

Modellierung individueller Entscheidungsprozesse und des individuellen Einflusses von Intermediären bei der Diffusion von Energieeffizienzmaßnahmen und Erneuerbaren Energien im Gebäudebereich

Schlussbericht zum Projekt „DiffusionEE“

FKZ 03ET4045A, Laufzeit 01.12.2016 bis 31.05.2020

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ort: Karlsruhe
Datum: November 2020

Endversion

Impressum

Schlussbericht „DiffusionEE“

Projektleitung

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
Elisabeth Dütschke, elisabeth.duetschke@isi.fraunhofer.de

AutorInnen

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Projektleitung)
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
Elisabeth Dütschke, elisabeth.duetschke@isi.fraunhofer.de
Joachim Globisch, joachim.globisch@isi.fraunhofer.de

IREES Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien
Schönfeldstraße 8, 76131 Karlsruhe
Jan Steinbach, j.steinbach@irees.de

Beteiligte Institute

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe

Im Unterauftrag:
IREES Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, Karlsruhe
IFAK Institut GmbH & Co. KG Institut für Markt- und Sozialforschung, Taunusstein

Fördermittelgeber

Projekträger Jülich für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Zitierempfehlung

Dütschke, E.; Globisch, J.; Steinbach, J. (2020): Modellierung individueller Entscheidungsprozesse und des individuellen Einflusses von Intermediären bei der Diffusion von Energieeffizienzmaßnahmen und Erneuerbaren Energien im Gebäudebereich. Schlussbericht zum Projekt „DiffusionEE“. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Veröffentlicht

November 2020

Hinweise

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Dieser Bericht einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Die Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, vollständig und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr. Die Darstellungen in diesem Dokument spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Fördermittelgebers wider.

Inhaltsverzeichnis

1	Schlussbericht	4
1.1	Kurzdarstellung.....	4
1.1.1	Kurzdarstellung der Aufgabenstellung des Projekts.....	4
1.1.2	Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde.....	5
1.1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
1.1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	6
1.1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	7
2	Eingehende Darstellung	8
2.1	Verwendung der Zuwendung und Darstellung des erzielten Ergebnisses	8
2.2	Gegenüberstellung mit den vorgegebenen Zielen	24
3	Erwartetes Ergebnis und Ergebnisverwertung	26
3.1	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	26
3.2	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	26
3.3	Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses (fortgeschriebener Verwertungsplan).....	26
3.4	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen	27
3.5	Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses.....	28
4	Abbildungsverzeichnis.....	29
5	Tabellenverzeichnis	30
6	Literatur	31

1 Schlussbericht

1.1 Kurzdarstellung

1.1.1 Kurzdarstellung der Aufgabenstellung des Projekts

Das Projekt hatte zum Ziel, Entscheidungsprozesse zu Energieeffizienzmaßnahmen und erneuerbaren Energien (zusammenfassend EE-Maßnahmen) in Gebäuden zu analysieren. Diese Entscheidungsprozesse wurden dann in einem Energiesystemmodell für den Gebäudebereich abgebildet. Damit sollte die Vorhersagekraft von Szenarien zur Diffusion von Energieeffizienzmaßnahmen und erneuerbaren Wärmeversorgungssystemen bei Bestands- und Neubauten in Deutschland erhöht werden. Das verwendete Energiesystemmodell ist das Bottom-up-Simulationsmodell INVERT/EE-Lab mit dem agentenbasierten Investitionsentscheidungsmodul INVERT-Agents.

- (Potentielle) InvestorInnen in EE-Maßnahmen
 - Gruppe 1: BesitzerInnen von Wohngebäuden (d.h. selbstnutzende EigentümerInnen, Eigentümergemeinschaften, private VermieterInnen, professionelle VermieterInnen/Wohnungsgesellschaften)
 - Gruppe 2: BesitzerInnen von Nichtwohngebäuden bzw. EntscheidungsträgerInnen in Organisationen mit Nichtwohngebäuden (d.h. Personen, die in ihrem Unternehmen/ihrer Behörde/etc. wesentlichen Einfluss auf die Durchführung von EE-Maßnahmen haben)
- Gruppe 3: Intermediäre (Personen, die Einfluss auf entsprechende Entscheidungen und Entscheidungsoptionen der (potentiellen) InvestorInnen haben, also Handwerker, Energieberaterinnen etc.)

Die Ergebnisse der Studien zu (potentiellen) InvestorInnen dienen dazu, innerhalb der beiden Gruppen Untergruppen mit unterschiedlichen Entscheidungslogiken (z.B. Bedeutung verschiedener Beweggründe und Hemmnisse, unterschiedlich strukturierte Entscheidungsprozesse, Informations- und Kommunikationsverhalten, Kenntnis von und Haltung zu Fördermaßnahmen) zu identifizieren und zueinander in Beziehung zu setzen. Die Studie zu den Intermediären gibt Aufschluss darüber, wovon ihr Beratungsverhalten und ihr Angebotsportfolio zu EE-Maßnahmen gegenüber den Investoren abhängt. Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Studien wurden in INVERT-Agents anschließend die Entscheidungsprozesse der InvestorInnen sowie die Wechselbeziehungen zwischen Intermediären und InvestorInnen (Wirkung der Nachfrage auf das Angebot und umgekehrt) modelliert, um so Diffusionsdynamiken besser abzubilden. Dies ermöglicht, Ansatzpunkte für Politikmaßnahmen (z.B. informatorische Maßnahmen, finanzielle Förderung, Qualifikation und Training von Intermediären etc.) modelltechnisch besser untersuchen zu können.

Die Ergebnisse können somit dazu beitragen, besser zu verstehen, wie Unternehmen und Haushalte Entscheidungen treffen. Hierauf aufbauend können Empfehlungen für die Energiepolitik abgeleitet werden. Das Projekt wurde gemeinsam mit der RWTH Aachen bearbeitet und von den Unterauftragnehmern IREES Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien und IFAK Institut unterstützt.

Innerhalb der Projekts gab es folgende Handlungsfelder für das Fraunhofer ISI:

- a. Projektkoordination (AP 1): Dieses AP beinhaltete die allgemeine Projektkoordination, die Überwachung der Einhaltung von Fristen, die Erreichung der Meilensteine, die Einhaltung des Projektbudgets und die Erfüllung der Berichtspflichten gegenüber dem Zuwendungsgeber. Diese Rolle lag beim Fraunhofer ISI als Koordinator.

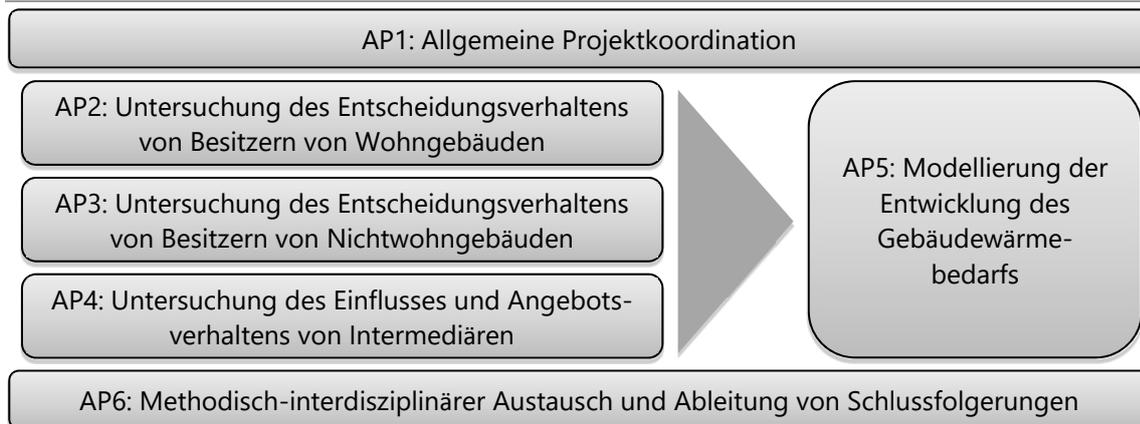
- b. Untersuchung des Entscheidungsverhaltens von Privatpersonen im Besitz von Wohngebäuden (AP 2): Die Bearbeitung dieses AP lag in erster Linie bei der RWTH Aachen und die Mitarbeit des Fraunhofer ISI bestand überwiegend in der beratenden Diskussion.
- c. Untersuchung des Entscheidungsverhaltens von Organisationen im Besitz von (Nicht) Wohngebäuden (AP 3): Dieses AP wurde vom Fraunhofer ISI geleitet und befasste sich mit dem Entscheidungsverhalten von Organisationen zu EE-Maßnahmen bei Wohn- und Nichtwohngebäuden in ihrem Besitz. Das Fraunhofer ISI befasste sich dabei mit EE-Maßnahmen bei Nichtwohngebäuden durch selbstnutzende Eigentümer (AP3.1) und institutionelle Vermieter von Nichtwohngebäuden (AP3.2). Das HCIC setzt sich mit dem Entscheidungsverhalten von institutionellen Vermietern von Wohngebäuden auseinander (AP3.2).
- d. Untersuchung des Einflusses und Angebotsverhaltens von Intermediären (AP4): Die Bearbeitung dieses AP lag in erster Linie bei der RWTH Aachen und die Mitarbeit des Fraunhofer ISI bestand überwiegend in der beratenden Diskussion.
- e. Modellierung der Entwicklung des Gebäudewärmebedarfs und der Diffusion erneuerbarer Wärmeversorgungstechnologien (AP5): Diese Modellierung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Unterauftragnehmer IREES.
- f. Methodisch-interdisziplinärer Austausch und Ableitung von Schlussfolgerungen (AP6): Für den methodisch-interdisziplinären Austausch, die inhaltliche Zusammenführung der in AP2 bis AP4 gewonnen Befunde und die Ableitung von Schlussfolgerungen war AP6 als eigenständiges AP vorgesehen.

1.1.2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Zum Zeitpunkt der Beantragung des Projektes bestand die Situation, dass bestehende Energiesystemmodelle häufig eine hohe Genauigkeit und Auflösung hinsichtlich der technischen und ökonomischen Parameter aufwiesen, während die Entscheidungsprozesse und Einflussnahme zwischen AkteurlInnen als Voraussetzung der technologischen Adoption nicht in gleicher Weise detailliert abgebildet war (Steinbach 2013). Empirische Untersuchungen zeigten jedoch, dass die ökonomisch definierte Wirtschaftlichkeit nur einen Teil der Entscheidungsfindung abbilden kann, und dass auch andere Eigenschaften der Entscheidungsoptionen Relevanz besitzen (Banfi et al. 2008; Michelsen und Madlener 2012; Mills und Schleich 2009; Scarpa und Willis 2010). Gleichzeitig betonte die etablierte Literatur zu sozio-psychologischen Ansätze zum Konsumentenverhalten die Relevanz der individuellen Wahrnehmung sowie von Werten und Normen und hinterfragen den Rationalitätsansatz eines allwissenden Kosten-Nutzen-vergleichenden Akteurs (Ajzen 1991). Diese Schnittstelle zwischen zwei Welten - der Modellierungswelt auf der einen, die sozio-psychologische Forschung auf der anderen - näher zu bearbeiten und dabei auch Forschungslücken in beiden Bereichen aufzugreifen stellte die Ausgangsmotivation des Projektes dar.

1.1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Entsprechend des interdisziplinären Ansatzes des Projekts gliederte sich der Arbeitsplan in zwei koordinative Arbeitspakete (APs), drei APs mit sozio-psychologischem Schwerpunkt und ein Modellierungs-AP:

Abbildung 1: Übersicht über die Projektstruktur

1.1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Zum Stand der relevanten Forschung bei Projektstart lässt sich festhalten, dass die direkte Einbindung von sozialwissenschaftlichen Ergebnissen in (ökonometrische) Modelle zur Adoption und Diffusion von Innovationen gerade erst Ziel größerer Forschungsbemühungen wurde. Wichtige Vorreiterstudien die zur Antragstellung vorlagen, waren hier insbesondere die Arbeiten von Schwarz und Ernst (2009) zur Verbreitung Wassersparender Innovationen sowie von Wolf et al. (2012) zur Adoption von Elektrofahrzeugen. Für den Bereich der Energiesystemanalyse bzw. den Gebäudebereich lagen bis dahin keine vergleichbar umfassenden Arbeiten vor.

In sozio-psychologischer Hinsicht zur Analyse von Entscheidungsprozessen konnte auf Studien aufgebaut werden, bei denen die Adoption und Diffusion von Energieeffizienzmaßnahmen und erneuerbaren Energien im Gebäudebereich auf Basis sozialwissenschaftlicher, empirischer Erhebungen modelliert wurde. Diese Arbeiten deckten Deutschland jedoch nicht ab und fokussierten auf einzelne Technologien. Es ist jedoch anzunehmen, dass sich die Diffusion unterschiedlicher Technologien gegenseitig beeinflusst. Zu nennen wäre hier die Untersuchung von Robinson und Rai (Rai und Robinson 2015; Robinson und Rai 2015) zur Adoption von Photovoltaik durch Privathaushalte in den USA. Die Berücksichtigung der Befragungsergebnisse bei der Modellierung ermöglichte in dieser Studie insbesondere eine deutlich genauere Simulation der Diffusion im Hinblick auf die geographische und subgruppenspezifische Verteilung der Photovoltaik-Beschaffung. Söpha et al. (2013) modellierten die Diffusion von Holzpellettheizungen in Norwegen aufbauend auf einer Befragung basierend auf der handlungs-psychologischen „Theory of Planned Behaviour“ (Ajzen 1991). Hierdurch gelang eine realitätsnähere Modellierung. Weitere Arbeiten (Jensen et al. 2016; Rosales-Carreón und García-Díaz 2015) nahmen Modellmodifikationen auf Basis von Interviewstudien vor und fokussierten dabei auf Feedbacksysteme der Raumlüftung bzw. nachhaltige Baukonzepte.

