

Manifold

Empirie und Modellschnittstellen: Ergebnisse

Ergebnisse aus den empirischen Untersuchungen als Input für Modelle sowie Schnittstellen zwischen Akteurs-, Diffusions-, Energiesystem- und Strommarktmodellen.

Anhang A.1.4: Bericht zum Meilenstein 5

Ort: Karlsruhe

Datum: Dezember 2023

Diese Arbeit wurde durch das BMWi gefördert.

© Fraunhofer ISI, IQIB GmbH, IER Universität Stuttgart, ZIRIUS Universität Stuttgart, IREES GmbH, Fraunhofer ISE, FCN RWTH Aachen University, IPMB TU Braunschweig (2023) Manifold. Ergebnisse aus den empirischen Untersuchungen als Input für Modelle sowie Schnittstellen zwischen Akteurs-, Diffusions-, Energiesystem-, und Strommarktmodellen. Bericht zum Meilenstein 5. Karlsruhe.

Impressum

MANIFOLD

Empirie und Modellschnittstellen: Ergebnisse

Autorinnen und Autoren

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe

Heike Brugger, heike.brugger@isi.fraunhofer.de; Alexandra Pröpper, alexandra.pröpper@isi.fraunhofer.de;
Christoph Kleinschmitt, christoph.kleinschmitt@isi.fraunhofer.de

Institut für qualifizierende Innovationsforschung und -beratung (IQIB), Bad Neuenahr-Ahrweiler

Bert Droste-Franke, bert.droste-franke@iqib.de; Markus Voge, markus.voge@iqib.de

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart

Audrey Dobbins, audrey.dobbins@ier.uni-stuttgart.de; Kerstin Haller, kerstin.haller@ier.uni-stuttgart.de;
Ulrich Fahl, ulrich.fahl@ier.uni-stuttgart.de;

Zentrum für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung (ZIRIUS), Universität Stuttgart

Sandra Wassermann, sandra.wassermann@ziri.us.uni-stuttgart.de; Wolfgang Hauser, wolfgang.hauser@ziri.us.uni-stuttgart.de

Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES), Karlsruhe

Jan Steinbach, j.steinbach@irees.de

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg

Charlotte Senkpiel, charlotte.senkpiel@ise.fraunhofer.de

Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN), RWTH Aachen University

Christina Kockel, christina.kockel@eonerc.rwth-aachen.de; Jakob Kulawik, jakob.kulawik@eonerc.rwth-aachen.de

Technische Universität Braunschweig, Institut für Psychologie, Abteilung für Psychologische Methodenlehre und Biopsychologie (IPMB)

Farina Wille, farina.wille@tu-braunschweig.de

Fördermittelgeber

Projekträger Jülich für das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Veröffentlicht

Dezember 2023

Hinweise

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 Auftraggebers wider.

