

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 67: Energie-flexible Gebäude

Arbeitsperiode 2015 - 2019

A. Knotzer, T. Weiss,
A.S. Metzger, W. Kastner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

63/2019

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

Impressum

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

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

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

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC)

Annex 67: Energie-flexible Gebäude

Arbeitsperiode 2015 - 2019

DI Armin Knotzer, DI Tobias Weiss
AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

DI M.Arch. M.S. Angelika Susanne Metzger,
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Kastner
TU Wien, Automation Systems Group

Gleisdorf und Wien, Juli 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie 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 Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	8
2	Abstract	9
3	Ausgangslage	10
4	Projekthalt	12
4.1.	Laufzeit und Ziele des IEA EBC Annex 67	12
4.2.	Internationale Kooperation, Gliederung und Methodik	14
4.2.1.	Partnerländer und Organisation im IEA EBC Annex 67	14
4.2.2.	Gliederung und Methodik des IEA EBC Annex 67	15
4.2.3.	Verwertung und Deliverables	16
4.2.4.	Aufgetretene Probleme oder Änderungen der Methodik	16
5	Ergebnisse	18
5.1.	Definition und Methode der Charakterisierung	19
5.1.1.	Charakterisierungsmethode und Flexibilitätsfunktion	20
5.1.2.	Visualisierungs- und Kommunikationstool FET	27
5.1.3.	Beispiel für die Evaluierung der Methodologie	29
5.2.	Energie-Flexibilitäts-Potenziale von Gebäudetypen und Speichertechnologien	32
5.2.1.	Potential verschiedener Gebäudetypologien	33
5.2.2.	Aktive Speicherpotentiale in österreichischen Wohngebäuden	42
5.3.	Energie-Flexibilitäts-Potenziale und Strategien von Automationssystemen	45
5.4.	Demonstration und NutzerInnenakzeptanz	49
5.4.1.	Untersuchungsergebnisse Demonstrationsgebäude	50
5.4.2.	Untersuchungsergebnisse Stakeholder und ihre Wahrnehmung von Energieflexibilität und Gebäude in Fernwärmenetzen	56
5.5.	Highligths	60
6	Vernetzung und Ergebnistransfer	62
7	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	66

1 Kurzfassung

- Ausgangssituation/Motivation

In Zukunft wird der hohe Anteil von erneuerbaren Energieträgern bei der Einspeisung in Strom-, Gas- und Wärmenetze einen Übergang von der rein am Bedarf ausgerichteten Energieproduktion („generation on demand“) zu einem an der Produktion angepassten Bedarf bzw. Verbrauch („consumption on demand“) bedingen. Das ist auch deshalb sinnvoll und notwendig, um die zwar kurzfristig vorhersagbare, aber zeitlich unbeeinflussbar erzeugte Energiemenge z.B. aus Wind- oder Solarstrom-, aber auch aus Solarthermieanlagen gezielter direkt nutzen zu können. Das entlastet die Netze, die Produktions- und Speichernotwendigkeiten.

- Inhalte und Zielsetzungen

Die Anpassungsfähigkeit der Gebäude an das gerade zur Verfügung stehende Energieangebot und ihre „Energie-Flexibilität“ hinsichtlich der Netzentlastung, war Inhalt der Arbeiten im Annex 67. Es wurde an Indikatoren und einer Methodik gearbeitet, um ein Gebäude in Bezug auf diese „Flexibilität“ schnell charakterisieren zu können. Die Wärmespeicherkapazitäten in den Bauteilen, Anzahl und Größe von Warmwasserspeichern und Batterien, Anzahl und Ausstattung mit elektrischen Geräten und Verbrauchern, wie Wärmepumpen, die jeweilig in Verwendung befindlichen Regelungssysteme u.ä. bestimmen das Potenzial der „Energie-Flexibilität“ in Gebäuden. Deren intelligente Nutzung verschiebt Lastspitzen und belastet die Strom- und Wärmenetze zur richtigen Zeit. In diesem Sinn sind Gebäude intelligente „Prosumer“ (Verbraucher UND Erzeuger von Energie). Diese zukünftige Rolle der in erneuerbare Energie-Versorgungsnetze eingebundenen „Energie-flexiblen Gebäude“ wurde im gegenständlichen Annex untersucht und beschrieben.

- Methodische Vorgehensweise

Da die Thematik der „Energie-Flexibilität“ ein relativ neues Untersuchungsfeld aus Sicht der Gebäude- und Energieforschung eröffnet, musste eine Methodologie und Terminologie zur Charakterisierung der Energie-Flexibilität gefunden werden. Der potenzielle Beitrag der gezielten Steuerung von Lasten (Lastmanagement oder Demand Side Management – DSM, auch Demand Response), der Wärmespeichertechnologien inkl. Speicherung in der Bausubstanz selbst, der Energieerzeugungsmöglichkeiten vor Ort und der Regelungskonzepte zur Energieflexibilität wurde dafür untersucht, simuliert und getestet. Zuerst wurden Literaturrecherchen durchgeführt, dann gemeinsam Beispiele berechnet und Konzepte erstellt, um diese in echten Gebäuden oder Gebäudeverbänden zu erproben. Die NutzerInnen- und Stakeholder-Motivation und Akzeptanz für diese Konzepte wurde abgefragt.

- Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Am Ende der internationalen Kooperation im Annex wird ein elektronischer Bericht die „Prinzipien der Energie-Flexibilität“ von Gebäuden zusammenfassen. Präsentationen, eine Tagung, ein Workshop und verschiedenste Publikationen begleiteten die nationalen Aktivitäten im Annex 67.

2 Abstract

- Starting point/Motivation

In the future, the high share of renewable energy sources in electrical power and district heating grids will force the transition from a purely demand-oriented energy production (“generation on demand”) to a production-oriented demand respectively consumption (“consumption on demand”). This is also rational and necessary for the promotion of more accurate direct use of short-term predictable yet not time-controllable renewable energy production from e.g. wind or solar power, as well as solar thermal systems. It will relieve the grids, generation and storage requirements likewise.

- Contents and Objectives

This adaptability of buildings to currently available energy supplies, their “energy flexibility” in respect with load balancing of the grid, was the content of the tasks in Annex 67. Indicators and a methodology for quick characterization of a building regarding such flexibility were developed. The potential for energy flexibility in buildings determined by factors like heat storage capacity of building components, quantities and sizes of thermal storage tanks and batteries, quantities and type of electrical devices and consumers such as heat pumps, the specifically utilized control systems, and similar was investigated. Intelligent use of related equipment enables to shift peak loads and discharge the grids at the right time. In this sense, buildings could be intelligent “prosumers” (consumers AND producers of energy). The aim of the Annex was to evaluate, analyze and characterize this future role of energy-flexible buildings integrated in renewable energy systems.

- Methods

Since „Energy Flexibility of Buildings“ is a relatively new topic within the building and energy research community, a methodology and terminology for characterization of energy flexibility was to be developed. For this purpose, the potential contribution of direct load control (load management or demand-side management – DSM, demand response), active thermal storage technologies incl. thermal storage of building components, optional on-site energy production, and control concepts for energy flexibility were analyzed, simulated and tested. First, literature reviews were carried out, then examples were jointly compiled and concepts created to test them in real buildings or building clusters. The user and stakeholders’ motivation and acceptance for these concepts were asked by questionnaires.

- Results

An electronic report detailing the “Principles of Energy Flexibility” will be published by the international experts at the end of this project in 2019. Presentations, one conference, one workshop and diverse publications complemented the activities in Annex 67.

3 Ausgangslage

Der vorgesehene großflächige Einsatz erneuerbarer Energieträger wird die Stabilität der Energienetze ernsthaft beeinflussen. Es wird notwendig sein, die Energieverbräuche so zu kontrollieren, dass sie der Energieproduktion unmittelbar angeglichen werden können (vergleiche dazu Abbildung 1). Die den Gebäuden innewohnende Energie-Flexibilität kann zur Stabilisierung der Energienetze, und zwar Strom- UND Wärmenetze, genutzt werden, indem ihr Energiebedarf durch intelligente Nutzung und Regelung zeitlich verschoben werden kann. Dadurch wird eine größere Marktdurchdringung der erneuerbaren Energiequellen möglich.

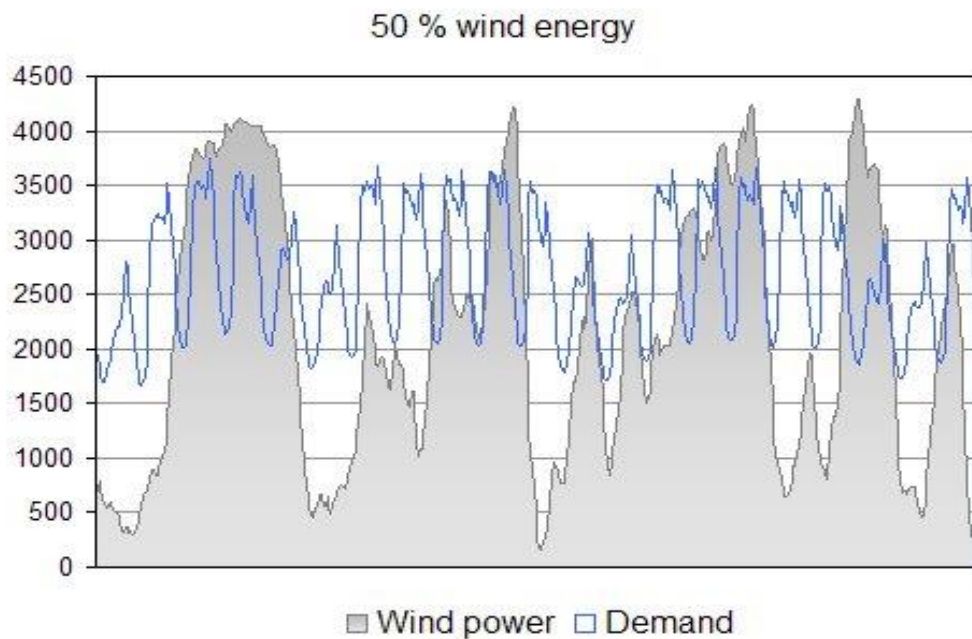


Abbildung 1 Vorhersage der Windenergie-Produktion für drei Wochen im Jänner 2020 im westlichen Teil Dänemarks basierend auf Daten aus 2008. Die blaue Linie ist der 2008 gemessene Strombedarf derselben Region, der zu etwa 50% abgedeckt werden soll (Quelle: Søren Østergaard Jensen, Danish Technological Institute)

Viele Aktivitäten haben die Flexibilität des Energieangebots und Energieverbrauchs zum Thema. So wurden im Projekt LoadShift [1] verschiedene „demand response“-Szenarien des Stromverbrauchs auch in Haushalten dargestellt. Die Österreichische Energieagentur hat Modellierungen des Haushaltsstromverbrauchs durchgeführt [2]. Mit dem Projekt „iWPP-Flex erforschte das AIT den flexiblen Betrieb von Wärmepumpen-Pooling zur Flexibilisierung des Energieeinsatzes in Smart Grids“ [3] – wieder ein wichtiger Teilaspekt. Und unter anderen hat die Energie AG die Bedeutung von Flexibilisierungsmaßnahmen im Stromsystem erläutert [4].

Das Thema wird meist einseitig von der Elektrizitätsseite und vom Markt getrieben beleuchtet; von dort stammen auch die Versuche einer Definition dieser Flexibilität, wie die folgende: "On an individual level, flexibility is the modification of generation injection and/or consumption patterns in

reaction to an external signal (price signal or activation) in order to provide a service within the energy system.“ [5]

Wenn es um die Flexibilisierung im Energiebereich geht, dann gibt es derzeit in Österreich grob zwei Gruppierungen, die dazu arbeiten und organisatorisch nicht weit auseinander liegen:

1. Die erste Gruppe sind die klassischen Energieversorger. Sie kümmern sich um ein möglichst flexibles, zu jeder Zeit funktionierendes Energieangebot, um die typische „generation on demand“ abdecken zu können.
2. Die zweite Gruppe besteht aus den Netzbetreibern bzw. „in zu optimierenden Energienetzen Denkenden“. Hier steht schon seit einiger Zeit die Frage des Netzausbaus in Richtung verteilter Systeme im Vordergrund, und wie – angefangen von den Smart Meters im Feld bis hin zum SCADA System der Leitzentrale – die zukünftigen elektronischen Dienste auf einer bestehenden (und operierenden) Infrastruktur von Stromnetzen aufgebaut werden können (siehe z.B. Technologieplattform Smartgrids Austria für mehr Details).

Eine Regelung der Stromverteilung nach dem Flexibilitätsprinzip besteht essentiell aus zwei voneinander unabhängigen aber kooperierenden Zyklen, einem Lastregler auf der einen, und einem Preis/Marktregler auf der anderen Seite. Die Entwicklung der Marktregeln wird u.a. von der Technologieplattform Smartgrids Austria vorangetrieben und war nicht im Fokus dieses Annex. Im Folgenden wird daher die Lastregelung näher betrachtet.

In Österreich gab es bis 2013 ein erstes landesweites Experiment, das die Möglichkeiten der verschiedenen NetzakteurInnen in Bezug auf Netzstabilisierung testen sollte. Bei der Modellregion Salzburg waren dies „Consumer to Grid“, „Vehicle to Grid“, und „Building to Grid“, die zusammen mit einem aktiven Verteilernetzbetrieb getestet wurden [6]. Auf Gebäude bezogen wurde hier bestätigt, was theoretisch vermutet wurde, nämlich dass die thermische Speicherkapazität von Gebäuden für das Netz nutzbar gemacht werden kann. Einige Projekte haben einzelne Aspekte dieser Erfahrungen aufgegriffen und arbeiten diese in die Tiefe, z.B. eine Simulationsstudie, bei der das verkürzte thermodynamische Gebäudemodell durch ein repräsentatives Modell ersetzt wird (Projekt BL₄DSM - Gebäude-basierte Lastvorhersagen für Demand Side Management). Viele weitere Projekte haben sich bisher mit einzelnen Aspekten der Energieflexibilität wie Speicherlösungen, Regelung und thermischer Aktivierung von Bauteilen beschäftigt.

Was aber neben den Projekten fehlt sind Gebäude-ForscherInnen und -PlanerInnen, die die Energie-Flexibilität, die in den Gebäuden und Gebäudeclustern selbst steckt, in Überlegungen miteinbeziehen. Die genauere Betrachtung, wie Wärmenetze auch auf Gebäudeniveau (z.B. Bauteilaktivierung) in diese Flexibilisierung mit hinein spielen könnten, ist ebenfalls bisher kaum untersucht worden. Außerdem fehlt die Komponente der Energie-Flexibilität, die Gebäude als Prosumer (also Erzeuger UND Verbraucher zugleich) soweit entwickelt, dass Energienetze im klassischen Sinn dort überhaupt obsolet werden, die Gebäude oder -cluster autark agieren lassen. Diese Themen werden bei hohem Anteil an erneuerbaren Energieträgern in der Energieversorgung und für die Netzinfrasturktur wichtiger. Sie bilden die thematische Grundlage, auf der dieser Annex aufbaut.

4 Projektinhalt

4.1. Laufzeit und Ziele des IEA EBC Annex 67

Die **Gesamtlaufzeit des Annex 67** war unterteilt in die

- Vorbereitungsphase: Juni 2014 bis Juni 2015 (Definition-Phase)
- Projektlaufzeit: Juli 2015 bis Juni 2018 (Working-Phase)
- Projektabschlussphase: Juli 2018 bis Juni 2019 (Reporting-Phase)

In der Vorbereitungsphase wurde eine projektspezifische Definition der Energie-Flexibilität von Gebäuden verfasst: „Die Energie-Flexibilität eines Gebäudes ist sein Vermögen, den Energiebedarf und die Energieerzeugung in Abhängigkeit der lokalen klimatischen Bedingungen, der NutzerInnenbedürfnisse und Netz-Besonderheiten aufeinander abzustimmen.“ Die Energie-Flexibilität von Gebäuden erlaubt ein Lastmanagement bzw. „demand side management“ (langfristige Lastenverteilung) und „demand response“ (kurzfristige Lastverschiebungen) [7] und lässt die Gebäude auf Anforderungen des jeweilig umgebenden Netzes re-/agieren (siehe Beispiel in Abbildung 2).

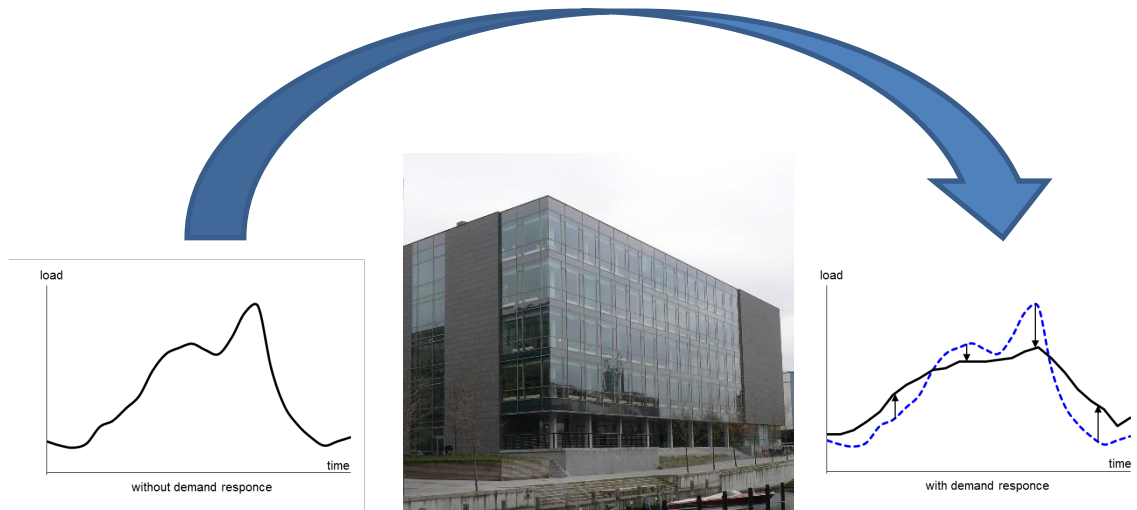


Abbildung 2 Zum Beispiel wird die Energie-Flexibilität von Gebäuden zur Verschiebung von Leistungsspitzen eingesetzt, d.h., hohe Spitzen im Energieverbrauch während des Tages werden in Zeiten mit niedrigerem Energiebedarf verschoben (Quelle: Søren Østergaard Jensen, Danish Technological Institute)

Daraus wurden **die zwei Hauptziele bzw. die Hauptinteressen des IEA EBC Annex 67** abgeleitet:

- Erhöhung des Wissensstandes und Aufbau von Know-how bezüglich der Flexibilität des Gesamtenergiebedarfs eines Gebäudes und deren Rolle, Möglichkeiten und Auswirkungen in

einem zukünftigen „intelligenten“ Energieversorgungssystem, das auf erneuerbaren Energieträgern basiert.

- Identifizieren von kritischen Aspekten und Aufzeigen möglicher Lösungen zum Management der Energie-Flexibilität, die Gebäude anbieten können.

Detailziele der internationalen Kooperation:

- Entwicklung einer gemeinsamen Terminologie und Definition der „Energie-Flexibilität von Gebäuden“ sowie eine Klassifizierungs-Methodik
- Untersuchung des NutzerInnenkomforts, der NutzerInnenmotivation und -akzeptanz in Zusammenhang mit der Einführung der „Energie-Flexibilität von Gebäuden“
- Untersuchung des Potenzials der „Energie-Flexibilität“ in verschiedenen Gebäuden, für verschiedene Energieträger und -systeme (Strom, Wärme) und unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen (Klima, Markt etc.); Entwicklung von Design-Richtlinien, Regelungsstrategien und Algorithmen
- Untersuchung der aggregierten Energie-Flexibilität von Gebäuden und deren potenziellen Effekten auf die Energienetze
- Demonstration der Energie-Flexibilität durch Experimente und Feldstudien

Angestrebte Ziele der nationalen Beteiligung am IEA EBC Annex 67:

- Energieflexibilitäts-Potenziale in Gebäuden (Wärmespeicherkapazität Bauteile, Pufferräume etc.) und eingebauter Technologien (Speicher, Regelungen etc.) und ihr Beitrag zur Energie-Flexibilität von Gebäuden
- Empfehlungen für ein intelligentes Energie-Labeling für Gebäude. Es sollen Kenngrößen vorgeschlagen werden, die die Energie-Flexibilität von Gebäuden am besten beschreiben
- Optimierte Regelungssysteme zur Anwendung in Gebäuden
- Informationen für die Entwicklung von wirtschaftlichen Anwendungen und Geschäftsmodellen („Business Cases“)
- Simulationsergebnisse von Testgebäuden und Evaluierungsergebnisse realer Demonstrationsgebäude
- Stakeholdermotivation und NutzerInnenbedürfnisse in Zusammenhang mit der Nutzung der Energie-Flexibilität in Gebäuden

4.2. Internationale Kooperation, Gliederung und Methodik

Am 8. und 9. September 2014 und am 19. und 20. März 2015 fanden die beiden Vorbereitungs-Workshops des Annex 67 statt. Ein wichtiges Ergebnis dieser Definition-Phase war die Erarbeitung der Subtask-Gliederung und der einzelnen Aktivitäten dort, die im Herbst 2015 weiter detailliert wurden. In den folgenden Kapiteln werden die Partnerorganisationen/-länder, die teilnehmenden Organisationen und die Gliederung des Annex 67 vorgestellt.

4.2.1. Partnerländer und Organisation im IEA EBC Annex 67

Mehr als 30 Institute und 2 Firmen waren im IEA EBC Annex 67 involviert. Die am Projekt beteiligten ExpertInnen kamen aus 16 Ländern, nämlich Belgien, China, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Irland, Italien, Kanada, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweiz, Spanien.

Die österreichischen Kooperations-/Projektpartner waren:

- AEE – Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)
- TU Wien: Automation Systems Group, Institute of Computer Engineering

Das Kernteam („core-group“), das inhaltlich und organisatorisch am Annex 67 gearbeitet hat, setzte sich folgendermaßen zusammen.

Operating Agent (OA): Søren Østergaard Jensen, Danish Technological Institute, DK	
Assistant OA:	Anna Marszal-Pomianowska, Aalborg University, DK
Subtask A:	
Subtask leader:	Armin Knotzer, AEE - Institute for Sustainable Technologies (AEE INTEC), Österreich, und Roberta Perneti/Roberto Lollini, European Academy of Bolzano (EURAC), Italien
Co-subtask leader:	Daniel Aeleni, Universidade Nove de Lisboa (FCT/UNL), Portugal
Subtask B:	
Subtask leader:	Peter Engelmann, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Deutschland
Co-subtask leader:	Bart Bleys, Belgium Building Research Institute (BBRI), Belgien Igor Sartori, SINTEF, Norwegen
Subtask C:	
Subtask leader:	James Parker, Leeds Beckett University, Großbritannien
Co-subtask leader:	Wim Zeiler, Technische Universität Eindhoven, Niederlande

4.2.2. Gliederung und Methodik des IEA EBC Annex 67

Die methodische Vorgangsweise im Annex stellte sich aus österreichischer Sicht folgendermaßen dar, und war angelehnt an die Untergliederung in Subtasks - gleichermaßen die „Arbeitspakete“ des Projekts. Der IEA EBC Annex 67 „Energy Flexible Buildings“ war in **drei Subtasks** eingeteilt:

Subtask A (STA) – Definitionen und Rahmenbedingungen („Definitions and Context“):

Da dieser Annex ein sehr neues Untersuchungsfeld eröffnete, war die Erarbeitung einer Methodologie und Terminologie zur Charakterisierung der Energie-Flexibilität wichtig. Es wurden umfangreiche Literaturrecherchen zum Thema durchgeführt und Vorschläge für ein Labeling gemacht. Subtask A war in folgende Forschungsaktivitäten unterteilt:

Activity A.1. Gemeinsame Terminologie und Definition der Energie-Flexibilität von Gebäuden

Activity A.2 Methodologie zur Charakterisierung der Energie-Flexibilität von Gebäuden – vor allem hier arbeitete die österreichische Beteiligung intensiv mit.

Activity A.3. NutzerInnenbedürfnisse, Motivation und Barrieren für die Anwendung der Energie-Flexibilität von Gebäuden

Activity A.4. Marktanalysen

Subtask B (STB) – Analysen, Entwicklung und Tests („Analysis, Development and Testing“):

Hier wurden unterschiedliche Lastmanagementzugänge, Wärmespeichertechnologien, Energieerzeugungsmöglichkeiten etc. auf ihren Beitrag zur Flexibilität und die Regelungskonzepte und -lösungen zu deren Nutzung untersucht, simuliert und im Labor getestet. Die österreichische Beteiligung hat hier vor allem bei Simulationen von Gebäudetypen und Komponenten wie Speichern beigetragen. Subtask B war in folgende Forschungsaktivitäten unterteilt:

Activity B.1. Simulation der Energie-Flexibilität von Gebäuden und Gebäudeclustern

Activity B.2. Regelungsstrategien und Algorithmen

Activity B.3. Labortests von Komponenten, Systemen und Regelungsstrategien

Activity B.4. Fallbeispiele und Design-Richtlinien

Subtask C (STC) – Demonstration und NutzerInnen-Perspektive („Demonstration and User Perspectives“):

Hier wurden die Konzepte in echten Gebäuden oder Gebäudekomplexen getestet und der NutzerInnenkomfort, die NutzerInnen-Motivation und -Akzeptanz für diese Konzepte untersucht. Subtask C ist in folgende Forschungsaktivitäten unterteilt:

Activity C.1. Messungen in bestehenden Gebäuden

Activity C.2. Demonstration der Energie-Flexibilität in realen Gebäuden

Activity C.3. NutzerInnenmotivation und –Akzeptanz – hier wurden Stakeholderbefragungen durchgeführt

Zum Teil wurden die Forschungsaktivitäten („Activities“) noch weiter in Unteraktivitäten gegliedert.

4.2.3. Verwertung und Deliverables

Seit Beginn der Aktivitäten liefen sehr viele Dissertationen und Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Energie-Flexibilität. Damit war Annex 67 ein sehr aktiver und breit getragener EBC Annex mit großer internationaler Sichtbarkeit der Ergebnisse.

Tabelle 1 Übersicht der international geplanten Deliverables aus dem IEA EBC Annex 67

	<i>Englischer Titel des Deliverable</i>	<i>Geplante Seitenzahlen</i>	<i>Übergabe an das EBC ExCo-Review</i>
D1	Principles of Energy Flexible Buildings	<100 pages	Ende Oktober 2019
D2-3	Characterization of Energy Flexibility in Buildings	<100 pages	Ende November 2019
D4	Stakeholders' perspective on energy flexible buildings	100 pages	Ende Februar 2019
D5	Control strategies and algorithms for obtaining energy flexibility in buildings	100 pages	Ende August 2019
D6	Experimental facilities and methods for assessing energy flexibility in buildings	100 pages	Ende April 2019
D7	Examples of Energy Flexibility in buildings	>200 pages	Ende Juli 2019
D8	Project Summary Report	10-20 pages	Ende August 2019

Die derzeit in Arbeit befindlichen Deliverables der internationalen Kooperation im Annex 67 finden sich in Tabelle 1 oben. Die Ergebnisse wurden über eine eigene Website (www.annex67.org), Journale, über Workshops und Veranstaltungen an eine breite Öffentlichkeit vermittelt. Das Hauptergebnis ist der elektronische Bericht „Prinzipien der Energie-Flexibilität von Gebäuden“ am Ende des Annex 67 (siehe Deliverable D1 in Tabelle 1), der unter österreichischer Beteiligung erstellt wurde.

4.2.4. Aufgetretene Probleme oder Änderungen der Methodik

Die Tests von Energieflexibilität in realen Demonstrationsgebäuden hatten im internationalen wie auch im nationalen Rahmen des IEA EBC Annex 67 während der Projektlaufzeit an Bedeutung verloren, erstens mangels guter Fallstudien, zweitens mangels Finanzierung solcher Demonstrationsgebäude oder -cluster. Es wurden dann vor allem Fallstudien durch Simulation, und weniger durch Monitoring, und unter Verwendung unterschiedlicher Indikatoren von Flexibilität untersucht. Reale Demogebäude wurden nur in drei teilnehmenden Ländern detailliert und in real geänderten Betriebsvarianten untersucht, was ursprünglich auch in Österreich im Rahmen dieser EBC-Beteiligung geplant war. Anstatt dessen wurde mehr Zeit in die Anwendung der

Charakterisierungsmethode und das Labeling der Energie-Flexibilität von Gebäuden investiert, vor allem in Hinblick auf die Definition der Smart Readiness durch die EU-Gebäuderichtlinie, die 2018 einen Indikator dazu gefordert hatte.