Der für dieses Projekt verfolgte Modellansatz war jedoch breiter ausgelegt und sollte ermöglichen sowohl den Gebäudebestand auf nationaler, regionaler oder Quartierebene abzubilden, als auch die Investitionsentscheidungen der Akteure zu simulieren. Zudem wird durch das interdisziplinäre Forschungsdesign eine direkte Verzahnung einer umfangreichen empirischen Analyse der entscheidungsrelevanten Akteure mit einem Energiesystemsmodellsimulationmodell erreicht. Die Konzeption der empirischen Analyse in Form der Akteursbefragungen sowie die modelltechnische Umsetzung wurden dementsprechend von Anfang an aufeinander abgestimmt.

1.1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt fand in kontinuierlichem Austausch mit der nationalen und internationalen Forschungs-Community statt. Innerhalb Deutschlands kam dabei dem Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse besondere Bedeutung zu, in dem sich die Mitarbeitenden aus dem Projekt von Seiten des Fraunhofer ISI aktiv einbrachten. Den Anschluss an die Praxis um Umsetzung stellte die Zusammenarbeit mit dem Praxisbeirat sicher, der sich zusammensetzte aus Multiplikator-Organisationen wie CO2online oder die DENFF, Fachverbänden wie Architektenkammer freie Architekten Baden-Württemberg, Haus & Grund Deutschland sowie beratende Unternehmen aus der Praxis wie Vollack oder Eproplan. Darüber hinaus erfolgte ein enger Austausch mit dem Projekt SozioE2S, welches im gleichen Programm gefördert wurde und ebenfalls die Schnittstelle sozio-psychologischer Ansätze und Modellierung bearbeitete. Der Anschluss an die internationale Forschung erfolgte durch Teilnahmen an Konferenzen wie ECEEE oder Behave bzw. an Workshops, z.B. am IEA EGRD Workshop "Towards a Consumer-Driven Energysystem".

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und Darstellung des erzielten Ergebnisses

Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben die Arbeiten und Ergebnisse entlang der Arbeitspakete des Vorhabens und gehen, soweit zutreffend, auf Abweichungen zu den ursprünglich vorgegebenen Zielen ein.

AP1: Projektkoordination

Leitung Fraunhofer ISI, Mitarbeit HCIC RWTH

Dieses AP beinhaltete die allgemeine Koordination der Verbundpartner, um die Einhaltung von Fristen, die Erreichung der Meilensteine, die Einhaltung des Projektbudgets und die Erfüllung der Berichtspflichten gegenüber dem Auftraggeber sicherzustellen. Dies beinhaltet die Strukturierung der Kommunikation zwischen den Verbundpartnern und die Kommunikation gegenüber dem Auftraggeber. Weiterhin beinhaltet dieses AP die Organisation der persönlichen und telefonischen Projekttreffen sowie der Treffen, die Zusammenarbeit mit dem Praxisbeirat als Expertengremium sowie die Organisation des Austauschs mit dem „Schwesterprojekt“ SozioE2S. Letzterer fand in mehreren Treffen und durch telefonischen Austausch statt.

Der Praxisbeirat wurde zu zwei Treffen eingeladen - zunächst zum Austausch zu den Projektzielen und ersten Ergebnissen im Oktober 2017 sowie erneut im November 2019 zum Abschluss und zur Diskussion der weiteren Ergebnisse.

Für das Fraunhofer ISI erfolgte eine Projektverlängerung um ein halbes Jahr, um nach Verzögerungen bei der Datenerhebung die Projektarbeiten zu Ende zu führen.

AP2: Untersuchung des Entscheidungsverhaltens von Privatpersonen im Besitz von Wohngebäuden

Leitung HCIC RWTH

Im Mittelpunkt dieses AP stand die empirische Untersuchung des Entscheidungsverhaltens von privaten Wohngebäudebesitzerinnen und -besitzern. Die Bearbeitung dieses AP lag in erster Linie bei HCIC RWTH Aachen und die Vorgehensweisen und Ergebnisse werden im Abschlussbericht des Verbundpartners berichtet. Die Mitarbeit des Fraunhofer ISI bestand überwiegend in der beratenden Diskussion.

AP3: Untersuchung des Entscheidungsverhaltens von Organisationen im Besitz von (Nicht) Wohngebäuden

Leitung Fraunhofer ISI, Mitarbeit HCIC RWTH

AP3 befasste sich mit dem Entscheidungsverhalten von Unternehmen und anderen Organisationen zu EE-Maßnahmen in Wohn- und Nichtwohngebäuden. Das Fraunhofer ISI befasst sich dabei mit EE-Maßnahmen bei Nichtwohngebäuden durch selbstnutzende Eigentümer (AP3.1) und institutionelle Vermieter von Nichtwohngebäuden (AP3.2). Das HCIC setzt sich mit dem Entscheidungsverhalten von institutionellen Vermietern von Wohngebäuden auseinander. Hierzu wird auf den Abschlussbericht des Verbundpartners verwiesen.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Investitionsentscheidungen von Privatpersonen (Eigenheimbesitzer, Vermieter mit wenigen Immobilien) und den Investitionsentscheidungen von Organisationen ist, dass die internen Entscheidungsprozesse in Organisationen oftmals komplexer sind. Dies ergibt sich

aus der größeren Anzahl der Entscheidungsbeteiligten, die oftmals abweichende Entscheidungskriterien und Anreize haben.

Nach einer Aufarbeitung der Literatur, die ergab, dass sich bisher erst wenige Studien mit dem Entscheidungsverhalten selbstnutzender Eigentümerinnen und Eigentümer von Nichtwohngebäuden befassen, wurden qualitative leitfadengestützte Interviews durchgeführt. Diese Interviews dienten zwei Zielen:

- Nicht alle Organisationen sind gleichermaßen von Relevanz, wenn es um den Bestand an selbstgenutzten Nichtwohngebäuden in Deutschland geht, da es auch Organisationen gibt, die ihre Geschäftsräume nur gemietet haben oder nur Immobilien besitzen, bei denen wenig Energieeffizienzpotentiale bestehen (z.B. unbeheizte Lagerhallen). Mittels der Interviews soll die Zielgruppe der relevanten Organisationen genauer bestimmt werden. Durch die Sichtung von Studienergebnissen zum Energieverbrauch in Nichtwohngebäuden konnte die Zielgruppe im Bereich der Nichtwohngebäude auf Organisationen eingegrenzt werden, die Büro- oder Verkaufsgebäude selbst nutzen oder vermieten (Input zu AP3.2).
- Wenn es um EE-Maßnahmen geht, kann es in Organisationen eine größere Anzahl an Entscheidungsbeteiligten geben, die u.U. auch abweichende Entscheidungskriterien und Anreize haben. Im Rahmen der Interviews soll daher untersucht werden, wer die hauptsächlichen Entscheidungsträger in den Organisationen sind bzw. sein können.

Methodisch war die Interviewstudie zweistufig angelegt. Als zweite Stufe waren weitere Interviews mit eigentlichen Entscheidern in Organisationen geplant.

Um diese Eingrenzung zu validieren und die quantitative Befragung vorzubereiten wurde eine zweistufige qualitative Vorstudie durchgeführt. In der ersten Stufe wurden vier Experten-Interviews durchgeführt, um die thematische Eingrenzung zu validieren und mögliche Subgruppen unter den eigentlichen Entscheidern bzw. Organisationen zu identifizieren. Hierbei dienten zunächst die Mitglieder des Expertengremiums als erste Zugänge eingeplant. Die Ergebnisse der Interviews sprachen für die getroffene Eingrenzung - zwar bestehen auch bei anderen Nichtwohngebäuden (v.a. bei Produktionsgebäuden) energetische Optimierungspotentiale, jedoch sind die möglichen Maßnahmen in diesem Gebäudesegment sehr stark mit den Produktionsprozessen verknüpft, die in dem Gebäude stattfinden. Da diese Produktionsprozesse sehr unterschiedlicher Natur sein können, ist eine Maßnahmenentwicklung unabhängig vom Einzelfall kaum möglich. Vor dem Hintergrund des (im Vergleich zu Verkaufs- und Bürogebäuden) geringen Beitrag von Produktionsgebäuden zu den durch thermische Konditionierung (siehe Arbeitspaket 6) bedingten, CO₂-Emissionen erscheint eine eingehende Betrachtung daher nicht sinnvoll.

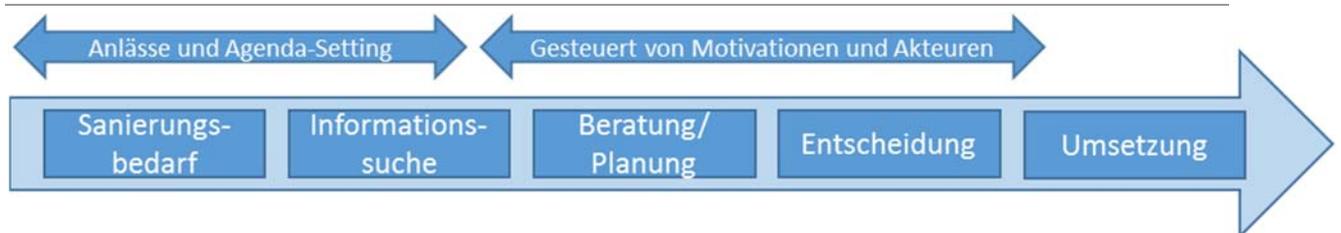
Als zweite Stufe wurden acht weitere Interviews mit eigentlichen Entscheidern in Organisationen durchgeführt. Davon entfielen sieben Interviews auf Entscheider aus Organisationen, die ihre Nichtwohngebäude selbst besitzen (5 KMU, 1 Großunternehmen, 1 Organisation des öffentlichen Dienstes). Bei den Interviews mit Entscheidern stand die Untersuchung der organisationsinternen Entscheidungsprozesse und -akteure im Mittelpunkt.

Die Auswertung der Interviews zeigte, dass sich der Entscheidungsprozess in Unternehmen entlang von Entscheidungsphasen entwickelt (Abbildung 2): Zunächst erfolgt die Identifikation des Sanierungsbedarfs, worauf eine Informationssuche aufgenommen wird; dies mündet in eine Phase der genaueren Planung und Beratung, woraufhin eine Entscheidung für oder gegen die Durchführung der Maßnahme erfolgt, ggf. gefolgt von der Umsetzung. Diese Phasen sind allerdings nicht scharf voneinander abgegrenzt und beziehen sich eher selten auf einzelne EE-Maßnahmen. Stattdessen waren die EE-Maßnahmen in der Regel eng mit weiteren Maßnahmen im Bereich der Sanierung und weiterer Geschäftsaktivitäten verbunden. D.h. die Befragten berichteten selten spezifisch über ein oder zwei umgesetzte Maßnahmen, da sich die meisten Organisationen in einem ständigen Prozess der Aufrechterhaltung des Standards und der Verbesserung ihrer Gebäude sowie deren Anpassung an ihre Geschäftsentwicklung befanden. Dies impliziert auch eine enge Verbindung mit dem jeweiligen Kerngeschäft der Organisation. Bei Einzelhändlern beispielsweise wurden Maßnahmen immer im Zusammenhang mit dem Verkauf gesehen und wie sie sich auf die Kunden auswirken würden - während ihrer Umsetzung und danach. So

wurden Maßnahmen, die die Räume für Kunden attraktiver machen, ganz anders diskutiert als Maßnahmen, die hierzu nicht beitragen. Umgekehrt, wenn Bauarbeiten durchgeführt wurden, um das Geschäft für die Kunden attraktiver zu machen, erlaubte dies (manchmal) die gleichzeitige Umsetzung von EE-Maßnahmen.

Weiterhin überlagern zwei Metaprozesse die Entscheidungsphasen. Erstens, in den früheren Phasen und eng verbunden mit der Identifizierung des Sanierungsbedarfs, ist der Prozess des Agenda-Setting, d.h. ob das Thema energieeffiziente Sanierung überhaupt Teil des internen Diskussionsprozesses wird. Dies steht in engem Zusammenhang mit den auslösenden Anlässen (Überschrift „Anlässe und Agenda Setting“ in Abbildung 2). Zweitens wird das Ergebnis des Entscheidungsprozesses parallel zur Beratung und Planung und der endgültigen Entscheidungsfindung durch eine Vielzahl von Motivationen geprägt, die oft mit den früheren Anlässen, die den Prozess ausgelöst haben, zusammenhängen, sowie durch eine mehr oder weniger große Anzahl von Akteuren innerhalb und außerhalb der Organisationen („gesteuert von Motivationen und Akteuren“).

Abbildung 2: Modell des Entscheidungsprozesses für EE-Investitionen in Nicht-Wohngebäude



Zu den Anlässen, die zur Ermittlung des Sanierungsbedarfs und zur Suche nach Informationen führen, gehören sowohl interne als auch externe Faktoren, von denen einige im Zusammenhang mit dem Bereich der Energienutzung und Nachhaltigkeit stehen, andere hingegen nicht (siehe Tabelle 1). Energiebezogene Fragen umfassen den Einfluss breiter angelegter Energieinitiativen, wie die Einführung von Energiemanagementsystemen, die Teilnahme an bestimmten Initiativen wie EE-Netzwerken oder in einigen Fällen (obligatorische) Energieaudits. Ein weiteres energiebezogenes Thema war das Ziel, die Energiekosten zu senken. Darüber hinaus spielen interne Ziele und Strategien eine Rolle, z.B. in Bezug auf Energie, aber auch allgemeinere Fragen der Nachhaltigkeit oder des gesellschaftlichen Nutzens, und können Prozesse in Gang setzen, die zur Identifizierung eines Sanierungsbedarfs führen. Ein sehr wichtiger Bereich sind Störungen in Arbeitsabläufen oder Änderungen in der Nutzung der Gebäude, z.B. eine Erhöhung oder Verringerung der Anzahl der Mitarbeiter oder bestimmter Produkte, und natürlich der Ausfall bestimmter Anlagen, z.B. am Ende ihrer Lebensdauer.

