsmodell erforderlich sind.

Des Weiteren wird weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der notwendig ist, um die neue Technologie zu einer breiten Umsetzung zu verhelfen, aufgezeigt.

Dies betrifft einerseits eine standardisierte Erstellung des Simulationsmodells für den digitalen Zwilling, wodurch Zeit und Kosten eingespart werden könnten. Ebenso müssen für die Anbindung an bestehende Gebäudeleittechnik standardisierte Lösungen gefunden werden. Besonders bei bestehenden Gebäuden kann dies sehr kostenintensiv sein.

Ziel weiterer Entwicklungen sollte es sein, aus den im Gebäude verfügbaren Messdaten wie Temperatur möglichst viele Phänomene wie z.B. Fensteröffnungen abzuleiten und damit auf weitere Sensoren verzichten zu können. Kombifühler, die neben der Temperatur auch die CO₂ Konzentration und evtl. die Luftfeuchtigkeit erfassen, können dabei hilfreich sein, um z.B. auch die Personenanwesenheit in Räumen zu detektieren.

Der nächste Schritt wäre dann, die Echtzeitsimulation für eine optimierte Regelungsstrategie zu nutzen. Dafür ist es notwendig, geeignete Optimierungsalgorithmen zu entwickeln, mit deren Hilfe für das jeweilige Gebäude z.B. optimierte Solltemperaturen für Heizen und Kühlen oder eine entsprechend der Wettervorhersage optimierte Verschattungssteuerung ermittelt werden könnten. Zu diesem Zweck könnte das Simulationsmodell dazu genutzt werden, in sogenannten Was-wäre-wenn-Studien Simulationen mit Vorhersagedaten für das Wetter durchzuführen.

Projekt ECom4Future

An der TU Graz wurde im Rahmen des Projekts ECom4Future¹⁰ ein datengetriebener Ansatz zur FDD in multivariaten Zeitreihen entwickelt (Mukhtar et al 2024). Die One-Class Classification Cluster Ensembles (OCCEN) Methode und zielt auf den Einsatz in gebäudetechnischen Systemen, insbesondere dort, wo keine oder nur begrenzt Fehlerdaten zur Verfügung stehen.

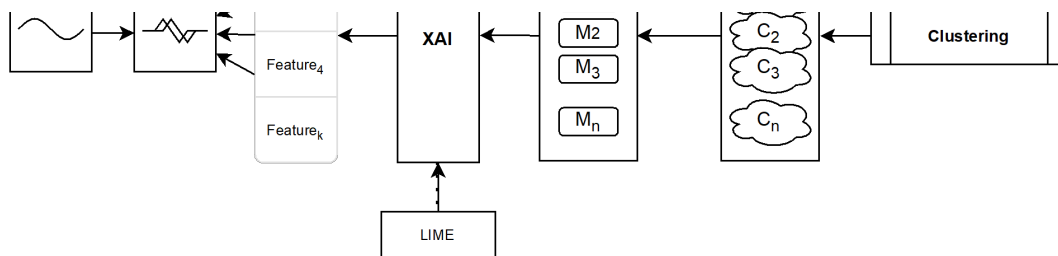


Abbildung 22: OCCEN FDD Framework (TU Graz)

¹⁰ <https://projekte.ffg.at/projekt/4828487>

Der methodische Fokus liegt auf der Nutzung fehlerfreier Daten zur Modellbildung, um die Einschränkungen rein überwachter Lernverfahren zu überwinden. Das Verfahren kombiniert One-Class-Classification, Clustering, überwachtes Lernen sowie erklärbare Machine-Learning Techniken. Zunächst werden mit einem One-Class-Ansatz (z. B. Elliptic Envelope) potenzielle Anomalien in den Zeitreihendaten detektiert. Die erkannten Anomalien werden anschließend mittels k-Means-Clusterverfahren gruppiert. Für jedes dieser Cluster wird ein binärer Klassifikator trainiert, um das charakteristische Verhalten der jeweiligen Anomaliegruppe zu erfassen. Zur erklärbaren Diagnose der Anomalien werden Methoden wie LIME und SHAP eingesetzt. Darüber hinaus wird der Fast Dynamic Time Warping (FastDTW) Algorithmus verwendet, um zeitliche Unterschiede zwischen normalen und anomalen Verläufen auf Merkmalebene zu quantifizieren. Daraus ergibt sich eine Reihung potenziell fehlerverursachender Variablen. Die Methode wurde anhand eines öffentlich zugänglichen Simulationsdatensatzes getestet, der typische Betriebs- und Fehlerszenarien von Air Handling Units (AHU) abbildet. In der quantitativen Auswertung zeigte OCCEN bei mehreren Diagnosemetriken bessere Ergebnisse als ein Baseline-Modell. Die Kombination aus Clustering, erklärbarer Modellierung und zeitlicher Bewertung ermöglicht eine strukturierte Interpretation der Ergebnisse auch bei komplexem Anlagenverhalten.

Projekt NextGES

Im Projekt NextGES¹¹ wurde an der TU Graz eine Methode zur datengetriebenen FDD in HLK-Systemen entwickelt, die das Potenzial großer Sprachmodelle (Large Language Models, LLMs) nutzt. Der entwickelte Ansatz basiert auf der Feinabstimmung vortrainierter LLMs (DistilBERT) zur Klassifikation von Zeitreihendaten. Für die Modellierung wurden öffentlich verfügbare, simulierte Datensätze verschiedener HLK-Systeme verwendet. Diese Daten umfassen sowohl fehlerfreie als auch fehlerhafte Betriebszustände. Die Zeitreihen wurden serialisiert und in ein Textformat überführt, das direkt von LLMs verarbeitet werden kann. Die Klassifikation erfolgte sowohl binär (Fehler / kein Fehler) als auch in Form einer Multiklassenklassifikation zur Unterscheidung verschiedener Fehlertypen. Die Ergebnisse zeigen eine hohe Leistungsfähigkeit des LLM-basierten Ansatzes mit F1-Scores zwischen 0,82 und 0,99. Besonders bei der binären Fehlererkennung übertraf das Modell die Genauigkeit konventioneller maschineller Lernverfahren wie Random Forests oder Support Vector Machines. Auch bei der Multiklassenklassifikation erreichte der Ansatz vergleichbare Ergebnisse. Hervorzuheben ist, dass die Modelleleistung auch bei stark reduziertem Preprocessing stabil blieb – ein möglicher Vorteil für den praktischen Einsatz, da dadurch der Aufwand in der Datenaufbereitung signifikant reduziert werden kann.

¹¹ <https://www.zukunftsfonds.steiermark.at/cms/beitrag/12851426/145290866/#tb2>

5.4 Subtask D: Fallstudien und Programmierwettbewerb

In Subtask D wurden Fallstudien der in Annex 81 untersuchten Technologien gesammelt und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Ziel war es, die aktuelle Technologie- und Innovationslandschaft im Bereich der intelligenten Gebäude und datengesteuerten Gebäudedienstleistungen abzubilden.

Im Rahmen eines von Annex 81-Mitgliedern initiierten EU-Projekts wurden außerdem zwei Programmierwettbewerbe durchgeführt.

5.4.1 Fallstudien

Die gesammelten Fallstudien wurden auf einer Website zur Verfügung gestellt.

<https://datasmartbuildings.org/>

Dort können die Fallstudien nach verschiedenen Kriterien wie Weltregion, verwendete Technologie oder Typ des Gebäudes gefiltert werden. Für jede Fallstudie kann ein Informationsblatt heruntergeladen werden. Bei manchen Fallstudien sind auch Messdaten verlinkt. Bis Mai 2025 wurden 18 Fallstudien auf der Website zur Verfügung gestellt.

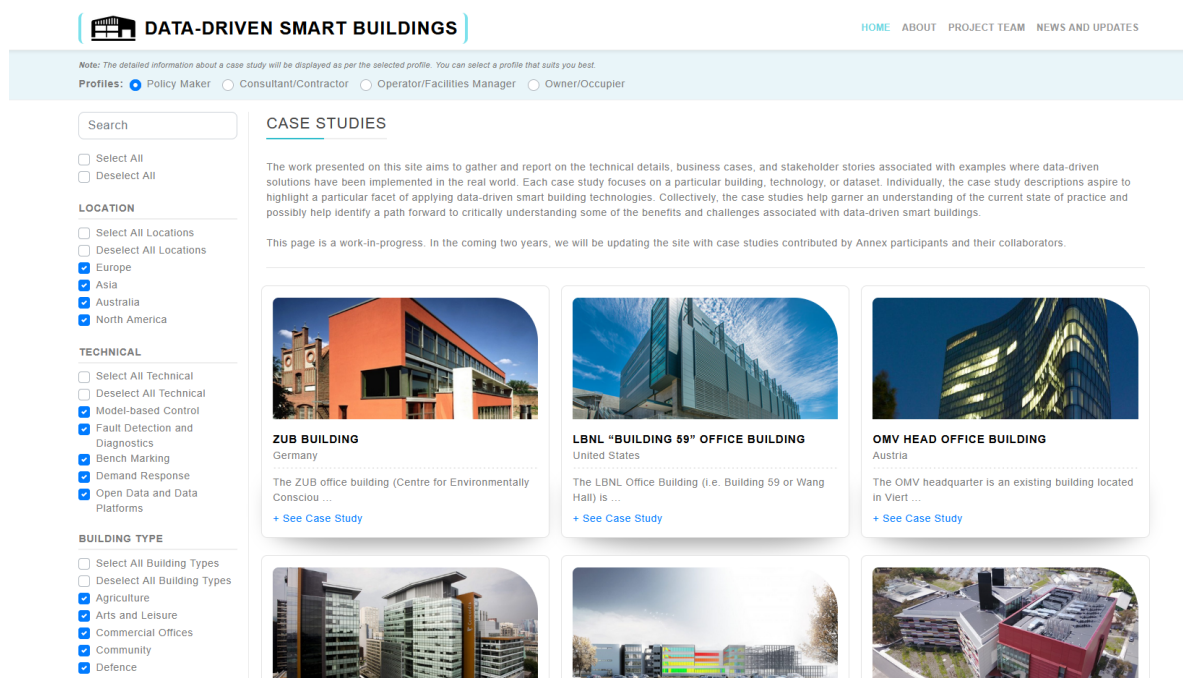


Abbildung 23: Screenshot Website mit Fallstudien <https://datasmartbuildings.org/>

Es ist auch noch geplant, die Fallstudien in gedruckter Form als Buch herauszugeben. Bis zur Erstellung dieses Endberichts wurde das aber noch nicht umgesetzt.