Mit weniger untersuchten Demonstrationsgebäuden gab es dann auch weniger NutzerInnenbefragungen in denselben Gebäuden, dafür wurde – international abgestimmt - mehr Zeit in eine Stakeholderbefragung zu Gebäude-Energieflexibilität sowie in eine Online Tool-Entwicklung investiert. Die Verbreitung von Ergebnissen und Beiträge zur Diskussion um den „Smart Readiness Indicator“ mit der EU nahmen mehr Zeit als geplant in Anspruch.

5 Ergebnisse

Einleitung

Am Beginn des IEA EBC Annex 67 gab es keinen umfassenden Überblick und kein Verständnis darüber, wie viel Energie-Flexibilität in verschiedenen Gebäudetypen bezüglich Strom UND Wärme steckt, wie viele aktive und passive Komponenten der Flexibilität sie bieten können und wie ihre Anwendung in zukünftigen Energiesystemen genau aussehen könnte. Genau deshalb wurde in diesem Projekt eine gesamtheitliche Untersuchung im Rahmen der internationalen Kooperation gemacht, damit die Gebäuden innewohnende Flexibilität mit all ihren Chancen und Risiken besser verstanden wird. Welche Gebäude, als Energieverbraucher aber auch -erzeuger, kann der Markt für die Energienetze und für zukünftige Autarkieansprüche anbieten, um diese Energie-Flexibilität bedienen und kontrollieren zu können?

Aus der Frage entstehen neue innovative Gebäudeideen und Energiekonzepte, die von vielerlei Marktteilnehmern, vor allem Dienstleistern aufgegriffen werden können. Zum Beispiel wäre die Anzahl an Produkten, die sich alleine für den Bereich der Regelungs- und Automationsysteme für die Übereinstimmung des Energieverbrauchs und der -erzeugung vor Ort ergäbe, beachtlich.

Tiefgehendes Wissen über die Energie-Flexibilität, die Gebäude anbieten können, ist sehr wichtig für die Gestaltung und Ausformung von intelligenten Netzen und Gebäuden der Zukunft. Das Wissen ist aber nicht nur für die GebäudeeigentümerInnen und Energieversorger wichtig, sondern auch für Unternehmen, die Geschäftsmodelle für Produkte und Dienstleistungen zur Unterstützung der Marktdurchdringung von intelligenten Netzen entwickeln wollen. Weiters sind Informationen über die Energie-Flexibilität von Gebäuden für politische EntscheidungsträgerInnen und Behörden wichtig, die in die Entwicklung von Rahmenbedingungen für ein zukünftiges Energiesystem eingebunden oder verantwortlich sind. Deshalb wurden auch Befragungen organisiert.

Ein intelligentes Gebäude-Energiesystem sollte Spitzenlasten verschieben, um die Netze zur richtigen Zeit entlasten zu können. Welche Potenziale der Energie-Flexibilität in einzelnen Technologien wie Speicher, Bauteilaktivierung und Automation (z.B. „Smart Home“) liegen, wurde für verschiedene Gebäudekategorien und -typen untersucht. Dazu wurden Warmwasser- und Pufferspeicher, Wärmekapazitäten von Bauteilen, Pufferräume, Regelungssysteme für die Heizung inkl. Wärmepumpen, Klimatisierung und Lüftung, aber auch die Wechselwirkungen zwischen den Lastprofilen und der vor Ort erzeugten Energie aus erneuerbaren Energieträgern untersucht. Speziell im Bereich thermische Aktivierung von Bauteilen und Speichertechnologien hat sich die österreichische Beteiligung mit neuen Erkenntnissen aus anderen laufenden nationalen und internationalen Projekten eingebracht.

Ergebnisse, die all diese Aspekte und Überlegungen einfließen lassen, werden in den folgenden Kapiteln beschrieben. Zu Beginn wird das Ergebnis der Methodikentwicklung zur Charakterisierung der Energieflexibilität von Gebäuden thematisiert.

5.1. Definition und Methode der Charakterisierung

Einleitung

Als Ausgangspunkt für die Arbeit an der Definition und Charakterisierung der Energieflexibilität wurde eine umfassende Literaturanalyse mit einem Überblick über die in den letzten Jahren entwickelten Ansätze und Indikatoren zur Darstellung der Energieflexibilität in Gebäuden durchgeführt.

Im Allgemeinen wurden **Indikatoren** entsprechend ihrer Zielwirkung in drei Bereiche eingeteilt:

- Indikatoren für Gebäudekomponenten und Einzeltechnologien
- Indikatoren für einzelne Gebäude
- Indikatoren für Gebäudecluster

Die verschiedenen Komponenten umfassen die Energieerzeugung vor Ort (thermisch und elektrisch), Energiespeicher (eingebettet in die Gebäudestruktur als Bauteile oder als Teil des Energiesystems) sowie andere Technologien und Geräte, die verschiedene flexible Lasten bereitstellen. Die Aggregation der Wechselwirkungen zwischen Bauteilen sowie deren Wechselwirkungen mit dem gesamten Gebäude liefert Indikatoren für einzelne Gebäude. Und in ähnlicher Weise liefert die Aggregation einzelner Gebäude Indikatoren für Gebäudecluster. Diese Cluster sind im Annex 67 als eine Gruppe von Gebäuden definiert, die mit derselben Energieinfrastruktur oder demselben Aggregator verbunden sind, sodass sich die Änderung des Verhaltens / der Energieeffizienz jedes Gebäudes sowohl auf die Energieinfrastruktur als auch auf die anderen Gebäude des gesamten Clusters auswirkt [7].

Generell ist es möglich, die Indikatoren nach den Quellen der Energieflexibilität zu gruppieren:

- Elektrische Geräte und Anwendungen, bestehend aus Last-verschiebbaren Verbrauchern wie Geschirrspüler, Waschmaschine und Last-steuerbaren Verbrauchern wie HLK-Komponenten und Beleuchtung;
- Speichermasse des Gebäudes, die hauptsächlich durch das verwendete Heizsystem wie Fußboden- oder Heizkörperheizung und dessen Steuerung beeinflusst wird; und
- Komponenten des lokalen Energiesystems – zur Energie-Umwandlung (KWK, Wärmepumpe, Elektroheizung, usw.) und -Speicherung (Warmwasser-, Puffer-, Batteriespeicher, usw.).

Der Betrieb dieser Komponenten-Gruppen wird in hohem Maße vom implementierten Regelungssystem beeinflusst. Die Bewertungsansätze über Indikatoren sind in der Literatur immer noch stark fragmentiert.

Um das Potenzial von energieflexiblen Gebäuden in zukünftigen Energiesystemen zu verstehen und zu integrieren, ist ein ganzheitlicher Ansatz erforderlich, der die Gebäude- und Energiesysteme (sowohl elektrische als auch thermische), aber auch die Energiemarktgestaltung und sogar die Interaktion der NutzerInnen miteinander in Einklang bringt. Da BauingenieurInnen häufig nicht mit allen technischen Aspekten von Energienetzen vertraut sind und umgekehrt, schlägt der IEA EBC Anhang 67 eine gemeinsame Definition und einen operativen Ansatz für die Bewertung der

Energieflexibilität vor, die für beide Parteien verständlich sind. Dieser Ansatz erleichtert Planungs- und Betriebsentscheidungen sowohl auf Gebäude- als auch auf Energiesystemebene unter Berücksichtigung der komplexen Wechselwirkungen zwischen Gebäude, Energiesystem, NutzerInnen und anderen Randbedingungen wie Verfügbarkeit von erneuerbaren Energiequellen und Wetterbedingungen.

Die vom IEA EBC Annex 67 eingeführte Methodik stellt die Energieflexibilität dar, indem die Menge an Energie quantifiziert wird, die ein Gebäude aufgrund externer Einflussfaktoren verschieben kann, ohne die Komfortbedingungen für die NutzerInnen zu beeinträchtigen, und dabei aber die technischen Rahmenbedingungen des Gebäudes und seines HLK-Systems zu berücksichtigen. Dabei gibt es Einflussfaktoren, sogenannte „penalty signals“, die als Rahmenbedingungen fungieren und sich über die Lebensdauer eines Gebäudes und mit unterschiedlicher Häufigkeit ändern können:

- ✓ Sich langsam verändernde Faktoren: Klimawandel, makroökonomische Faktoren, technologische Verbesserungen, Gesamtheit an Energiekosten, Gebäudenutzung
- ✓ Sich schnell verändernde Faktoren: Energiemix / Verfügbarkeit Erneuerbarer Energien, Energiepreise, interne / solare Gewinne, NutzerInnenverhalten, (stündliche) Energiepreise, Umgebungstemperatur

Folglich ist die Energieflexibilität eines Gebäudes kein fester statischer Wert, sondern variiert in Abhängigkeit von diesen Einflussfaktoren und Steuerungssignalen (im Folgenden als „**penalty signal**“ bezeichnet), die eine Systemreaktion auslösen. Als Reaktion kann ein Gebäude den momentanen Energiebedarf verschieben und variieren, wodurch die Wirkung des penalty signals minimiert wird. Diese folgenden Kapitel enthalten eine Erläuterung der Annex 67-Methode zur Charakterisierung der Energieflexibilität in Gebäuden und eine Beurteilung ihrer Anwendung.

5.1.1. Charakterisierungsmethode und Flexibilitätsfunktion

Stromversorgungssysteme sind sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite großen Veränderungen ausgesetzt, die sich aus der Integration von Energieumwandlungssystemen auf der Grundlage erneuerbarer Primärenergieträger und der zunehmenden Elektrifizierung des Energiebedarfs ergeben. Um den sich daraus ergebenden Herausforderungen zu begegnen und immer aktuell das Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage zu halten, muss die auf beiden Seiten der Energieversorgungssysteme verfügbare Energieflexibilität genutzt werden. In einigen Fällen, wie beispielsweise bei Überlastungsproblemen auf Übertragungs- und Verteilungsebene, müssen sich die Stromversorgungssysteme hauptsächlich auf die nachfrageseitig verfügbare Energieflexibilität stützen.

Unter Berücksichtigung dieser Tatsache beschreibt dieses Kapitel eine Methode zur Charakterisierung der in Gebäuden und Stadtteilen verfügbaren Energieflexibilität (d.h. der Nachfrageseite), die auf der Annahme basiert, dass Energie-flexible Gebäude ihre Nachfrage an mit der Zeit veränderte Ziele wie die Reduzierung des CO₂-Gehalt der Energiebereitstellung oder der Kosten anpassen können. Ein typisches Beispiel für die Nutzung dieser Art von Mechanismen auf der Nachfrageseite ist die indirekte Laststeuerung, bei der wirtschaftliche Anreize eingeführt werden, um freiwillige Änderungen des Stromnachfrageprofils der KundInnen zu fördern. In diesem Fall wäre der angewendete Energietarif, der sich im Laufe des Tages und der Jahreszeit ändern kann, um

beispielsweise Nachfragespitzen zu reduzieren, das penalty signal, und die Energieflexibilität würde zur Reduzierung der monatlichen Energierechnung verwendet. Allgemeiner ausgedrückt geht diese Methodik daher auch davon aus, dass die zeitlich variierenden Anforderungen von Energiesystemen in penalty signals (Wunsch- oder Anforderungssignale) übersetzt werden können, die entwickelt werden, um gewünschte Energieverbrauchsmuster zu induzieren.

Die einzige Möglichkeit einer Methode, unter den sehr verschiedenen Rahmenbedingungen und Laständerungsmustern, die Energieflexibilität zu charakterisieren, ist eine, die das Problem an seiner Wurzel angeht, nämlich an der Beziehung zwischen dem penalty signal und der Antwort. Letztendlich ist dies sowohl für die Verbraucher von Bedeutung, da sie über ihre Energiekosten entscheiden, als auch für die Versorger, da es die Möglichkeit gibt, die für sie interessanten Verbrauchs- und Lastprofile anzupassen.

Diese Beziehung zwischen penalty signal und demand response wird hier durch das Konzept einer **Flexibilitätsfunktion** (FF) beschrieben, das hier vorgestellt wird und den Kern der vorgeschlagenen Methodik bildet. Ein wichtiger Aspekt der Flexibilitätsfunktion beruht auf der Möglichkeit, Antworten von verschiedenen energieflexiblen Gebäuden oder sogar von einzelnen steuerbaren Komponenten wie Abwasserbehandlungsstationen zu aggregieren. Dadurch wird die Möglichkeit geboten, die Energieflexibilität sowohl auf Komponenten- als auch auf Clusterebene zu charakterisieren. Eine Voraussetzung dafür ist natürlich, dass die betrachteten energieflexiblen Gebäude Anforderungs-sensible Steuerungen besitzen. Nur damit haben sie die Möglichkeit, den Energieverbrauch an Änderungen des auferlegten penalty signals anzupassen. Infolgedessen kann die Flexibilitätsfunktion, basierend auf dem in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** skizzierten Eingangs-„Penalty-Signal“ und dem Energieverbrauch als Antwort, abgeschätzt werden.

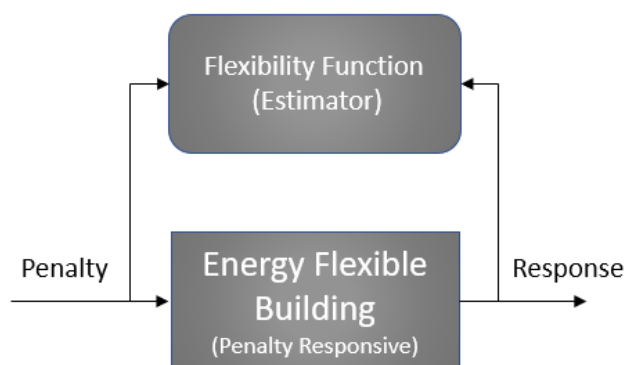


Abbildung 3 Signalfluss bei der Abschätzung einer Flexibilitätsfunktion eines energieflexiblen Gebäudes als Reaktion auf ein Steuerungssignal bzw. penalty signal (Quelle: [8])

Für lineare und zeitinvariante (englisch abgekürzt: LTI) Systeme kennzeichnet die Sprungantwort auf das Anforderungssignal das System eindeutig. Darüber hinaus können die Eigenschaften der Sprungantwort analysiert und als Indikatoren zur Bewertung der Energieflexibilität herangezogen werden. Wenn die Antwort auf das Signal von der Gebäudesteuerung nicht vorhergesagt wird, dann ist die Gesamtantwort immer dieselbe, nämlich ein Rückgang des Verbrauchs, der allmählich wieder in den ursprünglichen Zustand zurückkehrt, manchmal über den Umweg eines gewissen

Reboundeffekts, der meist einen kurzfristig erhöhten Energieverbrauch darstellt. Die Flexibilitätsfunktion kann als Reaktion auf eine Sprungantwort definiert werden und hat die allgemeine Form, die in Abbildung 4 dargestellt ist.

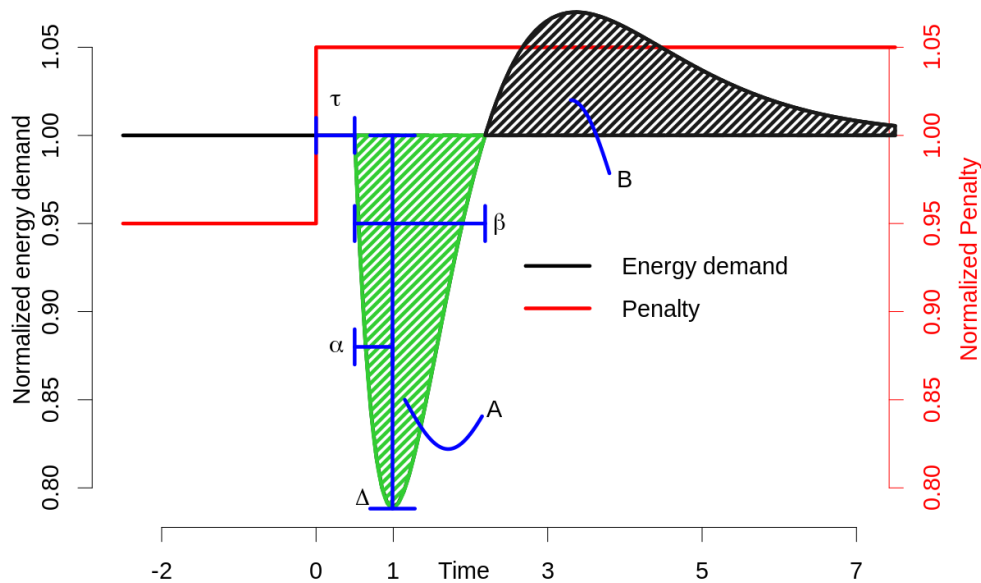


Abbildung 4 Beschreibung der Flexibilitätsfunktion als erwartete Reaktion eines energieflexiblen Gebäudes, das einer Sprung-Erhöhung des penalty signals ausgesetzt ist (Quelle: [8])

Aus dieser „Antwort“ auf das penalty signal leitet sich eine Reihe wichtiger Eigenschaften im Zusammenhang mit der Energieflexibilität ab:

- τ (Zeit): Zeitspanne bis zur ersten Reaktion. Diese könnte durch Kommunikationsverzögerungen von den Netzbetreibern zum Regelungssystem verursacht werden. In einigen Fällen könnte es auch an dem hohen Berechnungsaufwand der Computer zur Steuerungs-Optimierung liegen.
- Δ (Leistung): Maximale Änderung der Reaktion. Diese Eigenschaft beschreibt die Kapazität der Energieflexibilität und ist wichtig, wenn sie für Probleme verwendet werden soll, die große Auswirkungen erfordern, wie z.B. Spannungsregelung. Dies hängt hauptsächlich mit der Größe des flexiblen Energiebedarfs zusammen.
- α (Zeit): Die Zeit, die vom Beginn der Reaktion bis zur maximalen Antwort vergeht. Diese hängt von der Reaktionsfähigkeit der Gebäudetechnik oder der Regelungen z.B. solche mit nicht zu kurzer Ein-/Ausschaltdauer ab.
- β (Time): Die Gesamtzeit, in der der Energieverbrauch reduziert wird. Diese ist wichtig, wenn der Energiebedarf zeitlich lange verschoben werden muss. Besonders schwere Gebäude schneiden hier relativ gut ab, während leichtere Gebäude den Energiebedarf nur für kürzere Zeit ändern können, beides aber sehr stark von anderen Parametern wie Dämmstandard abhängig.

- A (Energie): Der Gesamtbetrag der Energiebedarfsreduktion während der Antwort. Kann auch eine Energiebedarfssteigerung sein, wenn das Signal entgegengesetzt ist. Dieser Indikator ist wichtig, wenn die Anforderung besteht, eine große Energiemenge zu verschieben, zum Beispiel bei einer Lastanpassung in Netzen mit vielen erneuerbaren Energiequellen.
- B (Energie): Die Summe des erhöhten Energieverbrauchs innerhalb einer Antwort, hervorgerufen durch den Reboundeffekt. Das kann durch lernende Steuerungen verursacht werden, die Änderungen bei den Komfortgrenzen nur für einen begrenzten Zeitraum zulassen. Bei einer Temperaturregelung kann es sein, dass die Temperatur kurzzeitig abfallen darf, danach aber wieder erhöht werden muss, um wieder auf die ursprüngliche Temperatur zurückzukommen, unabhängig davon ob das penalty signal noch aktiv ist oder nicht.

Der Nachteil einer einzelnen Zahl als Indikator, der die Flexibilität beschreibt, im Vergleich zu einer Flexibilitätsfunktion, besteht darin, dass eine einzelne Zahl zwar eines der oben beschriebenen Flexibilitätsmerkmale erklären, jedoch nicht das vollständige dynamische Verhalten der Flexibilität beschreiben und abbilden kann. Das Ignorieren der Dynamik von Energieflexibilität führt zu Charakterisierungen, die nur gültig sind, wenn sich die Systeme in bestimmten Zuständen befinden.

Ein Beispiel ist die Temperaturregelung von Gebäuden, bei der statische Beschreibungen nur gültig sind, solange die Temperatur auf einem Nennwert festgehalten wird. Dies ist im Hinblick auf die Flexibilität paradox, da der Zustand von Systemen durch die Verwendung von Energieflexibilität weg von normalen Betriebspunkten bzw. Nennwerten bei z.B. Temperatur führt. Daher sind statische Charakterisierungen schwer vorstellbar, wenn Energieflexibilität verwendet werden soll. Nach der Beschreibung dieses Kernkonzepts werden nun im nächsten Abschnitt ein direkter und ein indirekter Ansatz zur Ermittlung der Flexibilitätsfunktion vorgestellt.

Direkter und indirekter Ansatz eine Flexibilitätsfunktion zu erhalten

Abhängig von den verfügbaren Daten können zwei unterschiedliche Ansätze verwendet werden, um die FF eines energieflexiblen Gebäudes oder eines anderen steuerbaren Systems zu erhalten.

Der erste, als **direkter Ansatz**, definierte Ansatz geht davon aus, dass die jeweilige Energieflexibilität durch die Differenz zweier Energiebedarfsszenarien gegeben ist. Im ersten Szenario wird die verfügbare Energieflexibilität nicht genutzt, um auf ein bestimmtes penalty signal zu reagieren (Referenzszenario). Dieses Szenario ergibt sich beispielsweise aus der Steuerung der Innentemperatur eines Gebäudes, ohne zu berücksichtigen, dass der Energiepreis zeitlich variieren kann. Im zweiten Szenario wird die Energieflexibilität unter Berücksichtigung des penalty signals verwendet, um den Energieverbrauch in den Zeiträumen zu senken, die mit höheren Werten des penalty signal verbunden sind. In diesem zweiten Szenario würde anhand des gleichen Beispiels die verfügbare Energieflexibilität genutzt, um die Innentemperatur in Zeiten mit niedrigen Energiepreisen zu erhöhen, um den Energieverbrauch in Spitzenpreisen zu vermeiden und gleichzeitig die Komfortbedürfnisse aller NutzerInnen zu berücksichtigen.

Wenn also das betrachtete penalty signal ein einzelnes Sprungsignal ist, kann die zuvor beschriebene FF erhalten werden, indem das Energiebedarfsprofil beider Szenarien subtrahiert wird. Es ist auch wichtig anzumerken, dass ein Antizipationseffekt beobachtet wird und die FF eine

andere Form aufweist wie die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gezeigte, wenn die verfügbare Energieflexibilität von Steuerungen verwendet wird, die in der Lage sind, die Änderung des Strafsignals vorherzusagen. Dieser direkte Ansatz charakterisiert die Flexibilitätsfunktion nur dann vollständig, wenn lineare, zeitinvariante (LTI) Systeme berücksichtigt werden, was aber zu einigen Einschränkungen führt.

Die zweite Option zur Ermittlung der FF, als **indirekter Ansatz** bezeichnet, verwendet die Theorie der Systemidentifikation, um die Beziehung zwischen dem penalty signal und der jeweiligen Energiebedarfsantwort des zu analysierenden Gebäudes, Gebäudeclusters oder anderer steuerbarer Systeme über einen bestimmten Zeitraum z.B. einer Woche zu ermitteln. In diesem Fall sollte das penalty signal nicht nur EINE schrittweise Änderung aufweisen, wie dies beim direkten Ansatz der Fall ist, sondern durch mehrere zeitliche Änderungen gekennzeichnet sein, die eine unterschiedliche Dynamik in Bezug auf die Energieflexibilität auslösen können. Um langsame Dynamiken wie die in Bezug auf Speichermasse zu erfassen, muss das penalty signal daher auch langsame Änderungen enthalten. Um schnelle Dynamiken wie in Bezug auf die Luft oder Batteriespeichersystemen in Gebäuden abzuschätzen, muss das penalty signal auch Kurzzeit-Schwankungen enthalten.

In der Praxis sollte das penalty signal die Energieflexibilität abrufen können, die von allen steuerbaren Geräten im Laufe der Zeit angeboten wird, weil ja nicht alle Geräte zu jedem Zeitpunkt Energieflexibilität zur Verfügung stellen können. Wenn z.B. eine Batterie innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums vollständig entladen ist, um den Energieimport eines flexiblen Gebäudes zu verringern sobald das penalty signal hoch ist, wird dieselbe Art der Flexibilität in nächster Zukunft nicht verfügbar sein, bis sie bei niedrigerem Signal wieder aufgeladen wird.

Unter Berücksichtigung dieser Tatsache hängt die Auswahl des richtigen Ansatzes zum Erhalt der Flexibilitätsfunktion von mehreren Aspekten ab. Zum Beispiel ist der indirekte Ansatz bei der Verwendung realer Daten vorzuziehen, da die Energieflexibilität wie schon mehrmals erwähnt von mehreren Faktoren abhängt (z.B. Wetterbedingungen). Die Anwendung des direkten Ansatzes erfordert idente Bedingungen, um die verfügbare Energieflexibilität vergleichbar zu steuern, was normalerweise nicht der Fall und auch nicht realistisch ist. Ein typisches Beispiel für den zu wählenden indirekten Ansatz wäre die Charakterisierung der komplexen Energieflexibilität eines Gebäudeclusters durch einen Aggregator, der Zugang zum aggregierten Strombedarfsprofil und zum auferlegten penalty signal (z.B. Strompreis) in einer bestimmten Woche hat.

Auf der anderen Seite ist der direkte Ansatz vorzuziehen, wenn Gebäude mit spezifischen Flexibilitätsdiensten oder -ausstattungen entworfen und Variationen einzelner Parameter über Simulationen durchgeführt werden, um die mögliche energetische Flexibilität dieser Gebäude nach dem jeweiligen Einfluss eines Parameters zu untersuchen. Auf diese Weise können verschiedene Szenarien hinsichtlich des NutzerInnenkomforts, der Wetterbedingungen oder sogar der Berücksichtigung von Algorithmen für die Fernsteuerung getestet werden. Um dabei den indirekten Ansatz anzuwenden, müssten SpezialistInnen penalty signals verwenden, die korrekt und damit in völliger Übereinstimmung mit der Realität ausgelegt sind und die unterschiedliche Energieflexibilitätsdynamiken des Gebäudes während ihrer Simulationen aktivieren können. Dies würde schwieriger sein, als nur eine einzelne Änderung im penalty signal wie im direkten Ansatz zu generieren. Tabelle 2 fasst die Vor- und Nachteile der einzelnen Ansätze zusammen

Tabelle 2 Vor- und Nachteile des direkten und indirekten Ansatzes, eine Flexibilitätsfunktion zu erhalten bzw. generieren

Ansatz die FF zu erhalten	Pros	Cons
Direkt	Ermöglicht ein einfacheres Verständnis der Auswirkungen jeder Entwurfsentscheidung (z.B. unterschiedliche Speichermassen oder Steuerungsalgorithmen) auf die FF	Die Notwendigkeit eines Simulationsprogramms zur Modellierung des zu analysierenden Gebäudes oder Cluster von Gebäuden
Indirekt	<ul style="list-style-type: none"> - Kann verwendet werden, um die Energieflexibilität von Gebäuden, die bereits in Betrieb sind, anhand der jeweiligen Energiebedarfsprofile und der im Zeitverlauf angewandten penalty signals zu charakterisieren - Es ist kein Simulationstool erforderlich, um das zu analysierende Gebäude oder die Gebäudecluster zu modellieren 	<ul style="list-style-type: none"> - Komplexität des Systemidentifizierungs-prozesses, der erforderlich ist, um das Modell zu erhalten, das die Beziehung zwischen Signal und Energiebedarf über eine bestimmte Zeit beschreibt - Das Erfordernis, ein penalty signal „richtig“ zu entwerfen, um unterschiedliche Energieflexibilitätsdynamiken zu aktivieren

Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Energieflexibilität von vielen Rahmenbedingungen abhängt, die sich im Laufe der Zeit ändern. Daher können nach beiden Ansätzen mehrere Flexibilitätsfunktionen erforderlich sein, um die Energieflexibilität über einen langen Zeitraum (z.B. ein Jahr) korrekt zu charakterisieren. Als Beispiel kann man die Winter- und Sommerwetterbedingungen, die Anforderungen an den BenutzerInnenkomfort im Laufe des Jahres oder die Tatsache anführen, dass einige Geräte möglicherweise nicht verfügbar sind, um in bestimmten Zeiträumen Energieflexibilität anzubieten. Beispielsweise werden Fußbodenheizungen in manchen Ländern im Sommer nicht betrieben, weshalb die mit ihrer Nutzung verbundene energetische Flexibilität dann nicht zur Verfügung steht.