Auch gesetzliche Anforderungen oder steigende Standards wie die Energieeinsparverordnung, Fragen des Brandschutzes oder der Zugänglichkeit spielen eine Rolle. Einige Interviews bezogen sich auch auf den wahrgenommenen Druck von Kunden und der Öffentlichkeit. Dies ergab sich zum Teil aus einer gestiegenen allgemeinen Wahrnehmung von Nachhaltigkeit oder Energiedebatten in der Gesellschaft; in einigen Fällen bestand spezifischer Druck, z.B. bei wenn bestimmte Standards von den (Unternehmens)kundInnen entlang der Lieferkette eingefordert wurden. Darüber hinaus wurden Bedürfnisse manchmal durch Zufall erkannt, z.B. nach externen Veranstaltungen wie Messen oder durch Kontakte zu Intermediären, z.B. BeraterInnen, HandwerkerInnen.

Wirtschaftliche Aspekte sind laut den Interviews für die endgültige Entscheidung, eine EE-Maßnahme tatsächlich umzusetzen, sehr wichtig. Einige Organisationen geben an, sehr feste Regeln zu haben. In anderen Fällen war dies vager und die Entscheidungen mussten nur als wirtschaftlich "vernünftig" empfunden werden. Die Befragten erwähnten auch, dass die endgültige Entscheidung neben der wirtschaftlichen Bewertung auch von parallelen, laufenden Prozessen abhing, z.B. die aktuelle Stimmung der Eigentümer.

Tabelle 1: Anlässe für Sanierung

	Energiebezogen	Nicht energiebezogen
Intern	<ul style="list-style-type: none"> • Systematische Prozesse und Ereignisse, z.B. Energieaudits, Energie-/Umweltmanagementsysteme • Energiekosten (absolut, relativ, im Vergleich zu anderen) • Generelle Unternehmenspolitik z.B. zur CO₂-Einsparung 	<ul style="list-style-type: none"> • Störungen in den Arbeitsabläufen • Konversion / Erneuerung / Ausbau / Aufwertung von Gebäuden • Nähe zum Kerngeschäft, z.B. Herstellung nachhaltiger Produkte • Schäden / zyklische Erneuerung • Breitere Ziele zu Nachhaltigkeit oder gesellschaftlicher Verantwortung
Extern	<ul style="list-style-type: none"> • Gesetzliche Verpflichtungen wie Energieeinsparverordnung • Externer Druck bzw. Anforderungen z.B. von KundInnen • Vorschläge und Initiativen von Dritten, z.B. Intermediären, Forschungsprojekte, Messen 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesetzliche Verpflichtungen wie Brandschutz • Erhöhung der Attraktivität für KundInnen

Außerdem spielte das Ziel des auslösenden Anlasses weiter eine Rolle. Wenn die Hauptmotivation z.B. darin bestand, die Attraktivität des Gebäudes für Kunden oder Mitarbeiter zu erhöhen, dann wurde die Entscheidung für die Umsetzung der Effizienzmaßnahme stark davon beeinflusst, ob sie zu diesem übergeordneten Ziel passten, z.B. ob eine neue Heizungsanlage in der Lage ist, das Raumklima zu verbessern. Aspekte der Sichtbarkeit oder ein Beitrag zu Werbeaktivitäten oder die breitere Vision des Unternehmens waren ebenfalls wichtig. Zusätzliche Argumente, die zu einer Entscheidung für oder gegen eine Maßnahme führten, bezogen sich auf die (zusätzlichen) Störungen, die sich aus der Umsetzung ergaben, z.B. Auswirkungen auf den Einzelhandelsbereich eines Gebäudes. Eine persönliche Motivation oder ein persönliches Interesse des endgültigen Entscheidungsträgers, oft des CEO, war wichtig, um die Entscheidung zu stabilisieren. Es wurde berichtet, dass Maßnahmen mit größerer Wahrscheinlichkeit eine positive Bewertung erhalten, wenn sie wahrscheinlich schnell zu Ergebnissen führen.

Neben dem endgültigen Entscheidungsträger, der entweder dem Vorstand oder dem CEO (in kleineren Unternehmen oder bei größeren Maßnahmen) oder dem Anlagen- oder Energiemanagement, falls vorhanden (in größeren Unternehmen oder bei kleineren Maßnahmen) angehörte, hatten auch andere Parteien ein Mitspracherecht im Entscheidungsprozess. Dazu gehört der Vertrieb, der Betriebsrat, betroffene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie Vorgesetzte.

Hauptstudie

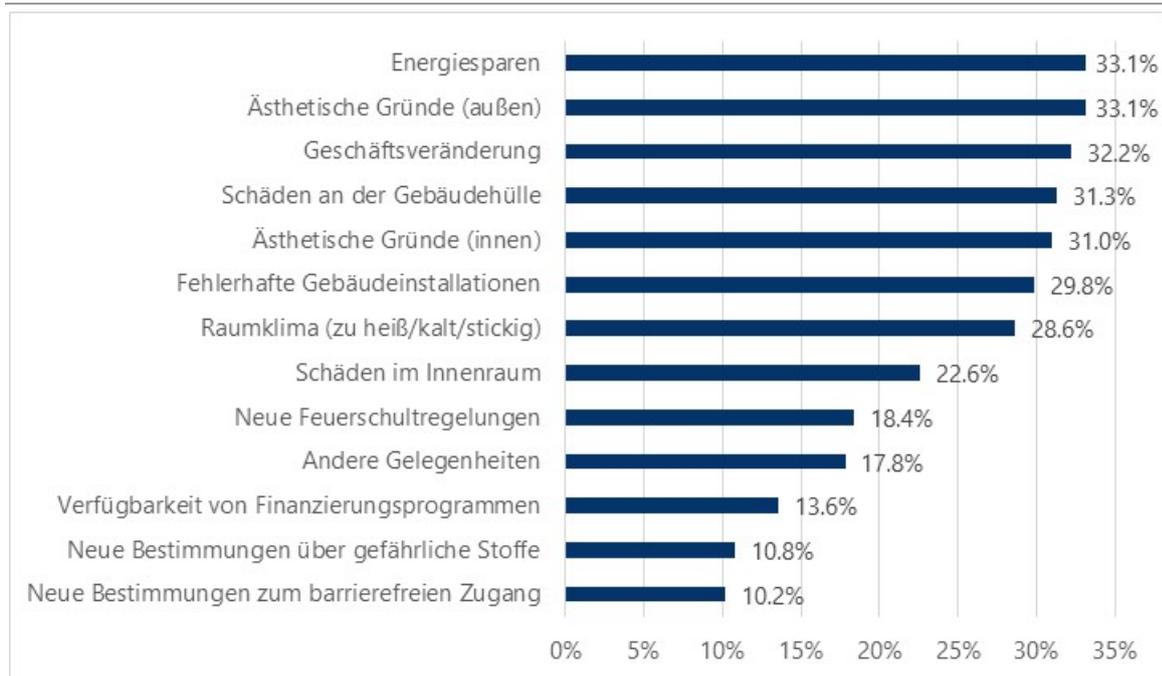
Auf Grundlage der Interviewergebnisse wurde als Hauptstudie die Befragung von Unternehmen durchgeführt, um die Befunde aus den Interviews auf breiterer Basis zu überprüfen sowie eine quantitative Basis für die Integration in die Modellierung zu schaffen. Bei dieser Datenerhebung kam es zu Verzögerungen¹. Die Umsetzung des Fragebogens erfolgt per Online-Fragebogen; die Befragten aus den Unternehmen werden von dem beauftragten Dienstleister telefonisch und per Mail kontaktiert.

Die finale Stichprobe umfasst die Befragung von 332 EntscheidungsträgerInnen in Unternehmen zu Sanierungen von Büro- und Verkaufsgebäuden, die sich im Besitz des Unternehmens befinden und von

¹ Das zunächst beauftragte Marktforschungsinstitut lieferte Daten von mangelnder Qualität, sodass die Befragung erneut durchgeführt werden musste.

diesem selbst genutzt werden. Aufbauend auf den Ergebnissen der Interviews wurden die Anlässe erfasst, aufgrund derer es zu Bauarbeiten an den Gebäuden kommt und unter welchen Umständen energetisch anspruchsvoll saniert wird. Der Wunsch, Energie einzusparen, ist nur einer unter vielen Anlässen, warum Bauarbeiten an Büro- und Verkaufsgebäuden erfolgen (vgl. Abbildung 3), zahlreiche andere Gründe werden darüber hinaus jedoch ebenfalls benannt.

Abbildung 3: Anlässe für Sanierungsmaßnahmen



Aufbauend auf die Identifikation der wichtigen Rollen von unterschiedlichen AkteurlInnen in der Entscheidungsphase wurden die Befragten um eine Einschätzung gebeten, inwieweit sie von den verschiedenen Abteilungen und anderen internen Akteuren erwarten würden, dass diese eine energetische Sanierung unterstützen oder ablehnen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt. Bei der Interpretation der dargestellten Anteile ist zu berücksichtigen, dass nicht alle der aufgeführten Abteilungen/Akteure in allen befragten Unternehmen existieren.

Falls vorhanden, wird vom Energie-/Nachhaltigkeitsmanagement meist erwartet, dass es Initiator oder aktiver Befürworter einer energetisch anspruchsvollen Sanierung wäre. An zweiter bis vierter Stelle als Initiator oder aktiver Befürworter wird am häufigsten das Gebäudemanagement, das mittlere Management und die CSR/Compliance-Abteilung genannt. Von den übrigen Abteilungen und anderen Akteuren wird eher selten erwartet, dass sie als Initiator oder aktiver Befürworter einer energetisch anspruchsvollen Renovierung auftreten. Mit Ausnahme des Energie-/Nachhaltigkeitsmanagements wird von allen internen Akteuren meist erwartet, dass sie eine passive positive oder neutrale Position zum Thema energetische Sanierungen einnehmen. Eine aktive Opposition oder eine passiv negative Haltung wird im Allgemeinen nicht häufig erwartet. Mit Ausnahme der Controlling-Abteilung (3,0%), der Logistik/Lagerhaltung (1,8%), des mittleren Managements (0,8%) und der Einkaufsabteilung (0,7%) wurde keiner der internen Akteure als mutmaßlich aktiver Opponent genannt.

Abbildung 4: Erwartete Rolle verschiedener Akteure bei einer energetischen Sanierung

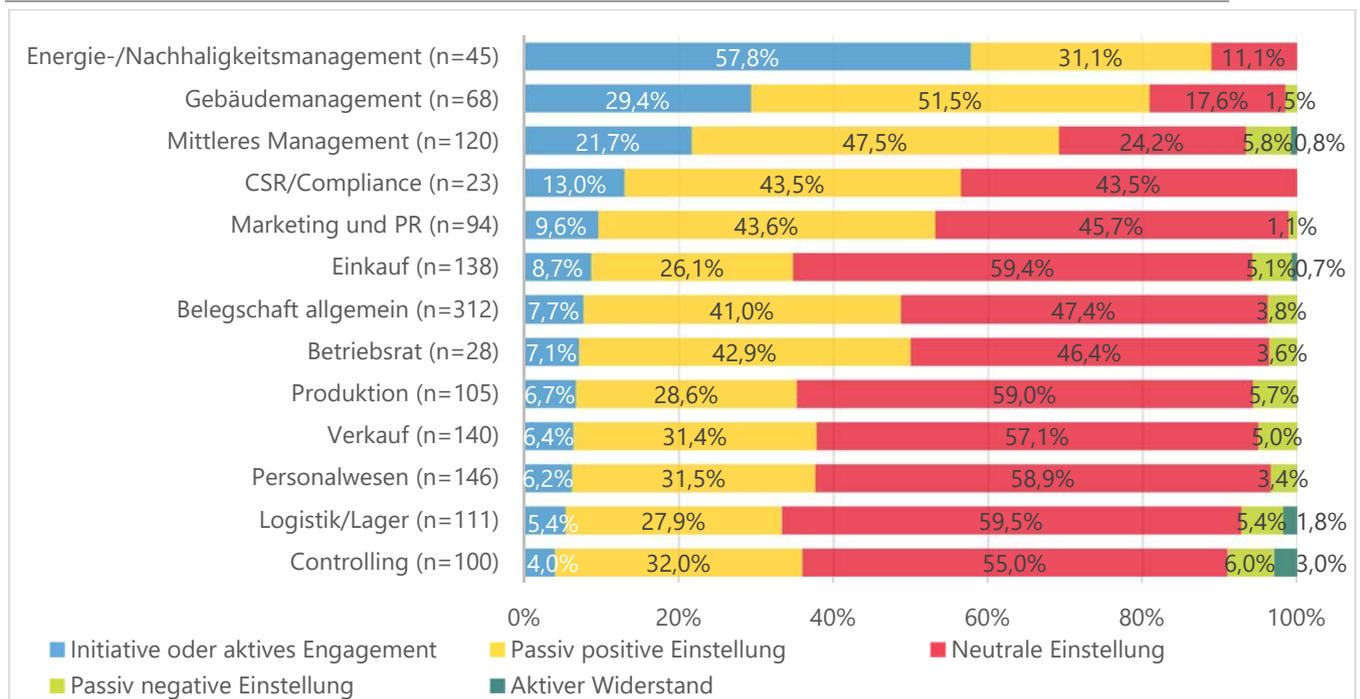
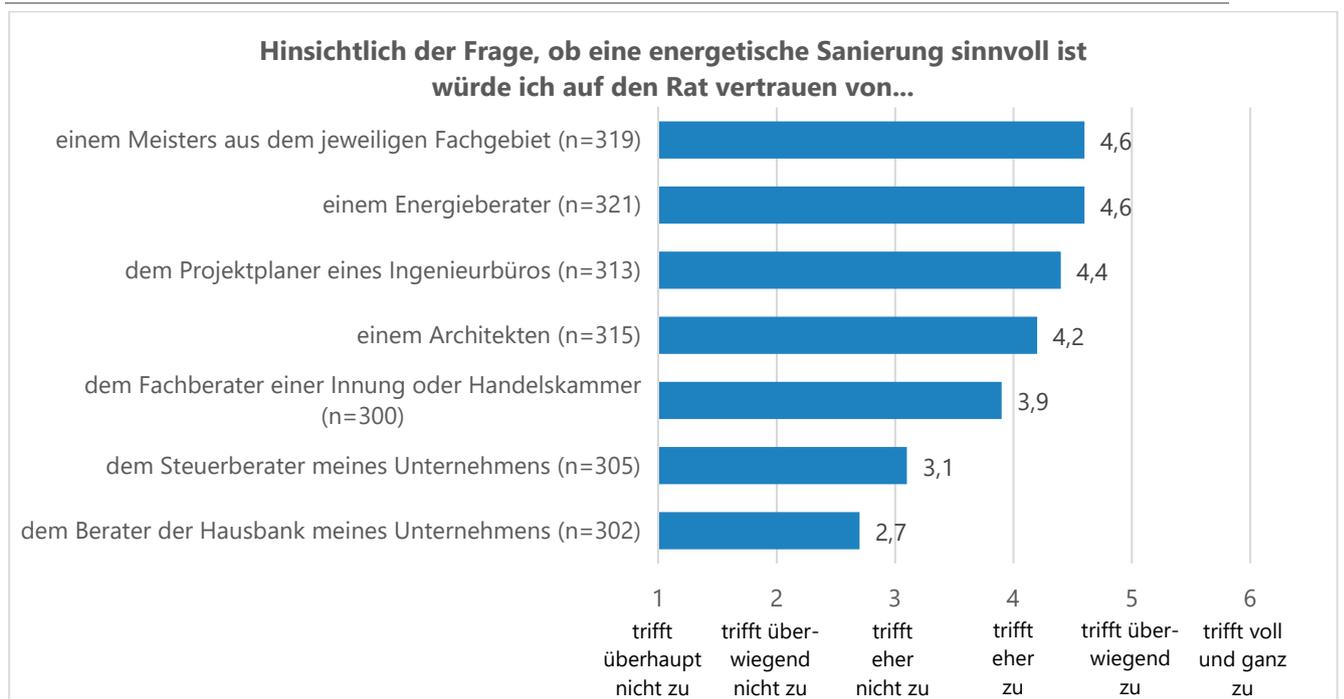