5.4.2 Wettbewerbe

Ein großer Engpass bei der Entwicklung von datengesteuerten Gebäudeservices ist die Tatsache, dass in den meisten bestehenden Gebäuden nur die Daten des Hauptenergiezählers verfügbar sind, während die Entwicklung von Datendiensten für Gebäude von der Verfügbarkeit zusätzlicher Informationen abhängt, wie etwa der Aufteilung des Energieverbrauchs für Heizung und Kühlung oder für Heizung und Warmwasser.

Für solche Aufgaben werden geeignete Algorithmen für maschinelles Lernen oder intelligente Steuerung gebraucht. Solche Algorithmen sollten die Fähigkeit haben, den Bedarf automatisch zu planen oder als Reaktion auf Preissignale das Energiesystem anzupassen und gleichzeitig den Komfort der Nutzer:innen zu gewährleisten.

Im Rahmen des EU Projekts ADRENALIN (2022-2025)¹², an dem mehrere Teilnehmer:innen des Annex 81 beteiligt waren, wurden zwei Wettbewerbe ausgeschrieben, um Lösungen für zwei vorgegebene Aufgaben zu finden. Als Grundlage diente dafür ein großer Pool aus Messdaten aus realen Gebäuden (Data-Sandbox).

Beide Wettbewerbe liefen vom Juli bis September 2024. Es gab jeweils eine Trainingsphase, in der die Algorithmen mit vorgegebenen Daten trainiert werden konnten. Im zweiten Teil des Wettbewerbs wurden dann neue Daten veröffentlicht. Die Teilnehmer:innen konnten dann bis zu 5 Lösungen einreichen.

Die besten Lösungen wurden unter realen Bedingungen auf den digitalen Plattformen der Partnerunternehmen implementiert, um ihre Allgemeingültigkeit und Replizierbarkeit zu testen und ihre Leistung im realen Leben zu demonstrieren.

Für jeden der Wettbewerbe wurde ein Preisgeld von 10 000 EUR von Sponsoren zur Verfügung gestellt.

Load Disaggregation Challenge: Energy Use in Buildings

Bei dieser Aufgabe sollten, genaue und skalierbare Algorithmen für die Aufteilung des Energieverbrauchs für die Gebäudeheizung und/oder -kühlung aus den Hauptenergiemessdaten entwickelt werden, wobei die folgenden zentralen Herausforderungen zu berücksichtigen waren:

- **Komplexität:** Die Herausforderung konzentrierte sich auf die Entwicklung von unüberwachten Algorithmen, die Heiz- und/oder Kühllasten genau aufschlüsseln können, ohne dass eine vorherige Kenntnis der spezifischen Anlagenkonfiguration erforderlich ist, wobei die Lernfähigkeit erhalten bleibt und typische Nachteile wie langsame Trainingsgeschwindigkeit, hohe Berechnungskosten und übermäßige Anzahl von Parametern vermieden werden.

¹² <https://www.adrenalin.energy/>

- Verallgemeinerung: Gebäude können sich in Bezug auf Größe, Design, Baumaterialien, Geräte und Nutzer:innenverhalten stark voneinander unterscheiden. Viele Disaggregationsalgorithmen werden an denselben Gebäuden oder einer Reihe ähnlicher Gebäude trainiert und getestet, was zu einer schlechten Übertragbarkeit auf andere Gebäudetypen führt. Die Datensätze für diesen Wettbewerb umfassten mehrere, unterschiedliche Gebäude, was die Entwicklung von Algorithmen mit guter gebäudeübergreifender Generalisierung fördert.

BOPTEST Challenge: Smart Building HVAC Control

Die zweite Wettbewerbsaufgabe „Intelligente Gebäude-HVAC-Steuerung“ zielte auf die Entwicklung effizienter und skalierbarer Steuerungsalgorithmen ab, die in gewerblichen Gebäuden eingesetzt werden können, um den Energieverbrauch zu senken und deren Flexibilitätspotenzial zu nutzen.

Die Entwicklung und Einführung intelligenter Steuerungsalgorithmen sind komplexe Aufgaben, die die Entwicklung skalierbarer, übertragbarer und effizienter Lösungen erfordern. Mit diesem Wettbewerb sollte die Entwicklung und das Benchmarking verschiedener Regelungsstrategien gefördert werden, die für die Umsetzung in realen Gebäuden geeignet sind.

Der Wettbewerb forderte die Teilnehmer:innen auf, skalierbare, effiziente und effektive Algorithmen zu entwickeln, die das Flexibilitätspotenzial in HLK-Systemen von Gebäuden freisetzen können, wobei die folgenden zentralen Herausforderungen zu berücksichtigen waren:

- Aktivierung der Flexibilität: Die Aufgabe konzentrierte sich auf die Fähigkeit der Regler, das Flexibilitätspotenzial des HLK-Systems eines Gebäudes auf der Grundlage variabler Kostensignale zu aktivieren, ohne dabei die Innenraumluftqualität zu beeinträchtigen.
- Skalierbarkeit: Viele intelligente Regelungsalgorithmen müssen für die Implementierung in verschiedenen Gebäuden sehr individuell angepasst werden. Dies ist zeit- und kostenintensiv und macht die Installation weniger rentabel. Der Wettbewerb förderte Lösungen, die aus der Sicht der Implementierung skalierbar sind.

Der Wettbewerb wurde mit dem Emulator BOPTEST durchgeführt. Anstatt Datensätze von realen Gebäuden zu verwenden, werden hier Gebäude und System emuliert. Es gab mehrere Trainingsemulatoren, an denen die neu entwickelten Algorithmen getestet werden können. Für die Wettbewerbsphase wurde dann eine neue Version des Emulators mit veränderten Randbedingungen veröffentlicht.

5.5 Policy Roadmap

Auf der Weltklimakonferenz COP28 verpflichteten sich die Länder, die durchschnittliche jährliche Rate der Energieeffizienzsteigerung weltweit zu verdoppeln. Die Digitalisierungstechnologie bietet ein attraktives (aber unzureichend genutztes) Instrument, um sofortige kosteneffiziente Verbesserungen der Energieeffizienz zu erzielen.

Die zum Abschluss in Annex 81 entwickelt Policy Roadmap gibt den Regierungen Hinweise auf politische Mechanismen, die Hindernisse für die Digitalisierung beseitigen können und dadurch Flexibilitätsressourcen aus Gebäuden freisetzen können, um den Übergang zu sauberer Energie zu unterstützen. Diese politischen Mechanismen zielen darauf ab, das Szenario „Netto-Null-Emissionen bis 2050“ der IEA zu ermöglichen, das fordert, dass (i) alle neuen Gebäude bis 2030 zu flexiblen Ressourcen werden sollen und (ii) 85 % der bestehenden Gebäude bis 2050 mit effizienten und netzinteraktiven Geräten nachgerüstet werden.

Dafür wurde von Teilnehmer:innen von Annex 81 eine Umfrage unter führenden Branchenvertreter:innen durchgeführt, um die Probleme und Wünsche der Branche besser zu verstehen. Es wurden insgesamt sechzehn Interviews geführt (drei davon mit österreichischen Firmen), die die Perspektiven der Branche in Europa, Nordamerika und im asiatisch-pazifischen Raum repräsentieren. Zu den befragten Akteuren gehörten Anbieter:innen von Software-as-a-Service (SaaS)-Plattformen, Planungsberater:innen, Gebäudeeigentümer:innen, Hardware-Lieferant:innen und ein Energieeinzelhändler:innen.

Auf der Grundlage der Rückmeldungen aus diesen Gesprächen mit der Industrie sowie einer Literaturrecherche wurde eine Reihe von politischen Schlüsselmaßnahmen entwickelt und in die folgenden acht Themenbereiche eingeteilt (siehe auch Abbildung 24).