Im nächsten Abschnitt wird ein Index für die Energieflexibilitätskennzeichnung vorgestellt, der zum Vergleich verschiedener energieflexibler Gebäude verwendet werden kann.

Kennzeichnung bzw. Labeling als konkreter Nutzen der Energieflexibilität

Es wurde gezeigt, wie eine Reihe von Energieflexibilitätsmerkmalen in der Flexibilitätsfunktion zusammengefasst werden können, und es wurde argumentiert, wie wichtig diese Flexibilitätsmerkmale für verschiedene Anwendungen der Energieflexibilität in Gebäuden sind. Eine formale Quantifizierung der Energieflexibilität sollte jedoch auch mit der Nutzung dieser Flexibilität

verbunden sein. Diese Quantifizierung hängt von den durch die Energieflexibilität gelösten Problemen ab und kann daher sowohl räumlich als auch zeitlich variieren. Die Energieflexibilität kann jedoch für ein bestimmtes Problemszenario berechnet werden. Dies führt zum **Flexibilitätsindex (FI)**, der für ein gegebenes Signal (z.B. CO₂-Emissionen der Energieversorgung) dem eingesparten Ziel bzw. der nötigen Anforderung (z.B. CO₂-Einsparung) unter Verwendung der Energieflexibilität entspricht. Das Signal sollte die Reaktion des Energieverbrauchs für ein bestimmtes Problemszenario ausdrücken.

Um den Flexibilitätsindex für ein bestimmtes Gebäude und ein bestimmtes penalty signal zu erhalten, sollten die folgenden Schritte befolgt werden [8]:

1. λ_t sei die Anforderung an den Energieverbrauch in der Zeit tt .
2. Simuliere die Regelung des Gebäudes, *ohne* das penalty signal zu berücksichtigen, dabei sei u_t^0 der Energieverbrauch in der Zeit tt .
3. Simulieren Sie die Regelung des Gebäudes *unter* Berücksichtigung des penalty signals, dabei sei u_t^1 der Energieverbrauch in der Zeit tt .

4. Die Gesamtkosten für den Betrieb ohne Berücksichtigung des penalty-signals sind

$$C^0 = \sum_{t=0}^N \lambda_t u_t^0 .$$

5. In ähnlicher Weise sind die Betriebskosten unter Berücksichtigung des penalty signals durch

$$C^1 = \sum_{t=0}^N \lambda_t u_t^1 \text{ gegeben.}$$

6. Dann ergibt der Ausdruck $FI = 1 - \frac{C^1}{C^0}$

den Anteil der eingesparten Kosten, und bildet den vorgeschlagenen Flexibilitätsindex.

Abbildung 5 zeigt ein anschauliches Beispiel für eine Simulation, bei der die verfügbare Energieflexibilität verwendet wird, um die kumulativen CO₂-Emissionen durch den Betrieb eines bestimmten Gebäudes über einen Zeitraum von 48 Stunden zu verringern. In diesem Fall bezieht sich das penalty signal auf die CO₂-Emissionen pro verbrauchter Energieeinheit, die vom zeitlichen Produktionsmix im Stromnetz abhängen. Die angegebene Energieflexibilität wird von der Heizungsanlage bereitgestellt, die im Normalfall so gesteuert wird, dass die von NutzerInnen festgelegten Temperaturkomfortgrenzen eingehalten werden (gestrichelte Linie im oberen Teil von **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dasselbe obere Diagramm zeigt die Temperatur im Gebäude, wobei sowohl ein auf das penalty signal sensibel reagierender Regler zur Minimierung der CO₂-Emissionen (grüne Linie) als auch ein konventioneller Regler zur Minimierung des Energieverbrauchs (rote Linie) verwendet werden. Das mittlere Diagramm zeigt das penalty signal (schwarze Balken) und das Verhalten der beiden Regler im Heizbetrieb. Es ist wieder im oberen Diagramm von Abbildung 5 zu erkennen, dass der konventionelle Regler die Temperatur im Allgemeinen knapp über dem erforderlichen Mindestwert hält, während der flexibel reagierende

Regler schon bei geringer Erhöhung des penalty signals zur Erwärmung neigt, was dazu führt, dass die Temperatur stärker im Komfortbereich schwankt. Das unterste Diagramm zeigt die akkumulierten CO₂-Emissionen des Betriebs durch die beiden Regelsysteme. Wie erwartet akkumuliert die konventionelle Regelung trotz des geringeren Energieverbrauchs, für den sie ursprünglich programmiert wurde, mehr CO₂-Emissionen als die penalty signal-sensible Regelung. In diesem Fall ist FI = 0,2, was die Einsparungen der CO₂-Emissionen aufgrund der Nutzung der Energieflexibilität widerspiegelt.

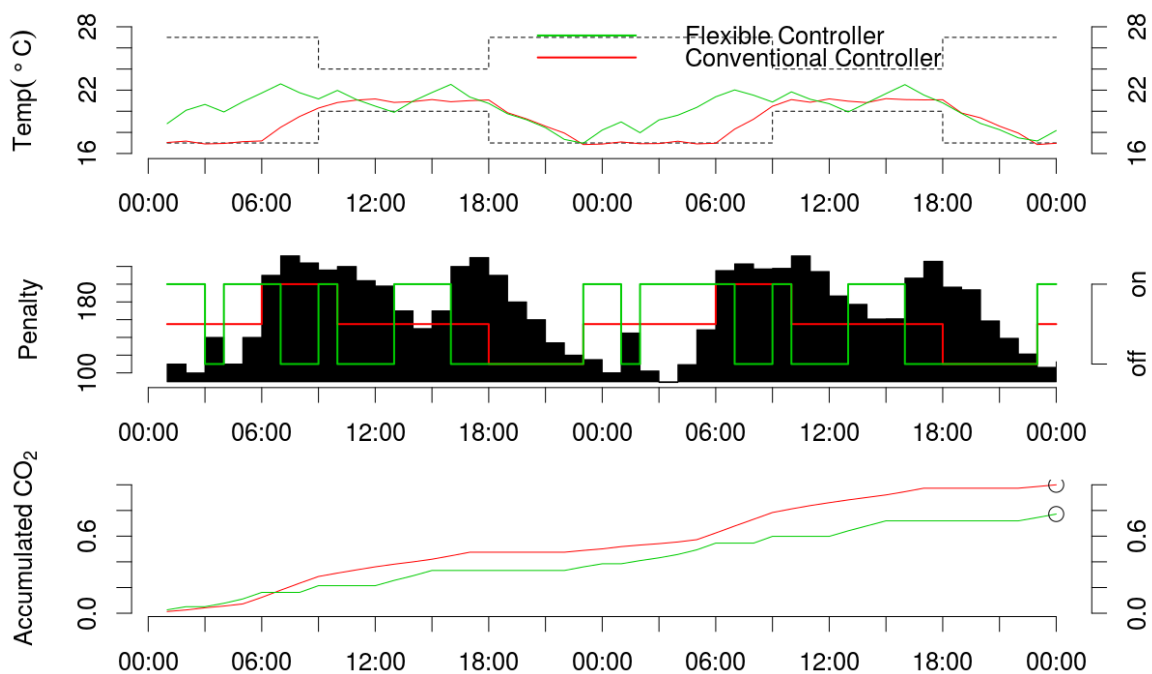


Abbildung 5 Akkumulierte CO₂-Emissionen in einem Gebäude mit einem penalty signal (CO₂)-sensiblen Regler (grüne Linie) oder einem herkömmlichen Regler (rote Linie) (Quelle: [8])

Da die Berechnung des Flexibilitätsindex Energieverbrauchsprofile erfordert, die mit dem Betrieb konventioneller und sensibler Steuerungen verbunden sind, wäre es schwierig, eine solche Quantifizierung nur unter Verwendung von realen Daten durchzuführen, da sich z.B. Wetter- oder Energieerzeugungsbedingungen natürlich zwischen den Experimenten ändern würden. Daher werden Simulationen für die Quantifizierung dieser Vorteile benötigt, die sich aus der Energieflexibilität ergeben. Es ist auch wichtig anzumerken, dass diese Quantifizierung unabhängig von der Charakterisierung der Energieflexibilität unter Verwendung der FF ist und daher nicht mit dem jeweiligen Ansatz zum Generieren der FF zusammenhängt.

5.1.2. Visualisierungs- und Kommunikationstool FET

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie eine harmonisierte Visualisierung und Kommunikation der Charakterisierungsmethode im Annex 67 einschließlich der beiden im Annex67 entwickelten Indikatoren Effizienz des flexiblen Betriebs, Eflex [%], und verschiebbare flexible Last, Sflex [%], erzielt werden kann.

Als Voraussetzung für die Visualisierung und Kommunikation der Ergebnisse wurde eine einfach zu handhabende und offene Methodik ermittelt, die unabhängig von der Berechnungslogik ist, mit der die Flexibilitätswertfunktion zu erhalten ist.

Als Ergebnis wurde ein Excel-Tool namens Flexibility-Evaluation-Tool (FET) umgesetzt und über die Annex 67-Website (<http://www.annex67.org/publications/software/>) der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. FET ist ein Tool zur einheitlichen Visualisierung, Charakterisierung und Bewertung der Energieflexibilität. Ein Bericht bzw. „Short Manual“ liegt dem Tool bei, der ebendort heruntergeladen werden kann. Er enthält ein kurzes Handbuch zur Verwendung des Tools und einen Überblick über die Berechnungsmethode.

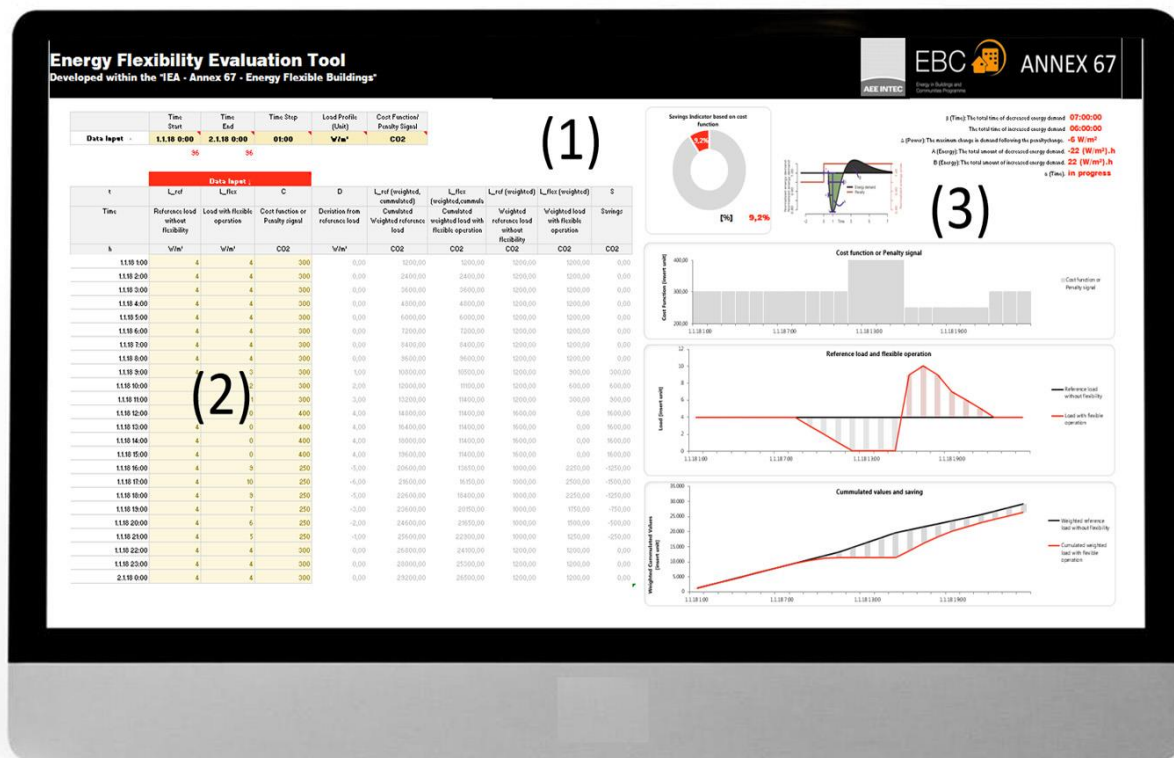


Abbildung 6 Energy Flexibility Evaluation Tool (FET) - Übersicht über die Benutzeroberfläche

Erläuterung der in Abbildung 6 dargestellten Nummern:

- (1) Gesamteingaben für Zeitspanne, Zeitschritte, Kostenfunktion / penalty signal und Einheiten
- (2) Eingabedaten über ein Gebäudelastprofil, ein flexibles Lastprofil und eine Kostenfunktion basierend auf den Zeitschritten, der Zeitspanne und den Einheiten
- (3) Bewertungsdiagramme und Charakterisierung

Dieses Excel-Tool verwendet als Eingabe die Zeitreihendaten für:

- penalty signal
- Referenzlastprofil
- Lastprofil mit flexiblem Betrieb

Basierend auf diesen Zeitreihendaten werden einige Eigenschaften der Flexibilitätsfunktion aus Abbildung 6 dargestellt. Ein Excel-Blatt wurde hinzugefügt, um die Randbedingungen und Systemeigenschaften zu dokumentieren, die während des Flexibilitätsbewertungsprozesses verwendet wurden. Da die Energieflexibilität bei den meisten Systemen stark von - oft zeitlich variierenden - Randbedingungen abhängt, werden in diesem Blatt Zeitreihen eingegeben, um die Randbedingungen einheitlich und eindeutig zu dokumentieren.

Die Vorteile des Tools:

- Bewertet die Energieflexibilität in verschiedenen Zeitschritten, Zeitspannen, Kostenfunktionen auf der Grundlage eines Referenzlastprofils, eines Lastprofils mit flexiblem Betrieb und einer penalty signal- / Kostenfunktion (Abbildung 6).
- Enthält eine reduzierte Anzahl von Bewertungskriterien und -indikatoren für die Energieflexibilität
- Bietet eine Möglichkeit, die Ergebnisse von Simulationen und Messdaten zu vergleichen

5.1.3. Beispiel für die Evaluierung der Methodologie

Im Annex 67 wurden insgesamt vier „Common Exercises“ als Gemeinschaftsarbeit an Simulationsbeispielen zur Überprüfung von Indikatoren und Methodik der Charakterisierung aus dem Annex 67 durchgeführt. An 2 dieser Testreihen beteiligte sich auch AEE INTEC. Im Folgenden wird ein Beispiel der Ergebnisse aus einer solchen Aufgabestellung für eine Simulationsreihe gezeigt, Ergebnisse aus „Common Exercise“ Nummer 4.

Einfluss der Periodizität und aufeinanderfolgender Ereignisse auf die Flexibilitätsfunktion

A. Detaillierte wissenschaftliche Fragestellung

Der direkte Simulationsansatz wird basierend auf der Antwort auf eine einzelne Sprungänderung im penalty signal formuliert. In der Praxis ist zu erwarten, dass bei aufeinanderfolgenden Ereignissen (einige Male im Jahr bis ein paar Mal pro Stunde) oder sogar kontinuierlich Flexibilität gefordert wird.

Inwieweit können die Ergebnisse für den Einzelereignis-Direktsimulationsprozess auf die Flexibilität bei aufeinander folgenden Ereignissen übertragen werden?

B. Analyse

Es wurde eine Analyse durchgeführt, um den Einfluss von Periodizität und Folgeereignissen auf die Energieflexibilität einer Heizungsanlage zu bestimmen. Der Referenzfall für die Analyse ist ein Einzelraummodell mit einem rechteckigen Grundriss und einem Referenzfenster mit den Maßen 125 × 150 cm nach Süden orientiert. Tabelle 3 zeigt die Details des Referenzmodells.

Es wird durch einen stationären Ansatz berechnet, wobei Randbedingungen wie Außentemperatur und innere Lasten zeitlich konstant eingestellt werden. Ein ideales Heizsystem von IDA ICE [9] dient zur Konditionierung des Einzelraummodells. Für die Zwecke der Sensitivitätsanalyse hat das Heizsystem keinen bestimmten physikalischen Standort. Die Standardkapazität des idealen Heizgeräts ist groß genug, um den Raum unter extrem kalten Bedingungen zu heizen. Die Innenraumbetriebstemperatur wird in einem Bereich von 22°C bis 20°C gemäß den Komfortgrenzen von EN 15251, Kategorie II [10] eingestellt. Ein PI-Regler hält die Betriebstemperatur auf den Heizsollwerten.

Tabelle 3 *Eigenschaften des stationären Einzelraummodells des Referenzfalls*

Parameter	Wert	Einheit
Grundfläche	25	m ²
U-Werte	Außenwand	0.35
	Fenster	1.4
Infiltrationsrate	0.4	1/h
Außentemperatur	0 (konstant)	°C
Wärmedurchgangskoeffizient Hülle	0.65	W/m ² K
Innenwände	Adiabatisch	
Interne Gewinne	Keine	
Solare Gewinne	Keine	
Heizungsverteilung	Radiatoren	
Primärkonstruktion und Wärmekapazität	Ziegelkonstruktion, Spez. Wärmekapazität = 132 Wh/m ² K	
Thermischer Komfort	Operative Temperatur zwischen 22° und 20°C	

Es wurde eine Analyse durchgeführt, um den Einfluss von Periodizität und Folgeereignissen auf das energetische Flexibilitätspotential einer Heizungsanlage zu bestimmen. Anstatt die Heizungsanlage einmal auszuschalten - zum Zeitpunkt Null - wird alle 6 Stunden ein Signal zum Ausschalten der Anlage gegeben. Dies geschieht, um die Auswirkung aufeinanderfolgender Ereignisse zu testen.

Auch wenn die Operative Temperatur von 22 °C nach dem Aufheizen erreicht ist, werden die thermischen Massen vor dem nächsten Abkühlvorgang nicht voll beladen und die etwas höhere Lufttemperatur gleicht die niedrigeren Temperaturen der umgebenden Flächen aus. Dies bedeutet,

dass das Simulationsmodell kein vollständig stationäres System ist - es lässt nicht zu, dass sich die thermische Masse in den Aufheizzeiten vollständig auflädt (siehe Abbildung 7).

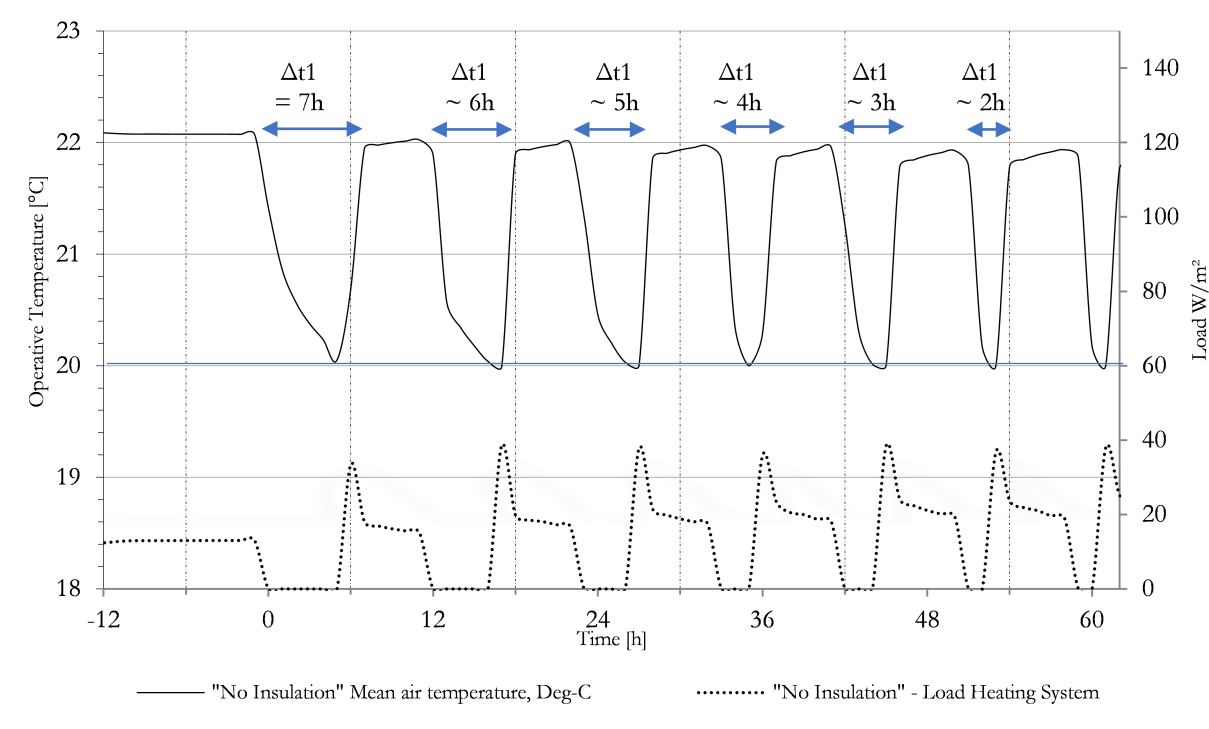


Abbildung 7 Periodizität und aufeinanderfolgende Ereignisse, die das Heizsystem im Einzelraummodell alle sechs Stunden ausschalten (Quelle: T. Weiss [11])

Im Vergleich zum ersten Ereignis ab Zeitpunkt Null, sinkt die Abkühlzeit konstant um ungefähr 1 Stunde gegenüber dem vorherigen Ereignis, wenn die Heizungsanlage alle sechs Stunden nach einem Signal abgeschaltet wird. Dies reduziert die Zeitspanne Δt_1 am Ende des Simulationszeitraums auf 2 Stunden, wie in Abbildung 7 zu sehen ist.

Andererseits, wenn einzelne Aktivierungen nur einmal pro Tag durchgeführt werden, dann kann sich die Speichermasse vollständig beladen / entladen und es sind kaum Unterschiede in der Zeitspanne Δt_1 für die wiederkehrenden Ereignisse zu finden (Abbildung 8).

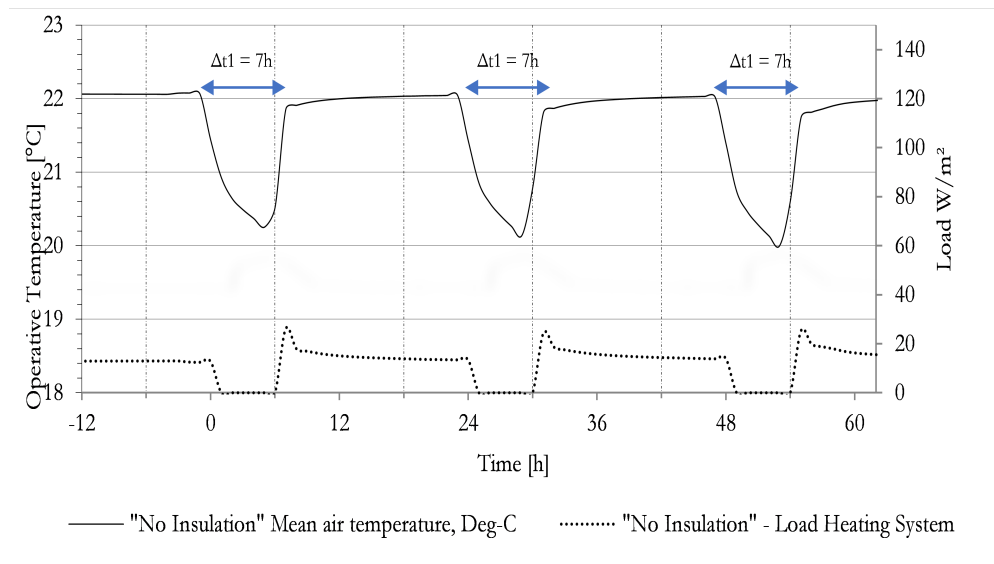


Abbildung 8 Periodizität und aufeinanderfolgende Ereignisse, die das Heizsystem im Einzelraummodell alle 24 Stunden ausschalten (Quelle: T. Weiss [11])

5.2. Energie-Flexibilitäts-Potenziale von Gebäudetypen und Speichertechnologien

Die Zukunft der Energieversorgung gehört den **fluktuierenden Erneuerbaren Energien** und bringt Herausforderungen für die Energienetze. Nach der Erneuerbare-Energien-Richtlinie muss die EU bis 2020 mindestens 20% ihres gesamten Energiebedarfs mit erneuerbaren Energiequellen decken [12], bis 2030 sollen zumindest 27% gedeckt werden. Die Schwankungen des Energieangebots rein mit Hilfe von Spitzenkraftwerken und großen Speichern auszugleichen ist kostenintensiv. Die den Gebäuden innewohnende Energie-Flexibilität kann zur Stabilisierung der Energienetze, und zwar Strom- UND Wärmenetze, genutzt werden, indem ihr Energiebedarf durch intelligente Nutzung und Regelung zeitlich verschoben werden kann. Dadurch wird eine größere Marktdurchdringung der erneuerbaren Energiequellen ermöglicht.

Die **Raumwärme** ist für etwa 45% des gesamten Energiebedarfs der Haushalte in Österreich verantwortlich [13]. Zur Quantifizierung der Energieflexibilität von Gebäudelasten schlagen Six et al. vor, die Anzahl der Stunden zu berechnen, die das Energiesystem verzögert betrieben werden kann [14]. In Übereinstimmung damit ist die Definition von Flexibilität als "die maximale Zeit, die eine bestimmte Stromentnahme zu einem bestimmten Zeitpunkt des Tages verzögert oder zusätzlich in Anspruch genommen werden kann" [15]. Um noch präziser zu sein, wird Flexibilität bei thermischen Wärmelasten auch definiert als "die Fähigkeit, vom thermischen Referenzlastprofil abzuweichen" [16].

Thermische Lasten von Wohngebäuden könnten in Abhängigkeit der Regelungsstrategien und spezifischen Heizsysteme verschoben werden, um die Flexibilität im gesamten Energiesystem zu erhöhen [17]. **Lastmanagement**-Maßnahmen verringern aber nicht notwendigerweise den

Energieverbrauch, sondern werden zur Stabilisierung der Energienetze und zur besseren Integration erneuerbarer Energiequellen und damit zur Reduktion von CO₂-Emissionen genutzt. Sie stehen damit manchmal im Widerspruch zur Maximierung der Energieeffizienz jedes einzelnen Gebäudes.

Es gibt jedoch derzeit keinen umfassenden Überblick darüber, wie viel Energieflexibilität in verschiedenen Wohngebäudetypen verfügbar ist. Dieser Kurzbericht gibt einen Überblick über die **thermische Flexibilität der vier wichtigsten Wohngebäudetypen** in Österreich mit unterschiedlichen Hüllqualitäten, Bauformen und Heizsystemen.

Es gibt mehrere Methoden, Heizenergie innerhalb der Gebäudehülle zu speichern, die als **aktive und passive Speichersysteme** klassifiziert werden können. Für die passive Speicherung wird die wirksame Speicherkapazität der Gebäudekonstruktion genutzt, diese hängt von der Dämmung und der Konstruktion ab [18][19]. Batterien oder Pufferspeicher gelten als aktive Speichersysteme [20]. Insbesondere in Bestandsgebäuden steht ein großes passives Speicherpotential zur Verfügung, das noch kaum für Lastmanagementmaßnahmen genutzt wird. Dieser Bericht versucht, Speicherpotentiale abzuschätzen.

5.2.1. Potential verschiedener Gebäudetypologien

Methode

Dynamische Gebäudesimulation in IDA ICE wird verwendet, um das Potential vier verschiedener Gebäudetypologien zu bewerten, und Heizlasten weg von Spitzenbedarfszeiten zu verschieben. Die zeitliche Verschiebung der Heizlasten wird in verschiedenen österreichischen TABULA-Gebäudetypen [21] unter der Aufrechterhaltung eines gewissen Komfortbands für die BewohnerInnen untersucht.