Abbildung 5: Einfluss von Intermediären auf (energetische) Renovierungen



Der erwartete Einfluss der Intermediäre als externe Akteure, die die Entscheidung beeinflussen könnten, ob eine energetisch ambitionierte Renovierung durchgeführt wird oder nicht, wie in Abbildung 5 dargestellt, wurde anhand von Likert-Skalen gemessen, die von eins (trifft überhaupt nicht zu) bis sechs (trifft voll und ganz zu) reichten. In dieser Hinsicht sind die Handwerksmeister und Energieberater die Intermediäre, deren Rat die Befragten am meisten vertrauen. Ebenso werden die Ratschläge von Projektplanern, Architekten und Experten einer Innung oder der Handelskammer als (eher) zuverlässig angesehen, während Steuerberater und Bankberater weniger zustimmende Bewertungen bei dieser Frage erhalten.

Im dritten Teil des Fragebogens wurden die Befragten nach den Ergebnissen gefragt, die sie von einer energetischen Sanierung im Vergleich zu einfachen Reparaturarbeiten erwarten. Die Formulierung dieser Punkte wurde durch Vorstudie und zusätzliche Literaturrecherchen unterstützt. Hier lag der Schwerpunkt auf der Analyse, welche Faktoren einflussreich sind für die individuelle Motivation des Befragten, sich für eine energetische Sanierung statt einfacher Reparaturarbeiten einzusetzen. Es zeigte sich, dass die Bereitschaft der Befragten, sich für eine energetisch ambitionierte Renovierung einzusetzen, steigt, wenn sie erwarten, dass diese einen Beitrag zum Klimaschutz leistet, künftige Renovierungen vermeidet (und zu positiven Reaktionen der Beschäftigten führt. Darüber hinaus sind die Befragten aus dem mittleren Management im Allgemeinen eher bereit, sich für energetisch ambitionierte Renovierungen einzusetzen. Die Befragungsergebnisse sind ausführlicher in einem eigenen Bericht dargestellt.

AP4: Untersuchung des Einflusses und Angebotsverhaltens von Intermediären

Leitung HCIC RWTH

Dieses AP fokussierte auf die Untersuchung des Einflusses und Angebotsverhaltens von Intermediären (AP3): Die Bearbeitung dieses AP lag in erster Linie bei der RWTH Aachen und die Mitarbeit des Fraunhofer ISI bestand überwiegend in der beratenden Diskussion. Hierzu wird auf den Abschlussbericht des Verbundpartners verwiesen.

AP5: Modellierung der Entwicklung des Gebäudewärmebedarfs und der Diffusion erneuerbarer Wärmeversorgungstechnologien

Leitung Fraunhofer ISI, Unterauftrag IREES

Dieses Arbeitspaket befasst sich mit der Modellierung der Szenarien für den Gebäudewärmebedarf und der Diffusion erneuerbarer Energien. Ziel ist es durch den interdisziplinären Austausch die Modellbildung mit Bezug auf die Integration empirischer Erkenntnisse zu Akteuren im Gebäudebereich voranzubringen.

Abbildung des Gebäudebestandes und der Eigentümer

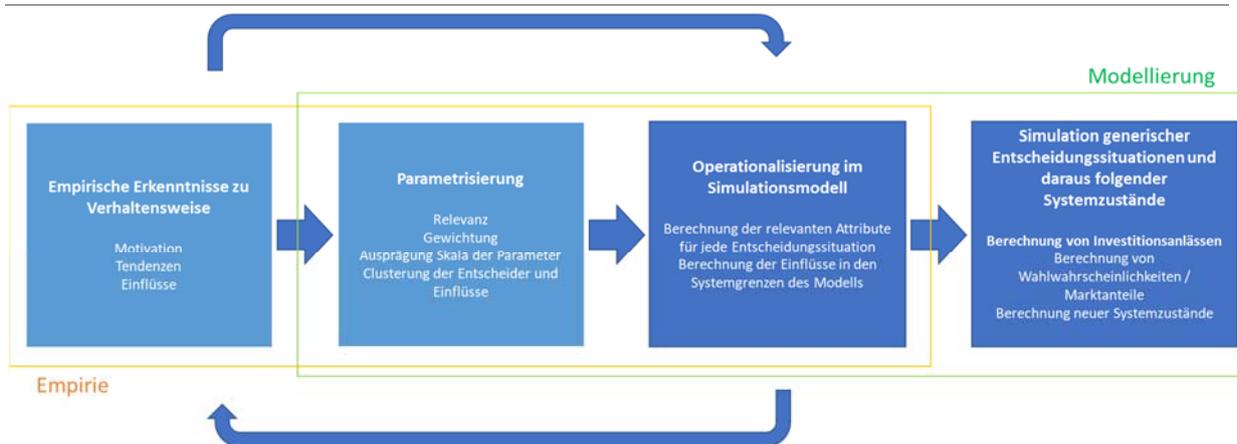
Zunächst erfolgte eine detaillierte Abbildung des Gebäudebereichs in Referenzgebäudesegmenten sowie die die Strukturierung der Entscheider. Datengrundlage zur Abbildung des Wohngebäudebestandes stellen insbesondere die Daten aus der Mikrozensus Zusatzerhebung *Wohnen in Deutschland 2018* (Statische Ämter des Bundes und der Länder, 2019), die Studie *Datenerhebung Wohngebäudebestand* (Cischinsky & Diefenbach, 2018) und Abfragen zusätzlicher Daten aus der mit dieser Studie verbundenen Datenbank des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU) (Cischinsky et al., 2018) dar. Für den Nichtwohngebäudebereich bestehen derzeit noch große Datenlücken. Auch im Rahmen der empirischen Befragung in diesem Projekt konnten keine repräsentativen Strukturdaten zu dem Nichtwohngebäudebestand und dem Segment der Büro- und Handelsgebäude gewonnen werden. Die Datengrundlage stellt insbesondere die Studie zum Energieverbrauch im Sektor GHD und die darin entwickelte Gebäudetypologie (Schloman et al., 2013) sowie die Studie Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude dar (Dirich et al., 2011). Relevante Daten aus der laufenden Studie data:NWG zur systematischen Erfassung des Nichtwohngebäudebestandes konnten nur mit Bezug auf wenige Informationen aus der Vorabveröffentlichung auf der Webseite integriert werden (Hörner et al., 2018).

Prozess zur Operationalisierung und Parametrisierung der empirischen Ergebnisse in die Energiesystemmodellierung

Im Rahmen des Projektes sind verschiedene mögliche Schnittstellen zwischen empirischer Befragung und dem Modell identifiziert und konzeptionell entworfen worden. Im Arbeitspaket zum interdisziplinären Austausch haben sich daraus verschiedene methodische Herangehensweisen sowohl für das Befragungsdesign als auch das Modelldesign ergeben. Daraus ergeben sich wichtige Erkenntnisse für eine empirische Modellbildung in der Energiesystemmodellierung, die Systemzustände durch Simulationsentscheidungen einzelner Akteure ermittelt.

Für die Modellierung der Entscheidungssituation und der Investitionsentscheidung ist dabei die Quantifizierung und Operationalisierung von Parametern in den Systemgrenzen des Modells relevant. Somit reicht es nicht aus, dass qualitative Erkenntnisse und Tendenzen in Faktoren quantifiziert werden, sondern dass die Abhängigkeit dieser Faktoren sich innerhalb der Systemgrenzen des Modells abbilden lassen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit des interdisziplinären Austausches von Anfang an und eine Überlagerung im methodischen Vorgehen von Seiten des Befragungsdesigns einerseits (Empirie) und der Energiesystemmodellierung andererseits (Abbildung 6). Da die Erkenntnisse mit Bezug auf die relevanten Verhaltensweisen erst durch die empirische Forschung gewonnen werden, kann von Seiten der Modellierung nicht von Anfang an der Parameterraum vorgegeben werden, der bereits durch das Modell abgedeckt ist. Andererseits ergeben sich aus Sicht der Modellbildung nach vorliegenden Erkenntnissen zu Identifizierung der relevanten Akteure und deren Motivation, Tendenzen und Einflüssen durch andere, Mindestanforderungen an die Parametrisierung und Operationalisierung im Simulationsmodell.

Abbildung 6: Arbeitsschritte und Überlappung bei der empirischen Modellbildung



Quelle: Eigene Darstellung

Mit Bezug auf die durchgeführten Arbeiten im Projekt hat sich gezeigt, dass die empirischen Erkenntnisse in den ersten Befragungen wichtige Erkenntnisse für die Anlässe für eine Entscheidungssituation und die relevanten Attribute bei der Entscheidungswahl geliefert haben. Diese konnten zum großen Teil auch parametrisiert, aber nur teilweise operationalisiert werden, da diese außerhalb der Systemgrenzen des Modells liegen. Beispiele hierfür sind die Erkenntnisse zu nicht gebäude- oder eigentümerspezifischen Sanierungsanlässen. Die Erkenntnis, dass eine Geschäftsveränderung im Bereich der Nichtwohngebäude eine höhere Relevanz für die Durchführung einer Sanierung hat als die gebäudespezifischen Schäden, kann im Modell nur generisch abgebildet werden. Während Schäden an der Gebäudehülle statistisch am Gebäudealter festgemacht werden können und damit die Wahrscheinlichkeit für einen Sanierungsanlass in Abhängigkeit des hinterlegten Alters des Gebäudes modelliert werden kann, ist der Zusammenhang mit dem Treiber „Geschäftsänderung“ außerhalb der Systemgrenzen. Im Rahmen des Projektes konnten somit nicht alle empirischen Erkenntnisse direkt im Modell operationalisiert werden. Zum anderen gibt es auch empirische Ergebnisse, die zwar mit Bezug auf ihre Wirkungszusammenhänge im Modell operationalisiert werden, für die aber aus den empirischen Ergebnissen bisher keine ausreichende Datenbasis für eine Parametrisierung vorliegen.

Der im Rahmen des Projektes entwickelte Prozess von Methodendesign der empirischen Erhebung, Datenerhebung, Parametrisierung, Modellanpassung, Feedback und Anpassung der Erhebungsmethoden hat sich jedoch als gewinnbringend und notwendig für vergleichbare Projekte gezeigt.

Modellierung von Aktivitätsraten mit Bezug zu den empirischen Erkenntnissen

Im Modell Invert/ee-lab werden diese Aktivitätsraten nicht exogen vorgegeben, sondern endogen modelliert. Zentraler Treiber ist dabei das Alter der einzelnen Gebäudekomponenten und deren charakteristische Lebensdauer (Kranzl et al., 2013; Steinbach, 2015). Die Berechnung erfolgt dabei separat für Wärmeversorgungssysteme und Energieeffizienzmaßnahmen mittels einer *Weibull-Verteilung*, welche das gängigste statistische Modell zur Beschreibung der Ausfallwahrscheinlichkeit technischer Systeme darstellt (Lawless, 2003). Die empirischen Ergebnisse aus AP2 und AP3 bestätigen, dass ein Ausfall der Wärmeversorgung oder die Schäden an der Gebäudehülle die zentralen Anlässe für die Durchführung einer Sanierungsmaßnahme insbesondere im Wohngebäudebereich darstellen. Die Befragung der Entscheider von Büro- und Handelsgebäuden zeigen jedoch, dass die Anlässe im Nichtwohngebäudebereich vielschichtiger sind und deren Relevanz teilweise auch höher sind. Es ist nicht möglich, alle identifizierten Anlässe in der Energiesystemmodellierung abzubilden, da diese außerhalb der Systemgrenzen des Modells liegen. Um die Aktivitätsraten nicht allein anhand der technischen Lebensdauer zu modellieren, wird das Modell jedoch innerhalb der Systemgrenzen erweitert. Dazu wird eine Energiekostenbezogene Sanierungsrate implementiert. Im Modell kann dabei auf Ebene der Gebäudekategorien festgelegt werden, inwieweit sich der Anteil der Sanierungsrate – Anzahl von Gebäude mit Instandsetzung oder energetischen Sanierungsmaßnahmen – anhand der Entwicklung der Energieeinsparungskosten im Verhältnis zu den Energiekosten verändert. Die durchschnittlichen Energieeinsparungskosten ergeben sich aus den kapitalgebundenen Kosten als Annuität der Investitionen in die definierten energetischen Sanierungspakete. In jeder Simulationsperiode wird berechnet, wie weit die durchschnittlichen Energiekosten über den durchschnittlichen Energieeinsparungskosten liegen. Das Verhältnis zwischen Energieeinsparungskosten und Energiekosten bestimmt den Faktor der zusätzlichen Sanierungsrate (Aktivität), die nicht über die technische Ausfallrate definiert.