- Themenbereich 1: Bereitstellung von Informationen.
- Themenbereich 2: Einführung einer „digital ready“-Zertifizierung, um Lösungen zu standardisieren und Erfolge anzuerkennen.
- Themenbereich 3: Mit gutem Beispiel vorangehen - Leuchtturmprojekte schaffen, die den Markt ankurbeln.
- Themenbereich 4: Unterstützung von Forscher:innen und Innovator:innen, um ein breiteres Spektrum an Produktangeboten zu schaffen, den Reifegrad der Branche zu erhöhen und die Vorteile der Digitalisierung unabhängig zu bestätigen.
- Themenbereich 5: Schaffung von Anreizen für die EMIS-Technologie, um die Investitionsrendite der Technologie zu verbessern.
- Themenbereich 6: Verringerung des Risikos der gemeinsamen Nutzung von Daten, um Sicherheit zu schaffen und mögliche Probleme bei der Einhaltung der Vorschriften zu lösen.
- Themenbereich 7: Aufbau von Qualifikationen und Kapazitäten bei Mitarbeitenden, um Dienste in großem Umfang anbieten zu können.
- Themenbereich 8: Integration von Gebäuden in das Elektrizitätssystem - um der sauberen Energiewende Vorrang zu geben

Für jeden einzelnen Themenbereich wird im erarbeiteten Bericht die Problemstellung beschrieben, dann Lösungsansätze aufgezeigt und Beispiele aus verschiedenen Ländern oder Regionen dargestellt, wo solche Maßnahmen bereits umgesetzt wurden und die als Vorbild für die Umsetzung in anderen Regionen der Erde dienen können. Außerdem werden für jeden Themenbereich die relevantesten Zitate aus den Interviews wiedergegeben.

Einige der politischen Empfehlungen zielen auf die Beseitigung von Marktfriktionen im Zusammenhang mit Daten und Datenmanagement-Infrastruktur. Das Erreichen eines Mindestniveaus der „digital readiness“ in Gebäuden zu definieren und zu belohnen, wurde als wichtiger Faktor für eine breite Marktakzeptanz angesehen. Solche Definitionen/Standards/Zertifizierung könnten z.B. in Bauvorschriften und Bewertungssysteme aufgenommen werden. Dies würde die Investitionen in die Digitalisierung für Gebäudeeigentümer:innen erheblich vereinfachen und das Risiko reduzieren.

Das Programm der New York State Energy Research and Development Authority (NYSERDA) für Echtzeit-Energiemanagement (RTEM)-Programm ist eine beispielhafte Regierungsinitiative zur Förderung des ersten Wachstums in der Digitalisierung der Gebäudeindustrie. Durch die Vorqualifizierung von Digitalisierungsprodukten und -dienstleistungen hat es zur Vereinfachung und zum Aufbau von Vertrauen in die Technologie beigetragen.

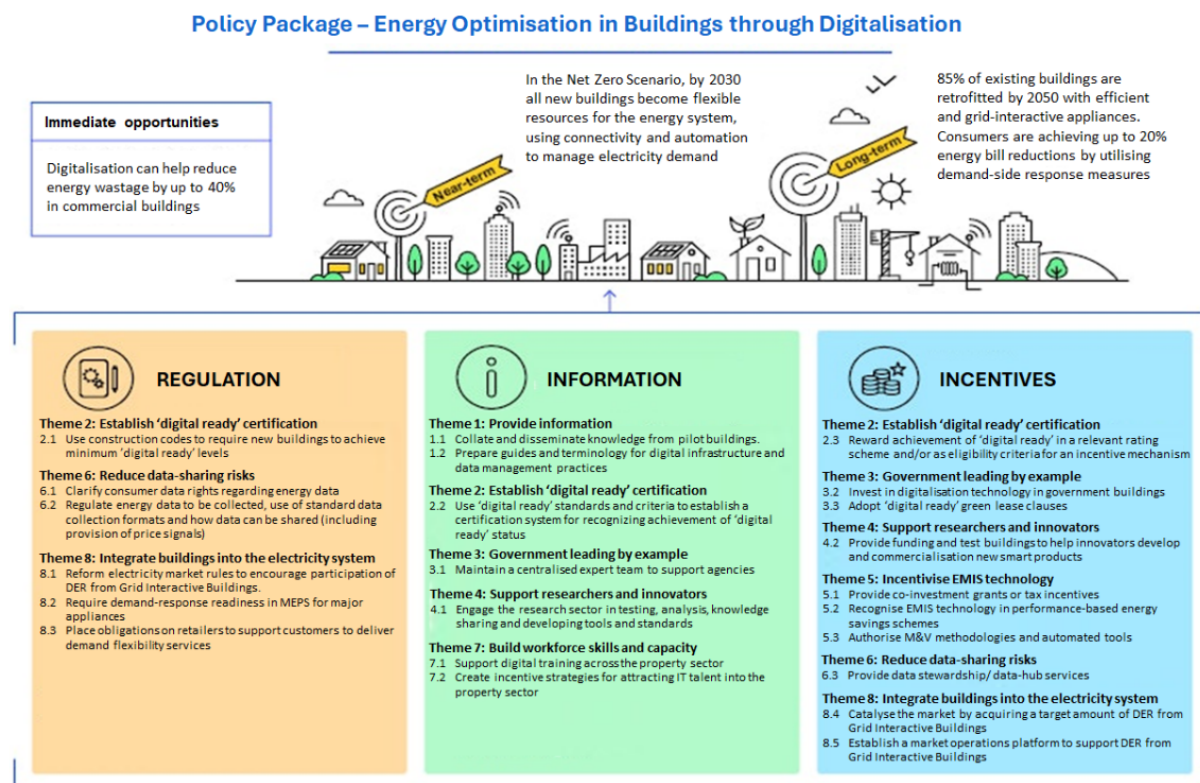
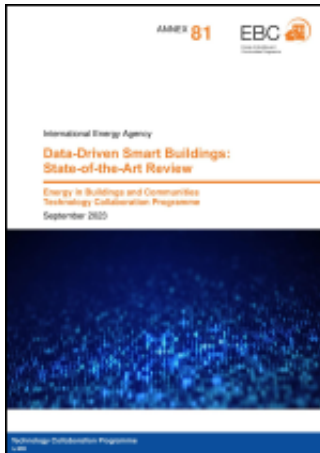


Abbildung 24: Maßnahmenpaket zur Energieoptimierung in Gebäuden durch Digitalisierung, das im Rahmen von Annex 81 entwickelt wurde.

5.6 Deliverables von Annex 81

In diesem Abschnitt werden alle bereits veröffentlichte Deliverables von Annex 81 noch einmal etwas ausführlicher beschrieben.

5.6.1 State-of-the-Art-Report: Datengesteuerte intelligente Gebäude



Überblick über den aktuellen Stand der Technik in allen Bereichen von Annex 81.

[https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Annex%2081%20State-of-the-Art%20Report%20\(final\).pdf](https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Annex%2081%20State-of-the-Art%20Report%20(final).pdf)

Veröffentlichung: September 2023

ISBN: 978-1-4863-1894-0

5.6.2 Opportunities for Government Leadership on Data-Driven Smart Buildings



Dieser Bericht soll Regierungen Hinweise geben, wie sie die Einführung der Digitalisierung in Nichtwohngebäuden durch die Industrie unterstützen können. Er identifiziert acht Schlüsselthemen, bei denen die Regierung helfen kann, Hindernisse der Industrie zu überwinden. Zu diesen Themen werden spezifische Maßnahmen identifiziert, und es werden Beispiele dafür angeführt, in welchen Ländern entsprechende Maßnahmen schon umgesetzt haben.

<https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Opportunities%20for%20Government%20Leadership%20on%20Data-Driven%20Smart%20Buildings.pdf>

ISBN: 978-1-4863-2055-4

5.6.3 Ein Leitfaden zu Datenplattformen für datengesteuerte intelligente Gebäude



In diesem Bericht werden die technischen Merkmale moderner Datenplattformen und ihre zentrale Rolle bei der Umwandlung von Gebäuden in intelligente, datengesteuerte Einheiten untersucht. Er befasst sich mit den wichtigsten Aspekten, die für die erfolgreiche Einführung und den Einsatz dieser Plattformen in der datengesteuerten Infrastruktur eines Gebäudes erforderlich sind.

Dazu gehören Aspekte, die sich auf die digitale Bereitschaft eines Gebäudes, die Beschaffung und den Einsatz von Plattformen beziehen.

[https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/A%20Guide%20on%20Data%20Platforms%20for%20Data-Driven%20Smart%20Buildings%20\(final\)1.pdf](https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/A%20Guide%20on%20Data%20Platforms%20for%20Data-Driven%20Smart%20Buildings%20(final)1.pdf)

5.6.4 Datenbank für Gebäudeforschung

Es wurde eine Datenbank für Gebäudedaten eingerichtet. Dort ist eine Reihe von Datensätzen verfügbar, die für die Entwicklung von Gebäudedienstleistungen verwendet werden können. Es ist auch möglich, eigene Datensätze hochzuladen.

Building Data Genome Directory

Welcome to Building Data Genome Directory!

This is a comprehensive building dataset collection, where you can find the links for the datasets related with building energy research.

You are also more than welcome to contribute the link of your own datasets, by clicking the check button 'Add New Dataset' on the left bar.

Please note that we are looking forward to datasets with the geospatial granularity levels of *individual buildings* or *communities*, instead of aggregated data of a city.

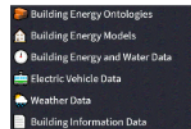
Please also note that we are maintaining the dataset links, rather than a database. Looking for places to upload your own dataset? Check the [Open Energy Platform](#). You can update your link here after uploading your dataset.

Dataset Categories

What kinds of datasets are you looking for?



👉 Check the category buttons on the left bar!