Im IEA EBC Annex 67 allgemein und auch in diesem Bericht speziell wird die Energieflexibilität als "die Fähigkeit, vom Referenzprofil der Gebäude-Wärmelasten abzuweichen" definiert. Die Energieflexibilität wird als Leistung W/m² (BGF) oder Energie kWh dargestellt, die über einen Zeitraum - als Reaktion auf ein externes Signal („penalty signal“) - verschoben, erhöht oder verringert werden kann, ohne den Raumkomfort zu beeinträchtigen.

Zunächst wird ein "Baseline-Profil" bzw. Referenz-Szenario für das Heizen angenommen – im Gegensatz zum flexiblen Energieprofil, das auf verzögerten oder anders gestalteten Lasten basiert. Wenn zum Beispiel die Raumheizung an der oberen Grenze der Raumkomforttemperatur ausgeschaltet wird, bleibt die Innentemperatur für eine bestimmte Zeit in der Komfortzone, abhängig vom Gebäudetyp und Dämmstandard [22]. Δt bezeichnet die Zeitspanne, in der die Temperatur von der oberen Komfortgrenze auf die untere Komfortgrenze gefallen ist (ΔT [°C]). Weitere wichtige Definitionen sind in Abbildung 9 erläutert.

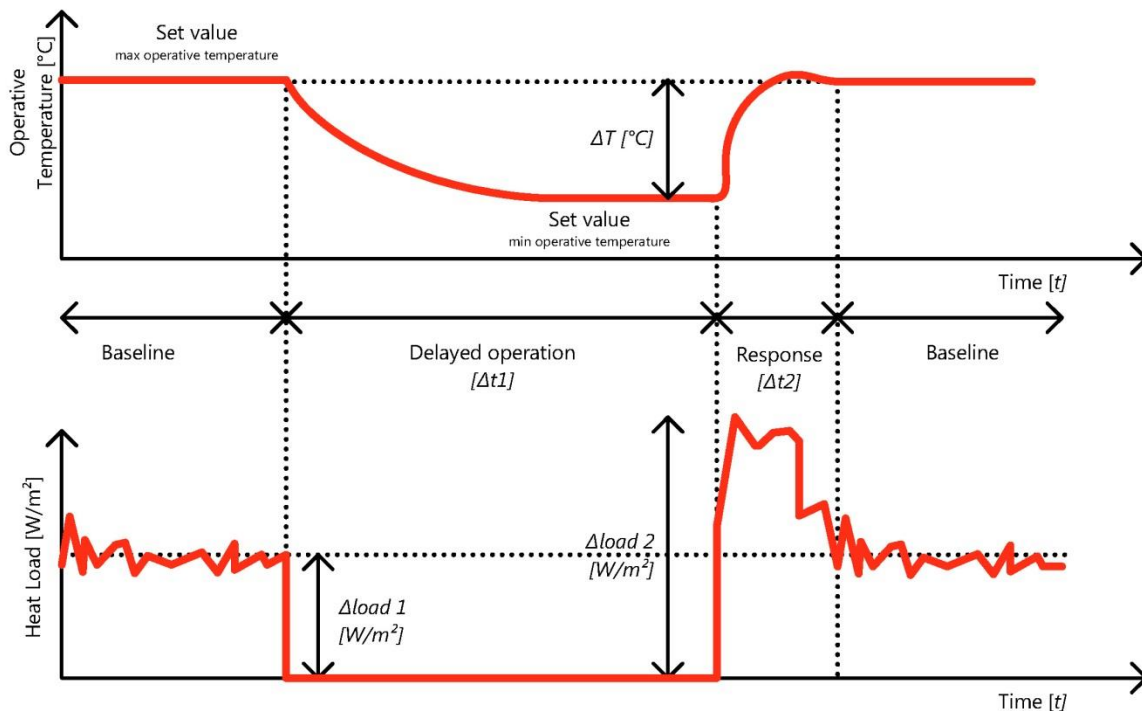


Abbildung 9 Oben: Bedarfseitige Regelung der operativen Temperatur, unten: entsprechender Verlauf der zugehörigen Wärmelast - Darstellung der Abkühlkurve [verzögerter Betrieb - Δt_1] und Aufheizzeit [Reaktion - Δt_2], Darstellung: T. Weiss basierend auf [22]

Die Abkühlzeit (Δt_1) und Aufheizzeit (Δt_2), in der die Raumtemperatur den oberen oder unteren Temperatursollwert erreicht, variiert je nach Gebäudetyp und Gebäudehüllenqualität, der Wärmespeicherkapazität und den Eigenschaften des Heizsystems. Die Zeitspanne zwischen dem Beginn des Abkühlvorgangs und dem Ende des Aufheizvorgangs ist als das tatsächlich erforderliche Lastverschiebungszeitintervall definiert und entspricht der Summe von Δt_1 und Δt_2 .

Modellierung Einzelraummodell

Um den Einfluss von Gebäudeparametern auf die Speicherkapazität von Gebäuden zu ermitteln, dargestellt durch die maximale verzögerte Betriebszeit Δt_1 , wurden in IDA ICE vereinfachte dynamische Simulationen durchgeführt.

Basierend auf Literaturrecherchen und Voruntersuchungen in anderen Studien [23] [24] [17] wurde folgende Parameterauswahl getroffen:

- Gebäudehülle (Dämmstandard)
- Wärmespeicherkapazität (schwere, mittlere und leichte Konstruktion)
- Wärmeverteilungssystem (Heizkörper, Bauteilaktivierung)

Auch wenn Parameter wie Oberfläche-Volumen-Verhältnisse, Luftinfiltrationsraten, Orientierung, Windbelastung, Wärmebrücken und Eigenschaften transparenter Bauteile ebenfalls berücksichtigt wurden, erwiesen sich diese drei Parameter als die signifikantesten.

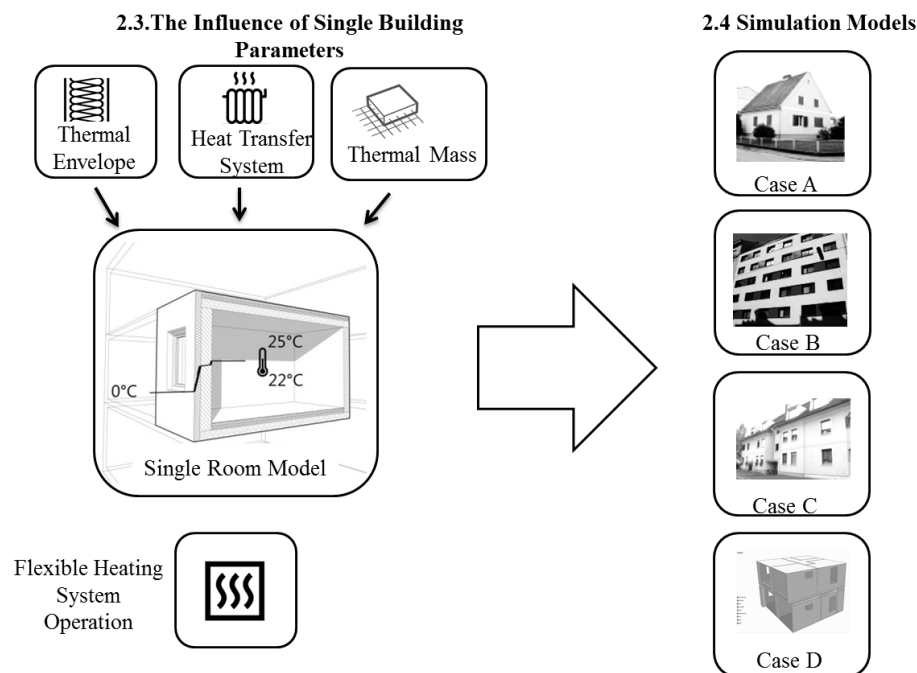
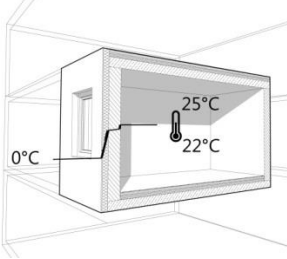


Abbildung 10 Vereinfachte Übersicht des Simulationsansatzes

Die Simulationen basieren auf einem Einzelraummodell mit einem rechteckigen Grundriss und einem Fenster nach Süden. Zunächst wird ein Referenzfall (Tabelle 4) nach der aktuellen österreichischen OIB-Richtlinie [24] definiert. Verschiedene Randbedingungen sind zeitlich konstant eingestellt, z.B. Außentemperatur (0°C), Sonneneinstrahlung und interne Lasten. Die Simulationen bauen auf einem stationären Zustand mit einer konstanten Betriebstemperatur, die von einem idealen Heizsystem bereitgestellt wird. Abbildung 11 zeigt, wie sich Änderungen der strukturellen und technischen Parameter auf das Lastverschiebungspotential des Referenzmodells auswirken.

Die Parameterevaluation erfolgt durch Ermittlung der jeweiligen Ein- und Ausschaltzeiten in Bezug auf die Komfortgrenzen der EN 15251, Kategorie II [10] in einer Winterwoche. Außerdem wird die Heizleistung berechnet, die zu- oder ausgeschaltet werden kann. Das relevante Lastverschiebungspotential wird dann bestimmt, indem die Leistung über die Dauer integriert wird.

Tabelle 4 Referenz-Raumausstattung und -Parameter für die Simulationen

Referenz		Referenzfläche:	25 m ²
		U-Wert Außenwand	1,40W/m ² K
Szenario		U-Wert Windows	2,30 W/m ² K
		U-Wert Dach	0,50 W/m ² K
		Innenwände	Adiabatisch
		Außentemperatur	0°C
		Operative Temperatur	22°C
		Interne Gewinne	No
		Solargewinne	No
	Infiltrationsverluste	0.4 1/h	

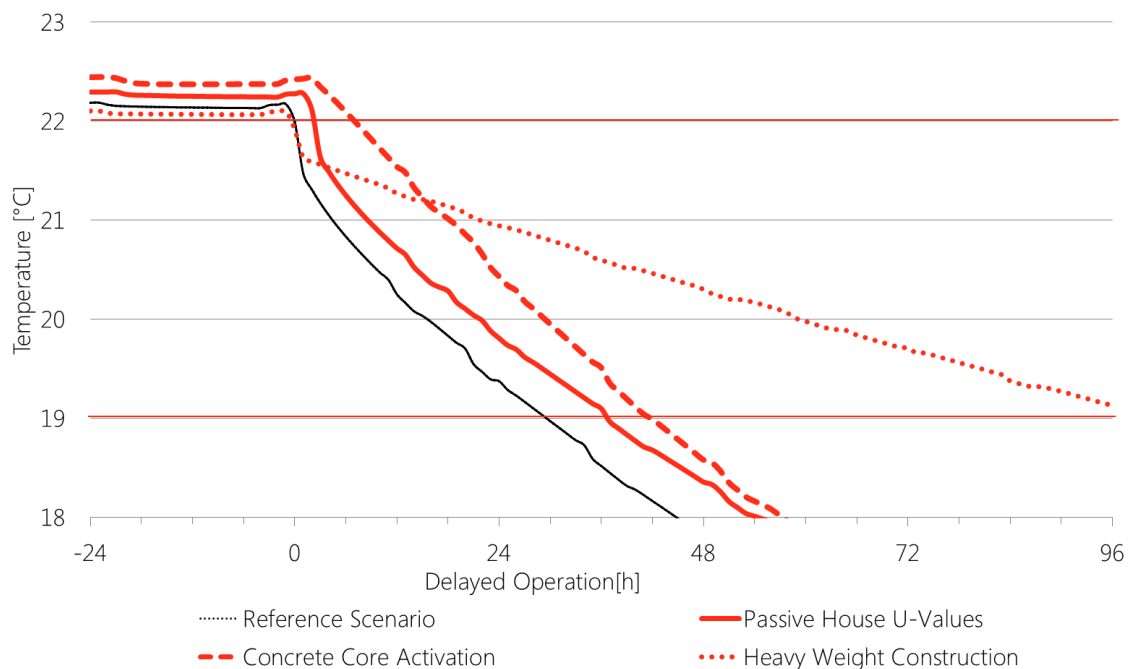


Abbildung 11 Abkühlzeiten des stationären Einraummodells bei verschiedenen Hüllszenarien - verzögerter Betrieb (Δt_1)

Abbildung 11 zeigt, wie das Einraummodell bei verschiedenen angenommenen Hüllqualitäten und Konstruktionen auf das Abschalten der Raumheizung reagiert. Die y-Achse des Diagramms ist auf den typischen saisonalen Innenraum-Komfortbereich von 19-22°C skaliert.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Es ist zu sehen, dass mit schweren Konstruktionen und Betonkernaktivierungs-Heizsystemen die Fähigkeit, Wärme im Laufe der Zeit zu speichern, drastisch höher ist als in einem Standardhaus. Speichermasse, Betonkernaktivierung und hochgedämmte Gebäudehüllen sind signifikant, um das Potential für Lastverschiebung zu erhöhen.

Tabelle 5 Verzögerter Betrieb bei Veränderung von unten angeführten Parametern des stationären Einzelraummodells

Parameter	Verzögerter Betrieb Δt_1 [h]	Verschiebbare Heizlast [W/m ²]
Referenzszenario [22°Setp.]	29	13
Referenzszenario [25°Setp.]	59	16
Passivhaus U-Werte [22°Setp.]	37	11
Passivhaus U-Werte [25°Setp.]	70	14
Bauteilaktivierung [22°Setp.]	42	13
Bauteilaktivierung [25°Setp.]	73	15
Schwere Konstruktion [22°Setp.]	102	13
Schwere Konstruktion [25°Setp.]	188	15
Ungedämmte Ziegelwand [22°Setp.]	17	18
Ungedämmte Ziegelwand [25°Setp.]	39	20

Modellierung repräsentativer Bautypologien

Die Berechnung von Lastmanagementpotenzialen für verschiedene Gebäudetypen erfolgte mit dem TABULA [21]- Datensatz und realen Wetterbedingungen (Grazer Testreferenzjahr aus dem ASHRAE - Fundamentals 2013 – Abbildung 12). In IDA ICE [26] wurden vier verschiedene detaillierte Gebäudemodelle aus verschiedenen Baujahren und mit steuerbaren HLK-Systemen mit Demand-Response-Betrieb und definiertem NutzerInnenverhalten modelliert (Tabelle 6). Die Lüftung plus Infiltration entspricht 0,4-fachem Luftwechsel pro Stunde, um eine ausreichende Lüfterneuerung zu gewährleisten.

Tabelle 6 Vier repräsentative Bautypologien in Österreich, basierend auf der TABULA-Datenbank [21]

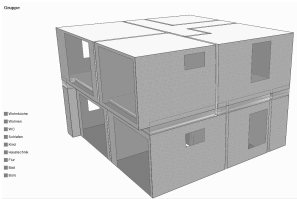
[A]		<p>Gebäudekategorie: Einfamilienhaus Tabula Code: ATN.SF.3.Gen Baualtersklasse: 1945 – 1960 Brutto-Grundfläche: 198 m² Heizwärmebedarf: 134 kWh/m²a U-Wert Außenwand: 1,40 W/m²K U-Wert Fenster: 2,30 W/m²K U-Wert Dach: 0,50 W/m²K</p>
[B]		<p>Gebäudekategorie: Mehrfamilienhaus Tabula Code: ATN.MFH.5.Gen Baualtersklasse: 1981 – 1990 Brutto-Grundfläche: 590 m² Heizwärmebedarf: 90 kWh/m²a U-Wert Außenwand: 0,60 W/m²K U-Wert Fenster: 2,50 W/m²K U-Wert Dach: 0,44 W/m²K</p>

[C]



Gebäudekategorie:	Mehrgeschoßige Wohnbauten
Tabula Code:	ATN.AB.8.Gen
Baualtersklasse:	2010 -
Brutto-Grundfläche:	906 m ²
Heizwärmebedarf:	47,8 kWh/m ² a
U-Wert Außenwand	0,30 W/m ² K
U-Wert Fenster	1,40 W/m ² K
U-Wert Dach	0,40 W/m ² K

[D]



Gebäudekategorie:	Einfamilienhaus
Tabula Code:	Keiner
Baualtersklasse:	2020 -
Brutto-Grundfläche:	138 m ²
Heizwärmebedarf:	12,1 kWh/m ² a
U-Wert Außenwand	0,10 W/m ² K
U-Wert Fenster	0,60 W/m ² K
U-Wert Dach	0,10 W/m ² K

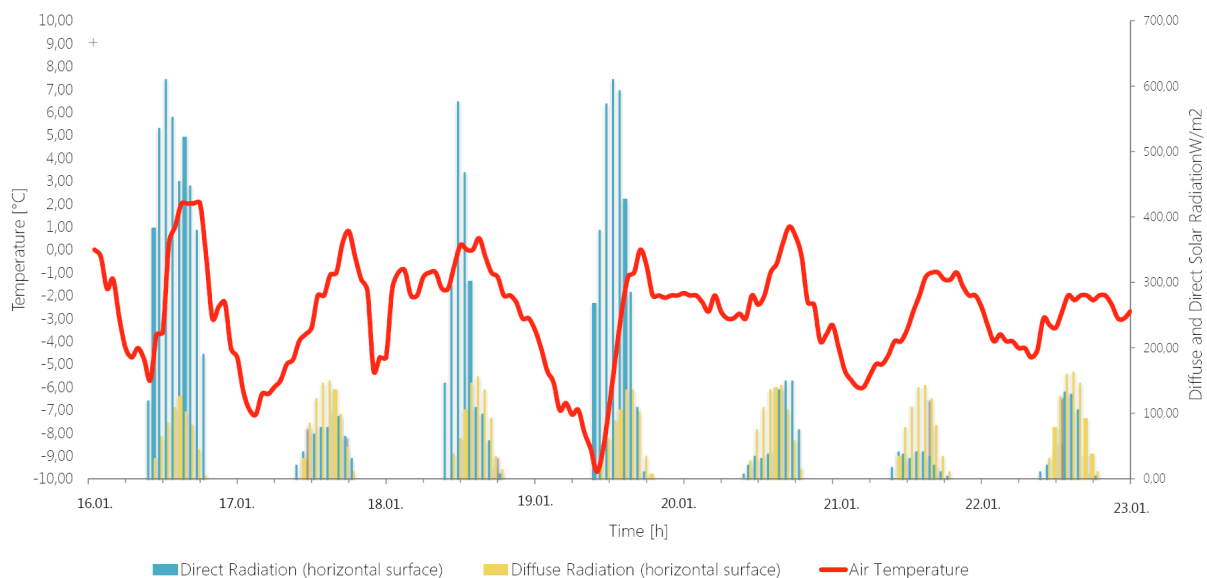


Abbildung 12 Klimadiagramm der gewählten Referenzwoche 16. Jänner bis 23. Jänner, Graz [26]

Ergebnisse und Diskussion

Im ersten Abschnitt werden Lastverschiebungspotentiale für allgemeine Bautypologien in Österreich dargestellt. Der zweite Teil des Abschnitts analysiert das Aufheizverhalten, das durch die Reaktion des Heizsystems (Δt_2) bestimmt wird.

Verzögerter Betrieb – Abkühlkurven

Simulationen der vier typischen Bautypen wurden zunächst für eine charakteristische Winterwoche, siehe Abbildung 12, durchgeführt, mit einem Simulationszeitschritt von 10 Minuten. Zusätzlich wurden Simulationen für eine Woche im März durchgeführt. Während der Arbeitstage ist das Gebäude von 8.00 bis 17.00 Uhr nicht besetzt. Jede/r BewohnerIn leistet 80 W. Es gibt auch interne Gewinne von Geräten während der Anwesenheitsstunden. Der verzögerte Betrieb ist definiert als

der Zeitraum vom Abschalten des Heizsystems bei einer Solltemperatur von 22°C bis zum Wiedereinschalten, wenn die Betriebstemperatur unter die Komfortgrenze von 19°C fällt.

Es ist zu beachten, dass die schaltbaren Heizlasten zeitlich nicht konstant sind. Zum Beispiel nimmt die Heizlast in Zeiten mit internen Wärmegewinnen und passiven solaren Gewinnen ab, was zu längeren verzögerten Betriebszeiten führt, insbesondere für Gebäude mit einem hohen Energieeffizienz-Standard. Altbauten, die in den Simulationsmodellen [A, B] dargestellt sind, haben im Gegensatz zu Neu- und sehr energieeffizienten Gebäuden [C, D] aufgrund des niedrigeren Dämmstandards eine höhere Heizlast. Dies führt auch zu kürzeren verzögerten Betriebszeiten, wie in Abbildung 13 zu sehen ist. Auf der anderen Seite führen Modelle von gut gedämmten Gebäuden zu hohen verzögerten Betriebszeiten und zeigen somit die Fähigkeit moderner Gebäude, Wärme über längere Zeiträume zu halten.

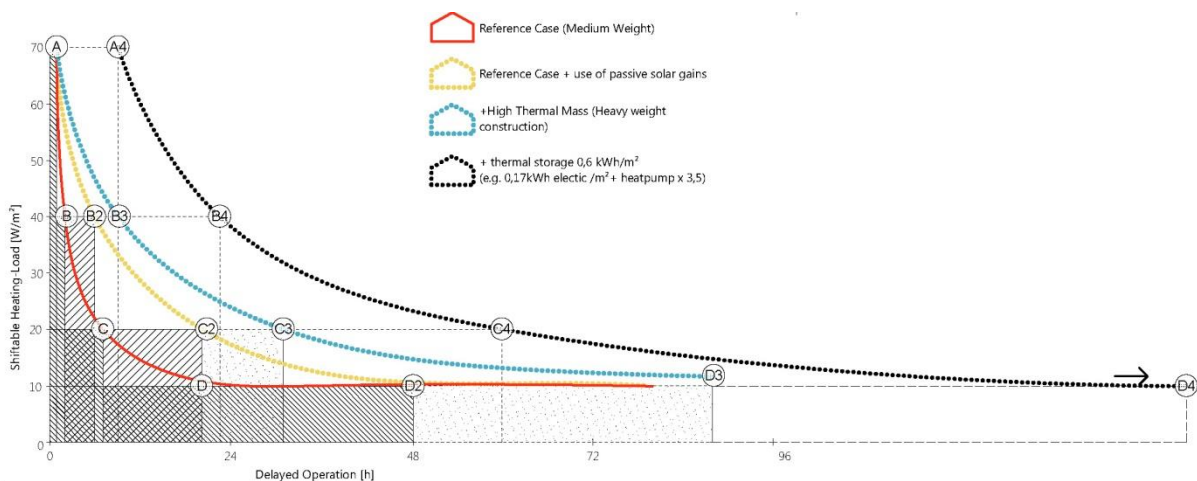


Abbildung 13 Leistungskurven („Abkühlkurven“) der 4 österreichischen Referenz-Gebäudetypen und deren Optimierungsschritte 2-4, die das Potential einer verschiebbaren Wärmeleistung im zeitverzögerten Betrieb (Δt_1) aufzeigen



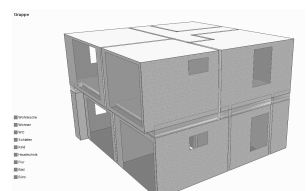
[A]



[B]



[C]



[D]

In Optimierungsschritten zur Erhöhung der verzögerten Betriebszeiten wird die konditionierte Speichermasse durch den Wechsel aller Bauteile auf Beton aufgewertet. Zusätzlich werden Batteriespeicher im Ausmaß von 0,17 kWh/m² oder bei nicht elektrisch betriebenen Heizsystemen mit thermischem Pufferspeicher von 0,6 kWh/m² (Brutto-Grundfläche) hinzugefügt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Last bei niedriger oder mittlerer thermischer Hüllqualität nur kurze Zeit zu verschieben ist, zusätzliche Speichermassen oder Speicher signifikant höheren verzögerten

Betrieb möglich macht. Eine Batteriekapazität von 0,17 kWh/m² Brutto-Grundfläche in Kombination mit einer Erdwärmepumpe, die bei COP 3,5 betrieben wird, oder einem Pufferspeicher mit einer Kapazität von 0,6 kWh/m² kann die Lastdauer drastisch verlängern. Diese Kapazitäten repräsentieren einen 70-kWh-Wärmespeicher oder 20 kWh-elektrischen Speicher für ein typisches Einfamilienhaus in Österreich. Wie in Abbildung 13 gezeigt, können die Lastdauerkurven um 14 Stunden von Fall B, 28h in Fall C und über 56h in Fall D in Bezug auf den Fall von hoher thermischer Masse verlängert werden.

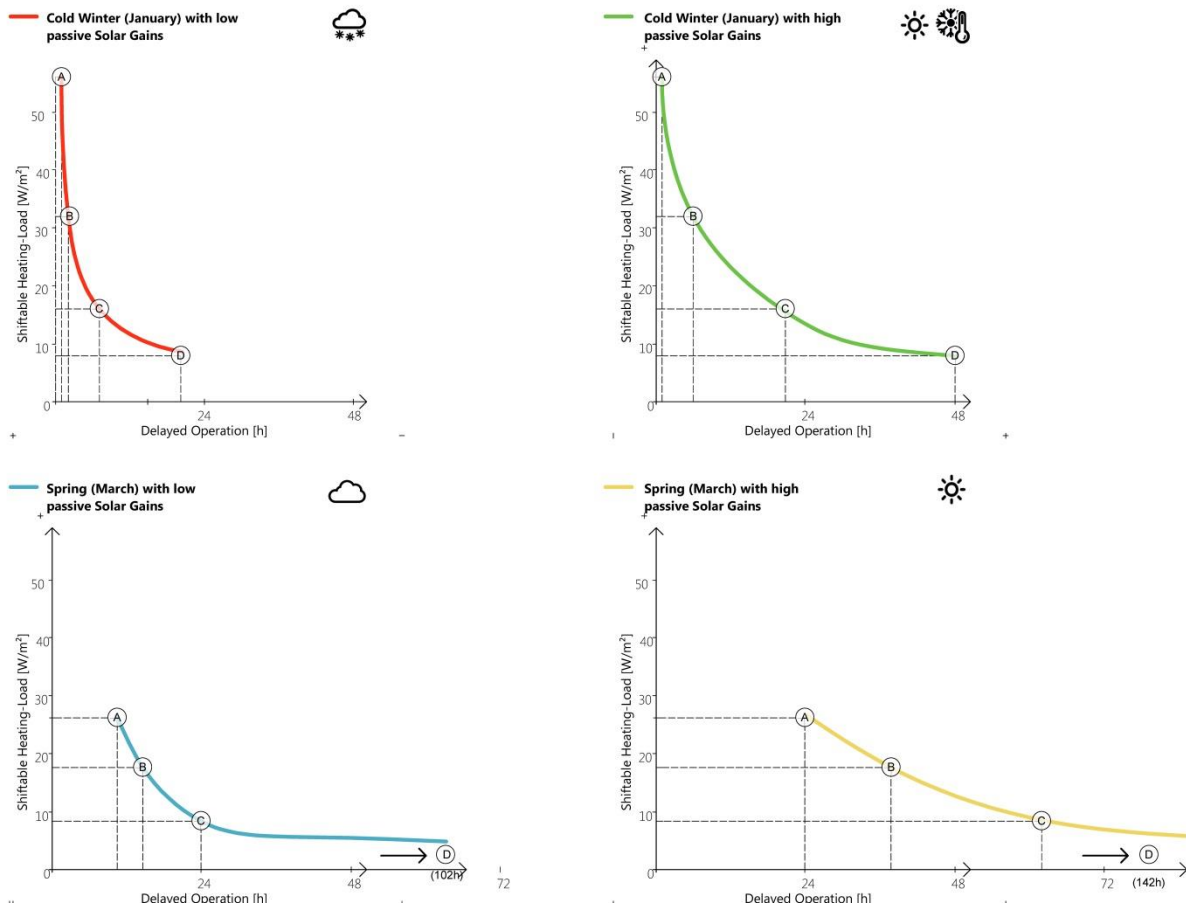


Abbildung 14 Energie-Flexibilität in Abhängigkeit von der Jahreszeit und den passiven solaren Gewinnen für eine charakteristische Woche im Winter, 16. - 23. Jänner, und im Frühling, 16. - 23. März

In der Frühjahrssaison ist der Bedarf an Raumheizung geringer und die Tabula-Gebäude bieten mehr Flexibilität. Im März können sogar Altbauten [A, B] mindestens die dreifache „Flexibilität“ gegenüber einer kalten Winterwoche im Jänner bieten (Abbildung 14).