Modellierung der Investitionsentscheidung und Integration der empirischen Ergebnisse

Für die Modellierung der Investitionsentscheidung sind mit Bezug auf eine geeignete Parametrisierung und direkte Operationalisierung im Gebäudemodell Invert/ee-lab insbesondere die Ergebnisse der Conjoint-Analyse relevant (siehe Bericht Conjoint-Analyse). Das Modell wird so aufgebaut, dass die Differenzierung und Parametrisierung der Entscheider-Agenten flexibel angepasst werden kann und im Zuge weiterführender Studien durch weitere empirische Erkenntnisse noch detaillierter parametrisiert werden kann. Die Eingabe erfolgt dabei wie bei den gebäudespezifischen Eingangsdaten über eine Excel-Schnittstelle.

Grundlage für die Operationalisierung stellen die Teilnutzenwerte (Pathworth utilities) aus dem Conjoint-Experiment für die einzelnen Attribute dar. Die Höhe des Teilnutzenwertes eines Attributes kann nicht mit dem Teilnutzenwert eines anderen Attributes verglichen werden. Für die Modellierung entscheidend sind daher nicht die resultierenden Gewichtungparameter des Conjoint-Experimentes, sondern die Teilnutzenwerte aus denen für jede Entscheidungssituation die jeweiligen Gewichtungparameter in Abhängigkeit der Attributsausprägungen resultieren. Dazu werden aus den Teilnutzenwerte der Attribute Skalierungsfunktion abgeleitet, mit denen die Ausprägungen der jeweiligen Attribute in den generischen Entscheidungssituationen im Modell in korrespondierende Nutzenwerte entsprechend den empirischen Ergebnissen der Conjoint-Analyse transformiert werden können.

Die Berechnung der Marktanteile erfolgt auf Basis der beschriebenen Berechnung der Gesamtnutzenwerte. Darauf aufbauend wird die Wahlwahrscheinlichkeit und damit die Marktanteile der generischen Entscheidungssituation für die jeweilige Kombination aus Referenzgebäudesegment und Entscheider simuliert. Die Berechnung erfolgt mittels einer logistischer Verteilfunktion auf Basis eines *Nested-Logit-Modells*, welches auf die Simulation von Marktanteilen auf Basis von gewonnen Nutzwerten im Choice-Experiment (Train, 2002) bzw. der *Random-Utility-Theory* (Marschak, 1960) zurückgeht.

Modellierung von Einflüssen und Markbeschränkungen

Die Integrationen der identifizierten und parametrisierten Entscheidungsvariablen ermöglichen das Investitionsverhalten im Gebäudebereich in Abhängigkeit individueller Entscheider-Agenten bei gegebenen Technologien zu modellieren. Dabei wird jedoch vernachlässigt, dass der Zugang zu Technologien aufgrund von Marktdynamiken eingeschränkt ist oder der Entscheider aufgrund von Einflüssen und selektiven Informationen in den gegebenen Entscheidungssituationen zusätzlicher Nutzenwerte für bestimmte Alternativen ergeben, die nicht auf die direkten Attribute der jeweiligen Optionen zurückzuführen sind. Die Relevanz dieser Einflüsse zeigt sich nicht nur bei der Befragung Wohngebäudeeigentümer, sondern sehr deutlich auch in den Ergebnissen des Conjoint-Experiments, welches die Zunahme des Gesamtnutzwertes aufgrund der favorisierten Empfehlungsquelle quantifiziert.

Für die Simulation der Investitionsentscheidung in Wärmeversorgungs-technologien können diese Restriktionen im Modell berücksichtigt und parametrisiert werden, woraus sich für jedes Simulationsjahr maximale Marktanteile für die einzelnen Technologien ergeben. In jedem Simulationsschritt wird dabei überprüft, ob die Aggregation der jeweiligen Marktanteile der Technologien aus den simulierten Investitionsentscheidungen aller Entscheider-Agenten die maximalen Markthochläufe für das jeweilige Simulationsjahr überschreiten. Wenn dies der Fall ist, erfolgt eine entsprechende Anpassung der aggregierten Marktanteile.

Folgende Eingangsdaten für das Diffusionsmodell lassen sich dabei technologiespezifisch parametrisieren:

- **Diffusionszeit:** Charakteristische Dauer, bis eine Technologie die volle Marktdurchdringung erreichen kann, d.h. den zu definierenden maximalen Anteil am Gesamtbestand der Wärmeversorgungs-technologien
- **Rückgangszeitfaktor:** Definition wie schnell eine Technologie aus dem Markt verschwinden kann im Vergleich zu der charakteristischen Diffusionszeit. Gibt damit die Geschwindigkeit eines marktgetriebenen Phase-Outs ohne Politikintervention wie Verbot vor
- **Zeitfaktor:** Gibt die Gewichtung auf die vergangenen Perioden bei der Berechnung des maximalen Markthochlaufs an. Je kleiner der Faktor, desto weniger abhängig ist der Marktanteil von den Entscheidungen der Vorperioden
- **Maximale Marktdurchdringung:** Maximaler Marktanteil am Bestand, die eine Technologie innerhalb der definierten Diffusionszeit erreichen kann.

Zusätzlich zu der damit möglichen Operationalisierung genereller Marktbeschränkungen und Einflüssen durch Empfehlungen von Marktakteuren, die z.B. durch den Kenntnisstand von Installateuren bestimmt ist, können auch die Einflüsse durch die Entscheidung anderer in der gleichen Gebäudekategorie berücksichtigt werden. Hierbei kann der Gewichtungsfaktor zwischen 0 und 1 festgelegt werden, wobei 1 bedeutet, dass die Entscheidung vollständig auf Basis der Entscheidungen anderer Eigentümer in der gleichen Gebäudekategorie getroffen wird.

Szenarienmodellierung

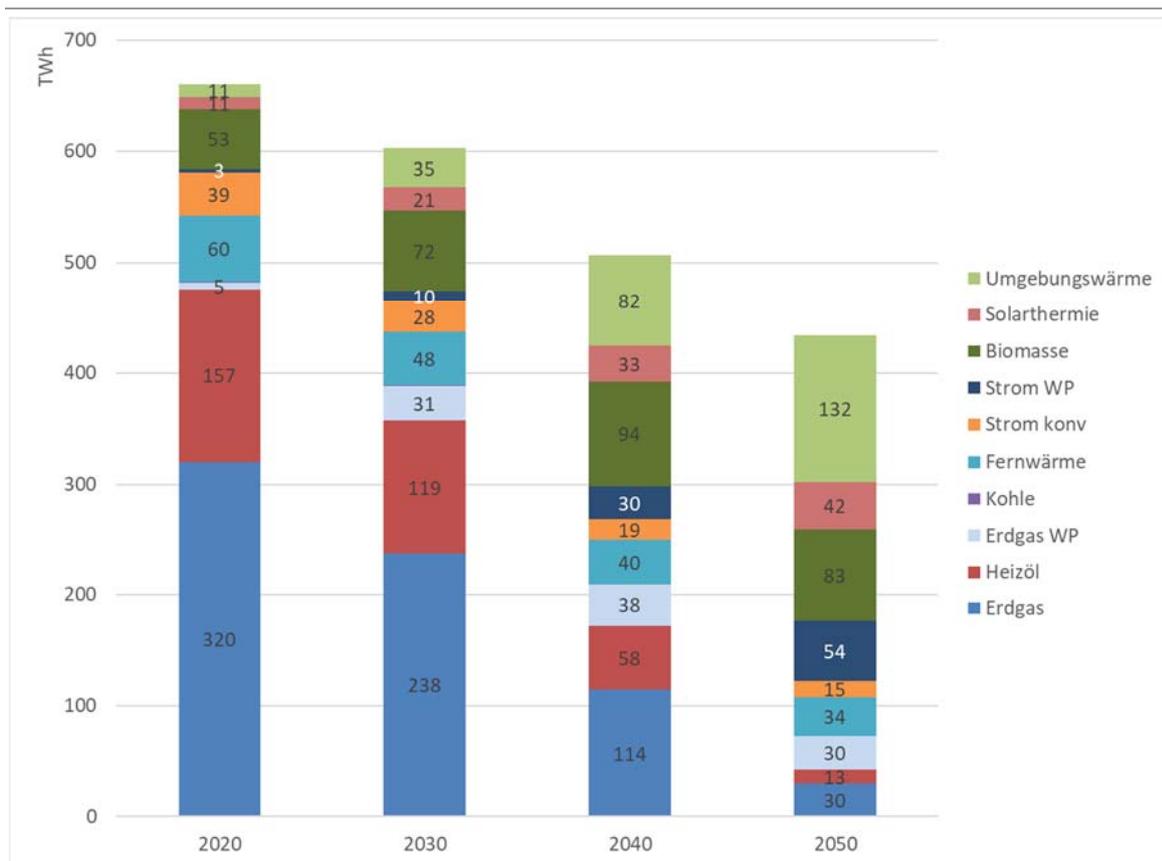
Nach der Operationalisierung und Parametrisierung der Gebäude-, Technologie- und Akteursdaten werden verschiedene Szenarien mit Bezug auf die Entscheider-Agenten gerechnet. Die Unterschiede beziehen sich dabei insbesondere auf in der Befragung und dem Conjoint-Experiment identifizierte Segmentierungen unterschiedlicher Eigentümertypen im Wohngebäudebereich. Aus dem Experiment und der anschließenden Clusterung werden zwei unterschiedliche Typen identifiziert, die sich mit Bezug auf das Investitionsentscheidungsverhalten bei Energieeffizienzmaßnahmen und Wärmeversorgungssystemen unterscheiden. Aus den vorliegenden Daten und Analysen können allerdings nicht die tatsächlichen Anteile der identifizierten Entscheidungstypen an der Grundgesamtheit aller selbstnutzenden Eigentümer im Gebäudebestand in Deutschland quantifiziert werden. Die Segmentierung folgt zwar aus den Ergebnissen des Experimentes und der Clusteranalyse, jedoch liegt keine hinreichende Korrelation mit soziodem-

mografischen Parametern wie Alter, Einkommen oder Bildungsgrad vor, mit der eine statistische Hochrechnung möglich wäre. Aus diesem Grund werden unterschiedliche Szenarien gerechnet, in denen jeweils angenommen wird, dass alle selbstnutzenden Eigentümer von Ein- und Zweifamilienhäusern entweder dem *Cost-Sensitive* oder dem *Source-Sensitive Entscheider-Agenten* entspricht. Insgesamt werden folgende Szenarien für den Simulationszeitraum von 2018 bis 2050 modelliert:

- Szenario Cost-Sensitive-Entscheider-Agent ohne Marktrestriktionen
- Szenario Source-Sensitive-Entscheider-Agent ohne Marktrestriktionen
- Szenario Rationaler-Entscheider-Agent ohne Marktrestriktionen
- Szenario Instandsetzer-Entscheider-Agent ohne Marktrestriktionen
- Szenario Cost-Sensitive-Entscheider-Agent mit Marktrestriktionen
- Szenario Source-Sensitive-Entscheider-Agent mit Marktrestriktionen

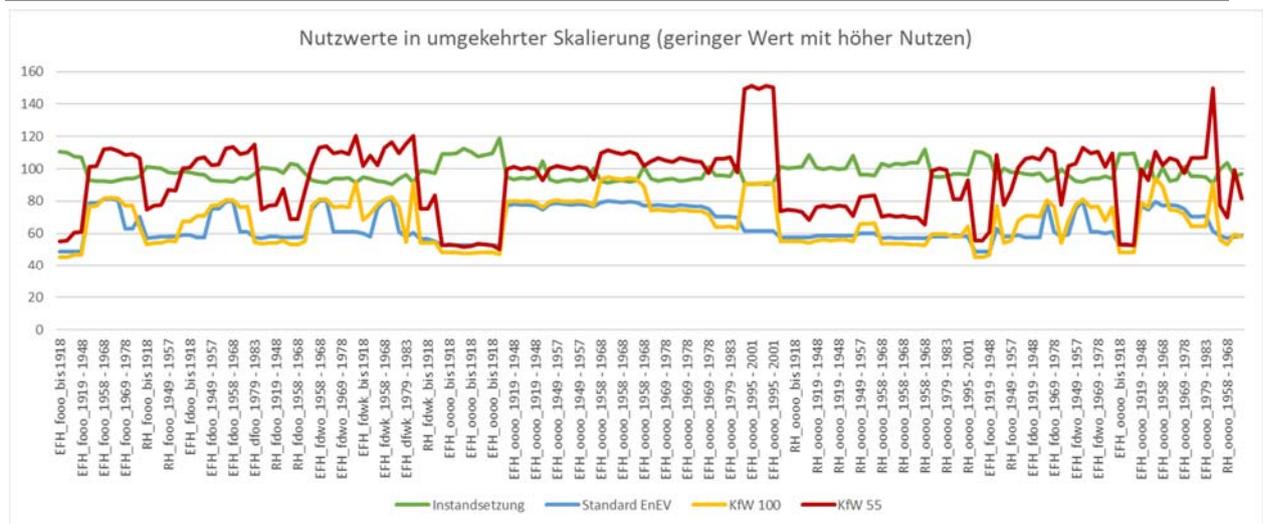
Die detaillierten Ergebnisse aller Szenarien sind im AP5 Bericht dokumentiert. Abbildung 7 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Gebäudewärme mit einem Cost-Sensitive-Entscheider-Agenten bei den selbstnutzenden Eigentümern.