Datasets contributed by users

Note: These datasets will be added to the directory after review

	Dataset Full Name	URL	Type
1	Building energy use, production, and air leakage	https://www.kaggle.com/datasets/claytonmiller/building-energy-use-production-and-air-leakage	3 🗄 Building Energy and Water Data
2	The Reference Energy Disaggregation Data	https://bigdata.seas.gwu.edu/data-set-36-the-reference-energy-disaggregation-data-set/	3 🗄 Building Energy and Water Data
3	The UK-DALE dataset	https://www.nature.com/articles/sdata20157	3 🗄 Building Energy and Water Data

To cite the Building Data Genome Directory:

The Building Data Genome Directory – An open, comprehensive data sharing platform for building performance research. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2600/3/032003>

Other relevant publications:

A review and reflection on open datasets of city-level building energy use and their applications. <https://10.1016/j.enbuild.2023.112911>

Any questions or ideas? Join our GitHub community at [building-data-directory Discussions](#)

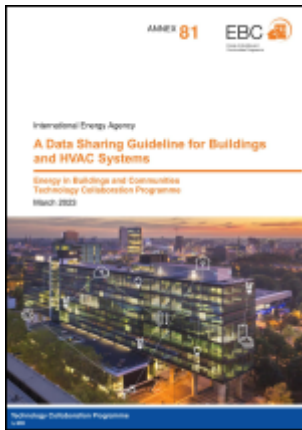
Further questions? Contact us @ : xiaoyu.jin@connect.polyu.hk

Acknowledge for the support by the National Key Research and Development Program of China (2021YFE0107400), and the joint effort of the Annex 81 community.



Link zur Datenbank: <https://buds-lab-building-data-directory-meta-directory-s0imdd.streamlit.app/>

5.6.5 A Data Sharing Guideline for Buildings and HVAC Systems



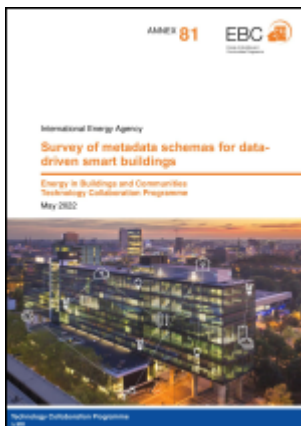
Die Vorteile der Digitalisierung hängen davon ab, dass der Zugang zu relevanten Daten kosteneffizient, vertrauenswürdig und flexibel ist und mit den Verpflichtungen zur Wahrung der Privatsphäre und der gewerblichen Rechte in Einklang steht.

Unter Anwendung der FAIR-Datengrundsätze werden in diesem Leitfaden Konzepte und Begriffe erörtert, die für die Datenqualität, das Datenmanagement und die Datenverwaltung von Bedeutung sind. Er soll Gebäudeeigentümer:innen und politischen Entscheidungsträgern dabei helfen, einen besseren Zugang zu und eine bessere Kontrolle über ihre Daten zu erlangen, um Märkte zu erschließen und wettbewerbsfähige intelligente Gebäudedienste zu beziehen.

[https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/IEA%20Annex%2081%20Activity%20A1%20-%20A%20Data%20Sharing%20Guideline%20for%20Buildings%20and%20HVAC%20Systems%20\(final\)2.pdf](https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/IEA%20Annex%2081%20Activity%20A1%20-%20A%20Data%20Sharing%20Guideline%20for%20Buildings%20and%20HVAC%20Systems%20(final)2.pdf)

ISBN: 978-1-4863-1895-7

5.6.6 Survey of metadata schemas for data-driven smart buildings



Es wird eine Übersicht über Metadatenschemata für datengesteuerte Gebäude vorgestellt. Ziel dieses Dokuments ist es, einen Einblick und Klarheit in die Gesamtstruktur sowie in die Kompromisse und Argumente zu geben, die hinter jedem der wichtigsten Metadatenschemata für datengesteuerte intelligente Gebäude stehen. Dazu gehört auch der Kontext, wie diese Metadatenschemata in der Praxis angewendet werden.

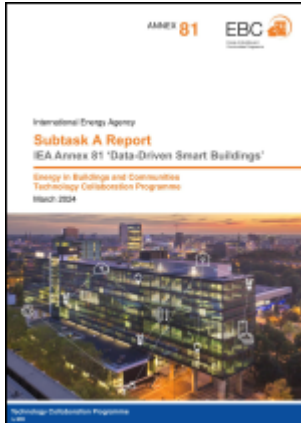
Die Zielgruppe dieses Papiers sind Gebäudeeigentümer:innen, Auftraggeber:innen, Systemintegratoren und Softwareentwickler:innen, die sich in einer Entscheidungsposition befinden, wenn es darum geht, einen Metadatenstandard für die Analyse zu wählen oder zu fordern.

ISBN: 978-1-4863-1896-4

Link:

[https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Survey%20of%20meta-data%20schemas%20\(final\)1.pdf](https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Survey%20of%20meta-data%20schemas%20(final)1.pdf)

5.6.7 Abschlussbericht Subtask A



Subtask A des IEA EBC Annex 81 konzentriert sich auf einen der kritischsten Schritte bei der Implementierung von datengesteuerten intelligenten Gebäudedienstleistungen, nämlich die Einrichtung der erforderlichen IT-Infrastruktur und Datenverwaltungsdienste in einem Gebäude. Dieser Schritt ist die Grundlage für den späteren Einsatz von energiesparenden Softwareanwendungen. Er ist die Quelle vieler Hindernisse für einen energieeffizienten Gebäudebetrieb.

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse der Arbeit von Subtask A zusammen, in dem die Prioritäten und die Technologien für ein modernes Datenmanagement in intelligenten energieeffizienten Gebäuden untersucht wurden.

ISBN: 978-1-4863-2056-1

Link: [https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/IEA%20Annex%2081%20Sub-task%20A%20Report%20\(final\).pdf](https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/IEA%20Annex%2081%20Sub-task%20A%20Report%20(final).pdf)

5.6.8 LBNL Fault Detection and Diagnostics Data Sets

Das US-DOE und das Berkeley Lab aus den USA haben sich und mit internationalen Forschungsinstitutionen zusammengetan, um den weltweit größten Satz von gekennzeichneten Zeitseriendaten zu sammeln, zu validieren und zu veröffentlichen, die kommerzielle HLK-Systeme in fehlerhaftem und fehlerfreiem Zustand darstellen.



Die Datensätze umfassen derzeit Dachgeräte, Einkanal-Lüftungsgeräte, Zweikanal-Lüftungsgeräte, Boxen mit variablem Luftvolumen, Gebläsekonvektoren, Kühlanlagen und Kesselanlagen. Jeder Datensatz enthält zwischen 20 und mehr als 100 Datenpunkte, die in modernen Gebäuden üblicherweise überwacht werden. Diese Betriebsdaten werden mit Ground-Truth-Informationen gepaart, die angeben, welche Fehler in welchen Zeiträumen auftreten.

Link: <https://faultdetection.lbl.gov/>

5.6.9 A review of data-driven fault detection and diagnostics for building HVAC systems



Applied Energy
Volume 339, 1 June 2023, 121030



A review of data-driven fault detection and diagnostics for building HVAC systems

Zhelun Chen^a, R. ES, Zheng O'Neill^b, Jin Wen^c, Ojas Pradhan^d, Tao Yang^e, Xing Lu^f,
Guanjing Lin^g, Shohei Miyata^h, Seungjae Leeⁱ, Chou Shen^j, Roberto Chiosa^k,
Marco Savino Piscitelli^l, Alfonso Capozzoli^m, Franz Hengelⁿ, Alexander Kührer^o, Marco Pritoni^p,
Wei Liu^q, John Clauß^r, Yimin Chen^s, Terry Herr^t

^a Drexel University, Philadelphia, PA, United States of America

^b Texas A&M University, College Station, TX, United States of America

^c Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, United States of America

^d The University of Tokyo, Tokyo, Japan

^e University of Toronto, Toronto, Canada

^f Politecnico di Torino, Turin, Italy

^g AEE Institute for Sustainable Technologies, Gleisdorf, Austria

^h KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

ⁱ SINTEF Community, Trondheim, Norway

^j Intelimation LLC, Philadelphia, PA, United States of America

Received 29 December 2022; Revised 18 March 2023; Accepted 21 March 2023; Available online 28 March 2023; Version of Record 28 March 2023.

What do these dates mean?

In diesem Journal Paper werden zunächst in der Literatur beschriebene datengesteuerte Methoden erörtert, die in jedem Schritt eines FDD-Prozesses eingesetzt werden. Anschließend werden die Anwendungen datengesteuerter FDD in verschiedenen HLK-Systemen/Komponenten und die üblicherweise für die FDD-Entwicklung verwendeten Datenquellen besprochen, gefolgt von einer Zusammenfassung typischer Metriken zur Bewertung von FDD-Methoden. Abschließend kommt diese Literaturübersicht zu dem Schluss, dass datengesteuerte FDD-Methoden trotz der vielversprechenden Leistungen, über die in der Literatur berichtet wird, immer noch

mit vielen Herausforderungen konfrontiert sind, z. B. Einsatz in realen Gebäuden, Leistungsbewertung und Benchmarking, Skalierbarkeit und Übertragbarkeit, Interpretierbarkeit, Cybersicherheit und Datenschutz, Benutzer:innenerfahrung usw. Die Bewältigung dieser Herausforderungen ist entscheidend für eine breite Einführung von datengesteuerter FDD in der Praxis.

Zhelun Chen, Zheng O'Neill, Jin Wen, Ojas Pradhan, Tao Yang, Xing Lu, Guanjing Lin, Shohei Miyata, Seungjae Lee, Chou Shen, Roberto Chiosa, Marco Savino Piscitelli, Alfonso Capozzoli, Franz Hengel, Alexander Kührer, Marco Pritoni, Wei Liu, John Clauß, Yimin Chen, Terry Herr,

A review of data-driven fault detection and diagnostics for building HVAC systems

Applied Energy, Volume 339, 2023, 121030, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121030>.

Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626192300394X?via%3Dihub>

5.6.10 Data-driven key performance indicators and datasets for building energy flexibility: A review and perspectives



Applied Energy
Volume 343, 1 August 2023, 121217



Data-driven key performance indicators and datasets for building energy flexibility: A review and perspectives

Han Li ^a, Hicham Johra ^b, Flavia de Andrade Pereira ^{c,d}, Tianzhen Hong ^e, Jérôme Le Dréau ^g, Anthony Maturro ^f, Mingjun Wei ^h, Yapan Liu ^h, Ali Saberi-Derakhtenjani ⁱ, Zoltan Nagy ^j, Anna Marszal-Pomianowska ^k, Donal Finn ^k, Shohei Miyata ^h, Kathryn Kaspar ^l, Kingsley Nweye ^j, Zheng O'Neill ^h, Fabiano Pallonetto ^m, Bing Dong ^h

^a Lawrence Berkeley National Laboratory, Building Technology and Urban Systems Division, Berkeley, CA, USA

^b Aalborg University, Department of the Built Environment, Thomas Manns Vej 23, DK-9220 Aalborg Ø, Denmark

^c University College Dublin, Energy Institute, School of Mechanical & Materials Engineering, Dublin, Ireland

^d CARTIF Technology Center, Energy Division, Valladolid, Spain

^e La Rochelle University, LoSIE UMR CNRS 7356, La Rochelle, France

^f Concordia University, Centre for Zero Energy Building Studies, Montreal, Canada

^g Texas A&M University, J. Mike Walker '66 Department of Mechanical Engineering, College Station, TX, USA

^h Syracuse University, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, 223 Link Hall, Syracuse, NY 13244, USA

ⁱ Dubai Electricity and Water Authority, DEWA R&D Centre, Dubai, United Arab Emirates

^j Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Texas at Austin, TX, USA

Dieses Journal Paper bietet einen ganzheitlichen Überblick über (1) datengesteuerte Energieflexibilitäts-Kennzahlen (KPIs) für Gebäude in der Betriebsphase und (2) offene Datensätze, die für die Prüfung von Energieflexibilitäts-KPIs verwendet werden können. Die Übersicht identifiziert insgesamt 48 datengesteuerte Energieflexibilitäts-KPIs aus 87 aktuellen und relevanten Veröffentlichungen.

Han Li, Hicham Johra, Flavia de Andrade Pereira, Tianzhen Hong, Jérôme Le Dréau, Anthony Maturro, Mingjun Wei, Yapan Liu, Ali Saberi-Derakhtenjani, Zoltan Nagy, Anna Marszal-Pomianowska, Donal Finn, Shohei Miyata, Kathryn Kaspar, Kingsley Nweye, Zheng O'Neill, Fabiano Pallonetto, Bing Dong,

Data-driven key performance indicators and datasets for building energy flexibility: A review and perspectives, Applied Energy, Volume 343, 2023, 121217, ISSN 0306-2619,
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121217>.

Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261923005810?via%3Dihub>

5.6.11 Fallstudien

Siehe Abschnitt 5.4.1

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Die durch den Annex 81 angesprochenen Zielgruppen waren:

- Facility Management- und Immobilienunternehmen
- Entwickler:innen und Produzent:innen von Haustechniksystemen
- Entwickler:innen und Produzent:innen von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)
- Entscheidungsträger:innen
- Die Community der Gebädeforscher:innen, Universitäten und dieser Gruppe nahestehende Expert:innen
- Fernwärmebetreiber:innen, Netzbetreiber:innen und Energieanbieter:innen/-unternehmen

Um diese zu erreichen, wurden international wie national eine ganze **Reihe von Präsentationen, Papers und Artikel** erarbeitet und veröffentlicht. Die Verbreitungsaktivitäten in Österreich werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

6.1 Veröffentlichungen



Zeitschrift „nachhaltige technologien“ Ausgabe 04/2020:

Stephen White, Dagmar Jähmig: Internationale Kooperation für „Datengesteuerte intelligente Gebäude“ auf Seite 24



Schwerpunktausgabe der Zeitschrift „nachhaltige technologien“ für Annex 81

Mit 19-seitigem Schwerpunkt. 6 Artikel aus Annex 81.

Editorial

Das globale und permanente Sammeln von Daten und deren Nutzung durch beispielsweise den Einsatz von künstlicher Intelligenz in unterschiedlichsten Anwendungen und Geschäftsfeldern hat enorm an Fahrt aufgenommen. Bringt diese Entwicklung in so mancher Hinsicht auch Schattenseiten mit sich, so generieren viele dieser Anwendungen aber auch gänzlich neue Möglichkeiten und Vorteile. Im Gebäudesektor beispielsweise können durch die Sammlung von Daten aus der Planungs-, der Bau- und insbesondere aus der Betriebsphase erhebliche Kostenvorteile erzielt, die CO₂-Emissionen reduziert und der Komfort der Nutzer*innen individuell verbessert werden. Dazu werden aktuell eine Vielzahl von Methoden im Bereich des „Internet of Things“ erforscht oder bereits auch als Dienstleistung am Markt angeboten. Die Bandbreite ist enorm und reicht von Visualisierungen in Form von Dashboards und Building Information Modeling über (Betriebs-)datengestützte selbstlernende, vorausschauende Gebäuderegulierung bis hin zu unterschiedlichsten Ausprägungen von Digitalen Gebäude-Zwillingen.

In einer Arbeitsgruppe im Technology Collaboration Programme „Energy in Buildings and Communities“ der Internationalen

Inhalt

LEITARTIKEL

- 4-5 **Chancen und Herausforderungen
Die Österreichische Wasserstoffstrategie**
Arno Göttinger

DATENGESTEUERTE INTELLIGENTE GEBÄUDE

- 6-9 **Revolutionieren digitale Gebäudezwillinge den Gebäudebetrieb
oder bleiben sie ein ungenutztes Potenzial?**
Tobias Weiß, Andreas Riffnaller-Schiefer
- 10-12 **Betriebsoptimierung durch die Erstellung eines
Digitalen Zwillings**
*Dagmar Jähmig, Franz Hengel, Barbara Beigelböck, Katharina Eder,
Sven Moosberger, Daniel Ruepp*
- 13-15 **Case Studies zu datengesteuerten intelligenten Gebäuden**
Virginia Gori, Guokai Chen, Harshvardhan Jatkar, Paul Rayseveld, Dimitrios Rovas
- 16-18 **Künstliche Intelligenz für Vorhersage und Regelung
im Energiemanagement**
Jan Kurzidim, Michael Schöny
- 19-21 **Das Internet der Dinge für die Energiewende**
Thomas Schranz, Thomas Mach, Gerald Schweiger
- 22-24 **Intelligente Gebäudesteuerung im Zentrum
für Umweltbewusstes Bauen**
Juan Rodriguez Santiago, Michael Krause, Lina Wett

TECHNOLOGIEENTWICKLUNG

- 25-26 **Beschleunigte Umsetzung multifunktionaler Gebäudehüllen**

Des Weiteren wurden von den österreichischen Projektpartnern zahlreiche Journal- und Konferenzbeiträge zu datengesteuerten Intelligenten Gebäuden veröffentlicht:

Liste von Publikationen und Konferenzteilnahmen der Bietergemeinschaft zu datengesteuerten intelligenten Gebäuden:

Riffnaller-Schiefer, A., Weiss, T. (2024): BuildingTwin - Open Platform for Monitoring, Evaluation and Optimization of Building Operation. Int Sustain Ener Conf Proc 1.
<https://doi.org/10.52825/isec.v1i.1154>

Riffnaller-Schiefer, A. (2024): Digital gestützter Gebäudebetrieb. Si - Das Fachmedium für SHK-Unternehmer 12–14.

Riffnaller-Schiefer, A.; Weiss, T (2024): BuildingTwin - Open Platform for Monitoring, Evaluation and Optimization of Building Operation, ISEC 2024, Graz Austria

Putz, D., Gumhalter, M. & Auer, H. (2023): The true value of a forecast: Assessing the impact of accuracy on local energy communities. Sustainable Energy, Grids and Networks, Issue 33;
<https://doi.org/10.1016/j.segan.2022.100983..>

Gumhalter, M. & Ramschak, T. (2023): Elektrisches Netzverhalten von Solar Energie Gebäuden - Lastmanagement und Netzentlastung. 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme; Bad Staffelstein; Germany; ISBN 978-3-948176-22-8

Gumhalter, M.; Ramschak, T.; Zotter, G.; Stipsits, A. (2023) Thermal load management concepts for activated building masses in district heating grids; 18th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES); Dubrovnik; Croatia

Ramschak, T.; Gumhalter, M. (2023) Electric Grid Behaviour of Solar Energy Buildings – Load Management for Grid Relief; 18th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES); Dubrovnik; Croatia

Schwengler, Thomas; Manuel J. Fonseca; João Cravinho; Nuno Mateus; Gerald Schweiger (2023). Energieeinsparung durch Erhöhung der Intelligenz von Bestandsgebäuden. nachhaltige Technologien. Ausgabe 02/2023, Gleisdorf

Boiger, Theresa und Schweiger, Gerald (2023). "SHP2SIM: a python pipeline for Modelica based district and urban scale energy simulations." International Journal of Sustainable Energy. Volume 42, 2023 - Issue 1 <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2248526>

Alfalouji, Qamar; Schrankz, Thomas; Falay, Basak; Wilfling, Sandra; Exenberger, Johannes; Mattausch, Thorsten; Gomes, Claudio und Schweiger, Gerald (2023). "Co-simulation for buildings and smart energy systems—A taxonomic review." Simulation Modelling Practice and Theory.