Rebound - Aufheizzeit

Nach Lastverschiebungen tritt ein Reboundeffekt auf, indem die Innentemperaturen auf den eingestellten Sollwert zurückgebracht werden. Das führt zu Bedarfsspitzen im Heizbedarf, wenn das Heizsystem am Ende der Lastumschaltzeit auf die Anfangsbedingungen zurückkehrt. Als Ergebnis

führt eine Verringerung der täglichen Spitzenlasten aufgrund eines verzögerten Betriebs zu etwa 2-5% zusätzlicher Wärmelast in der Reaktions- (Aufheiz-) Phase während Δt_2 .

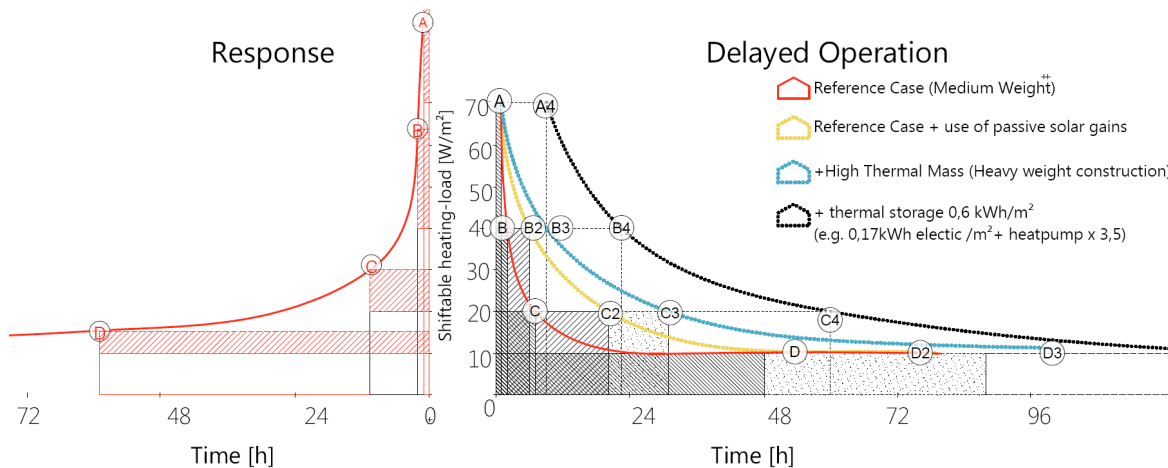


Abbildung 15 Der Rebound-Effekt (Response / Reaktion Δt_2) verschiebbarer Heizlasten nach zeitverzögerten Betrieb (Δt_1)

Die Verschiebung von Wärmelasten reduziert Spitzenbelastungen, kann aber aufgrund des Rebound-Effekts die Gesamtheizlast erhöhen [27]. Das heißt die Lastverschiebungsstrategien können auf Kosten eines größeren Heizenergieeinsatzes abseits der Spitzenlastzeiten (Reaktionszeit - Δt_2) gehen. Dieser durch die Lastverschiebung verursachte Anstieg des Energieverbrauchs (vgl. Abbildung 15) führt in den meisten Fällen zu einem höheren Endenergieverbrauch (2-5%) aufgrund der Abweichung vom „optimalen“ Betrieb des Heizsystems, aber abhängig von der Heizquelle kann dies zu einem viel niedrigeren Primärenergiebedarf und einer niedrigeren CO_2 -Bilanz führen.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

- Altbauten haben im Gegensatz zu Neubauten aufgrund des niedrigeren Dämmstandards eine höhere spezifische Heizlast. Dies führt zu einer höheren verschiebbaren Leistung, aber auch zu einer kürzeren Abschaltdauer bzw. Zeit, die sie z.B. vom Wärmenetz genommen werden können.
- Die Tolerierung einer größeren Abweichung vom Komfortband insbesondere in Abwesenheits-Zeiten kann den verzögerten Betrieb erheblich verlängern.
- Die Gesamtmenge an Wärmeenergie, die verschoben werden kann, hängt weiters stark von der thermischen Qualität der Gebäudehülle und der Jahreszeit ab.
- Eine Erhöhung der Speichermasse / der Wärmekapazität führt zu einem um 20-30% höheren Lastverschiebungspotential

- Mindestens 50% der Heizungsspitzenlasten können in Österreich auch im Jänner für Gebäude mit Baujahr nach 1980 im Komfortbereich der Kategorie II laut EN 15251 [10] außerhalb der Spitzenlastzeiten verschoben werden.
- Durch diese Verschiebung werden Spitzenlasten reduziert, jedoch auf Kosten eines größeren Heizenergieverbrauchs außerhalb der Leistungsspitzen (Reboundeffekt).

5.2.2. Aktive Speicherpotentiale in österreichischen Wohngebäuden

Um Lasten verschieben zu können und Energieflexibilität in Gebäuden zu erreichen, sind - wie weiter oben in den Simulationen an Einzelgebäuden gezeigt – aktive Speicher nützlich. Zur Abschätzung des gesamten Wärmeleistungs-Potentials der aktiven Speicher in Österreich's Wohngebäuden wurde ein statistischer Ansatz gewählt. Denn in Studien wie der zur Kategorisierung von Warmwasserspeichern als Grundlage für die Ökodesign-Anforderung der EU an diese [28] gibt es zwar Zahlen zur Anzahl an verkauften Warmwasserspeichern und -Boilern aber es ist auch keine Zuordnung zu Gebäudetypen möglich.

Ausgehend von der Anzahl der Gebäude in Österreich (Abbildung 16) und den in österreichischen Haushalten verwendeten Heizsystemen wird das Speichervolumen berechnet. 1-2 Wohnung werden weiters als EFH (SFH), > 3 Wohnungen als MFH bezeichnet.

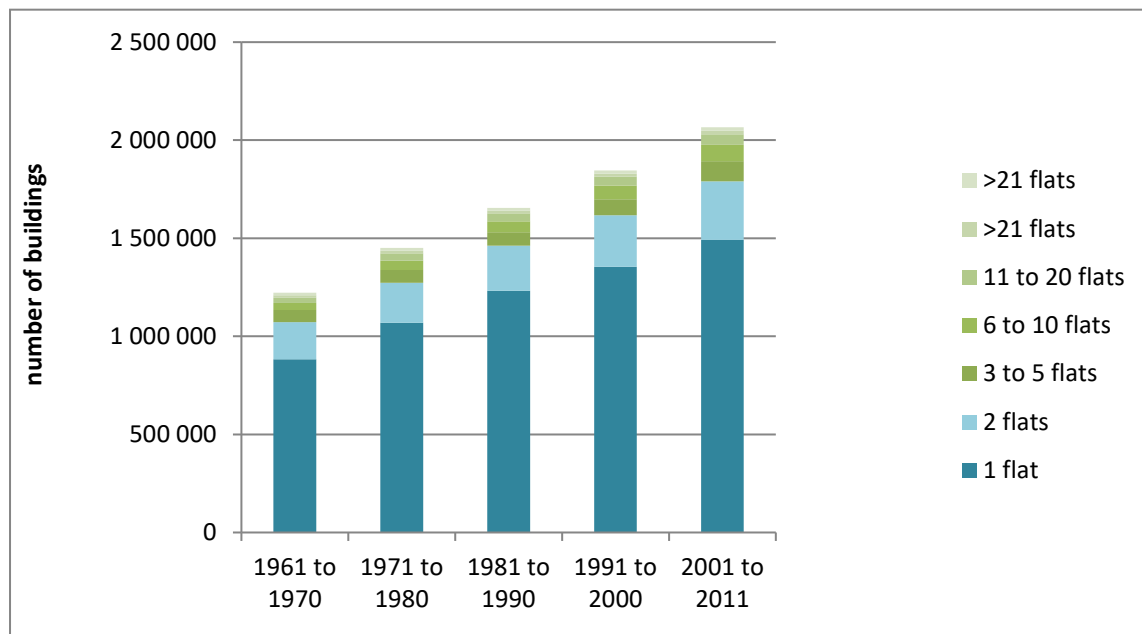


Abbildung 16 Anzahl der Wohngebäude in den jeweiligen Jahrzehnten zwischen 1961 und 2011 kumuliert [29]

Im Durchschnitt sind 1,2 Haushalte (HH) im EFH bzw. 7,3 bis 7,7 Haushalte je nach Periode im MFH untergebracht. Die Abbildung 17 zeigt den prozentuellen Anteil der Energieträger in den Haushalten (EFH+MFH) aller Wohngebäude in Österreich. Von diesen Werten und der durchschnittlichen Anzahl

von HH in EFH und MFH wurde auf den Anteil der Energieträger auf Gebäudeebene geschlossen (siehe auch Abbildung 18 und Abbildung 19).

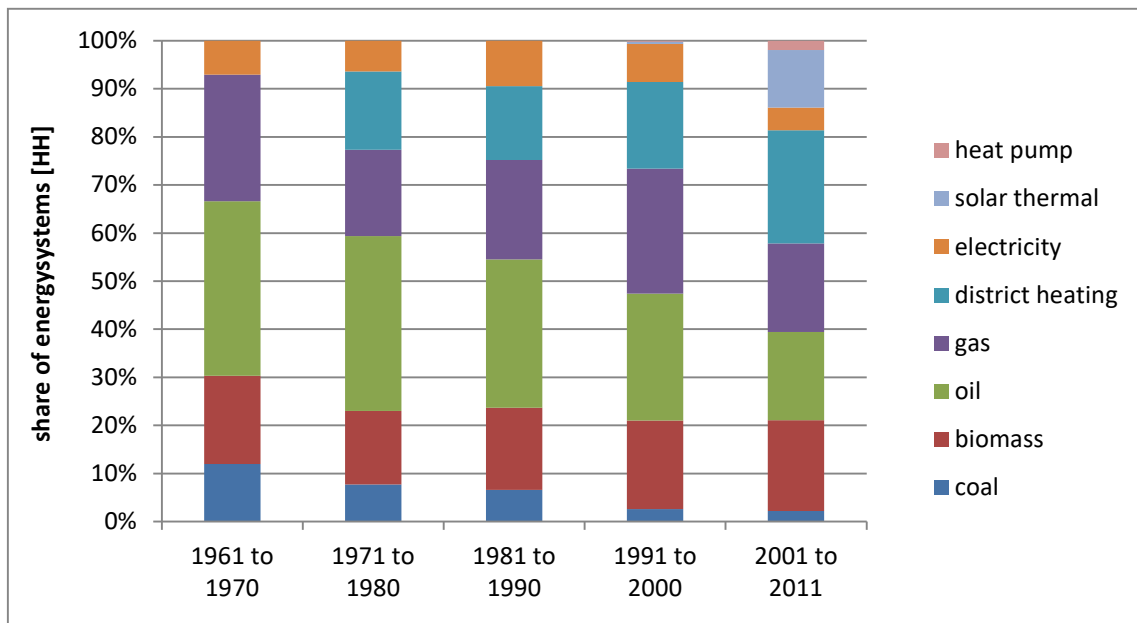


Abbildung 17 Anteil der verschiedenen Energieträger an den Heizsystemen der österreichischen Haushalte (HH)

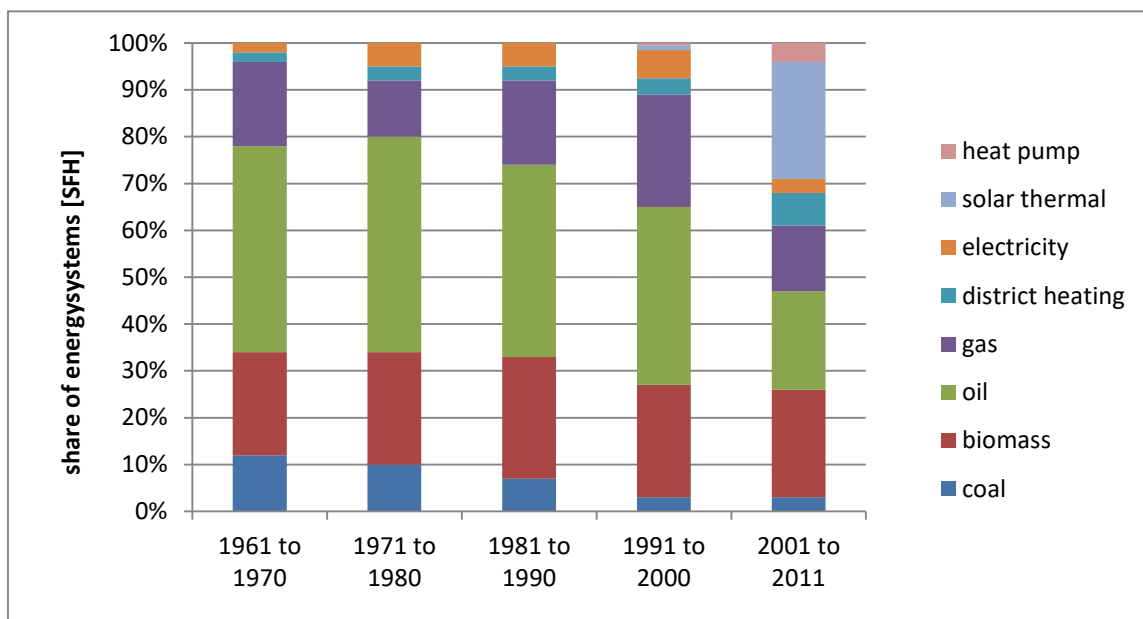


Abbildung 18 Anteil der verschiedenen Energieträger an den Heizsystemen in österreichischen Ein/Zweifamilienhäusern (SFH)

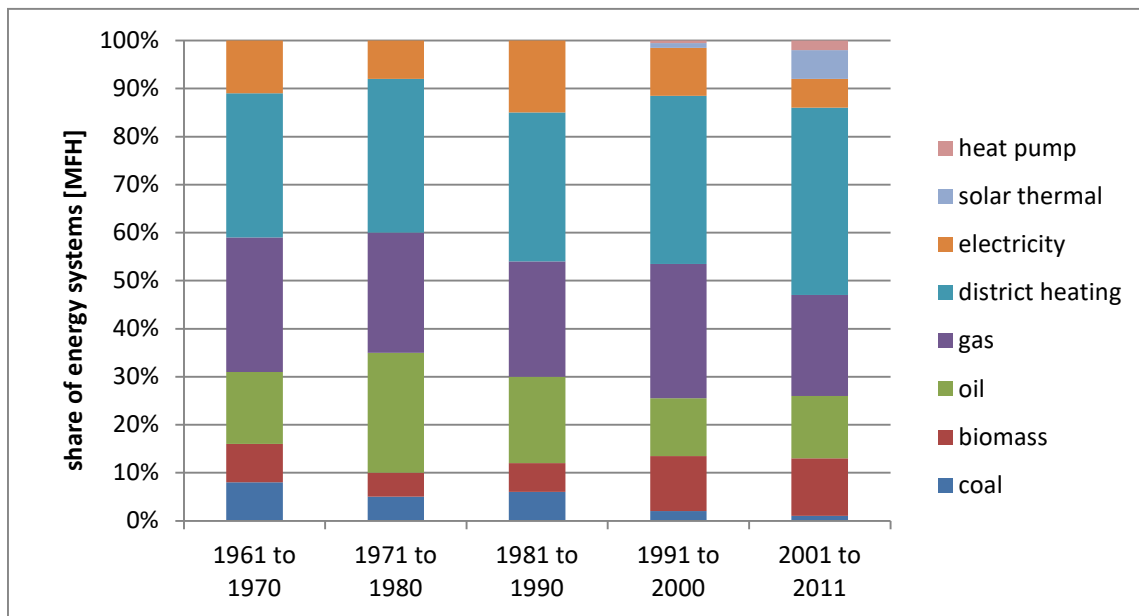


Abbildung 19 Anteil der verschiedenen Energieträger an den Heizsystemen in österreichischen Mehrfamilienhäusern (MFH)

Nachfolgend wurden in Tabelle 7 die Speichervolumina in Liter pro Haushalt (1.2 EFH; ~7.6 MFH) für die Energieträger aus In-House Studien abgeschätzt und festgelegt.

Tabelle 7 Abschätzung der HH-Speichervolumina nach Energieträger für Heizsysteme in Österreich

Energieträger	Speichervolumen/HH	EFH	MFH
Kohle	150	175	1097
Biomasse	150	175	1097
Heizöl	150	175	1097
Gas	30	35	219
Fernwärme	100	117	1097
Strom	120	140	877
Solarthermie (WW)	300	300	2000
Solarthermie (Kombi)	1000	1000	2000
Wärmepumpe	150	175	1097

Basierend auf den Haushalten und den definierten Speichervolumina ergibt sich das zur Verfügung stehende thermische Gesamt-Speichervolumen. Ende 2010 standen daher rund 480.000 m³ Speichervolumen in EFH und rund 240.000 m³ Speichervolumen in MFH bereit (vergleiche Abbildung 20).

Wird angenommen, dass in etwa eine Temperaturdifferenz ΔT von 40°K pro Speicher genutzt werden kann, dann würde eine potentielle Energiemenge von etwa 33,495 MWh zur Lastverschiebung zur Verfügung stehen. Das sind zwar nur 0,05% der jährlich in österreichischen Haushalten verbrauchten Energiemenge [30]. Sie steht aber innerhalb weniger Stunden bereit.

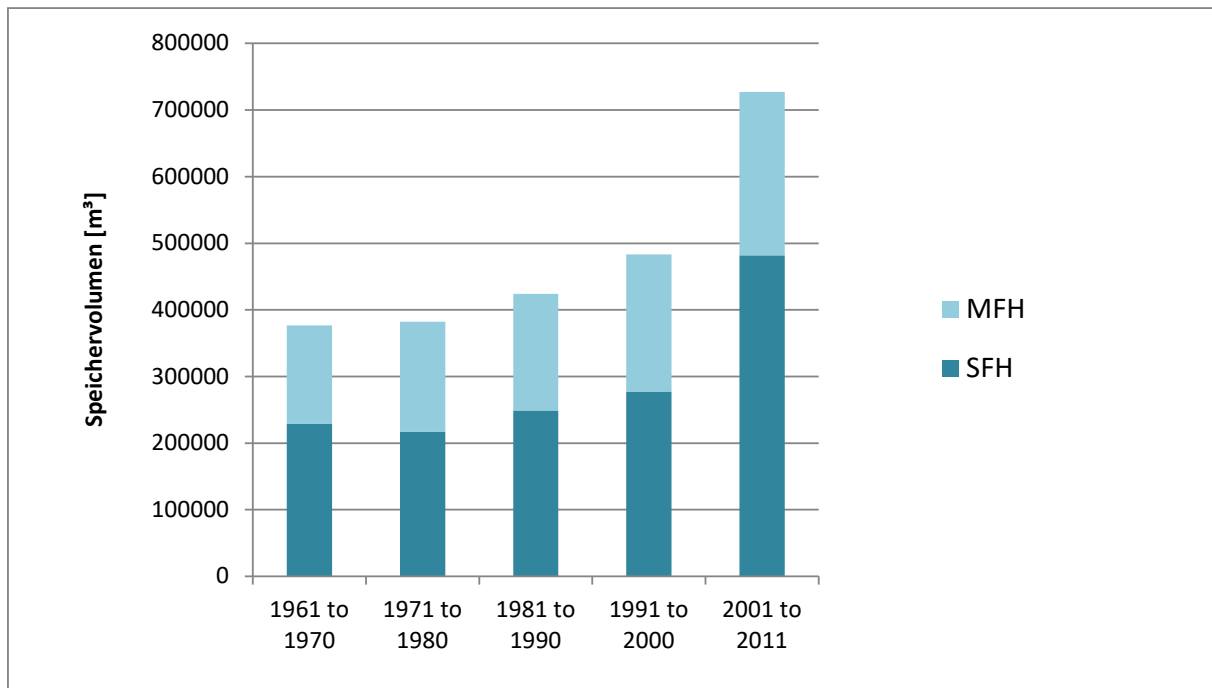


Abbildung 20 Abgeschätztes Speichervolumen in österreichischen Wohngebäuden, Entwicklung bis 2011

5.3. Energie-Flexibilitäts-Potenziale und Strategien von Automationssystemen

Die Gebäudeautomation ist Teil der Flexibilisierung von Smart Grids und deren Infrastruktur, wenn der Sektor „Customer Premises“ in den Netzbetrieb integriert werden soll. Aus Sicht der Gebäude stellt sich hier das Problem, dass sie dafür nicht ausgestattet sind, und erst einmal passende Regelungen für die einzelnen Geräte des Gebäudebetriebs entwickelt werden müssen. Innerhalb des Annex 67 wurden einige Aspekte hinsichtlich solcher Entwicklungen aufgegriffen und untersucht. So wurden zum einen theoretische Grundlagen der Regelung von Heizlasten in der Literatur untersucht, zum anderen anhand von Beispielen Erfahrungen von Regelungsmethoden für Energie-Flexibilität aus laufenden Projekten detailliert. Informationsmodelle für die Automation können potentiell bei verbesserter Gebäudecharakterisierung durch komplexere Modelle eine bessere Genauigkeit in der Vorhersage von Lasten für Demand-Side Management liefern, jedoch sind dafür auch Technologien und Dienste erforderlich, die die nötigen Zeitreihen in ausreichender Qualität liefern können. Einige zentrale Ergebnisse aus diesen Erfahrungen sind im Folgenden kurz zusammengefasst.

Regelungsstrategien für flexibles Energiemanagement in Gebäuden

Um einen ersten Zugang zur Thematik zu bekommen, wurde eine Literaturübersicht über Regelungen angefertigt, die zuerst einmal bereits bestehende und erprobte Regelungen im Bereich Heizung, Lüftung, Klima von Gebäuden zusammenfasst [31]. Die ExpertInnen hatten sich dabei auf das Management von Heizungslasten konzentriert, da in einer Umfrage über laufende Projekte der ExpertInnen essentiell alle Projekte eine Form von thermischer Regelung thematisierte. Diese Zusammenfassung fokussiert daher die Sichtweise der mathematischen Modellierung von Reglern (siehe Abbildung 21).

Anhand von Beispielen wurden dann einige Lösungen detailliert (dokumentiert in [32]), und zwar innerhalb der folgenden Projekte:

- Living Lab zum Test von Regelungsalgorithmen (Campus Gebäude)
- Optimale Regelung von Raumheizung
- Entwicklung eines modell-prädiktiven Reglers, der verschiedene Lastquellen aufnehmen kann, und
- Überblick einzelner Regelstrategien für flexibles Energiemanagement in einem Nullenergie-Einfamilienhaus.

Type of controller	Working principle	Implementation maturity	References
Thermostatic on/off control	Regulates a process within a predefined lower and upper threshold so that the process stays within these boundaries	State-of-the-art in buildings	(Donnis and Caraiscos, 2009; Naidu and Rieger, 2011a; Afram and Janabi-Sharifi, 2014; Yu <i>et al.</i> , 2015)
P, PI, PID control	Modulate a controlled variable by taking into account error dynamics	State-of-the-art in buildings	(Donnis and Caraiscos, 2009; Naidu and Rieger, 2011a; Afram and Janabi-Sharifi, 2014; Yu <i>et al.</i> , 2015)
Gain Scheduling PID	Controlling non-linear systems by a family of linear controls which are used to control different operating points of the non-linear system	State-of-the-art for hydronic-radiator-based HVAC systems	(Leith and Leithead, 2000; Afram and Janabi-Sharifi, 2014)
Non-linear	A control law (derived from Lyapunov's stability theory, feedback linearization and adaptive control techniques) for reaching a stable state of the non-linear system while keeping the control objectives	State-of-the-art for AHUs and cross-flow water to air heat exchanger	(Afram and Janabi-Sharifi, 2014)
Robust	Controller works well for changing parameters as well as time-varying disturbances / Considers model uncertainty and non-linearities of the system	State-of-the-art for supply air temperature, supply airflow rate and zone temperature control	(Naidu and Rieger, 2011a; Afram and Janabi-Sharifi, 2014)
Optimal	Solves an optimization problem (optimizing a cost function) → minimization of energy consumption and control effort, maximizing thermal comfort	State-of-the-art for active TES, energy optimization for HVAC systems, VAV system control, building heating and cooling control	(Naidu and Rieger, 2011a; Afram and Janabi-Sharifi, 2014)
Adaptive	Controller learns to adapt to changes and learns from the characteristics of a building or/and environment by self-regulation	Used for single cases, but not widespread/ Used for AHUs with VAV	(Donnis and Caraiscos, 2009; Naidu and Rieger, 2011a; Yu <i>et al.</i> , 2015)
MPC	Applies a system model for predicting future system states and optimizes a cost function over a sliding planning horizon / Takes into account disturbances and constraints	Applied at building design stage, but not yet widespread for practical operation	(Naidu and Rieger, 2011a; Afram and Janabi-Sharifi, 2014)
Neural Network	A mathematical representation of neurons relating inputs and outputs as a large network / Black-box modelling technique / A controller which is tuned/trained on the performance data of a system / Fits a non-linear mathematical model to the historical data	For fan control of an air cooled chiller and for AC setback time based on the outdoor temperature	(Naidu and Rieger, 2011b; Afram and Janabi-Sharifi, 2014)
Fuzzy Logic	Control actions as if-then-else statements / Methodology to represent human knowledge and reasoning by remembering rules and functions / Can be applied as supervisory control in combination with a local PID controller	Used in AHUs	(Naidu and Rieger, 2011b; Afram and Janabi-Sharifi, 2014)
Reinforcement Learning (RL)	Optimal control actions are learned from past system interactions / model-free & model-based RL	Used for single cases, but not widespread	(Yang <i>et al.</i> , 2015; Wei, Wang and Zhu, 2017)

Abbildung 21 Übersicht über gebräuchliche Regelungsmethoden für Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik in Gebäuden [31]

Zur Kategorisierung der unterschiedlichen Lösungen wurde nach folgenden Kriterien unterschieden:

1. Gebäude (real oder simuliert)
2. Umfang der Regelung (Gebäude, System, Gerät)

Die Übersicht über die eingesetzten Lösungen für das Datenmanagement und die Automation ergab, dass hier kein eindeutiger Trend in eine bestimmte Richtung zu erkennen ist. Die Lösungen sind sehr unterschiedlich und innerhalb der Projekte auch heterogen, was dem momentanen Stand der Gebäudeautomation Rechnung trägt. Was jedoch bei der Lebenszyklusbetrachtung der Umsetzungen auffiel, war, dass es hier teilweise große Probleme bei der Nutzung vorhandener Infrastruktur gab, die durch offene Lösungen der Gebäudeautomation verhindert werden könnten. Die Integration der einzelnen Regelungen ist für die koordinierte Netzanbindung „mission-critical“. Die Möglichkeit einzelne Geräte zum Lastmanagement anzumelden ermöglicht jedoch auch einzelnen Herstellern der Interoperabilität für Energieflexibilität mit anderen Anbietern eine geringere Priorität einzuräumen, was mittelfristig als Barriere für das Ausschöpfen eines Gebäudepotentials fungieren könnte.

EF Focus	Forecasting	Automation	Energy Models
Level of data communication	DMS Web services	Smart metering platform	SCADA Online simulation
Level of building control	Local control proprietary	Integrated home automation	Integrated BMS

Abbildung 23 Übersicht über die Implementierungen in den untersuchten Forschungsstudien für die Entwicklung von Lastvorsagen, Gebäudeautomation, und Entwicklung von Energiemodellen für BIM (Building Information Modelling) im Gebäudebetrieb. Die umgesetzten Lösungen sind je nach Projekt unterschiedlich und heterogen. [34]

Für die Repräsentation von Gebäuden, hier ihres thermo-dynamischen Verhaltens, scheinen komplexere Modelle eine höhere Genauigkeit bei der Vorhersage von Lastpotential zu liefern. Im vorliegenden Fall konnte so eine Verbesserung von 33% für die Ausschöpfung von vorhandenem Lastpotential von Gebäuden gegenüber einem vereinfachten Modell erreicht werden [34]. Dadurch, dass die Modelle für Gebäudeverbände ausgelegt werden, kann die Anzahl der Parameter für die Netzanbindung möglicherweise optimiert werden, und der Aufwand für zusätzliche Einbauten in Gebäuden somit verringert werden. Eine verbesserte Grundlage wäre jedoch bereits gegeben, wenn auf einzelne elektronische Geräte, wie z.B. Smart Meter, aufgebaut werden könnte, was jedoch in vielen Gebäuden noch aufgrund von Befürchtungen von NutzerInnen über den Schutz ihrer Betriebsdaten verhindert wird. Diesbezüglich werden auch im Rahmen von Verbesserungen für die Netzsicherheit Lösungen angedacht werden, die die Privatheit von Personen schützen können.