Abbildung 7: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden (GHD) im Szenario Cost-Sensitive ohne Marktrestriktionen



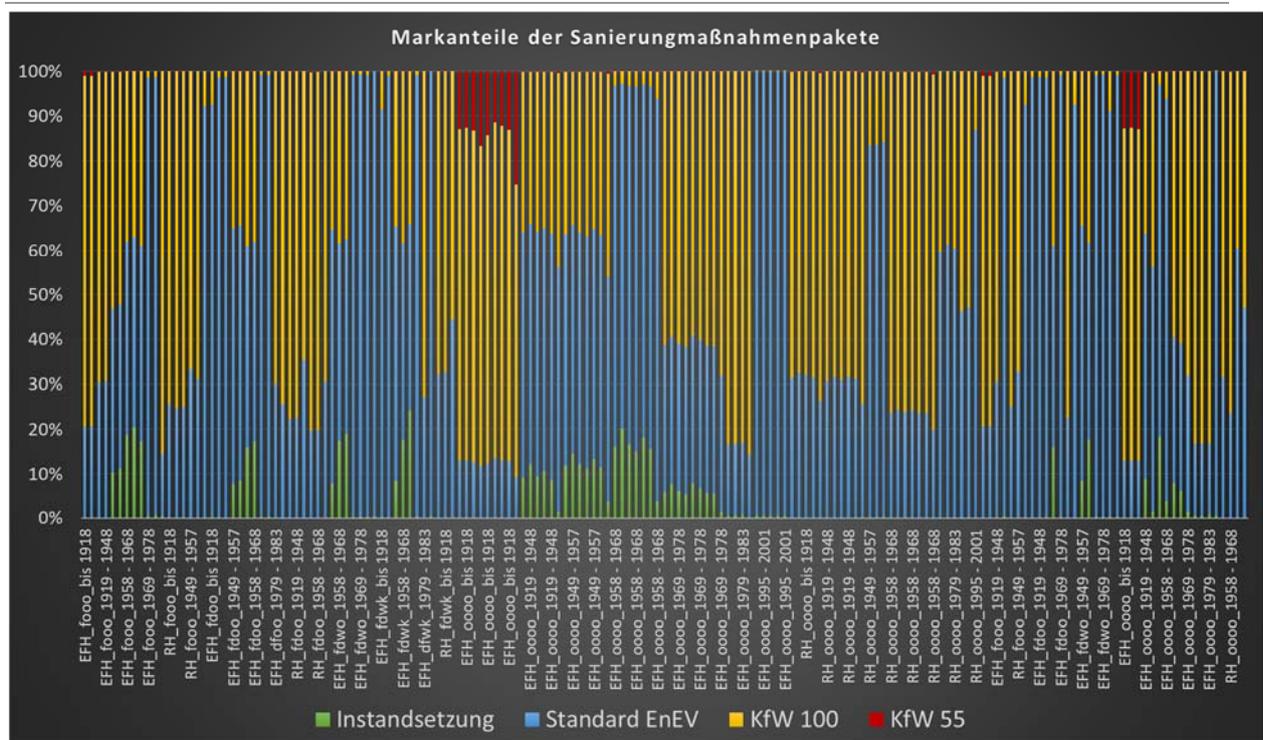
Um das Ergebnisse mit Bezug auf die gewählten Energieeffizienzmaßnahmen in der simulierten Sanierungsentscheidung des Entscheider-Agenten zu analysieren, zeigt Abbildung 8 die resultierenden Nutzwerte im Modell aggregiert auf Ebene der im ersten Simulationsjahr sanierten Gebäudeklassen des Entscheider-Agenten.

Abbildung 8: Nutzwerte der Sanierungsoptionen des Cost-Sensitive Entscheider-Agenten nach Gebäudeklassen im ersten Simulationsjahr



Inwieweit die Nutzwerte in simulierte Marktanteile durch das implementiert Logit-Modells überführt werden, zeigt Abbildung 9. Standard EnEV Sanierung und KfW 100 Sanierung haben die höchsten Marktanteile und verdrängen dort aufgrund des deutlichen Abstands im Gesamtnutzwert sowohl die Instandsetzungs-, als auch das ambitioniertes Sanierungspaket.

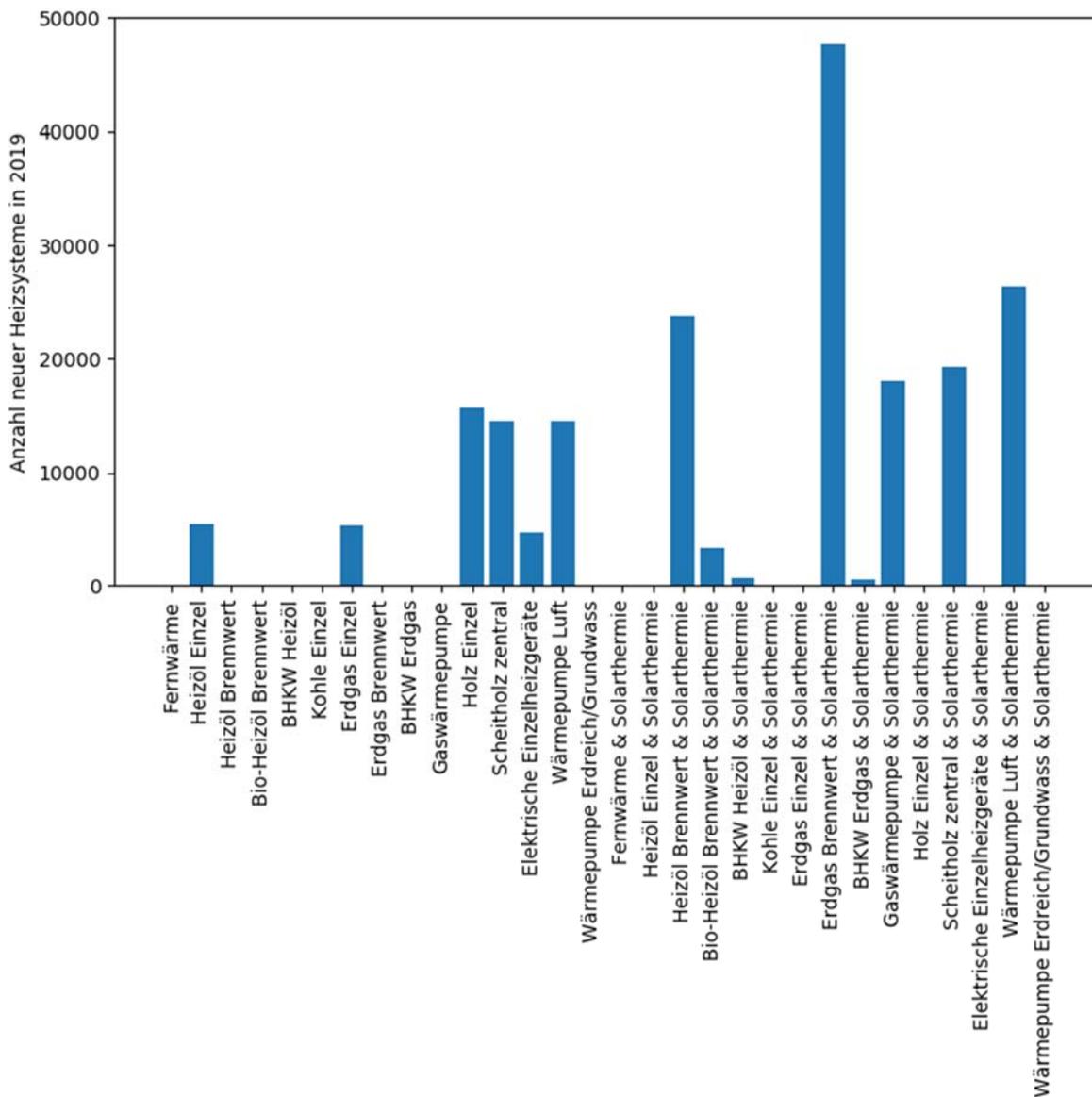
Abbildung 9: Simulierte Marktanteile der im Modell abgebildeten Sanierungspakete im ersten Simulationsjahr des Cost-Sensitive Entscheider-Agent



Erklärung: EFH = Ein- und Zweifamilienhaus freistehend, RH = Reihenhaus/ Doppelhaus; oooo= Alle Bauteile entsprechen energetisch im Ausgangszustand zum Zeitpunkt der Erstellung des Gebäudes; f = Fenster nachträglich bereits ausgetauscht, d= Dach nachträglich bereits gedämmt, w= Außenwand bereits nachträglich gedämmt, k= Kellerdecke bereits nachträglich gedämmt; Gebäudeklassen sind entsprechend der Baualters sortiert, Aufgrund der Lesbarkeit sind nicht alle Bezeichnungen der Gebäudeklassen im Diagramm aufgeführt

Um die Investitionsentscheidungen in Wärmeversorgungssysteme zu analysieren, sind im Folgenden die resultierenden Marktanteile für den *Cost-Sensitive Entscheider-Agenten* über alle dem Agenten zugewiesenen Referenzgebäudesegmente dargestellt. Abbildung 10 zeigt die Anzahl der neu installierten Heizsysteme im Jahr 2020 als Stützjahr für den Anfang der Simulationsperiode.

Abbildung 10: Anzahl neu installierter Heizsysteme des Cost-Sensitive-Entscheider-Agenten im Jahr 2020

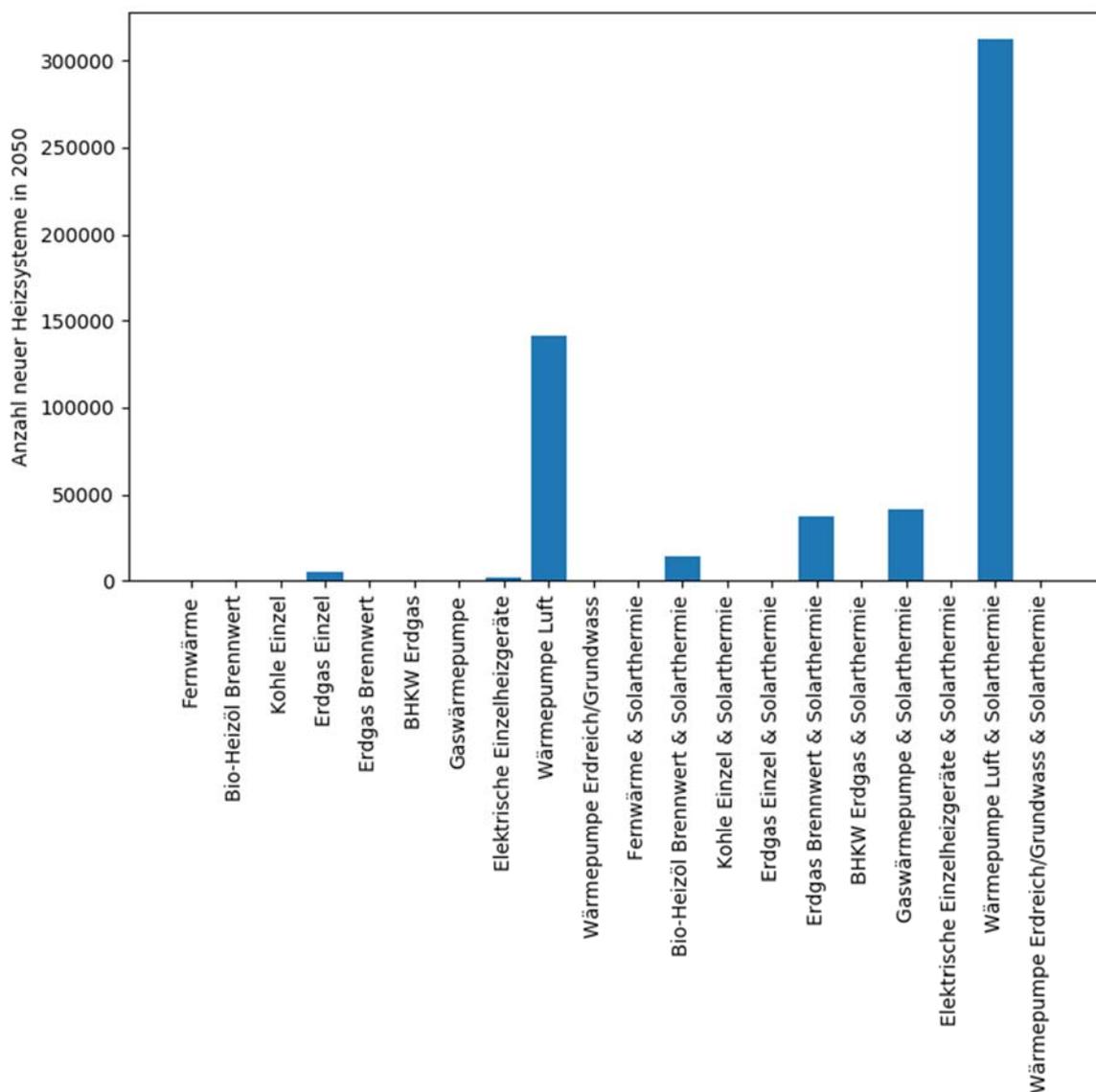


Zu beachten ist dabei, dass durch das installierte Wärmeverteilsystem in manchen Referenzgebäudesegmenten die Auswahl der möglichen Technologieoptionen eingeschränkt ist. Bei Gebäuden ohne zentralem Verteilsystem können nur Einzelraumheizungen installiert werden. Im Modell sind dazu Erdgas-, Heizöl- und Holz Einzelraumheizungen hinterlegt (vgl. Abschnitt 2.2). Der Umstieg der betroffenen Referenzgebäudesegmente auf zentrale Wärmeverteilsysteme erfolgt im Modell nur, wenn bei der Sanierungsentscheidung für die Gebäude ein ambitioniertes Sanierungspaket (KfW 100, KfW 55) gewählt wird. Bei den simulierten Marktanteilen haben die fossilen Heiztechnologien in Kombination mit Solarthermie zusammen den höchsten Anteil. Der Erdgas-Brennwertkessel mit Solarthermie hat einen Anteil von 24 Prozent an den neu installierten Technologien des Entscheider-Agenten, der Heizöl-Brennwertkessel in

Kombination mit Solarthermie einen Anteil von 12 Prozent. Bei den primären Wärmeversorgungssystemen mit erneuerbaren Energien hat die Luft/Wasser-Wärmepumpe mit 13 Prozent den höchsten Anteil. Auch die Gaswärmepumpe hat einen relativ hohen Anteil mit 9 Prozent für eine noch sehr innovative Technologie. Hier zeigt sich, dass Markt- und Diffusionsbeschränkungen in dem Szenario noch nicht berücksichtigt sind, da die Gaswärmepumpe derzeit nur von wenigen Herstellern und dementsprechend auch wenigen Installateuren angeboten wird.