Legaard, Christian; Schranz, Thomas; Schweiger, Gerald; Drgoňa, Ján; Falay, Basak; Gomes, Cláudio; Iosifidis, Alexandros; Abkar, Mahdi und Larsen, Peter (2023). "Constructing neural network based models for simulating dynamical systems." ACM Computing Surveys.

- Kührer, Alexander; Hengel, Franz; Gumhalter, Michael (2023): Fault Detection applied on a real building, e-nova 2023, Pinkafeld, 14./15.6.2023, Tagungsband: <https://doi.org/10.57739/978-3-903207-79-0>
- Zhelun Chen, Zheng O'Neill; Jin Wen; Ojas Pradhan; Tao Yang; Xing Lu; Guanqing Lin; Shohei Miyata; Seungjae Lee; Chou Shen; Roberto Chiosa; Marco Savino Piscitelli; Alfonso Capozzoli; Franz Hengel; Alexander Kührer; Marco Pritoni; Wei Liu; John Clauß; Yimin Chen; Terry (2023): A review of data-driven fault detection and diagnostics for building HVAC systems, Applied Energy, Volume 339, 1 June 2023, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121030>
- Jähnig, Dagmar; Hengel, Franz; Beigelböck, Barbara; Eder, Katharina; Moosberger, Sven und Ruepp, Daniel (2023): Betriebsoptimierung durch die Erstellung eines Digitalen Zwillings, nachhaltige technologien Ausgabe 01/23, Gleisdorf.
- Kurzidin, Jan und Schöny, Michael (2023): Künstliche Intelligenz für Vorhersage und Regelung im Energiemanagement, nachhaltige technologien Ausgabe 01/23, Gleisdorf.
- Weiß, Tobias und Riffnaller-Schiefer, Andreas (2023): Revolutionieren digitale Gebäudewillinge den Gebäudebetrieb oder bleiben sie ein ungenutztes Potenzial? nachhaltige technologien Ausgabe 01/23, Gleisdorf.
- Schranz, Thomas; Mach, Thomas und Schweiger, Gerald (2023): Das Internet der Dinge für die Energiewende, nachhaltige technologien Ausgabe 01/23, Gleisdorf.
- Schranz, Thomas, Alfalouji, Qamar, Hirsch, Thomas and Schweiger, Gerald (2022): "An Open IoT Platform: Lessons Learned from a District Energy System". IEEE SMART, 2022. Cassino, Italien.
- Alfalouji, Qamar; Schranz, Thomas; Kümpel, Alexander; Schraven, Markus; Storek, Thomas; Gross, Stephan; Monti, Antonello; Müller, Dirk und Schweiger, Gerald (2022): "IoT Middleware Platforms for Smart Energy Systems: An Empirical Expert Survey." Buildings 12(5), 2022. [10.1109/SMART55236.2022.9990228](https://doi.org/10.1109/SMART55236.2022.9990228)
- Ramschak, Thomas; Gumhalter Michael (2022): Participation Potential for Energy-Active Facades in Future Flexibility Markets. EuroSun conference 25.-29. September 2022, Kassel, Deutschland
- Pertschy, Reinhard; Jähnig, Dagmar; Haagen, Christina, Hengel, Franz (2022): Vergleich von Methoden zur solaren Diffus- und Direktstrahlungserfassung, BauSIM 2022 September 20-22, Weimar, Deutschland
- Ruepp, Daniel; Ollander, Simon; Sahlin, Per; Hogberg, Markus; Moosberger, Sven; Jähnig, Dagmar (2022): On the track of optimized building operation, ISEC 2022 – 2nd International Sustainable Energy Conference, Graz, Austria, April 4-7 2022
- Schranz, Thomas; Exenberger, Johannes, Christian; Legaard, Møldrup; Dragoña, Ján und Schweiger, Gerald (2021): "Energy Prediction under Changed Demand Conditions: Robust Machine Learning Models and Input Feature Combinations." In 17th International Conference of the International Building Performance Simulation Association (Building Simulation 2021)

Jähnig, Dagmar; Hengel, Franz; Ruepp, Daniel; Donesch, Daniel (2020): Das neue Forschungsgebäude von Infineon Austria und sein digitaler Zwilling, nachhaltige technologien, Ausgabe 04/2020, Gleisdorf

White, Stephen; Jähnig, Dagmar (2020): Internationale Kooperation für „Datengesteuerte intelligente Gebäude“, nachhaltige technologien, Ausgabe 04/20, Gleisdorf.

Hengel F., Jähnig D., Nageler P., Pertschy R., Weiss T. (2020): Building model calibration methods for building applications, BauSIM 2020 September 23-25, Online Conference DOI: 10.3217/978-3-85125-786-1-80.

6.2 Veranstaltungen in Österreich

6.2.1 Webinar

Aufbauend auf der Schwerpunktausgabe der ‚nachhaltige technologien‘ wurden ausgewählte Artikel im Rahmen eines Webinars am 23.3.2023, das von AEE INTEC durchgeführt wurde, dem interessierten Fachpublikum präsentiert (siehe: <https://www.aee-intec-events.at/archiv/webinar-vom-23-03-2023-datengesteuerte-intelligente-gebaeude.html>). Das Thema stieß auf reges Interesse, es gab über 150 angemeldete Teilnehmer:innen. Im Rahmen des Webinars wurden drei Vorträge zu den Artikeln gehalten:

- Virginia Gori (University College London)
- Dagmar Jähnig (AEE INTEC)
- Jan Kurzidim (AIT)

6.2.2 Workshop beim Innovationskongress

Ein weiterer Workshop für den Wissenstransfer an österreichische Stakeholder wurde im Rahmen des Innovationskongresses des Innovationslabors Digital Findet Stadt mit 150 Vor-Ort-Teilnehmer:innenn durchgeführt. Am 30.11.2023 stellten die österreichischen Annex 81 Teilnehmer:innen einen Überblick über die Annexaktivitäten sowie ausgewählte Themen im Rahmen von vier Vorträgen vor.

Vorträge beim Innovationskongress am 30.11.2023:

- Dagmar Jähnig (AEE INTEC): Internationale Zusammenarbeit zu datengesteuerten intelligenten Gebäuden - IEA EBC Annex 81 Data-driven Smart Buildings
- Michael Gumhalter (AEE INTEC): Modellprädiktive Regelungen in Wohngebäuden – Unvermeidlich für die Dekarbonisierung oder unheimlich komplex?
- Jan Kurzidim (AIT): Künstliche Intelligenz für Vorhersage und Regelung im Energiemanagement

- Gerald Schweiger (TU Graz): IoT im intelligenten Gebäude der Zukunft: Herausforderungen, Chancen und Buzzwords

6.2.3 Verwertung der Projektergebnisse durch die Kooperationspartner:innen

Die österreichischen Kooperationspartner:innen haben die Projektergebnisse und die Kooperation und das Netzwerk im IEA EBC Annex 81 folgendermaßen genutzt und verwertet:

- Weitere Forschungsprojekte eingereicht und durchgeführt vor allem im Bereich Digitaler Zwilling und Modelpredictive Control
- Praktikant:innen und Masterstudierende in Projekte eingebunden
- Erweiterung der Kompetenzen in Bezug auf AFDD, MPC, Datenplattformen
- Übersicht über Stand der Technik/Forschung im Bereich Data-Driven Smart Buildings erlangt

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Fachliche Schlussfolgerungen

Im IEA EBC Annex 81 wurde der Stand der Technik auf internationaler Ebene umfassend analysiert und dargestellt. Dies kann die Grundlage sein für weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit im Themenbereich „Datengesteuerte intelligente Gebäude“. Technisch ist auf diesem Gebiet zwar schon vieles möglich, die Umsetzung scheitert aber häufig an nichttechnischen Hindernissen oder an fehlender Standardisierung.

Die Mitarbeit am IEA EBC Annex 81 hat den österreichischen Teilnehmer:innen einen guten Einblick in den Stand der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der datengesteuerten intelligenten Gebäude ermöglicht und über Veröffentlichungen wurde dieses Wissen an die österreichische Fachöffentlichkeit weitergegeben.

Weiterführende IEA-Kooperations- und nationale Forschungsprojekte im Themenbereich

AEE INTEC arbeitet weiterhin intensiv im Themenbereich modellprädiktive Regelungen unter anderem in den nationalen Projekten „RENVELOPE“ und „CEPA Connect“, in denen es um Sanierungsprojekte mit modellprädiktiver Regelung geht. Auch im Projekt Induflex geht es um MPC, hier allerdings im industriellen Bereich.

AEE INTEC nimmt außerdem an mehreren EU-Projekten zur seriellen Sanierung Teil, z.B. im Projekt DigiFab geht es um die Digitalisierung der gesamten Prozesskette von der Planung über die Ausführung bis zum Monitoring und Betriebsoptimierung. Ein Demonstrator des Projekts wird in Österreich umgesetzt.

AEE INTEC beteiligt sich außerdem am IEA EBC - Annex 91 zu Open BIM für energieeffiziente Gebäude, wo auch die Ergebnisse mehrerer laufender nationaler Forschungsprojekte von AEE INTEC, wie z.B. buildingTwin und Smart City Zwilling, einfließen. Der Schwerpunkt dabei liegt in der Verknüpfung und Aufbereitung von Gebäude- und Quartiersmonitoring Daten mit Open BIM Modellen für den Gebäudebetrieb. Die Teilnahme an weiteren IEA Kooperationsprojekten wird gerade vorbereitet.