Inhaltsverzeichnis

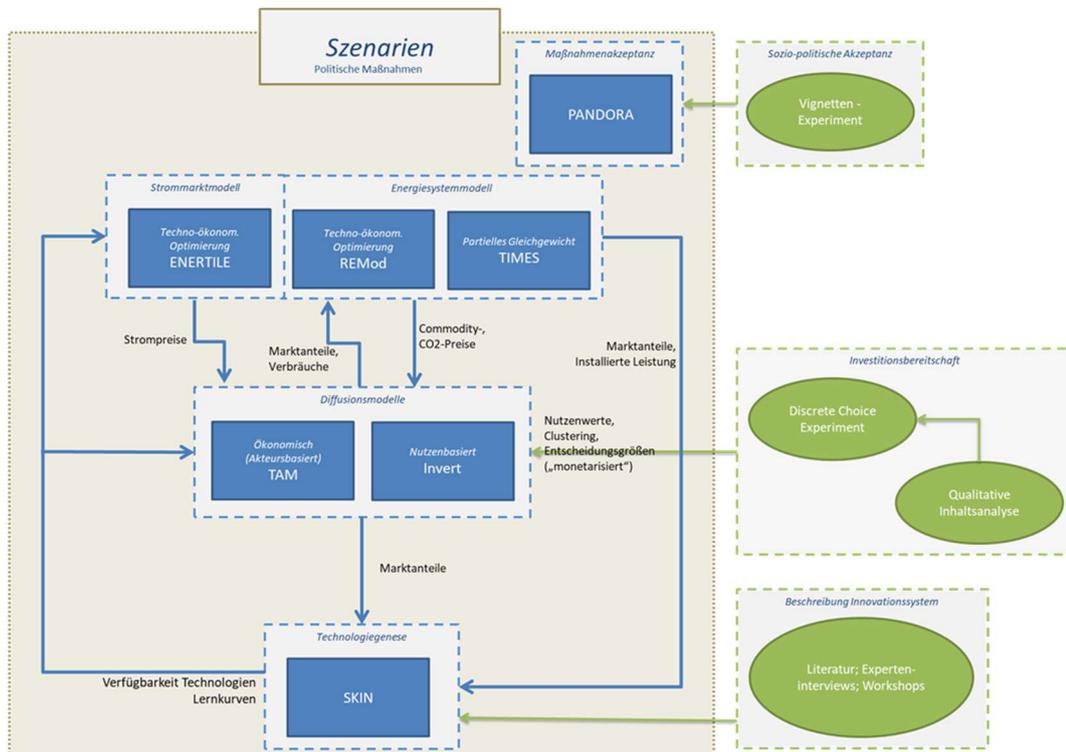
1	Einleitung	5
2	Empirie: Ergebnisse und Integration in die Modelle	7
2.1	Empirische Arbeiten zur Verbesserung der Technologiegenese-Modellierung	7
2.1.0	Expert*inneninterviews, Workshops.....	7
2.1.1	Ergebnisse aus den empirischen Erhebungen	8
2.1.2	Empirie als Input für das Technologiegenese-Modell.....	12
2.2	Ermittlung der Investitionsbereitschaft.....	14
2.2.1	Attributsauswahl für DCE und Pilotstudie.....	14
2.2.2	Schnittstelleneinbettung der Qualitative Interviews potentieller Adopter*innen und Fragestellung	19
2.2.3	Durchführung, Auswertung und Ergebnisse der qualitativen Interviews potentieller Adopter*innen	19
2.2.4	Integration der Qualitativen Interviews und des DCE.....	40
2.2.5	Durchführung, Auswertung und Ergebnisse der empirischen Erhebung des DCE.....	43
2.2.6	DCE-Ergebnisse als Input für TAM/INVERT	52
2.3	Empirie als Input für das Akteursmodell PANDORA.....	53
2.3.0	Grundlagen des Vignetten-Experiments	53
2.3.1	Ergebnisse des Vignetten-Experiments	54
2.3.2	Einbindung der Ergebnisse in PANDORA	63
3	Abbildungsverzeichnis.....	66
4	Tabellenverzeichnis	68
5	Literaturverzeichnis	69
A.1	Annex – Modellbeschreibungen	73
A.1.1	Modellbeschreibung PANDORA.....	73
A.1.2	Modellbeschreibung SKIN	75
A.1.3	Modellbeschreibung INVERT	76
A.1.4	Modellbeschreibung TAM.....	80
A.1.5	Modellbeschreibung ENERTILE.....	82
A.1.6	Modellbeschreibung REMOD.....	83
A.1.7	Modellbeschreibung TIMES.....	85
A.2	Annex	88
A.2.1	Interviewleitfaden der qualitativen Interviews potentieller Adopter*innen.....	88
A.2.2	Transkriptionsleitfaden.....	102
A.2.3	Überarbeitetes Kodiersystem nach zehn Prozent Materialdurchgang.....	103

A.2.4	Konzeptkarten der Prozessschritte, Verhaltenssequenzen und deren zeitlicher Dauer	111
A.2.4.1	Fall 2.....	111
A.2.4.2	Fall 3.....	112
A.2.4.3	Fall 5.....	113
A.2.4.4	Fall 6.....	114
A.2.4.5	Fall 10.....	115
A.2.4.6	Fall 11.....	116
A.2.4.7	Fall 12.....	117
A.2.4.8	Fall 13.....	118

1 Einleitung

Der Manifold-Bericht zum Meilenstein 5 dokumentiert die Ergebnisse der im Rahmen von Manifold durchgeführten empirischen Studien und konkretisiert auf welche Weise diese als Input für die Akteurs-Modelle dienen. Die jeweiligen Schnittstellen zwischen Empirie und der Modellintegration wird in Abbildung 1 dargestellt.

Abbildung 1: Empirie- und Modellschnittstellen und Modellintegration



Die direkte Integration der empirischen Ergebnisse erfolgt über die Akteurs-Modelle SKIN (SLICK), TAM/Invert und PANDORA. Der Bericht gliedert sich entsprechend der Schnittstellen indem zunächst die empirischen Ergebnisse dargelegt und anschließend deren Integration in die Modelle beschrieben werden

Der Fokus des Modells PANDORA ist die Abbildung gesellschaftspolitische Akzeptanz der Bürger*innen für politische Maßnahmen, die die Machbarkeit der Maßnahmen und deren Umsetzungswahrscheinlichkeit beeinflusst. Empirische Erkenntnisse über die gesellschaftspolitische Akzeptanz im Wärmesektor wurden über eine Online-Umfrage erhoben. Durch die Kombination dieser Eingaben in einer agentenbasierten Simulation kann die Durchführbarkeit von unterschiedlichen politischen Rahmenbedingungen analysiert und als Input für die Verknüpfung mit Makro- und Mikro-modellen genutzt werden.