Die Veränderungen bis zum Jahr 2050 sind in Abbildung 11 zu sehen.

Abbildung 11: Anzahl neu installierter Heizsysteme des Cost-Sensitive-Entscheider-Agenten im Jahr 2050



Hier sind fast alle neu installierten Wärmeversorgungssysteme des *Cost-Sensitive-Entscheider-Agenten* Wärmepumpen. Da das Attribut Energiekosteneinsparung sehr hoch bewertet wird und gleichzeitig die Höhe der Investitionen eine hohe Relevanz haben Luft/Wärmepumpen mit Abstand die höchsten Marktanteile. Die fossilen Energiepreise steigen durch die Annahmen eines hohen CO₂-Preises für Wärme in Gebäuden bis 2050 stark an, während die EEG-Umlage und damit der Strompreis absinkt. Gleichzeitig

nimmt durch Sanierungsmaßnahmen und damit verbundene Absenkung der Vorlauftemperaturen der Anteil der Gebäude zu, die einen effizienten Einsatz von Wärmepumpen erlauben. Erdwärmepumpen werden hingegen kaum gezogen, da diese mit Abstand die höchsten Investitionen aller Technologieoptionen haben.

Zusammenfassung

Durch den interdisziplinären Austausch zum Methoden- und Erhebungsdesign im Bereich für die empirische Forschung einerseits und der Operationalisierung und Methodenentwicklung der Energiesystemmodellierung andererseits, konnten wichtige Erkenntnisse mit Bezug auf die Abbildung grundlegenden Wirkungszusammenhänge und die konkrete Parametrisierung in der Modellierung umgesetzt werden. Als geeignete Methode zur Identifizierung und Quantifizierung von relevanten Parametern, die auch direkt in die Energiesystemmodellierung überführt werden können, hat sich das Conjoint-Experiment im Wohngebäudebereich als geeignet gezeigt. Die identifizierten Teilnutzenwerte in der Systemgrenze des Experimentes (Ausprägungsskalen) konnten über Skalierungsfunktionen ins Modell und damit in Gewichtungsfaktoren für generische Entscheidungsfunktionen überführt werden. Eine klare Segmentierung von Entscheider-Agenten, die sich mit Bezug auf den Sanierungsprozess und des Investitionsverhaltens anhand von soziodemografischen Parametern hochrechnen lassen, konnte nicht aus dem Experiment abgeleitet werden. Für das Szenariodesign in der Modellierung sind daher unterschiedliche Szenarien für die identifizierten Entscheider-Agenten implementiert und gerechnet worden. Um die Ergebnisse zu kontrastieren sind zusätzliche Szenarien mit generischen Entscheider-Typen erstellt worden. Mit Bezug auf die unterstellten Rahmendaten und Politikinstrumente führen die stark steigenden fossilen Brennstoffpreise zu einer Konvergenz der resultierenden Marktanteile trotz unterschiedlicher Relevanz der Attribute. Aus Sicht des Policy-Designs ist der CO₂-Preis somit eine zielführende Ergänzung zum bestehenden Instrumentarium, mit dem eine Steuerungswirkung für unterschiedliche Akteure erzielt werden kann.

Weitere Erkenntnisse mit Bezug auf die Einflüsse anderer Marktakteure sind in der Modellierung über ein Diffusionsmodell operationalisiert worden. Dies wird vor dem Hintergrund implementiert, dass die Erkenntnisse aus der empirischen Untersuchung die Relevanz beratender, planender und umsetzender Akteure identifiziert, die den Sanierungsprozess vor der eigentlichen Wahlentscheidung zwischen Alternativen stark beeinflussen. Eine detaillierte Parametrisierung konnte jedoch auf Basis der empirischen Daten noch nicht vorgenommen werden. Im Bereich der Nichtwohngebäude sind die Erkenntnisse zu Sanierungsanlässen mit Bezug auf eine energiekostenbedingte, gebäudealtersunabhängige Sanierungsrate im Modell implementiert worden. Allerdings hat sich auch hier gezeigt, dass viele wichtige Erkenntnisse nicht außerhalb der Systemgrenzen liegen (Geschäftsentwicklung) und nicht direkt modelliert werden können. Auch wenn die Ergebnisse der Akteursbefragung in Büro- und Handelsgebäuden wichtige Erkenntnisse liefert mit denen konzeptionelle Ansätze für die Modellierung entwickelt worden sind, konnten die Ergebnisse nicht direkt im Modell parametrisiert werden. Insgesamt bestehen im Nichtwohngebäudebereich große Datenlücken auch mit Bezug auf die Strukturdaten des Bestandes, so dass die Energiesystemmodellierung für diesen Bereich ohnehin mit hohen Unsicherheiten und Annahmen verbunden ist.

Vor dem Hintergrund, dass neben der Motivation der Gebäudeeigentümer und der Akzeptanz der Nutzer, insbesondere die Marktrestriktion für die Transformation des Gebäudesektors relevant ist, besteht weiterer Forschungsbedarf in dem Bereich der Marktakteure/Intermediäre. Im Rahmen dieses Projektes konnte sehr gut der Einfluss dieser Akteure auf die Investitionsentscheidung herausgearbeitet werden und im Modell operationalisiert werden. Allerdings ist noch völlig unklar welche Treiber es bedarf, dass Innovationen und für die Wärmewende notwendigen Technologien sich schneller am Markt etablieren und von diesen Akteuren zu den Entscheidern transportiert werden.

AP6: Methodisch-interdisziplinärer Austausch und Ableitung von Schlussfolgerungen

Leitung Fraunhofer ISI, Unterstützung HCIC RWTH

Für den methodisch-interdisziplinären Austausch, die inhaltliche Zusammenführung der in AP2 bis AP4 gewonnenen Befunde und die Ableitung von Schlussfolgerungen war AP6 als eigenständiges AP vorgesehen. Dieses umfasste zum einen die analoge Gestaltung der Erhebungsmethoden in AP2 und 3. So wurden die Interviewleitfäden für die Vorstudien ausführlich abgestimmt. Zudem erfolgte im Rahmen der Projekttreffen und im bilateralen Austausch eine Einführung aller Projektbeteiligten in die Anforderungen, die sich aus dem Modell INVERT/EE-Lab bzw. das Teilmodell INVERT-Agents ergaben. Die Niederlegung der inhaltlichen Diskussionen sind in projektinternen Forschungskonzept dokumentiert.

Des Weiteren erfolgte im Rahmen des AP die Einschränkung des Projektfokus. Nach längerer Diskussion wurde im Projektteam entschieden, dass kein technologischer Schwerpunkt gewählt wird, sondern als Systemgrenze alle Technologien und Maßnahmen betrachtet werden, die im Zusammenhang mit der thermischen Konditionierung von Gebäuden stehen. Dies impliziert somit erneuerbare oder besonders effiziente Heiz- und Kühlsysteme, aber auch Gebäudedämmung oder organisatorische und regulative Maßnahmen. Es werden nur investive Maßnahmen, keine verhaltensbezogenen untersucht. Weiterhin erfolgt die Betrachtung von Maßnahmen im Bestand, da hier der größere Nachholbedarf besteht.

Der methodisch-interdisziplinäre Austausch blieb dabei nicht auf einen Austausch innerhalb des Projekts beschränkt, sondern erfolgte auch durch Engagement innerhalb des Netzwerks Energiesystemanalyse. Dort wurde zunächst das Projekt DiffusionEE bei einer Poster-Session vorgestellt. Des Weiteren erfolgte eine Beteiligung an der Ausarbeitung der Themenblätter, die in Absprache mit dem Projektträger zur Vorbereitung des 7. Energieforschungsprogramms erstellt wurden. Weiterhin wurden Zwischenergebnisse des Projekts bei AG-Treffen vorgestellt. Des Weiteren wurde ein Workshop bei einem Netzwerktreffen des Netzwerks Energiesystemanalyse durchgeführt und stieß auf große Resonanz. Ein Protokoll der Ergebnisse ist im Intranet des Forschungsnetzwerks abrufbar: <https://intern-guq.forschungsnetzwerk-energie.de/dokumente-systemanalyse/cate-gory/11>

Auf Einladung des Projektträgers Jülich erfolgte durch die Projektleitung ein Input-Vortrag bei dem IEA EGRD Workshop "Towards a Consumer-Driven Energysystem", 12.-13. Oktober 2017, in Kopenhagen. Hierbei wurden auch Themen und Erkenntnisse aus dem Projekt DiffusionEE aufgenommen. Die Ergebnisse des Workshops werden in einer Publikation durch die IEA-Arbeitsgruppe aufbereitet.

Um den methodisch-interdisziplinären Austausch auch mit Externen weiter voran zu treiben, wurde eine Session für die Behave-Konferenz konzipiert und eingereicht, welche von den Konferenzorganistoren auch angenommen wurde (5th European Conference on Behaviour and Energy Efficiency, 5.- 7. Sept. 2018, Zürich). Die Session hatte den Titel "MODELLING BEHAVIOUR - BEHAVIOURAL MODELS: HOW TO INTEGRATE HUMAN BEHAVIOUR INTO ENERGY MODELS?" und beinhaltete folgende Beiträge:

- Joachim Schleich, Corinne Faure, Xavier Gassmann, Thomas Meissner An empirical study of the factors underlying the implicit discount rate: Findings from representative surveys in eight EU countries
- Bert Droste-Franke, Gabriele Fohr Simulating technological innovation micro processes - towards experience-based robust policy recommendations
- Charlotte Senkpiel, Sandra Wassermann, Jessica Berneiser und Christian Hofmaier Concept on modelling the adoption of energy related technologies on the basis of investment decisions of private households and organizations in the energy industry
- Joachim Globisch, Matthias Kühnbach, Elisabeth Dütschke, Anke Eßer Evaluating Identifying and Modelling Target Groups for Demand Side Management via Flexible Heat Pumps
- Katrin Arning, Barbara Zaunbrecher, & Martina Ziefle Understanding energy efficient refurbishment decisions. A process model from the house owner's perspective

Weiterhin unterstützte das ISI die Arbeiten an der Conjoint-Studie durch begleitende Diskussionen sowohl der Fragebogenerstellung als auch zur Interpretation der Ergebnisse bzw. deren Übernahme ins Modell.

2.2 Gegenüberstellung mit den vorgegebenen Zielen

Im Wesentlichen entspricht der Vorhabensstand zum Projektende der ursprünglichen Arbeits-, Zeit und Ausgabenplanung. Die größten Abweichungen ergeben sich durch das Vorziehen der Arbeiten von AP4 des Verbundpartners sowie durch die Verzögerungen bei der Erhebung für die Hauptstudie in AP3. Spätestens mit dem (verlängerten) Projektende konnten die Vorhabensziele erreicht werden.

Tabelle 2: Angepasster Zeitplan des Vorhabens

	Q4/16	Q1/17	Q2/17	Q3/17	Q4/17	Q1/18	Q2/18	Q3/18	Q4/18	Q1/19	Q2/19	Q3/19	Q4/19	Q1/20	Q2/20
Mo- nat	1	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41
AP1															
AP2															
AP3															
AP4															
AP5															
AP6															
MS		1	2	3,4				5a	7	5b,8			9		9
MS*			2, 4	1			3			5a1, 7			5b, 9a	5a2	8, 9b

Erläuterung: MS=Meilenstein (gemäß Antrag), MS*=aktuelle Planung/Stand, rot: genehmigte Projektverlängerung für Fraunhofer ISI mit Unterauftragnehmer IREES

Tabelle 3: Angepasster Zeitplan der Arbeitspakete

MS	Fällig Mo- nat	Status	Beschreibung Ergebnis	Ergebnis aus AP
MS1	4	Erreicht (Monat 9)	Zielgruppendefinition inkl. Forschungsfokus (Technologien) sowie Forschungsdesign Interviews, dokumentiert in Entwurf des Forschungskonzept	6
MS2	6	Erreicht (Monat 7)	Interviewleitfäden liegen vor	2, 3
MS3	9	Erreicht	Fragebögen liegen vor	2,3
MS4	10	Erreicht (Monat 7)	Interviewleitfaden liegt vor	4
MS5a1	20	Erreicht für AP2 (Monat 28)	Analyse der Befragungen, dokumentiert in Bericht zu AP2	2,3,4

MS	Fällig Mo- nat	Status	Beschreibung Ergebnis	Ergebnis aus AP
MS5a1	20	Erreicht für AP3 (Mo- nat 42)	Analyse der Befragungen, dokumentiert in Be- richt zu AP3	2,3,4
MS5b	26	Erreicht	Analyse der Befragungen, Bericht zu AP4	4
MS7	24	Erreicht (Monat 26)	Forschungsdesign Conjoint-Analyse liegt vor	6
MS8	27	Erreicht (Monat 42)	Modellszenarien liegen vor, dokumentiert in Bericht zu AP5	5
MS9a*	36	Erreicht	Abschlussbericht HCIC	6
MS9b*	42	Erreicht (6 Monate nach Projektende)	Abschlussbericht Fraunhofer ISI	6

*Im Vergleich zur Vorhabensbeschreibung unnummeriert, da der ursprüngliche MS9 in Absprache mit dem Projektträger vor dem Zuwendungsentscheid entfiel.

3 Erwartetes Ergebnis und Ergebnisverwertung

3.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Hierfür wird auf die Zwischennachweise und Schlussrechnungen der Fraunhofer Zentralverwaltung, verwiesen.

3.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit entspricht dem im Projektantrag dargestellten Vorhaben. Die Abweichungen waren zielführend und aufwandsneutral.