Empfehlungen für die österreichische FTI Politik

Im Annex 81 wurde basierend auf einer Reihe von Interviews mit Firmen davon drei aus Österreich Empfehlungen für die Politik entwickelt. Viele dieser Maßnahmen, mit denen die Gebäudeperformance durch Digitalisierung verbessert werden kann, sollten auch in Österreich in Betracht gezogen werden. Zu den empfohlenen Maßnahmen zur Beseitigung der wichtigsten Barrieren gehören:

- **Barrieren in Bezug auf Information und Umsetzungskomplexität:** Die Regierungen sollten Zuschüsse für Fallstudien und Pilotimplementierungen bereitstellen. Die Finanzierung dieser Fallstudien sollte von einem umfassenden Wissensaustausch durch unabhängige Forschungseinrichtungen abhängig gemacht werden. Das Wissen sollte konsolidiert und über etablierte professionelle Kanäle verbreitet werden, wobei der Know-How-Transfer auf die Bedürfnisse der Entscheidungsträger zugeschnitten sein sollten. Soweit möglich, sollte das Wissen in einschlägigen Leitfäden und Normen zusammengefasst werden.
- Die Regierung kann eine Schlüsselrolle bei der Schaffung dieser Informationsressourcen spielen, indem sie in die Digitalisierungstechnologie in ihrem eigenen Gebäudebestand investiert und das daraus resultierende Wissen weitergibt. Die Regierung sollte ein zentrales Expert:innenteam für die Digitalisierung etablieren, um die Umsetzung in ihren eigenen Gebäuden zu unterstützen (um Risiken zu minimieren) und um sicherzustellen, dass ein angemessener Austausch von Expertise stattfindet.
- **Barrieren in Bereich Interoperabilität und Datenzugang:** Die Standardisierung beginnt mit der Verwendung einer gemeinsamen Sprache. Dies kann durch die Veröffentlichung von Leitfäden mit einer klaren Terminologie zur Beschreibung von Best-Practice-Konzepten für die Digitalisierung erreicht werden. Diese Konzepte können in Form von Normen und/oder anderen Anforderungsspezifikationen weiter verankert werden. Die Übernahme durch die Industrie würde dann durch die Aufnahme dieser Anforderungen in Bauvorschriften, Zertifizierungs-/Bewertungssysteme, Anreizsysteme und/oder verbindliche Ausrüstungsspezifikationen gefördert.
- Die Politik kann eine Schlüsselrolle dabei spielen, eine kritische Masse zu erreichen, indem sie z. B. „Digital Ready“-Klauseln für ihre eigenen Gebäude einführt (z. B. durch „Green-Leases“).
- Einschlägige Bewertungssysteme, Anreizsysteme und/oder Märkte erfordern das Vorhandensein von bestimmten Daten. Der Gesetzgeber sollte dafür sorgen, dass diese Daten standardmäßig zur Verfügung stehen und keine Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes bestehen.
Von der Regierung betriebene Datenplattformen (in Verbindung mit einschlägigen staatlichen Regelungen) können eine Schlüsselrolle bei der Unterstützung einer effizienten und skalierbaren Sammlung von Standarddaten aus der Industrie spielen.
- **Wirtschaftliche Hindernisse und Investitionskosten:** Die Regierung sollte wettbewerbsfähige Märkte unterstützen, die durch die Digitalisierung effizientes Energiemanagement fördern können. Zertifikatsregelungen sind ein bewährter politischer Mechanismus mit hohem Kosten-Nutzen -Verhältnis.
- Anreizsysteme für das Energiemanagement erfordern häufig ein Monitoring, um Maßnahmen zu quantifizieren und zu belohnen, und zwar in einer leistungsbezogenen Weise. Der Industrie sollten staatlich zugelassene, digital-automatisierte Monitoring-Tools zur Verfügung gestellt werden, um die Teilnahme an Märkten und Programmen zu vereinfachen.

- Digitalisierungsprodukte und -dienstleistungen sind an sich bereits ohne Subventionen wettbewerbsfähig. Die breite Anwendung könnte durch direkte Förderungen an die Industrie und durch die vorgeschriebene Umsetzung in öffentlichen Gebäuden beschleunigt werden.
- **Qualifikation und Arbeitsmarkt:** Die Regierung sollte eine Bildungs- und Ausbildungsa-genda zur Verbesserung der digitalen Fähigkeiten in der Immobilienbranche entwickeln. Die Regierung kann dazu beitragen, den Fokus auf diese Fähigkeiten zu verbessern, indem sie Kompetenzzentren für Digitalisierung sowohl in der Wissenschaft als auch im staatli-chen Facility Management einrichtet.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Internationales Konsortium IEA EBC Annex 81	16
Tabelle 2: Deliverables	19
Tabelle 3: Absoluter Energiebedarf und Energieerzeugung des österreichischen EXCESS Demonstrators für verschiedene Regelsysteme	39
Tabelle 4: Energiebezogene KPIs des österreichischen EXCESS Demonstrators für verschiedene Regelsysteme	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematischer Aufbau von IEA EBC Annex 81 mit vier Subtasks (Quelle: Stephen White Annex 81).....	19
Abbildung 2: Der zweistufige Weg zur Einführung von datengesteuerten Diensten (nach Trianni et al. 2022).....	23
Abbildung 3: Grafische Benutzeroberfläche der österreichischen ODP (Quelle: Projekt OpenDataPlatform).	28
Abbildung 4: Konzept der modellbasierten prädiktiven Regelung im Gebäudeenergiemanagement. (David Blum et al. 2023)	30
Abbildung 5: SEB Nr.21: Mehrfamilienhaus aus Sol4City Simulationsstudie (zeigt die Süd- und Ost-Fassade), Quelle: AEE INTEC.....	33
Abbildung 6: Implementiertes MPC-Schema. Basierend auf Putz et al. (2023).....	34
Abbildung 7: OPP (One Percent Peak Power) und PC (Peak Capacity) für alle Systemvarianten. Die Prozentangaben beim Netzbezug geben die Reduktion der OPP zum Szenario WP an wohingegen die Prozentangaben bei der Netzeinspeisung die Reduktion der OPP zum Szenario WP + PV angeben wird. Die roten Markierungen stellen die jeweilig einmal auftretenden Spitzenleistungen (PC) für Bezug und Einspeisung dar. Aus: Gumhalter et al. (2024).....	35
Abbildung 8: Ursprünglicher Zustand des Futtermittelsiloturms (links) und 3D-Rendering der geplanten Sanierung (rechts), Quelle: AEE INTEC	36
Abbildung 9: RC-Darstellung des verwendeten thermodynamischen Gebäudemodells zur Vorhersage der Temperatur sowie des Wärme- und Kältebedarfs des Demonstrationsgebäudes, Quelle: AEE INTEC.....	37
Abbildung 10: Vergleich des Strombedarfs der Wärmepumpe für verschiedene Regelsysteme, getestet mit dem österreichischen Demonstrationsgebäude, in Bezug auf die verfügbare PV-Erzeugung während einer durchschnittlichen Winterwoche im Februar, Quelle: AEE INTEC.....	38
Abbildung 11: Auswirkungen verschiedener Regelungskonzepte auf das Netzverhalten erhalten des österreichischen EXCESS Demonstrationsgebäudes, Quelle: AEE INTEC	40
Abbildung 12: 3D-Ansichten des untersuchten geplanten Wohngebäudes (links: Ansicht von Nordwesten, rechts: Ansicht von Südosten) (Quelle: Stipsits (2024))	41
Abbildung 13: RC-Äquivalentes Modellabbild des MPC und MHE internen Grey Box Models (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024)).....	41
Abbildung 14: Heizleistung des TABS-Systems im Vergleich zwischen Standardregelung und MPC während der kältesten Woche des Jahres. (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024))	43
Abbildung 15: Angenommener Energiebedarf des Gebäudes während der kältesten Woche des Jahres für die Bereitstellung von Warmwasser (DHW). (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024)).....	43
Abbildung 16: Dauerkurven des gesamten Wärmebedarfs einschließlich TABS und Trinkwarmwasser (DHW) für Standardregelung und MPC-Variante in der kältesten Woche des Jahres (links). Unterschied zwischen den Dauerkurven, der die Reduktion der Spitzenlast und die verschobene Energiemenge darstellt (rechts). (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024))	43

Abbildung 17: Durchschnittliche Raumtemperatur der Gebäudezonen und Standardabweichung während der kältesten Woche des Jahres mit Standardregelung. (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024))	44
Abbildung 18: Durchschnittliche Raumtemperatur der Gebäudezonen und Standardabweichung während der kältesten Woche des Jahres mit MPC-Regelung. (Quelle: Gumhalter & Gradl (2024))	44
Abbildung 19: Überblick über KPIs in der Literatur.....	45
Abbildung 20: Paradigmenwechsel: Hin zu Building-to-Grid-Diensten von energieeffizienten, intelligenten Gebäuden, die an nachhaltige Netze angeschlossen sind, in denen erneuerbare Energiequellen dominieren (Johra 2023).....	47
Abbildung 21: Bürogebäude H2 in Wien (links) und F&E Gebäude Infineon, Villach (rechts), Foto: AEE INTEC (links) und Arrowhead Tools Projekt (rechts).....	50
Abbildung 22: OCCEN FDD Framework (TU Graz).....	51
Abbildung 23: Screenshot Website mit Fallstudien https://datasmartbuildings.org/	53
Abbildung 24: Maßnahmenpaket zur Energieoptimierung in Gebäuden durch Digitalisierung, das im Rahmen von Annex 81 entwickelt wurde.	57