5.4. Demonstration und NutzerInnenakzeptanz

Einleitung

Das Ziel im IEA EBC Annex 67 war es, möglichst viele Demonstrationsgebäude der internationalen Kooperation hinsichtlich deren Potenziale und Varianten von Energieflexibilität zu untersuchen sowie NutzerInnenbefragungen und Stakeholderstudien durchzuführen. Die österreichischen Kooperationspartner haben **geeignete Demonstrationsgebäude** in Österreich recherchiert, die folgenden Vorgaben entsprechen:

- Gebäude mit relativ hoher Bauteil-Speicherkapazität
- Gebäude mit Wärme- und Stromversorgung über Energienetze
- Gebäude mit eigener Energieerzeugung vor Ort (PV, Solarthermie, aber auch Abwärme-Rückgewinnung u.ä.)
- Gebäude deren Energie-Komponenten über intelligente Regelung kommunizieren können und interoperable Komponenten besitzen
- Gebäude, die über Erfassung von Messdaten verfügen und der Zugang zu diesen Daten relativ leicht möglich ist
- Optional: Gebäude mit Energieanzeige/Displays für NutzerInnen und/oder mit Kontakten zu EigentümerInnen / NutzerInnen für Befragungen

Anhand dieser Kriterien wurden 3 Gebäude und ein Gebäudekomplex ausgewählt und in den internationalen ExpertInnenmeetings auch als Demogebäude präsentiert:

- Kolpinghaus Salzburg
- Smart City Building – Sanierung Wohnhaus Rathausgasse Gleisdorf
- Passivhaushütte Schiestlhaus, Hochschwab – netzunabhängiges Gebäude
- Gebäudekomplex und Energienetz des Plusenergy-Cluster Reininghaus Süd, Graz (+ERS)

In zwei dieser Gebäude wurden Realdaten der Energiesysteme auf Energieflexibilitätspotenziale analysiert, real nutzbare Energie-Flexibilitätspotentiale z.B. von elektrischen Geräten bestimmt und Ergebnisse präsentiert – sie finden sich im ersten Teil dieses Kurzberichts. Für diese Analyse wurden die vier oben beschriebenen Demonstrationsgebäude bisheriger „Stadt/Haus der Zukunft“-Projekte analysiert und 2 davon ausgewählt.

Anstatt der ursprünglich geplanten Befragung von NutzerInnen in diesen Demogebäuden, die sich nicht ergeben hatten, wurde im Austausch und Kooperation mit internationalen Partnern aus den Niederlanden (TU Delft) und Dänemark (SDU, DTU) an Fragebögen gearbeitet, die die Zielgruppe der Stakeholder in Wärmenetzverbänden hatte. So wurden 2018 **Befragungen zur Flexibilität von Wärmenetzen und integrierten Gebäuden** - Anforderungen und Erwartungen dazu – durchgeführt. Ergebnisse werden im zweiten Teil dieses Kurzberichtes vorgestellt.

5.4.1. Untersuchungsergebnisse Demonstrationsgebäude

Kolpinghaus Salzburg

Das Kolpinghaus Salzburg, ein Jugendwohnheim und Sommerhotel, wurde um das Eco-Suite Hotel (Abbildung 24), ein „Haus der Zukunft“-Projekt des BMVIT, erweitert [35]. Das Kolpinghaus Salzburg ist ein modernes Niedrigstenergiegebäude, welches mit verschiedenen Systemen zur Wärmerückgewinnung, z.B. aus Abwasser und Abluft, ausgestattet ist. Zu diesem Zweck gibt es auch große Warmwasserspeicher (22.000 Liter). Eine Photovoltaikanlage mit 30,6 kWp wurde installiert, die einen spezifischen Ertrag von 957 kWh/kWp im ersten Jahr produzierte. Es gab im ersten Betriebsjahr 2016/2017 auch ein Monitoring, das zu einer möglichst effizienten Energienutzung führen sollte, in dessen Rahmen wurden viele Messdaten aufgenommen, wie Temperaturen, Energieverbräuche etc. Diese wurden im Zuge des IEA EBC Annex 67 auch analysiert.



Abbildung 24 Kolpinghaus Salzburg, Ansicht des Eco-Suite Hotels

Bei den Auswertungen der Messungen im Rahmen des Annex 67 wurde besonders auf die Heizenergieerzeugung und den Heizenergieverbrauch eingegangen, um zu bestimmen, ob hier Lastverschiebungspotenziale zu finden sind. Abbildung 25 zeigt die Verteilung des Heizenergieverbrauchs im ersten halben Jahr der Messungen. Deutlich zu erkennen sind die Heizperiode und die Energie zur Nachheizung der zugeführten Luft über die Lüftungsanlage.

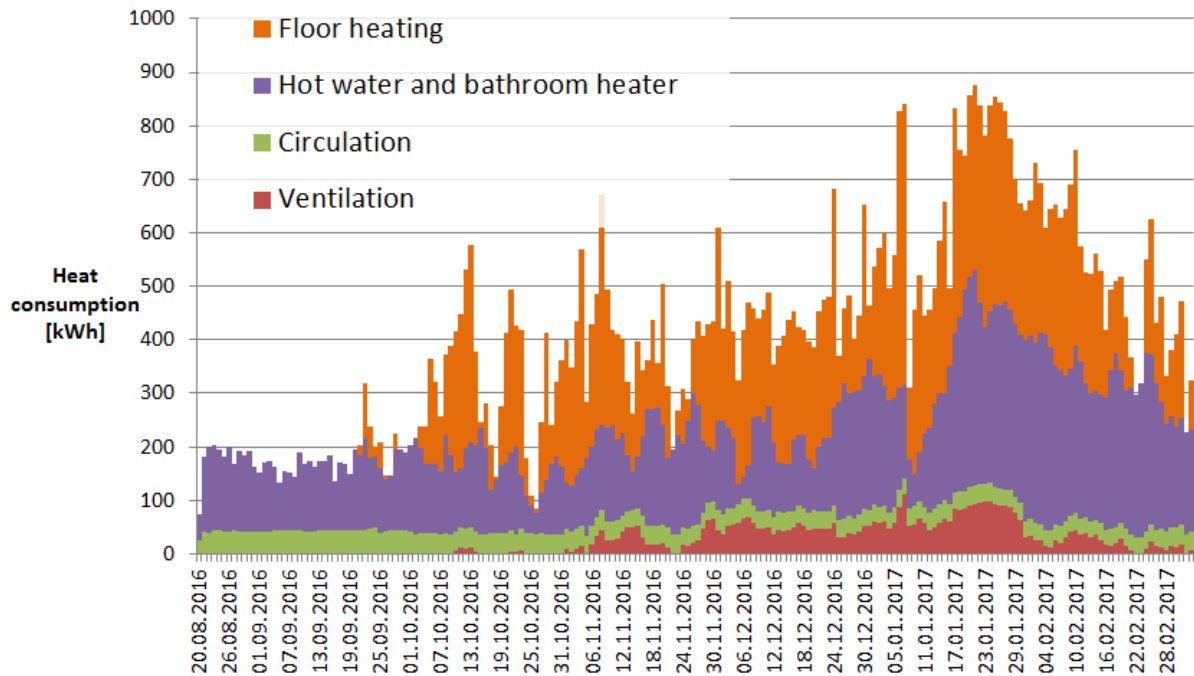


Abbildung 25 Tagessummenwerte des Heizenergieverbrauchs im Eco-Suite Hotel Salzburg für das erste halbe Betriebsjahr

In Abbildung 26 sind die Heizenergieerzeugung (blaue Fläche) und der -import (rote Fläche) dem Verbrauch (schwarze Linie) gegenübergestellt. Achtung: Die Skala der kWh Energie an der y-Achse hat sich gegenüber Abbildung 25 leicht geändert.

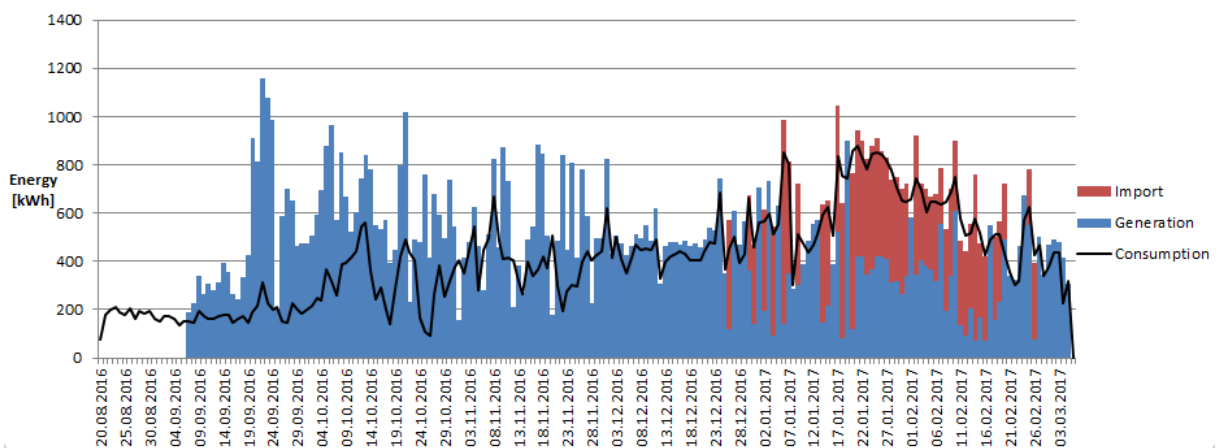


Abbildung 26 Tagessummenwerte der Heizenergieaufbringung (Eigenerzeugung und Import) gegenüber dem -Verbrauch im Eco-Suite Hotel Salzburg für das erste halbe Betriebsjahr

Bis etwa Jahresende 2016 deckte die Eigenproduktion von Heizenergie durch die Abwasser-Wasser-Wärmepumpe den Verbrauch des Gebäudes, ja es gab über weite Strecken sogar Überschüsse, die zwischengespeichert und an das benachbarte Bestandsgebäude des Kolpinghauses exportiert

werden konnten. Das Ziel wäre nun, den Energieimport in der zweiten Winterhälfte, der hauptsächlich über Wärme aus einem Gaskessel passiert, durch weitere Flexibilisierungsmaßnahmen sowie eventuell weitere Speicherkapazitäten soweit wie möglich zu reduzieren. Weiters könnten damit die hohen Peaks des Energieimports geglättet und vermieden werden.

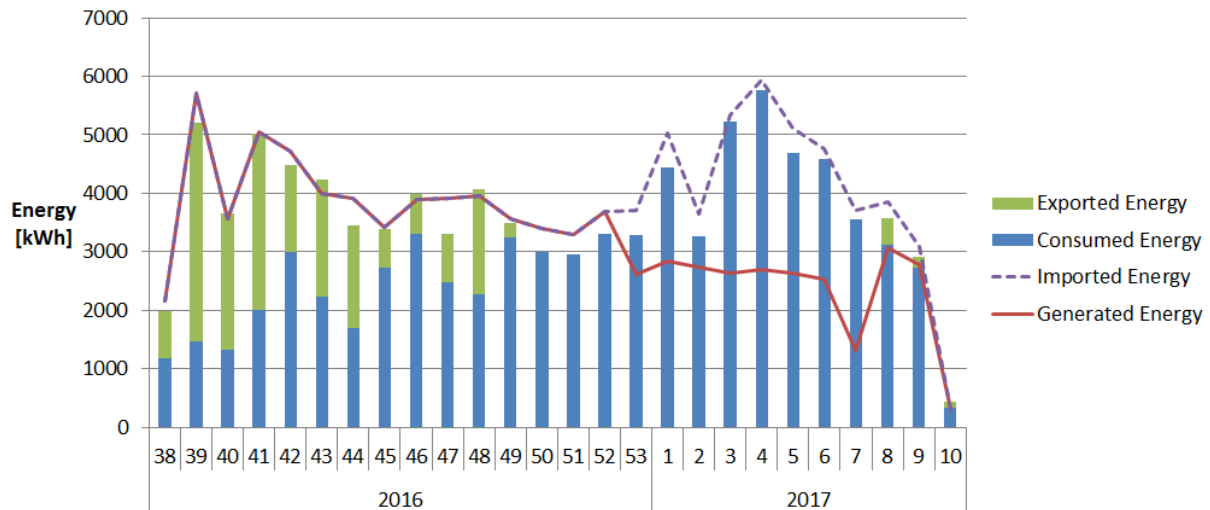


Abbildung 27 Wochensummenwerte der Heizenergieaufbringung (Eigenerzeugung und Import) gegenüber dem -Verbrauch im Eco-Suite Hotel Salzburg und Heizenergieexporten in das benachbarte Bestandsgebäude für das erste halbe Betriebsjahr

Abbildung 27 verdeutlicht noch einmal das Potenzial, das im Ausgleich zwischen exportierter und importierter Heizenergie im Winter stecken würde. Die Energieflexibilität könnte durch optimierte Nutzung der Speicher und Abwasser-Wärmepumpe einen erheblichen Beitrag zur Deckung der Heizenergie leisten. Noch ein paar Zahlen:

- Der Heizenergieverbrauch beträgt im untersuchten ersten halben Jahr 91% der erzeugten Energiemenge, die aber nicht immer zur Eigendeckung genutzt werden kann
- 24% des Heizenergieverbrauchs wurde importiert
- 24% der erzeugten Heizenergie wurde exportiert
- Es gab etwa 6% Verluste durch die Speicherung und Nutzung unterschiedlicher Energieniveaus

Zusammenfassend wurden etwa 38 kWh/m²a für die Heizung und das Warmwasser verbraucht. Der Eigennutzungsanteil der PV, die Optimierung der Speicherungsregelung (siehe Verluste) und die Änderung des Regelungssystems, um die Energieflexibilität zu nutzen, sowie Eigendeckung zu erhöhen und Importe zu reduzieren, sind die nächsten Schritte, die empfohlen wurden.

Plusenergy-Cluster Reininghaus Süd, Graz (+ERS)

Der Plusenergieverbund Reininghaus Süd (+ERS) liegt in der Peter-Rosegger-Straße zwischen Gollweg und Grazerfeldstraße am südlichen Knotenpunkt des neuen Stadtentwicklungsgebietes ECR in Graz. +ERS war integrativer Bestandteil des „Haus der Zukunft Plus“-Leitprojektes „Energy City Graz-Reininghaus (ECR)“ und folgte den Vorgaben des übergeordneten städtebaulichen Rahmenplanes [36].

In 12 Wohnungen eines der Mehrfamilienhäuser des Areals mit Wohnungsgrößen zwischen 57 und 89 m² (Durschnitt: 68 m²) wurden im Frühjahr 2016 genauere Messungen über 8 Tage (17. bis 24. April) bezüglich des Stromverbrauchs und dessen Aufteilung auf verschiedene Stromanwendungen durchgeführt. Eine der Wohnungen war unbewohnt und hatte daher keinen Stromverbrauch. Der durchschnittliche Stromverbrauch über alle restlichen 11 Wohnungen betrug 1.684 kWh pro Jahr, die Werte lagen zwischen 766 und 3316 kWh pro Jahr.

Bei den Auswertungen der Messungen im Rahmen des Annex 67 wurde besonders auf die Stromverbrauchsverteilung auf einzelne Anwendungen in den Wohnungen und die tatsächlichen Lastprofile einzelner Geräte eingegangen, um zu bestimmen, ob hier Lastverschiebungspotenziale und in welcher Höhe zu finden sind. In Abbildung 28 ist der Stromverbrauch der 11 Wohnungen innerhalb von 8 Tagen, aufgeteilt nach den Anwendungen und Räumen, in denen verbraucht wird, dargestellt.

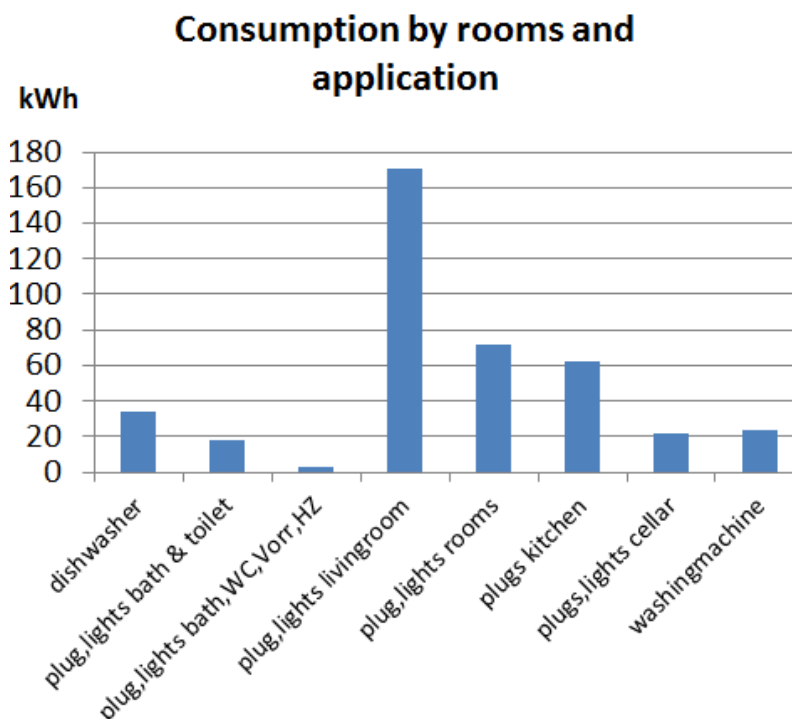


Abbildung 28 8-Tagessummenwerte des Stromverbrauchs in 11 Wohnungen eines +ERS Mehrfamilienhauses in Graz – die Stromverbräuche sind auf einzelne Räume (Bad und WC, Vorräum, Wohnzimmer, Zimmer, Küche, Keller) und Geräte (Geschirrspüler, Waschmaschinen) aufgeteilt dargestellt

Wie in Abbildung 28 ersichtlich ist, haben die Stromverbräuche in den Wohnzimmern den weitaus größten Anteil (42%) am Gesamtverbrauch in den 8 Tagen der Messungen. Die in dieser Zeit betriebenen Geschirrspüler und Waschmaschinen hatten einen Anteil am Stromverbrauch von 14,2%, die Küchen dazu noch immerhin 15,3%. Der restliche Verbrauch viel vor allem noch auf Beleuchtung und Geräte in Schlaf- und Arbeitsräumen.

Es wurde für die folgende Auswertung angenommen, dass die verschiebbaren Lasten vor allem denen der Geschirrspüler und Waschmaschinen entsprechen, die nicht verschiebbaren Lasten auf Beleuchtung, EDV/Kommunikations- und Haushaltsgeräte entfallen. Abbildung 29 zeigt diese Aufteilung des Stromverbrauch sin verschiebbare und nicht verschiebbare Lasten.

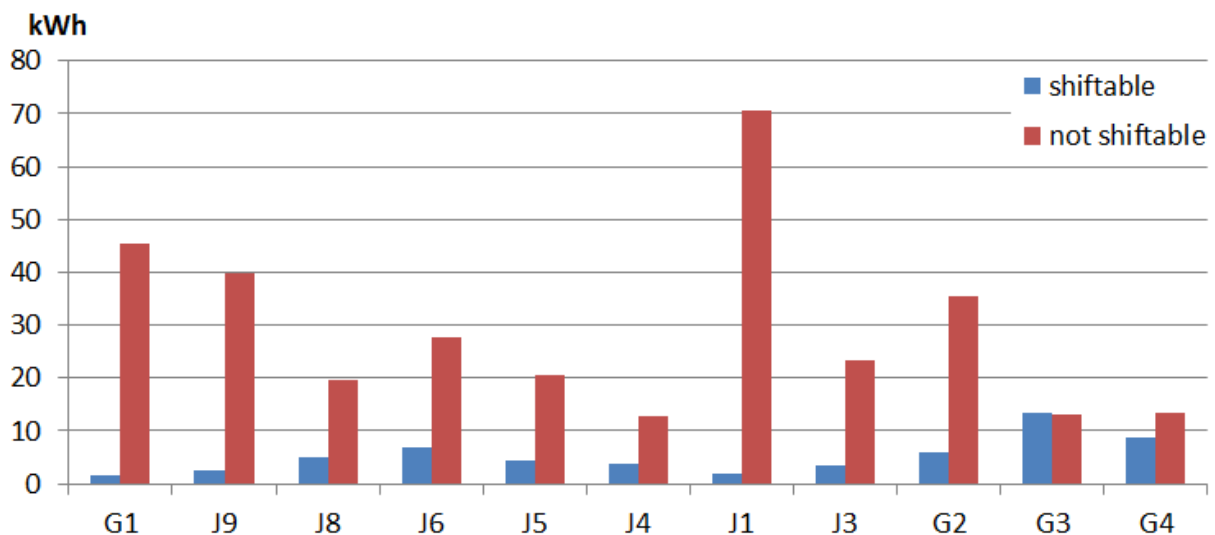


Abbildung 29 8-Tagessummenwerte des Stromverbrauchs in 11 Wohnungen eines +ERS Mehrfamilienhauses in Graz – die Stromverbräuche sind auf verschiebbare (Geschirrspüler, Waschmaschinen) und nicht verschiebbaren (restl. Verbrauch) Energiemengen je Wohnung aufgeteilt.

Eine weitere Analyse der Lastprofile der verschiebbaren und nicht verschiebbaren Lasten in den 11 Wohnungen zeigt, dass doch gewisse Muster der Stromnutzung existieren (Abbildung 30), und damit Ansätze für lernfähige Steuerungen vorhanden wären. Deutlich zu erkennen ist eine „Grundlast“ von etwa 1kW, die durchgehend benötigt wird. Ebenso gibt es für die verschiebbaren Lasten viele Stunden, an denen sie nicht betrieben werden, und somit Zeit in welche die Lasten verschoben werden können.

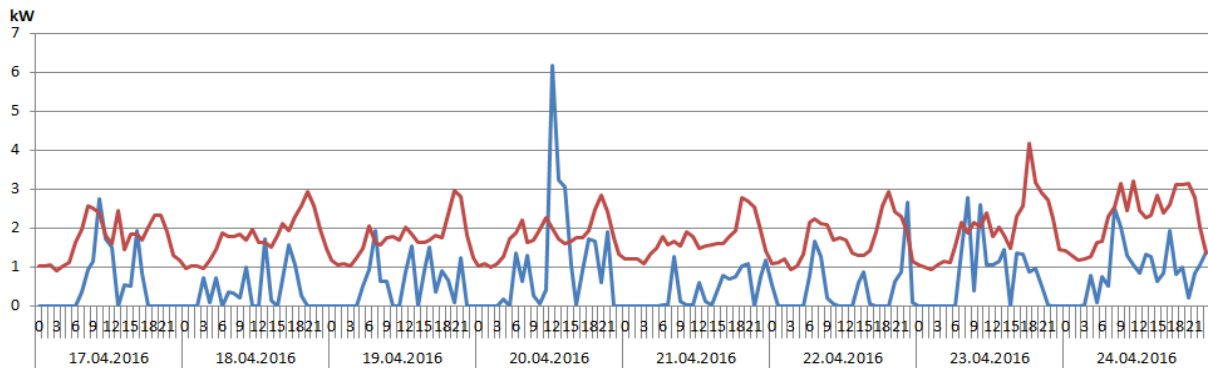


Abbildung 30 Stündliche Stromverbrauchsdaten und damit sichtbares Lastprofil der Stromverbräuche von 11 Wohnungen – verschiebbare Lasten (blaue Linie) und nicht-verschiebbare Lasten (rote Linie) in 8 Tagen

In Abbildung 31 ist das Lastprofil der Waschmaschinen an einem der 8 Tage zwischen 8:00 und 14:00 Uhr zu sehen. Interessant ist, dass die Leistung über 6 Stunden hinweg nicht über 36 W pro Minute hinausgeht. Diese typischen Lastprofile von verschiebbaren Anwendungen sind jedenfalls interessante Informationen für Stromanbieter und Aggregatoren, da diese meist auch über Smart Meter nicht abgerufen werden können – technisch oder aus Datenschutzgründen.

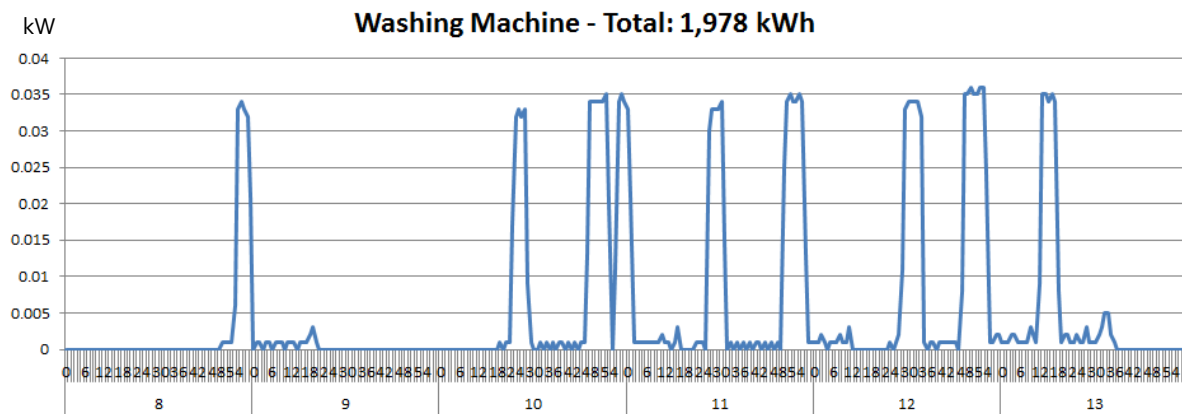


Abbildung 31 Stromverbrauchsdaten in Minuten aufgelöst und damit sichtbares Lastprofil der Waschmaschinen von 11 Wohnungen in 6 Stunden eines Frühlingstages 2016

Zusammenfassend kann von einem flexiblen Stromverbrauch von mindestens 14,2 % in den vermessenen 11 Wohnungen ausgegangen werden. Der Anteil würde sicherlich auf etwa 30% steigen, wenn Akku-betriebene, für Flexibilität verwendbare Geräte in den Wohn- und Arbeitsräumen dazu genommen würden. Interessanterweise lag der durchschnittliche Stromverbrauch höher als der in der ÖNORM B 8110-5 angegebene, der für die Energieausweisberechnung herangezogen wird, nämlich bei 25 kWh/m²a statt 16,4 kWh/m²a.

Die Messungen zeigten auch, dass sehr hoch aufgelöste Datenerfassung und damit Lastprofile möglich waren - 0,001 W-Schritte pro Minute erfassbar. Die Nutzung der Energieflexibilität in den Wohnungen von +ERS hätte ein relevantes Potenzial, das mit einfachen Smart Home Anwendungen nutzbar gemacht werden könnte.

5.4.2. Untersuchungsergebnisse Stakeholder und ihre Wahrnehmung von Energieflexibilität und Gebäude in Fernwärmenetzen

Hintergrund und Methode

In Österreich gibt es eine Vielzahl von Mikro- und Fernwärmenetzen, die über Wärmelieferungen Gebäudecluster einer Stadt oder ganze Dörfer versorgen. Etwa 26% aller Wohnungen werden in Österreich durch Fernwärme versorgt, die mit fossilen Brennstoffen (46% - hauptsächlich Erdgas), brennbaren Abfällen (8%) und zunehmend mit erneuerbaren Quellen (46%) gespeist werden [37]. Neben den wenigen großen städtischen Fernwärmenetzen in Österreich (Wien, Graz, Salzburg, Klagenfurt, Linz usw.) gibt es in Österreich rund 2000 kleinere und mittlere Wärmenetze (davon rund 600 in der Steiermark) [38]. Diese nutzen in erster Linie Biomasse als Energiequelle, aber auch Solarthermie, Abwärme aus Biogasanlagen oder aus industriellen Prozessen.

In jedem Fall spielen die kleineren und mittleren Wärmenetze eine wichtige Rolle für die regionale Energiewende und das Bewusstsein dafür in den ländlichen Gebieten. Viele dieser Wärmenetze sind als Genossenschaften von WaldbesitzerInnen organisiert, die sich um die gesamte Wärmeversorgungskette von Gemeinden kümmern - von der Holzernte über die Herstellung von Holzhackschnitzeln bis hin zur Wärmeversorgung einzelner Gebäude.