3.3 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses (fortgeschriebener Verwertungsplan)

6.1 *Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder vom am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u. a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten.*

Nicht zutreffend.

6.2 *Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) – z. B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs und Transferstrategien.*

Ein Ziel des Projektes war es, frühzeitig Konzepte und Zwischenergebnisse mit Experten aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft zu diskutieren. Hierfür wurde u.a. das Praxisbeiratstreffen im ersten Projektjahr angesetzt und der Kontakt durch ein weiteres Treffen im dritten Projektjahr intensiviert. Das Projekt und die in ihm integrativ erarbeiteten Ergebnisse sind auch für andere Nutzungskontexte, in denen erneuerbare Energien eine Rolle spielt, von Bedeutung. Hierfür wurden die zentralen Ergebnisse in Diffusion-EE-Projektsteckbriefen aufbereitet, welche über die Internetseite des Fraunhofer ISI zugänglich sind (https://www.isi.fraunhofer.de/de/competence-center/energietechnologien-energiesysteme/projekte/319147_diffusion-ee.html).

Ein Vortrag, auch auf Basis von Projekterkenntnissen, erfolgte bei dem IEA EGRD Workshop "Towards a Consumer-Driven Energy system" (siehe auch AP6).

Die Ergebnisse tragen zu einem besseren Verständnis des Energiesystems bei und flossen bereits während der Projektlaufzeit in Angebote zur Politikberatung ein. Im Rahmen der AG2 des Netzwerks Energiesystemanalyse koordinierte ein Projektvertreter die erfolgreiche Ausarbeitung eines Antrags für ein Folgeprojekt (Manifold). Ziel des vorgeschlagenen Folgeprojektes ist (auf Grundlage der u.a. in DiffusionEE gesammelten Erfahrungen) die Entwicklung eines eigenständigen, technologiegenerischen Akteursmodells, das mit möglichst geringen Anpassungen mit anderen techno-ökonomischen Modellen kopierbar sein soll.

6.3 *Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) – u. a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z. B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u. a. einzubeziehen.*

Am Fraunhofer ISI wurden die Ergebnisse des Vorhabens zur Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses genutzt werden, indem z.B. Abschlussarbeiten vergeben wurden. So wurde im Rahmen des

Projektes eine Masterarbeit am Fraunhofer ISI betreut, die sich mit konzeptionellen Aspekten von Empirie-gestützten (sozialwissenschaftlichen) Agentenmodellen befasste. Die Masterarbeit wurde Ende Dezember 2018 abgeschlossen. Eine zweite Masterarbeit baute u.a. auf Analysen im Projekt auf.

6.4 *Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse.*

Es wird erwartet, dass die Ergebnisse des Projektes

- eine präzisere Modellierung der Diffusion von Technologien im untersuchten Bereich sowie der Wirkung von Förderinstrumenten ermöglichen.
- die Ableitung von spezifischeren politischen Förderinstrumenten erlauben, insbes. mit Blick auf die sog. Wärmewende.
- Folgeaufträge zur Politikberatung der verschiedenen Bundesministerien, insbes. BMWi und BMU, ermöglichen.

3.4 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit zeigte sich, dass sog. Intermediates oder Third parties zunehmend in den Fokus der Literatur geraten; teilweise werden darunter aber andere Akteursgruppen als im vorliegenden Projekt verstanden. Beispiele relevanter Publikationen:

Bush, R. E., Bale, C. S., Powell, M., Gouldson, A., Taylor, P. G., & Gale, W. F. (2017). The role of intermediaries in low carbon transitions—Empowering innovations to unlock district heating in the UK. *Journal of cleaner production*, 148, 137-147.

Fyhn, H., Søråa, R. A., & Solli, J. (2019). Why energy retrofitting in private dwellings is difficult in Norway: Coordinating the framing practices of government, craftspeople and homeowners. *Energy Research & Social Science*, 49, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.10.022>

Gliedt, T., Hoicka, C. E., & Jackson, N. (2017). Innovation intermediaries accelerating environmental sustainability transitions. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1247-1261.

Kangas, H.-L., Lazarevic, D., & Kivimaa, P. (2018). Technical skills, disinterest and non-functional regulation: Barriers to building energy efficiency in Finland viewed by energy service companies. *Energy Policy*, 114, 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.060>

Kivimaa, Paula and Martiskainen, Mari (2018) Dynamics of policy change and intermediation: the arduous transition towards low-energy homes in the United Kingdom. *Energy Research & Social Science*, 44. pp. 83-99. ISSN 2214-6296

Kivimaa, Paula and Martiskainen, Mari (2018) Innovation, low energy buildings and intermediaries in Europe: systematic case study review. *Energy Efficiency*, 11 (1). pp. 31-51. ISSN 1570-646X

Søråa, R. A. (2018). Crafting environmental policies into action: Energy consulting practices of craftspeople. *Craft Research*, 9(2), 255–272. https://doi.org/info:doi/10.1386/crre.9.2.255_1

Spaargaren, G., & de Wilde, M. (2018). Designing trust: how strategic intermediaries choreograph homeowners' low-carbon retrofit experience. *Building Research & Information*, 47, 362–374.

Ein interessantes Vorhaben für die Arbeiten im Projekt und die Diskussion der Ergebnisse ist das Reallabor c.HANGE (<http://change-handwerk.de/projekt/>): „Das Reallabor c.HANGE hat das Hauptziel, die Beratungssituation zwischen Handwerkern und Endkunden insofern zu verbessern, dass eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz und des Anteils von Erneuerbarer Wärme im Projektquartier (mit Fokus auf selbst genutzten oder privat vermieteten Gebäuden) realisiert wird. Das Wechselspiel zwischen Handwerkern und Endkunden wird detailliert analysiert, um sowohl sinnvolle Hilfsmittel (z.B. fachlich,

methodisch, kommunikativ) zu nutzen als auch systematisch neue Dienstleistungen (rund um die Beratung) zu entwickeln. Dadurch verbessert sich die Beratungsleistung der Handwerker und die Kundenzufriedenheit wächst. Dies gilt es im Projekt zu erproben und nachzuweisen.“

3.5 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses

Globisch, Joachim; Dütschke, Elisabeth (2020) How do companies decide on non-strategic energy efficiency issues? An in-depth study of the decision-making process. Decarbonise Industry! eceee Industrial Summer Study 2020. Proceedings : 14. - 17. September 2020, Chalmers Lindholmen Conference Centre, Gothenburg, Sweden; Digital Event.

Arning, Katrin; Dütschke, Elisabeth; Globisch, Joachim; Zaunbrecher, Barbara (2020): The challenge of improving energy efficiency in the building sector: Taking an in-depth look at decision-making on investments in energy-efficient refurbishments. In: Marta Lopes, Carlos Henggeler Antunes und Kathryn B. Janda (Hg.): Energy and behaviour. Towards a low carbon future. Amsterdam: Academic Press, an imprint of Elsevier, S. 129–151.

Dütschke, Elisabeth; Globisch, Joachim (2018): "Modelling Behaviour - Behavioural Models: How to Integrate Human Behaviour into Energy Models?" Session bei 5th European Conference on Behaviour and Energy Efficiency, 5.- 7. Sept. 2018, Zürich "Behave"

Arning, Katrin; Dütschke, Elisabeth; Globisch, Joachim; Zaunbrecher, Barbara (2018): Integrating renewables and energy efficiency in homes and office buildings - enriching modelling by a deeper understanding of the decision process of investors; Helmholtz Research School on Energy Scenarios: Energy Scenarios – Construction, Assessment, and Impact, Karlsruhe, 24.-25. Sept. 2018.

4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht über die Projektstruktur.....	6
Abbildung 2:	Modell des Entscheidungsprozesses für EE-Investitionen in Nicht-Wohngebäude.....	10
Abbildung 3:	Anlässe für Sanierungsmaßnahmen.....	12
Abbildung 4:	Erwartete Rolle verschiedener Akteure bei einer energetischen Sanierung	13
Abbildung 5:	Einfluss von Intermediären auf (energetische) Renovierungen.....	13
Abbildung 6:	Arbeitsschritte und Überlappung bei der empirischen Modellbildung.....	15
Abbildung 7:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden (GHD) im Szenario Cost-Sensitive ohne Marktrestriktionen.....	18
Abbildung 8:	Nutzwerte der Sanierungsoptionen des Cost-Sensitive Entscheider-Agenten nach Gebäudeklassen im ersten Simulationsjahr.....	19
Abbildung 9:	Simulierte Marktanteile der im Modell abgebildeten Sanierungspakete im ersten Simulationsjahr des Cost-Sensitive Entscheider-Agent.....	19
Abbildung 10:	Anzahl neu installierter Heizsysteme des Cost-Sensitive-Entscheider-Agenten im Jahr 2020.....	20
Abbildung 11:	Anzahl neu installierter Heizsysteme des Cost-Sensitive-Entscheider-Agenten im Jahr 2050.....	21

5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anlässe für Sanierung	11
Tabelle 2:	Angepasster Zeitplan des Vorhabens.....	24
Tabelle 3:	Angepasster Zeitplan der Arbeitspakete.....	24

6 Literatur

Ajzen I (1991) The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50:179–211. doi:10.1016/0749-5978(91)90020-T.

Banfi S, Farsi M, Filippini M, Jakob M (2008) Willingness to pay for energy-saving measures in residential buildings. *Energy economics* 30:503–516.

Cischinsky, H., & Diefenbach, N. (2018). *Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016 - Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand* (1. Auflage). Institut Wohnen und Umwelt (IWU).

Cischinsky, H., Diefenbach, N., & Rodenfels, M. (2018). *Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Anleitung zur Durchführung von Auswertungen mit der Auswertungsdatenbank* (Bd. 49, Nummer 0).

Dirich, S., Gruhler, K., Deilman, C., Petereit, R., Petereit, K., Kunz, C., Hemple, A., & Markfort, D. (2011). *Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland* (BMVBS-Online-Publikation 16/2011, Nummer 16).

Hörner, M., Schwarz, S., & Busch, R. (2018). *ENOB: dataNWG Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude - Kurzbericht nach der Pilotphase*.

Jensen T, Holtz G, Baedeker C, Chappin E (2016) Energy-efficiency impacts of an air-quality feedback device in residential buildings : an agent-based modeling assessment. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal.

Kranzl, L., Hummel, M., Müller, A., & Steinbach, J. (2013). Renewable heating: perspectives and the impact of policy instruments. *Energy Policy*, 59, 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.050>

Lawless, J. F. (2003). *Statistical models and methods for lifetime data*. Wiley-Interscience. <http://www.amazon.de/Statistical-Models-Methods-Lifetime-Data/dp/0471372153>

Marschak, J. (1960). Binary Choice Constraints on Random Utility Indicators. In J. A. Kenneth, S. Karlin, & P. Suppes (Hrsg.), *Mathematical Methods in the social science 1959: Proceedings of the first Stanford Symposium*. Stanford University Press. <http://ideas.repec.org/p/cwl/cwldpp/74.html>

Michelsen CC, Madlener R (2012) Homeowners' preferences for adopting innovative residential heating systems: A discrete choice analysis for Germany. *Energy economics* 34:1271–1283. doi:10.1016/j.eneco.2012.06.009.

Mills BF, Schleich J (2009) Profits or preferences? Assessing the adoption of residential solar thermal technologies. *Energy Policy* 37:4145–4154. doi:10.1016/j.enpol.2009.05.014.

Rai V, Robinson SA (2015) Agent-based modeling of energy technology adoption: Empirical integration of social, behavioral, economic, and environmental factors. *Environmental Modelling & Software* 70:163–177. doi:10.1016/j.envsoft.2015.04.014.

Robinson SA, Rai V (2015) Determinants of spatio-temporal patterns of energy technology adoption: An agent-based modeling approach. *Applied Energy* 151:273–284. doi:10.1016/j.apenergy.2015.04.071.

Rosales-Carreón J, García-Díaz C (2015) Exploring Transitions Towards Sustainable Construction: The Case of Near-Zero Energy Buildings in the Netherlands. *JASSS* 18. doi:10.18564/jasss.2625.

Scarpa R, Willis K (2010) Willingness-to-pay for renewable energy: Primary and discretionary choice of British households' for micro-generation technologies. *Energy economics* 32:129–136. doi:10.1016/j.eneco.2009.06.004.

Schlomann, B., Steinbach, J., Kleeberger, H., Geiger, B., Pich, A., Gruber, E., Mai, M., Gerspacher, A., & Schiller, W. (2013). Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010. Fraunhofer-Verl. http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAs-sets/docs/e/de/publikationen/GHD-Erhebung_Bericht_Energieverbrauch_2006-2010.pdf

Schwarz N, Ernst AM (2009) Agent-based modeling of the diffusion of environmental innovations; An empirical approach. *Technological forecasting & social change : an international journal* 76:497–511.

Sopha BM, Klöckner CA, Hertwich EG (2013) Adoption and diffusion of heating systems in Norway: Coupling agent-based modeling with empirical research. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 8:42–61. doi:10.1016/j.eist.2013.06.001.

Statische Ämter des Bundes und der Länder. (2019). Wohnen in Deutschland - Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018.

Steinbach J (2013) Internal working paper: literature review of integrating user and investment behaviour in bottom-up simulation models; Deliverable 4.1.

Steinbach, J. (2015). Modellbasierte Untersuchung von Politikinstrumenten zur Förderung erneuerbarer Energien und Energieeffizienz im Gebäudebereich (Fraunhofer ISI (Hrsg.)). Fraunhofer Verlag. <https://www.verlag.fraunhofer.de/bookshop/buch/Modellbasierte-Untersuchung-von-Politikinstrumenten-zur-Förderung-erneuerbarer-Energien-und-Energieeffizienz-im-Gebäudebereich/245046>

Train, K. E. (2002). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press. http://books.google.com/books?id=F_gYALIfR4C

Wolf, I., Nuss, J., Schröder, T. and Haan, G. de (2012) The Adoption of Electric Vehicles - An Empirical Agent-based Model of Attitude Formation and Change. Proceedings of the 8th Conference of the European Social Simulation Association.