Literaturverzeichnis

- Beal, L.D.R., Hill, D., Martin, R.A., and Hedengren, J. D., 2018, GEKKO Optimization Suite, Processes, Volume 6, Number 8, 2018, doi: 10.3390/pr6080106.
- Blum D, Candanedo J, Chen, Z, Fierro G, Gori V, Johra H, Madsen H, Marszal-Pomianowska A, O'Neill Z, Pradhan O, Rovas D, Sacco F, Stensson S, Thilker C, Vallianos C, Wen J, White S (2023). Data-Driven Smart Buildings: State-of-the-Art Review. A report from IEA EBC Annex 81. [https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Annex%2081%20State-of-the-Art%20Report%20\(final\).pdf](https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Annex%2081%20State-of-the-Art%20Report%20(final).pdf)
- Economidou M, 2011. "Europe's buildings under the microscope: a country-by-country review of the energy performance of buildings". Technical Report Buildings Performance Institute Europe.
- Energy Efficiency Hub Digitalisation Working Group, (2022), "Roadmap on Digitalisation for Energy Efficiency in Buildings", <https://energyefficiencyhub.org/wp-content/uploads/2022/11/DWGRoadmap.pdf>
- EQUA, 2023 IDA ICE simulation software for indoor climate and environment. EQUA Solution AB, Sweden, <https://www.equa.se/de/ida-ice>
- Farulla, G. A. et al., 2021. A Review of Key Performance Indicators for Building Flexibility Quantification to Support the Clean Energy Transition. Energies, Band <https://doi.org/10.3390/en14185676>.
- Fierro G. and Pauwels P. (2022), "Survey of metadata schemas for datadriven smart buildings", CSIRO, ISBN 978-1-4863-1896-4, [https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Survey%20of%20meta-data%20schemas%20\(final\)1.pdf](https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/Survey%20of%20meta-data%20schemas%20(final)1.pdf)
- Frost & Sullivan, 2017, "Global Homes and Buildings Industry Outlook, 2017"
- Gilbert S.W., 2013, "Benefits and Costs of Commissioning: A Case Study Analysis", [http://refhub.elsevier.com/S0378-7788\(17\)31636-5/sbref0150](http://refhub.elsevier.com/S0378-7788(17)31636-5/sbref0150)
- M. Gumhalter, P. Gradl. 2024. PROVIDING FLEXIBILITY FOR DISTRICT HEATING GRIDS WITH THERMALLY ACTIVATED BUILDING STRUCTURES IN RESIDENTIAL BUILDINGS, EuroSun 2024, Limassol Zyprus, 10.18086/eurosun.2024.02.07, <http://proceedings.ises.org>
- Gumhalter, M. & Ramschak, T., 2022. Technische Optimierung von PVT Anlagen durch innovative System- und Regelungsansätze. 32. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme; ISBN 978-3-948176-17-4.

- Gumhalter, M. & Ramschak, T., 2023. Elektrisches Netzverhalten von Solar Energie Gebäuden - Lastmanagement und Netzentlastung. 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme; ISBN 978-3-948176-22-8.
- Gumhalter, M.; Ramschak, T.; Gradl, P. (2024): Optimierung des elektrischen Netzverhaltens von Solar Energie Gebäuden mit modellprädiktiven Reglern, 34. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme; Bad Staffelstein; Germany; ISBN 978-3-948176-26-6
- Hedengren, J. D. and Asgharzadeh Shishavan, R., Powell, K.M., and Edgar, T.F., 2014, Nonlinear Modeling, Estimation and Predictive Control in APMonitor, Computers and Chemical Engineering, Volume 70, pg. 133–148, 2014, DOI: 10.1016/j.compchemeng.2014.04.013.
- Internationale Energieagentur (2017), "Digitalisation & Energy", <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>
- IOT-Analytics, State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating. Accessed at <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/> (abgerufen am 22. Mai 2025; 16:21)
- Johra, H. (2023). What is building energy flexibility – demand response? Department of the Built Environment, Aalborg University. DCE Lecture notes No. 81 <https://doi.org/10.54337/aau518320296>
- H. Johra, H. Li, F. de Andrade Pereira, K. Nweye, L. Chamari, and Z. Nagy, "IEA EBC Annex 81–Data-Driven Smart Buildings: Building-to-Grid Applications," in Proceedings of Building Simulation 2023: 18th Conference of International Building Performance Simulation Association. Shanghai, China, 4-6 September 2023, 2023: IBPSA.
- Katipamula S. and Brambley M.R., 2005 "Methods for Fault Detection, Diagnostics, and Prognostics for Building Systems—A Review, Part I HVAC&R Research, 11(1)
- H. Li, Z. Wang, and T. Hong, "Occupant-Centric key performance indicators to inform building design and operations," *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 14, no. 6, pp. 814-842, 2021.
- H. Li et al., "Data-driven key performance indicators and datasets for building energy flexibility: A review and perspectives," *Applied Energy*, vol. 343, p. 121217, 2023.
- H. Li and T. Hong, "A semantic ontology for representing and quant
- Mills E., Friedman H., Powell T., Bourassa N., Claridge D., Haasl T., and Piette M.A., 2004, "The Cost-Effectiveness of Commercial Buildings Commissioning: A Meta-Analysis of Energy and Non-Energy Impacts in Existing Buildings and New Construction in the United States", Accessed at https://www.researchgate.net/publication/277288787_The_cost-effectiveness_of_commercial-buildings_commissioning

Mukhtar Adil, Hirsch Thomas und Schweiger Gerald, 2024. "One-Class Classification and Cluster Ensembles for Anomaly Detection and Diagnosis in Multivariate Time Series Data." 35th International Conference on Principles of Diagnosis and Resilient Systems (DX 2024)

O'Reilly (2020), "The state of data quality in 2020", <https://www.oreilly.com/radar/the-state-of-data-quality-in-2020/>

Putz, D., Gumhalter, M. & Auer, H., 2023. The true value of a forecast: Assessing the impact of accuracy on local energy communities. Sustainable Energy, Grids and Networks, Issue 33; <https://doi.org/10.1016/j.segan.2022.100983>.

Stipsits A. 2023; Regelkonzepte zur Lastverschiebung bei fernwärmeversorgten Gebäuden mit thermischer Bauteilaktivierung; Master Thesis; Gebäudetechnik und Gebäudemanagement; FH-Burgenland; Pinkafeld; Austria

Trianni A., Bennett N., Hasan A.S.M., Katic M., Lindsay D., Cantley-Smith R., Wheatland F.T., White S., Dunstall S., Leak J., Pears A., Cheng C.-T. And Zeichner F. (2022), "RACE for Business - Opportunity Assessment: Industry 4.0 for Energy Productivity", <https://www.race-for2030.com.au/project/b2-industry-4-0-for-energy-productivity/>

J. C. Van Gorp, "Using key performance indicators to manage energy costs," *Strategic planning for energy and the environment*, vol. 25, no. 2, pp. 9-25, 2005.

White S.D., Marszal-Pomianowska A., Jin G.Y., Madsen H., Candanedo J., Harmelink M., Stensson S., Gori V. (2023), "A Data Sharing Guideline for Buildings and HVAC Systems", CSIRO, ISBN 978-1-4863-1895-7, [https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/IEA%20Annex%2081%20Activity%20A1%20-%20A%20Data%20Sharing%20Guideline%20for%20Buildings%20and%20HVAC%20Systems%20\(final\)2.pdf](https://annex81.iea-ebc.org/Data/publications/IEA%20Annex%2081%20Activity%20A1%20-%20A%20Data%20Sharing%20Guideline%20for%20Buildings%20and%20HVAC%20Systems%20(final)2.pdf)

Abkürzungen

AHU-VAV	Air Handling Unit – Variable Air Volume
ARIMA	autoregressive integrated moving average
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AUC	Area Under the Curve
B2G	Building-to-Grid
BIM	Building Information Modeling
CDR	Correct Diagnosis Rate
DOE	US-Department of Energy
DRL	Deep Reinforcement Learning
DSM	Demand Side Management
DHW	Warmwasserbereitung
EBC	Energy in Buildings and Communities
EE	Erneuerbare Energiequellen
EMS	Energiemanagementsystem
EMIS	Energiemanagement- und Informationssystem
FAIR	Findable, accessible, interoperable, re-usable (deutsch: auffindbar, zugänglich, interoperabel und wiederverwendbar)
FCU	Fan Coil Units
FDD	Fault Detection and Diagnosis
FNR	False Negative Rate
HLK	Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage
HVAC	Heating Ventilation and Air Conditioning, Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik
IEA	Internationale Energieagentur
IoT	Internet of Things, Internet der Dinge
KMU	Kleine und mittelgroße Unternehmen
KPI	Key Performance Indicator

LLM	Large Language Models
LP	Linear programming
LSTM	Long Short-Term Memory
MHE	Moving Horizon Estimation
MILP	Mixed-integaer linear programming
MPC	Modell Predictive Control, Modellprädiktive Regelung
ML	Machine Learning
MSR	Messung, Steuerung, Regelung
NYSERDA	New York State Energy Research and Development Authority
OCCEN	One-Class Classification Cluster Ensembles
ODP	Open Data Platform
OPP	One Percent Peak Power
PC	Peak Capacity
PEB	Plusenergiegebäude
PV	Photovoltaik
PVT	Photovoltkaik+ Solarthermie
QP	Convex quadratic programming
RNN	Recurrent Neural Networks
RTEM	Real Time Energy Management
ROC	Receiver Operator Characteristic
SaS	Software-as-a-Service
TAB	Thermisch aktivierte Bauteilmassen
TABS	Thermisch aktivierte Bauteilsysteme
TPR	True Positive Rate
VCC	Vapor Compression Cycle
VRF	Variable Refrigerant Flow
WP	Wärmepumpe