Im Vergleich zu den Stromnetzen ist es nicht klar, ob die Fernwärmeversorger über Kenntnisse und Know-how in Bezug auf intelligente Wärmenetze oder intelligente Energietechnologien verfügen oder diese nutzen. Die Möglichkeiten der Digitalisierung, vorausschauenden und selbstlernenden Steuerung sowie der genauen Lastplanung werfen die Frage auf, wie intelligente Fernwärmenetze in Zukunft realisiert werden können und sollen. Sie sollten zunehmend dezentrale erneuerbare Energiequellen und Speicher integrieren und die energetische Flexibilität von Gebäuden nutzen, um den CO₂-Ausstoß bei gleichem KundInnenkomfort zu reduzieren.

Um zu wissen, wie energieflexible Gebäude Fernwärmenetze unterstützen können, wie die Energieflexibilität bei Fernwärme den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energiequellen ermöglicht, müssen Entscheidungsträger und Interessengruppen einbezogen werden. Daher wurde im Sommer 2018 eine Befragung von Fernwärmelieferanten und Wärmenetzbetreiber im Rahmen der österreichischen IEA EBC Annex 67 Beteiligung durchgeführt. Die Befragung basierte auf Kontakten, die in nationalen Projekten wie qm Heizwerke (Qualitätsmanagement für Stadtteilnetze), UrbanDH_extended, OptSmallGrids und Thermaflex von AEE INTEC in den letzten Jahren gesammelt wurden.

Der Fragebogen wurde entwickelt, um die Wahrnehmung der Stakeholder zu intelligenten Technologien und dem Marktpotenzial für intelligente Fernwärmenetze unter Nutzung der Energieflexibilität von Gebäuden in Österreich zu untersuchen. Der Fragebogen basiert hauptsächlich auf einer 5-Punkte-Likert-Skala und einer Literaturrecherche [39] - [44] sowie

internen ExpertInnenbeiträgen aus dem Annex 67. Achtzehn Fragen plus empirische Sozialdaten wurden mit diesem Fragebogen an mehr als 100 Stakeholder verteilt.

Die Datenerhebung in Österreich wurde von April bis Juli 2018 durchgeführt. Die Rücklaufquote war mit 37 ausgefüllten Fragebögen relativ niedrig, es konnten jedoch wertvolle Beiträge der Zielgruppe gesammelt werden. Die befragten Stakeholder waren meistens entweder Fernwärmelieferanten oder PlanerInnen, sowie technische MitarbeiterInnen der Stadtverwaltung, die für das Energiemanagement zuständig sind, und wissenschaftliche ExpertInnen.

2.2 Ergebnisse und Diskussion

Rund drei Viertel der befragten Stakeholder sehen einige oder größere Herausforderungen im Lastmanagement (Abbildung 32), mehr als ein Viertel berichtet über regelmäßige Maßnahmen zur Beeinflussung der Lastkurve ihrer Wärmenetze.

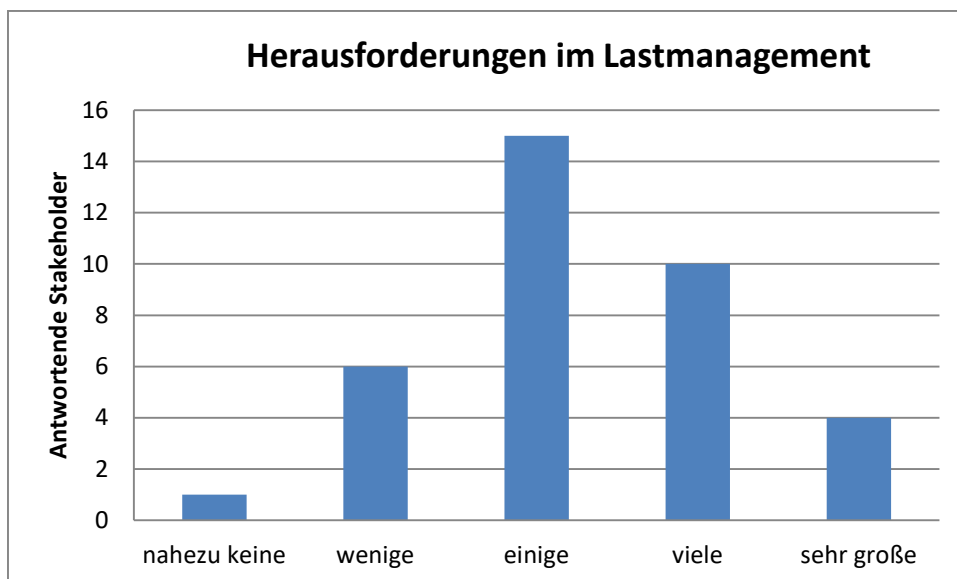


Abbildung 32 Anzahl der befragten Stakeholder, die Herausforderungen im Lastmanagement ihrer Wärmenetze sehen

Die Stakeholder sind sich einig, dass der Einsatz erneuerbarer Energien in Fernwärmenetzen von großer Bedeutung ist. Und 60% stimmen zu, dass die Integration von energieflexiblen Gebäuden wichtig oder sehr wichtig ist (Abbildung 33). Sie sind zumeist bereit, das Regelungssystem des Wärmenetzes und der Gebäude so zu verbessern, dass die energetische Flexibilität der angeschlossenen Gebäude genutzt werden kann.

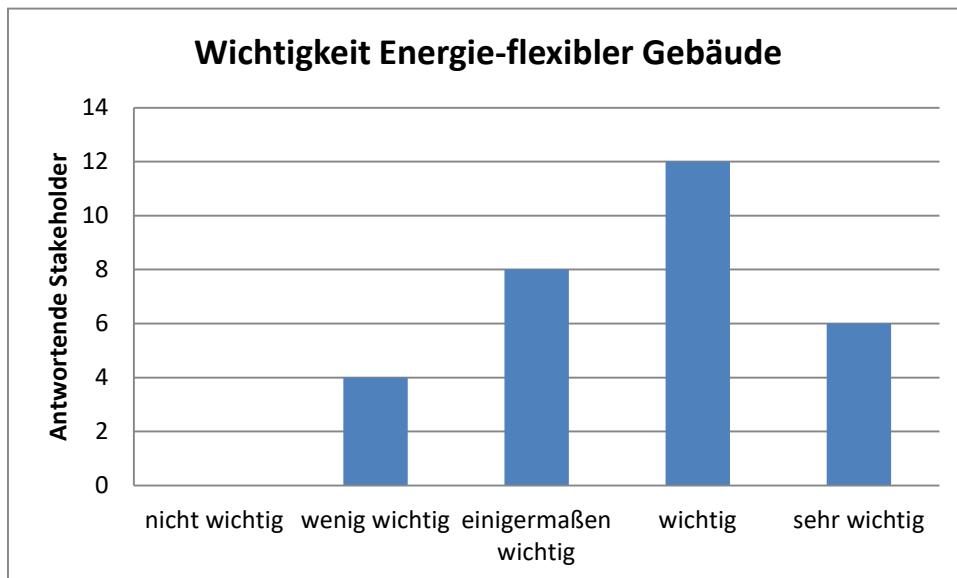


Abbildung 33 Anzahl der befragten Stakeholder und ihre Einschätzung der Wichtigkeit Energie-flexibler Gebäude in ihren Netzen

Die TeilnehmerInnen dieser Umfrage sehen weniger Datenschutz- oder Marktbarrieren, die den Aufbau intelligenter Fernwärmenetze behindern könnten, sondern vielmehr die hohen Kosten für Technologien und deren unzureichende Entwicklung sowie das mangelnde VerbraucherInnen-Bewusstsein und entsprechende Vorschriften (Abbildung 34).

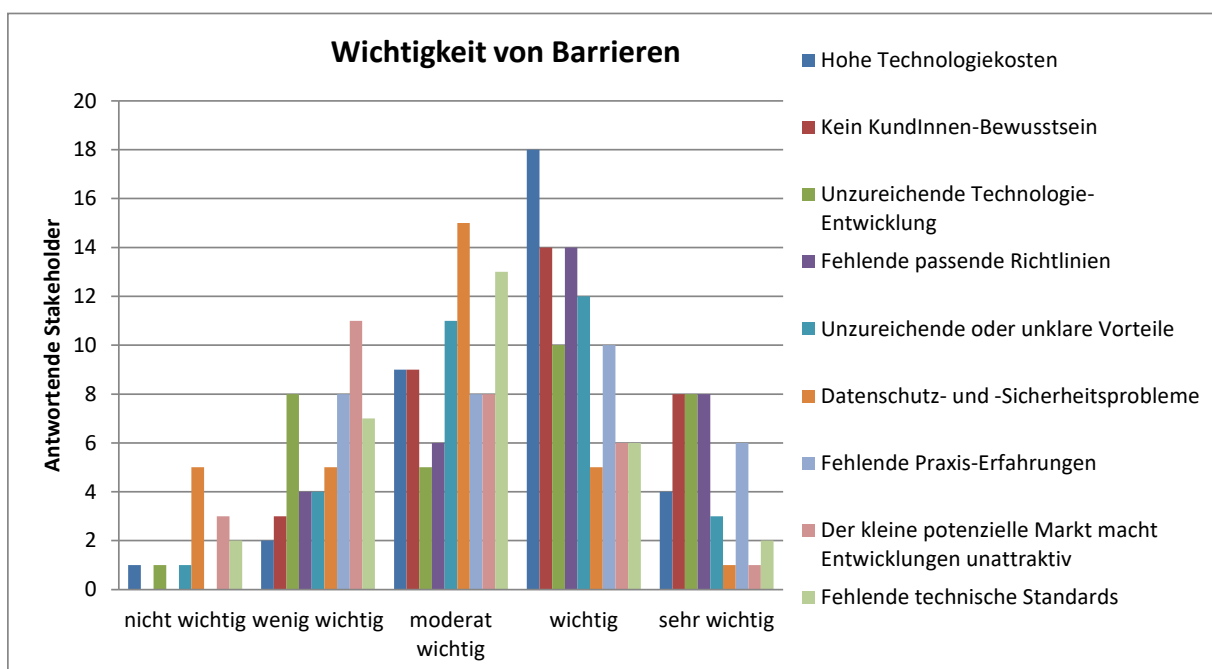


Abbildung 34 Anzahl der befragten Stakeholder, die unterschiedliche Barrieren, was die Nutzung intelligenter Technologien für Wärmenetze betrifft, nach Wichtigkeit bewertet haben

Interessant waren auch die Antworten auf die Frage nach der Menge an Energie - als Anteil der insgesamt erzeugten Wärme – oder Last, die ihrer Meinung nach verschoben und / oder eingespart werden könnte: 60% schätzten diese zwischen Null und 20%, 30% zwischen 20 und 40% und 10 % schätzten, dass über 40% möglich wären. Auf die Frage, wie mögliche zusätzliche Kosten für den Betrieb eines intelligenten Heizungsnetzes ausgeglichen werden können, um Lastmanagement- und Flexibilitätsmaßnahmen zu nutzen, sieht die Mehrheit keine höheren Preise für die KundInnen, sondern andere Kostenvorteile und Möglichkeiten, die Kosten zu egalisieren (Abbildung 35).

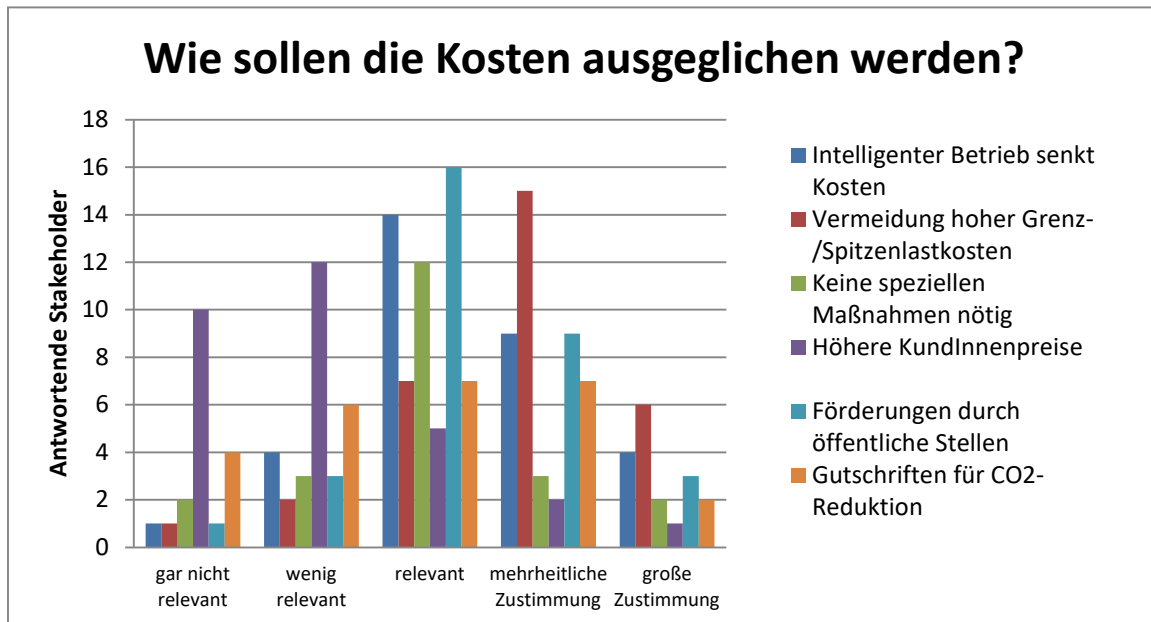


Abbildung 35 Antworten der befragten Stakeholder, wie sie die Gegenfinanzierungsmöglichkeiten von zusätzlichen Kosten durch intelligente Technologien im Einsatz bei den Wärmenetzen bewerten würden

Neben den Kosten sehen sie vor allem viele Vorteile bei der Implementierung intelligenter Wärmenetze, zum Beispiel das Netz wirtschaftlich zu betreiben zu können, zu sehen, wie flexibel die Energieerzeugung / -verteilung sein könnte oder wie viel Geld sie damit sparen könnten. In Bezug auf die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind sich die Stakeholder (mindestens zwei Drittel) einig, dass innovative Tarifmodelle einen Anreiz für die KundInnen darstellen würden (z.B. zeit- oder lastabhängige Tarife), da sie auch der Meinung sind, dass ein unzureichender finanzieller Ausgleich eine der wichtigsten Hürden sein könnte, die KundInnen daran hindert, auf Preissignale bestimmter Tarifmodelle zu reagieren.

In Bezug auf den organisatorischen Einfluss, den die Entwicklung von Konzepten und Technologien für intelligente Wärmenetze haben, gehen die Stakeholder von einem großen aus - rund zwei Drittel sehen in Zukunft einen direkten Einfluss auf ihre Planung oder den Betrieb (Abbildung 36). Und zu den politischen Rahmenbedingungen antworten auch zwei Drittel, dass politische Maßnahmen oder Richtlinien zur Verbreitung intelligenter Heiznetze wichtig oder sehr wichtig wären.

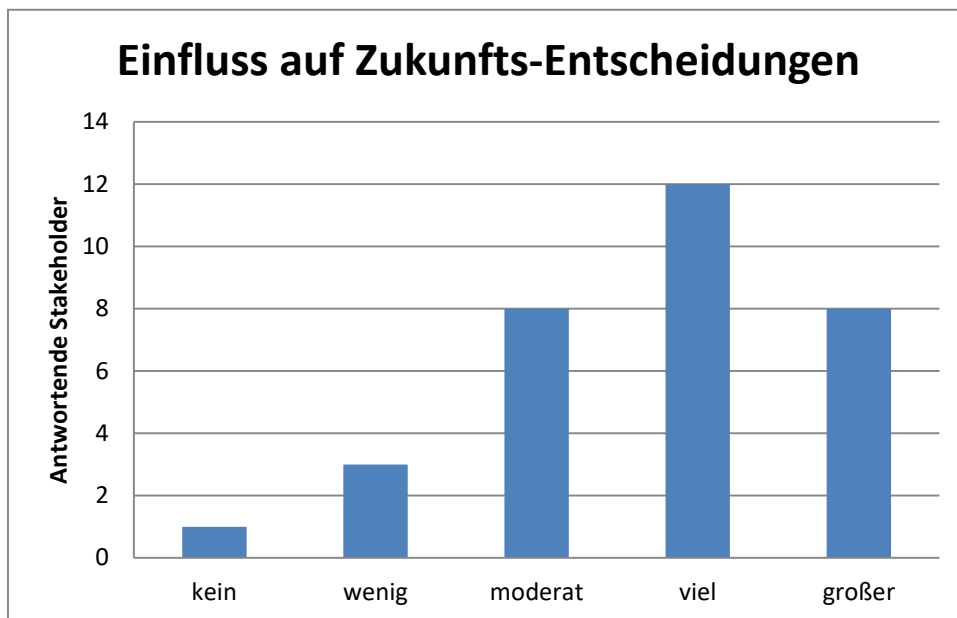


Abbildung 36 Anzahl der befragten Stakeholder und ihre Bewertung des Einflusses zukünftiger intelligenter Technologien und Konzepte für Wärmenetze auf Zukunftsentscheidungen

Die Ergebnisse der Befragung beschreiben die Wahrnehmung und Motivation von Fernwärme-Stakeholdern für den energieflexiblen Betrieb ihrer Energienetze in Verbindung mit der Regelung und Verwaltung Energie-flexibler Gebäudes als Kunden. In Österreich gibt es eine große Anzahl von Fernwärmenetzen, die über das ganze Land verteilt sind. Sie sind jedoch schwer über Verbreitungsaktivitäten zu erreichen, da sie sehr dezentral organisiert sind. So wurden nur 37 Befragte mit relativ hohem Aufwand erfasst - das war die herausfordernde Seite der Umfrage. Die interessantesten und wichtigsten Ergebnisse sind:

- Die Relevanz des Themas ist höher als erwartet
- Es scheint einen Markt für intelligente Fernwärmekonzepte zu geben
- Der Einsatz erneuerbarer Energien in Fernwärmenetzen hat einen hohen Stellenwert
- Treiber und Barrieren in Bezug auf Kosten, Förderungen und technische Vorschriften sind wichtiger als Fragen des Datenschutzes oder der Sicherheit

5.5. Highlights

Die wichtigsten Highlights im Annex 67 waren:

- Die Leitung von Subtask A wurde gemeinsam mit EURAC/Bozen professionell und erfolgreich durchgeführt. Die Kooperation mit der EURAC ist sehr gut verlaufen – es gab

eine regelmäßige Abstimmung der Organisation von Subtask A und gemeinsame Moderation bei den Projekttreffen.

- Organisation und erfolgreiche Durchführung des Themenworkshops und des Expert Meetings zum Projekt in Österreich vom 26. bis 29. September 2017. Mehr als 100 TeilnehmerInnen waren beim Workshop im Kuppelsaal der TU Wien mit anschließender Exkursion zu AIT, SmartEST-Lab, und TU Wien, Plusenergie-Bürohaus. 42 ExpertInnen waren beim anschließenden Experten-Treffen von Annex 67 in Graz (Abbildung 37). Beides ging mit sehr positiven Rückmeldungen der TeilnehmerInnen, national wie international, über die „Bühne“, und wurde in einem Annex 67 Newsletter mit Fokus Österreich dokumentiert.

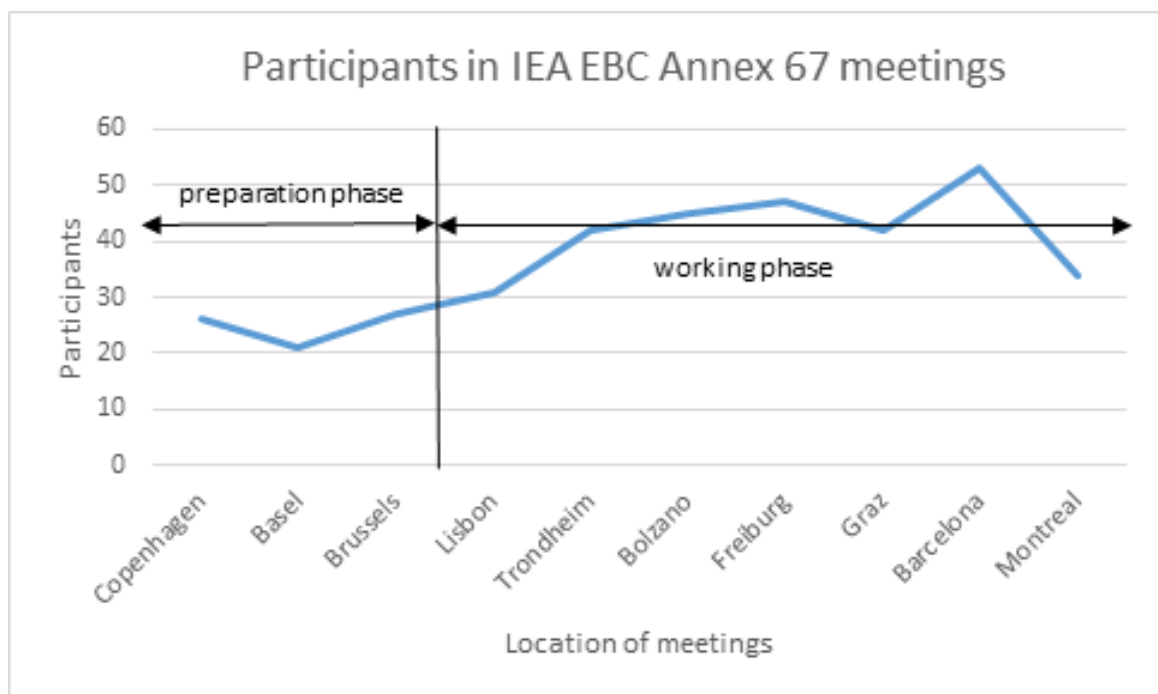


Abbildung 37 TeilnehmerInnenzahl an Expert Meetings im Annex67

- Ein drittes Highlight war sicherlich die Fülle an Präsentationen und Artikel zum Projekt in Österreich im gesamten Berichtszeitraum. Eine Liste mit den Öffentlichkeits-relevanten Artikeln und Präsentationen findet sich in Kapitel 6. Zu dieser „Fülle“ gehören das SRI „Position Paper“, ein 2018 veröffentlichter Artikel im Journal „Advances in Building Energy Research“ und die Spezialausgabe der Zeitschrift „nachhaltige technologien“ von AEE INTEC zum Thema ‚Energieflexibilität – „Zugpferd“ für smarte Gebäude und Netze‘ vom September 2018.
- Last but not least das von AEE INTEC entwickelte Flexibility Evaluation Tool (FET) als Ergebnisdarstellung der neuen Subtask A Methodik in Case Studies und als öffentlich zugängliches Tool auf <http://annex67.org/publications/software/>

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Die durch den Annex 67 angesprochenen **Zielgruppen** waren:

- Die Community der GebädeforscherInnen, Universitäten und dieser Gruppe nahestehende ExpertInnen
- Fernwärmebetreiber, Netzbetreiber und Energieanbieter/-unternehmen
- ArchitektInnen, VertreterInnen von Planungs- und technischen Büros, EnergieberaterInnen, BauphysikerInnen, HaustechnikerInnen und KonstrukteurInnen
- Facility Management- und Immobilienunternehmen
- EntwicklerInnen und ProduzentInnen von Konstruktionen und Haustechniksystemen
- EntwicklerInnen und ProduzentInnen von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)
- EntscheidungsträgerInnen

Diese wurden international wie national durch eine ganze **Reihe von Präsentationen, Papers und Artikel** angesprochen, im Folgenden eine Übersicht:

- Internationale Artikel, Konferenzbeiträge und Berichte auf: <http://annex67.org/publications/> - z.B. Beitrag im Annex 67 Newsletter Nr. 6 ein Artikel zu „SRI Austria - Smart Readiness Indicator: Rating scheme and opportunities for smart buildings“
- Präsentation Armin Knotzer (AEE INTEC) am IEA-Vernetzungstreffen vom 20. Oktober 2016 in Wien, Hotel Modul, zum Stand der Annex 67 Beteiligung
- Ein Workshop mit dem Titel „Rahmenbedingungen und Förderungen für Heizen und Klimatisieren von energieflexiblen Gebäuden mit Ökostrom“ wurde von Ernst Meißner/GEA (klimaaktiv Erneuerbare Wärme-Programm) am Montag, 15. Mai, im Rahmen der Smart Energy Systems Week Austria (SESWA) 2017 in Graz organisiert. Dabei wurde auch AEE INTEC um Beiträge aus dem Annex 67 gebeten. Tobias Weiss nahm daran teil und präsentierte Ergebnisse bisher. Zusätzlich zur Präsenz in diesem Workshop wurde ein Poster für die SESWA 2017 erstellt, das bei der Konferenz ausgestellt wurde
- Artikel: „Energy flexibility of domestic thermal loads – a building typology approach of the residential building stock in Austria“ im Journal „Advances in Building Energy Research“
- Artikel: „IEA EBC Annex 67 Energy Flexible BuildingsSøren“ im Journal Energy and Buildings
- Position Paper zum Thema SRI in der EPBD: zu finden unter <http://www.annex67.org/publications/position-paper/>
- Schwerpunktausgabe der Zeitschrift „nachhaltige technologien“ Ausgabe 3-2018 mit dem Titel ‚Energieflexibilität – ‚Zugpferd für smarte Gebäude und Netze‘ mit 3 Artikeln von AEE INTEC und Statement Prof. Kastner/TU Wien: <http://www.aee.at/aee/energieflexibilitaet>
- Präsentation „Energieflexible Nullenergiegebäude und Quartiere - Potentiale für Gebäudeenergiesysteme, Bauphysik und Baukonstruktionen“ von Tobias Weiss am 24. November 2017 und Beitrag in den „Proceedings of E-Nova 2017 conference“ Pinkafeld/Austria

- Präsentation „Flexible Nullenergiegebäude und Quartiere - Potentiale für Gebäudeenergiesysteme, Bauphysik und Baukonstruktionen“ von Tobias Weiss am 26. Jänner 2018 und Beitrag in den „Proceedings of BauZ conference“ Wien/Austria
- Präsentation „The role of energy flexibility for a low carbon energy system: Large-scale versus small-scale measures“ von Anna-Maria Fulterer auf der „STS - Critical Issues in Science, Technology and Society Studies conference“ am 3. Mai 2018 in Graz/Austria, unter <https://conference.aau.at/event/137/picture/93.pdf> (Seiten 87/88)
- Präsentation „Energy flexibility in buildings: a main driver in the future energy systems“ von Tobias Weiss und Armin Knotzer und Abstract in den „Proceedings of the ISEC 2018 conference“, 4-5 Oktober 2018 in Graz/Austria
- Präsentation „Engineering of Energy-Flexible Buildings“ von A. Susanne Metzger beim 7th Expert Meeting in Montreal/Canada; als Vorschau zum Paper „Digitalization & Facility Management: Energy Flexibility of Existing Buildings“
- Präsentation „Digitalization & Facility Management: Energy Flexibility of Existing Buildings“ von Susanne Metzger am „11th IFM Congress“ an der TU Wien/Austria im Rahmen von „Science meets Practice“ am 16. November 2018 (online: <https://repositum.tuwien.ac.at/ifm-journal/periodical/titleinfo/3423851>)
- Einreichung eines Papers mit Süddänischer Universität (SDU): Zheng Ma, Armin Knotzer, Joy Dalmacio Billanes, Bo Nørregaard Jørgensen: „A Survey of Energy Flexibility in District Heating“, noch unveröffentlicht
- Einreichung eines Papers mit TU Delft, SDU und Leeds Beckett University und IREC: „Policy Challenges for the Development of Energy Flexibility Services“ – Veröffentlichung Ende 2019
- Präsentation „Austrian perspectives towards energy flexible buildings“ von Armin Knotzer im Rahmen des „Public seminar Annex 67 - Flexible Energy Buildings“ am 4. April 2019 in Aalborg/Dänemark
- 3 Präsentationen mit den Titeln „Charakterisierung der Energieflexibilität von Gebäuden“ (Armin Knotzer), „Automationssysteme in Energie-flexiblen Gebäuden“ (A. Susanne Metzger) und „Planungsbeispiele zur Optimierung der Energieflexibilität in Gebäuden“ (Tobias Weiss) im Rahmen der Mission Innovation Austria Week beim Workshop „Energy Flexible Buildings“ in Kooperation mit Stadt der Zukunft am 8. Mai 2019 im Allegria Resort in Stegersbach

Relevanz und Nutzen der Projektergebnisse

Es gibt zwei große Themenbereiche hinsichtlich Verwertung der Projektergebnisse, die in diesem Zusammenhang diskutiert wurden:

1. Sektorkopplung und Grid Resilience / Netzsicherheit: Gebäude sind hier nur ein Teil mehrerer Netzteilnehmer, jedoch ein Teil, der sehr divers aufgestellt ist, und viele Sonderlösungen braucht, sowie größtenteils privat finanziert werden muss.
2. Datenbeschaffung und Modellierung zur Umsetzung der IKT: hier werden Netzausbau und Smart Metering angeführt, sind aber nicht überall gegeben und umgesetzt. Auch Maßnahmen zur Einhaltung des Datenschutzes müssen in Österreich berücksichtigt werden.

Aus Sicht des Energienetzes sind Gebäude dezentrale Energieverbraucher (oder auch zeitweise Bereitsteller von Energie, „Prosumer“), die mit Hilfe von Gebäudeautomationssystemen (Building Automation Systems, BAS) und Gebäudeenergiemanagementsystemen (Building Energy Management Systems, BEMS) netzdienlich agieren können, z.B. in der angesprochenen Form von Demand Side Management Applikationen. Derlei Systeme bilden eine wesentliche Brücke zwischen den Anwendungsgebieten der Gebäudeautomatisierung und Energie-Verteilnetzautomatisierung. Die dazu notwendige Verknüpfung dieser Gebiete ist sowohl konzeptionell als auch in der praktischen Umsetzung anspruchsvoll und trifft alle oben angesprochenen Zielgruppen.

Die Ergebnisse dienen dazu, national die Weichen für die Charakterisierung und Nutzung von Energie-Flexibilität in Gebäuden zu stellen, zum Beispiel als Teil des SRI im Energieausweis, aber auch in nationalen Gebäudezertifizierungssystemen.

Tiefergehendes Wissen über die Energie-Flexibilität, die Gebäude anbieten können, ist sehr wichtig für die Gestaltung und Ausformung von intelligenten Netzen und Gebäuden der Zukunft. Das Wissen ist aber nicht nur für die GebäudeeigentümerInnen und Energieversorger wichtig, sondern auch für Unternehmen, die Geschäftsmodelle für Produkte und Dienstleistungen zur Unterstützung der Marktdurchdringung von intelligenten Netzen entwickeln wollen. Weiters sind Informationen über die Energie-Flexibilität von Gebäuden für politische EntscheidungsträgerInnen und Behörden wichtig, die in die Entwicklung von Rahmenbedingungen für ein zukünftiges Energiesystem eingebunden oder verantwortlich sind, zum Beispiel auch Förderungen umsetzen.

Die beiden österreichischen Kooperationspartner haben die Projektergebnisse und die Kooperation und das Netzwerk im IEA EBC Annex 67 folgendermaßen genutzt und verwertet:

AEE INTEC

- Weitere Forschungsprojekte eingereicht und durchgeführt
- PraktikantInnen und Masterstudierende in Projekt eingebunden
- Erweiterung der Kompetenzen in Bezug auf Energie-Flexibilität in Gebäuden und Quartieren
- Datensätze aus Systemanalysen und Simulation von Energiesystemen und Gebäuden generiert
- Übersicht über Regelsysteme erlangt
- Zusätzliche Analyse von Gebäuden mit aktueller Technologieausstattung durchgeführt
- Erweiterung der Kompetenzen bezüglich Anforderungen seitens der Energienetze (Strom und Wärme), was für zukünftige hybride Netze interessant ist

TU WIEN, ASG

- Lehre und Ausbildung: Erkenntnisse aus den Arbeiten im Rahmen des Annex wurden und werden laufend in Lehrveranstaltungen des Forschungsbereichs eingebracht.
- Neue Kompetenz über Untersuchung von Gebäudeautomation im Zusammenspiel mit Energiemanagementsystemen in Gebäuden und der Verknüpfung und dem Austausch der damit einhergehenden Daten wurden erlangt.

- Erste Überlegungen zur Integration von SRI Indikatoren in Ontologien wurden durchgeführt, die in weiterführenden Arbeiten untersucht werden könnten (Ausschreibung von Praktika und Theses)

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

7.1. Fachliche Schlussfolgerungen

Die Methode der Charakterisierung von Energie-Flexiblen Gebäuden aus dem IEA EBC Annex 67 basiert vor allem auf Realdatenanalyse-Modellen und Systemidentifikations-Theorie. Diese werden selten von Gebäudedesignern und -planern verwendet, weil diese meist Gebäude-Simulationsmodelle mit Parameterstudien verwenden, wo reale Bedingungen nicht bekannt sind. Sie ist aber sehr relevant und interessant, weil sie gemessene Daten, lernende Gebäuderegulungen und Vorhersagedaten mitverarbeiten, und damit sehr gute Ergebnisse liefern kann.

Diese beiden Methoden tiefergehend zu vergleichen und Vor- und Nachteile herauszuarbeiten wäre ein notwendiger nächster Schritt, um das Verständnis der Methodik zur Charakterisierung zu erhöhen. Die Annex 67 Methode könnte damit weiter validiert und auf Anwendbarkeit für verschiedenste Energie-Flexibilitäts-Projekte und Gebäudecluster getestet werden.

7.2. Weiterführende IEA-Kooperations- und nationale Forschungsprojekte im Themenbereich

Geplant sind derzeit bereits zwei Nachfolge-Annex-Projekte – diese wurden beim EBC ExCo Treffen in Ghent/Belgien am 12. Juni 2019 vorgestellt und zur weiteren Vorbereitung freigegeben:

- A. „Energy flexibility and resilience from buildings and communities“ als direkte Fortführung des Annex 67 mit Fokus auf Gebäudecluster, Resilienz durch Energieflexibilität, Stakeholder-Akzeptanz und Geschäftsmodelle – eingereicht von Søren Østergaard Jensen (DTI/DK), der bereits Annex 67 als Operating Agent koordiniert hat.
- B. „Demand Response of Buildings in District Heating and Cooling Networks“ als „Ableger“ des Annex 67 in Richtung Gebäude-Energieflexibilität in (Nah-/Fern-)Wärme- und Kältenetzen, d.h. nicht auf Strom- sondern auf Wärme/Kälte fokussiert – eingereicht von Anna Marszal-Pomianowska (Uni Aalborg/DK), die im Annex 67 Co-Operating Agent war.

Nationale Demoprojekte wie das Aspern Smart City Research in der Seestadt Aspern Wien mit Firmenbeteiligungen wie Siemens sind sehr wichtig. Leider werden dazu wenige Ergebnisse veröffentlicht, die auf die Nachvollziehbarkeit schließen lassen. Dies wäre sehr wünschenswert.

AEE INTEC hat mit einer industrienahen Dissertation „Eflex NZEB“ zum Thema Flexibilisierung von Nahezu- und Nullenergiegebäuden und einer Studie „SRI Austria“ rund um die Erarbeitung eines Vorschlags zur nationalen Ausformulierung eines Smart Readiness Indikators weitere Projekte zur Erforschung der Energieflexibilität und deren Einsatz zugesprochen bekommen.

Weitere Demo-Gebäude im städtischen Umfeld zum Testen von Flexibilitätsmaßnahmen sollten erstellt werden – diese setzen Maßnahmen zur energetischen Verschränkung des Gebäudes mit seiner Umgebung (Netze), untersuchen die technischen und organisatorischen Anforderungen

dieser Maßnahmen und ihre Auswirkungen auf die unterschiedlichen AkteurInnen, letzteres auch anhand von Befragungen und Interviews.

Darüber hinaus sollten Lastprofile der Gebäude vorliegen, sowohl für Wärme als auch für Strom, sowie Erzeugungsprofile für die PV-Anlage und Messwerte zur Bewertung der Behaglichkeit. Diese Daten sollten dann im Rahmen von IEA Annex Kooperationen auch anderen Forschungseinrichtungen für Untersuchungen zur Verfügung stehen. Gerade im Zuge der Diskussion zur Smart Readiness und zur Netzdienlichkeit von Gebäuden wären solche Demo-Projekte sehr wichtig.

Verstärkte Bestrebungen seitens der Netzbetreiber und Aggregatoren (Strom- UND Wärmenetze) treiben Entwicklungen auf Seiten regelbarer energie-flexibler Gebäude zusätzlich an – zum Beispiel sind die Stadtwerk in Aalborg/Dänemark derzeit mitten in der Umgestaltung ihres Wärmenetzes, weil es in 10 Jahren zu 100% mit Erneuerbaren Energieträgern betrieben und zu 100% mit digitalen Zählern ausgestattet sein soll.

7.3. Empfehlungen für die österreichische FTI Politik

Im Lauf des Annex 67 wurden Anstrengungen unternommen, weitere Demonstrationsprojekte zur Analyse von Realdaten einzureichen. Dafür gibt es aber derzeit keine relevante Förderausschreibung – das kann nur mit sowieso laufenden Smart City Demo- oder Stadt der Zukunft-Demonstrationsgebäuden oder -quartieren mituntersucht werden. Dies sollte fixer Bestandteil zukünftiger Ausschreibungen dieser Programme sein.

Im Rahmen dieser Demonstrationsgebäude sollten verstärkt Analysen von Realdaten mit neuen Methoden getestet und ausgeschrieben werden. Nicht nur Strom-, sondern auch Wärmenetze sind relevant und zu berücksichtigen, wenn über Flexibilitätsnutzungen gesprochen wird. Die Zielgruppe der GebäudeplanerInnen und Facility Manager sollte intensiver ins Thema eingeführt werden, für diese Zielgruppe Informationsveranstaltungen gemacht werden, um Innovation in die Umsetzung zu bringen.

Literaturverzeichnis

- [1] Energieinstitut an der JKU Linz, Projektleitung Dr. Andrea Kollmann: „LoadShift – Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur, Potentialanalyse für Smart Grids“, 2012-2014, FFG Neue Energien 2020, 4. AS im Auftrag des Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung
- [2] Kalt, G., und Baumann, K. (Austrian Energy Agency): „Modellierung zukünftiger Entwicklungen des Haushaltsstromverbrauchs im Kontext von Time-of-use-Tarifen, Load-shifting, Elektromobilität und Energieeffizienz“, Beitrag für die 8. Internat. Energiewirtschaftstagung an der TU Wien 2013
- [3] BMVIT und Klima- und Energiefonds (Hrsg.): „energy innovation austria – IEA 2015“, Vorstellung des Projektes aus der 1.AS Energieforschungsprogramm auf Seite 13
- [4] Mair, E. (Energie AG): „Die Bedeutung von verbraucherseitigen Flexibilisierungsmaßnahmen im Stromsystem“, Vortrag bei den Energiegesprächen „Auf der Suche nach dem flexiblen Stromkunden“ im Technischen Museum Wien am 02.06.2015
- [5] Smart Grid Task Force (SGTF) – Expert Group 3 (EG3), Report on “Regulatory Recommendations for the Deployment of Flexibility”. January 2015
- [6] Raudaschl et al., 2013, Smart Grids Modellbericht Salzburg - Building to Grid. Endbericht Neue Energien 2020
- [7] Vigna, I. Perneti, R., Pasut, W., Lollini, R., 2018. New domain for promoting energy efficiency: Energy Flexible Building Cluster. Sustainable Cities and Society 38, 526–533
- [8] Junker, R.G., Ghasem Azara, A., Amaral Lopes, R., Byskov Lindberg, K., Reynders, G., Relana, R., Madsen, H., 2018. Characterizing the Energy Flexibility of Buildings and Districts. Applied Energy, Volume 225, 1 September 2018, Pages 175–182.
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191830730X
- [9] EQUA, 2013: IDA Indoor Climate and Energy 4.5. Handbook IDA ICE Version 4.5. EQUA Simulation AB. February 2013. Solna, Sweden
- [10] CEN EN 15251 (2007): Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. European Committee for Standardization, Brussels
- [11] Weiss, T., 2019: EFlex NZEB - Flexible Nullenergiegebäude und Quartiere - Potentiale für Gebäudeenergiesysteme, Bauphysik und Baukonstruktionen. Industrienahes Dissertationsprojekt - <https://projekte.ffg.at/projekt/1728924>. Abgerufen am 19.07.2018
- [12] Richtlinie 2009/28 / EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77 / EG und 2003/30 / EG. ABl. L 140 vom 5.6.2009, S. 1. 16-62. Verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj>. Abgerufen am 19.12.2017
- [13] Statistik Austria, Energiestatistik: Energiebilanzen Österreich, 2016
- [14] Six D., Desmedt J., Vanhoudt D., Van Bael J.: Exploring the flexibility potential of residential heat pumps combined with thermal energy storage for smart grids. In: 21st International conference on electricity distribution; 2011. p. 0442–0442.
- [15] Cardinaels W., Borremans, I. (ed. 2014): Demand response for families. Linear - The Report, EnergyVille, Genk. Verfügbar unter: <http://www.linear-smartgrid.be/sites/default/files/Linear%20Final%20Report%20-%20lr2.pdf>. Abgerufen am 20.12.2017

- [16] Oldewurtel F., Sturzenegger D., Andersson G., Morari M., Smith R.S.: Towards a Standardized Building Assessment for Demand Response. 51nd IEEE conference on Decision and Control 2013: 7083-7088. Verfügbar unter: http://www.opticontrol.ethz.ch/Lit/Olde_13_Proc-CDC2013_submitted.pdf. Abgerufen am 20.12.2017
- [17] Le Dréau J., Heiselberg P. (2016): Energy flexibility of residential buildings using short term heat storage in the thermal mass. *Energy*, 111(8), 991–1002. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.076>
- [18] Braun J.E., Montgomery K.W., Chaturvedi N.: Evaluating the performance of building thermal mass control strategies, *HVAC&R Research* 7 (2001) 403–428
- [19] Balaras C.A.: The role of thermal mass on cooling load of buildings. An overview of computational methods, *Energy and Buildings* 24 (1995) 1–10
- [20] Stinner S., Huchtemann K. und Müller D. (2016): Quantifying the Operational Flexibility of Building Energy Systems with Thermal Energy Storage. In *Applied Energy*, vol. 181, pp. 140-154. Abgerufen am 13. April 2017 unter http://ac.els-cdn.com/S0306261916311424/1-52.0-S0306261916311424-main.pdf?_tid=5ccdb24c-dbe0-11e6-9d47-00000aacb360&acdnat=1484566915_obc1345606bo8e882243c34cabad444b
- [21] TABULA - Typology Approach for Building Stock Energy Assessment – EU-IEE-project: Residential Building Typology - Generic Building Types. Verfügbar unter <http://episcopes.eu/building-typology/country/at/>. Abgerufen am 20.12.2017
- [22] Schmidt R.R., Basciotti D., Judex F., Pol O., Siegel G., Brandhuber T., Dorfinger N., Reiter D.: Smart Heat Networks - Intelligente Fernwärmenetze (FFG-Nr. 825549). Endbericht Wien 2013, p. 56
- [23] Masy G., Georges E., Verhelst C., Lemort V., Andre P.: Smart grid energy flexible buildings through the use of heat pumps and building thermal mass as energy storage in the Belgian context. *Science and Technology for the Built Environment* 2015(21) 800-811.
- [24] Cyx W., Renders N., Van Holm M., Verbeke S: IEE TABULA typology approach for building stock energy assessment. Tech rep. VITO, Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek; 2011
- [25] OIB: OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz. Wien 2015
- [26] EQUA Simulation AB: IDA Indoor Climate and Energy – Expert edition. 1995 –2016, Stockholm, Schweden
- [27] Richardson I., Thomson M. und Infield D.: Ein hochauflösendes Hausbelegungsmodell für Energienachfrage-Simulationen, abgerufen am 13. April 2017 unter <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.006>
- [28] Kemna R., Van Elburg M.: Special review study on categorization: Clause 7(2) of Commission regulation (EU) No. 814/2013 with regard to ecodesign requirements for water heaters and hot water storage tanks. FINAL REPORT, prepared by VHK for the European Commission; 11 July 2016
- [29] STATISTIK AUSTRIA (2014): Gebäude- und Wohnungszählungen 1951 bis 2001, Registerzählung 2011
- [30] Auf Basis von STATISTIK AUSTRIA, Energiestatistik: MZ Energieeinsatz der Haushalte 2015/2016. Erstellt am 15.03.2017
- [31] Finck C., Beagon P., Clauß J., Péan T., Vogler-Finck P.J.C., Zhang K., Kazmi H. (2018): Review of applied and tested control possibilities for energy flexibility in buildings. Technical Report for Annex 67. Verfügbar unter: <http://www.annex67.org/media/1551/review-of-applied-and->

[tested-control-possibilities-for-energy-flexibility-in-buildings-technical-report-annex67.pdf](#).

Abgerufen am 30.07.2019

- [32] Santos A.O., Jørgensen B.N. (Eds.): Control strategies and algorithms for obtaining Energy Flexibility in buildings. Deliverable für Annex 67. April 2019.
- [33] Metzger A.S.; Jradi M.; Madsen H.; Grønberg Junker R.; Kastner W.; Reynders G.; Weiss T.; Knotzer A.; Østergaard Jensen S.: Digitalization & Facility Management: Energy Flexibility of Existing Buildings. In: Journal for Facility Management. Science meets Practice. Vol. Jahrgang (2018), Issue 17, S. 61-83. Wien : Technische Universität Wien, 2019. Verfügbar unter: <http://repositum.tuwien.ac.at/ifm-journal/periodical/titleinfo/3423851> Abgerufen am 30.07.2019.
- [34] TU Wien, Automation Systems Group: Building-Based Load Forecasts for Demand-Side Management. 2016. Verfügbar unter: <https://www.auto.tuwien.ac.at/index.php/projectsites/145-building-based-load-forecasts-for-demand-side-management-bl4dsm> Abgerufen am 30.07.2019.
- [35] Freund R., Höfler K.: Eco-Suite Hotel Salzburg. Schriftenreihe 35/2017, Herausgeber: BMVIT. Rosenheim und Gleisdorf, Juni 2017
- [36] Partoll M., Staller H., Nussmüller W., Heimrath R., Halmdienst C., Rainer E., Passer A., Kreiner H., Oblak H.: +ERS - Plusenergieverbund Reininghaus Süd. Schriftenreihe 11/2016, Herausgeber: BMVIT. Gleisdorf, Februar 2016
- [37] FGW – Fachverband der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen: Zahlenspiegel: Gas und Fernwärme in Österreich. Wien September 2018
- [38] Kommunalkredit Public Consulting: Heizwerkserhebung. Wien 2014
- [39] Appelrath H.J., Lehnhoff S., Rohjans S., König A.: Hybridnetze für die Energiewende – Forschungsfragen aus Sicht der IKT. acatech Materialien - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Berlin 2012
- [40] Li R., Dane G., Finck C., Zeiler W.: Are building users prepared for energy flexible buildings?— A large-scale survey in the Netherlands. Applied Energy 203 (2017) 623–634. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.067>
- [41] Ma Z., Asmussen A., Nørregaard Jørgensen B.: Industrial Consumers' Smart Grid Adoption: Influential Factors and Participation Phases. Energies 2018, 11, 182; doi:10.3390/en11010182
- [42] Mlecnik E.: Interviewing grid operators and facility managers, for interpreting the effect of changing grid conditions. TU Delft 2018
- [43] Korpela T., Kaivosoja J., Majanne Y., Laakkonen L., Nurmoranta M., Vilkkö M.: Utilization of District Heating Networks to provide flexibility in CHP Production. Energy Procedia 116 (2017) 310–319
- [44] Wärtsilä Finland Corporation: Dynamic District Heating – A technical guide for a flexible CHP plant. Finland, Vaasa 2015

Abbildungsverzeichnis


Abbildung 1 Vorhersage der Windenergie-Produktion für drei Wochen im Jänner 2020 im westlichen Teil Dänemarks basierend auf Daten aus 2008. Die blaue Linie ist der 2008 gemessene Strombedarf derselben Region, der zu etwa 50% abgedeckt werden soll (Quelle: Søren Østergaard Jensen, Danish Technological Institute)	10
Abbildung 2 Zum Beispiel wird die Energie-Flexibilität von Gebäuden zur Verschiebung von Leistungsspitzen eingesetzt, d.h., hohe Spitzen im Energieverbrauch während des Tages werden in Zeiten mit niedrigerem Energiebedarf verschoben (Quelle: Søren Østergaard Jensen, Danish Technological Institute)	12
Abbildung 3 Signalfluss bei der Abschätzung einer Flexibilitätsfunktion eines energieflexiblen Gebäudes als Reaktion auf ein Steuerungssignal bzw. penalty signal (Quelle: [8])	21
Abbildung 4 Beschreibung der Flexibilitätsfunktion als erwartete Reaktion eines energieflexiblen Gebäudes, das einer Sprung-Erhöhung des penalty signals ausgesetzt ist (Quelle: [8])	22
Abbildung 5 Akkumulierte CO ₂ -Emissionen in einem Gebäude mit einem penalty signal (CO ₂)-sensiblen Regler (grüne Linie) oder einem herkömmlichen Regler (rote Linie) (Quelle: [8])	27
Abbildung 6 Energy Flexibility Evaluation Tool (FET) - Übersicht über die Benutzeroberfläche	28
Abbildung 7 Periodizität und aufeinanderfolgende Ereignisse, die das Heizsystem im Einzelraummodell alle sechs Stunden ausschalten (Quelle T.Weiss, Eflex NZEB)	31
Abbildung 8 Periodizität und aufeinanderfolgende Ereignisse, die das Heizsystem im Einzelraummodell alle 24 Stunden ausschalten	32
Abbildung 9 Oben: Bedarfsseitige Regelung der operativen Temperatur, unten: entsprechender Verlauf der zugehörigen Wärmelast - Darstellung der Abkühlkurve [verzögerter Betrieb - Δt_1] und Aufheizzeit [Reaktion - Δt_2] basierend auf [19]	34
Abbildung 10 Vereinfachte Übersicht des Simulationsansatzes	35
Abbildung 11 Abkühlzeiten des stationären Einraummodells - verzögerter Betrieb (Δt_1)	36
Abbildung 12 Klimadiagramm der gewählten Referenzwoche 16. Jänner bis 23. Jänner, Graz	38
Abbildung 13 Leistungskurven („Abkühlkurven“) der Referenz-Gebäudetypen und deren Optimierungsschritte 2-4, die das Potential einer verschiebbaren Wärmeleistung im zeitverzögerten Betrieb (Δt_1) aufzeigen	39
Abbildung 14 Energie-Flexibilität in Abhängigkeit von der Jahreszeit und den passiven solaren Gewinnen für eine charakteristische Woche im Winter, 16. - 23. Jänner, und im Frühling, 16. - 23. März	40
Abbildung 15 Der Rebound-Effekt (Response / Reaktion Δt_2) verschiebbarer Heizlasten nach zeitverzögerten Betrieb (Δt_1)	41
Abbildung 16 Anzahl der Gebäude in den jeweiligen Jahrzehnten zwischen 1961 und 2011 [26]	42
Abbildung 17 Anteil der verschiedenen Energieträger an den Heizsystemen der österreichischen Haushalte (HH)	43
Abbildung 18 Anteil der verschiedenen Energieträger an den Heizsystemen in österreichischen Ein/Zweifamilienhäusern (SFH)	43

Abbildung 19 Anteil der verschiedenen Energieträger an den Heizsystemen in österreichischen Mehrfamilienhäusern (MFH)	44
Abbildung 20 Abgeschätztes Speichervolumen in österreichischen Wohngebäuden, Entwicklung bis 2011	45
Abbildung 21 Übersicht über gebräuchliche Regelungsmethoden für Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik in Gebäuden [28]	46
Abbildung 22 Energieflexibilität als Service mit zwei unterschiedlichen Modi von Energieflexibilität. Die direkte Regelung wird vom Energieunternehmen gesteuert, das nach Maßgabe der Nutzungsrate der Infrastruktur auf ein Potential für Lastabwurf innerhalb eines Gebäudes oder Gebäudeverbands zurückgreift. Bei der indirekten Regelung werden die Gebäudenutzer eingebunden: Hierbei werden Informationen über niedrige Energiepreise oder mögliche Emissionseinsparungen als Anreize angezeigt, auf die Nutzer-initiiert unterschiedliche Verhaltensmuster den Energieverbrauch eines Gebäudes bzw. Gebäudeverbands beeinflussen. [31]	47
Abbildung 23 Übersicht über die Implementierungen in den untersuchten Forschungsstudien für die Entwicklung von Lastvorsagen, Gebäudeautomation, und Entwicklung von Energiemodellen für BIM (Building Information Modelling) im Gebäudebetrieb. Die umgesetzten Lösungen sind je nach Projekt unterschiedlich und heterogen. [31]	48
Abbildung 24 Kolpinghaus Salzburg, Ansicht des Eco-Suite Hotels	50
Abbildung 25 Tagessummenwerte des Heizenergieverbrauchs im Eco-Suite Hotel Salzburg für das erste halbe Betriebsjahr	51
Abbildung 26 Tagessummenwerte der Heizenergieaufbringung (Eigenerzeugung und Import) gegenüber dem -Verbrauch im Eco-Suite Hotel Salzburg für das erste halbe Betriebsjahr	51
Abbildung 27 Wochensummenwerte der Heizenergieaufbringung (Eigenerzeugung und Import) gegenüber dem -Verbrauch im Eco-Suite Hotel Salzburg und Heizenergieexporten in das benachbarte Bestandsgebäude für das erste halbe Betriebsjahr	52
Abbildung 28 8-Tagessummenwerte des Stromverbrauchs in 11 Wohnungen eines +ERS Mehrfamilienhauses in Graz – die Stromverbräuche sind auf einzelne Räume (Bad und WC, Vorraum, Wohnzimmer, Zimmer, Küche, Keller) und Geräte (Geschirrspüler, Waschmaschinen) aufgeteilt dargestellt	53
Abbildung 29 8-Tagessummenwerte des Stromverbrauchs in 11 Wohnungen eines +ERS Mehrfamilienhauses in Graz – die Stromverbräuche sind auf verschiebbare (Geschirrspüler, Waschmaschinen) und nicht verschiebbaren (restl. Verbrauch) Energiemengen je Wohnung aufgeteilt.	54
Abbildung 30 Stündliche Stromverbrauchsdaten und damit sichtbares Lastprofil der Stromverbräuche von 11 Wohnungen – verschiebbare Lasten (blaue Linie) und nicht-verschiebbare Lasten (rote Linie) in 8 Tagen	55
Abbildung 31 Stromverbrauchsdaten in Minuten aufgelöst und damit sichtbares Lastprofil der Waschmaschinen von 11 Wohnungen in 6 Stunden eines Frühlingstages 2016	55
Abbildung 32 Anzahl der befragten Stakeholder, die Herausforderungen im Lastmanagement ihrer Wärmenetze sehen	57

Abbildung 33 Anzahl der befragten Stakeholder und ihre Einschätzung der Wichtigkeit Energieflexibler Gebäude in ihren Netzen	58
Abbildung 34 Anzahl der befragten Stakeholder, die unterschiedliche Barrieren, was die Nutzung intelligenter Technologien für Wärmenetze betrifft, nach Wichtigkeit bewertet haben	58
Abbildung 35 Antworten der befragten Stakeholder, wie sie die Gegenfinanzierungsmöglichkeiten von zusätzlichen Kosten durch intelligente Technologien im Einsatz bei den Wärmenetzen bewerten würden	59
Abbildung 36 Anzahl der befragten Stakeholder und ihre Bewertung des Einflusses zukünftiger intelligenter Technologien und Konzepte für Wärmenetze auf Zukunftsentscheidungen	60
Abbildung 37 TeilnehmerInnenzahl an Expert Meetings im Annex67	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht der international geplanten Deliverables aus dem IEA EBC Annex 67	16
Tabelle 2 Vor- und Nachteile des direkten und indirekten Ansatzes, eine Flexibilitätsfunktion zu erhalten bzw. generieren	25
Tabelle 3 <i>Eigenschaften des stationären Einzelraummodells des Referenzfalls</i>	30
Tabelle 4 Referenz-Raumausstattung und -Parameter für die Simulationen	36
Tabelle 5 Verzögerter Betrieb bei Veränderung von unten angeführten Parametern des stationären Einzelraummodells	37
Tabelle 6 Vier repräsentative Bautypologien basierend auf der TABULA-Datenbank [18]	37
Tabelle 7 Abschätzung der HH-Speichervolumina nach Energieträger für Heizsysteme in Österreich	44



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