Politische Rahmenbedingungen können gezielte Technologieforschung fördern, wie zum Beispiel das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung oder der Strategieplan für Energietechnologie (SET) der Europäischen Union. Durch gezielte Forschung und Informationskampagnen werden bestimmte Technologien bei verschiedenen Akteuren beworben. Neben der Technologiegenese ist die Wissensdiffusion ein wichtiger Treiber für die tatsächliche Etablierung der Technologie auf dem

Markt. Dazu gehören Herstellende, aber auch Techniker*innen und das Handwerk, welche die Investitionsentscheidungen der Einzelnen beeinflussen. Für die Parametrisierung des Technologiegenesemodells SKIN, bzw. des im Rahmen des Projektes neu entwickelten Modells SLICK (“Simulating Learning Curves via Knowledge modeling”) wurden empirische Untersuchungen (Interviews, Workshops, Expert*innen, etc.) durchgeführt, um Prozesse und Akteure zu charakterisieren und das Modell an beobachteten Innovationsnetzwerkstrukturen, aber auch an möglichen zukünftigen Marktanteilen der Technologie zu kalibrieren. Auf Basis der Ergebnisse werden modellierte Prozesse gestaltet, die Modellauflösung gewählt und die Parametrisierung des Modells erarbeitet. Die qualitativen Ergebnisse werden dabei unterstützt durch quantitative Daten aus Statistiken zu Unternehmen und Branchen, Patenten, Forschungs- und Entwicklungsprogrammen. Aus ihnen werden Zahlen abgeleitet, die im Modell direkt verwendet werden können.

Die Marktakzeptanz bzw. Technologiediffusion kann auf Basis von mikroperspektivischen Energiesystemmodellen simuliert oder optimiert werden. Das Ergebnis des Mikroperspektivenmodells ist die Marktdurchdringung von Technologien wie Heizungsanlagen, Anteile von Heizungsanlagen und Sanierungsraten auf Basis des Investitionsverhaltens unter bestimmten Bedingungen. Discrete Choice-Experimente (DCE) sind ein nützliches Instrument zur empirischen Datenerhebung, da diese das Investitionsverhalten innerhalb eines Experiments abbilden und Nutzwerte ermitteln können. Ergänzt wurde das DCE durch qualitative Interviews. Die Ergebnisse der Inhaltsanalyse wurden in das Umfragedesign des DCE aufgenommen.

2 Empirie: Ergebnisse und Integration in die Modelle

2.1 Empirische Arbeiten zur Verbesserung der Technologiegenese-Modellierung

Die Prozesse zur Entstehung von Innovationen sind komplex und bestehen aus vielen Einzelschritten, die miteinander verwoben sind. Das zu betrachtende System besteht aus den Technologien (Hardware), aber auch aus Marktaspekten, Produktionsmitteln und -wissen sowie dem sozialen Kontext der Akteure. Um zum einen die relevanten Aspekte abdecken zu können und zum anderen die Innovationslandschaft möglichst gut abzubilden, stellen vor diesem Hintergrund Informationen von Akteur*innen im Feld zu den wichtigen Themen sowie zur Charakterisierung von Akteur*innen und ihrer Umwelt einen wesentlichen Input zur Modellierung von Innovationsnetzwerken im Technologiegenesemodell SKIN bzw. im darauf aufbauenden Modell SLICK dar. Die hierzu verwendeten Ansätze und Ergebnisse werden im Folgenden beschrieben.

Es wird darauf hingewiesen, dass das zur Verwendung vorgesehene Modell SKIN ("Simulating Knowledge dynamics in Innovation Networks") den Anforderungen des Projekts nicht genügte, sodass ein darauf aufbauendes, aber gänzlich neues Modell namens SLICK ("Simulating Learning Curves via Knowledge modeling") entwickelt wurde. Wissen wird im SLICK-Modell anders abgebildet, was die Integrierung von Lernkurven in die Modellierung ermöglichte. Viele Prozesse und Mechanismen konnten aber in ähnlicher Form aus SKIN übernommen werden.

2.1.0 Expert*inneninterviews, Workshops

Die empirischen Analysen als Grundlage des Technologiegenese-Modells dienen im Sinne eines ersten Schrittes in einem Co-Design-Prozess der Identifizierung wichtiger Fragen aus der Praxis, die bei der Gestaltung des Modells berücksichtigt werden sollen. Sie folgen einem Mixed-Methods-Ansatz. Dabei werden quantitative und qualitative Methoden gemischt, um eine realitätsnahe Abbildung von Prozessen der Innovationsgenese zu ermöglichen. Wertvolle Informationen dazu werden aus qualitativen Erhebungen in Form von Expert*inneninterviews und Workshops gewonnen. Mit ihnen werden die wesentlichen Akteure und Funktionsmuster analysiert und die aktuelle Funktionserfüllung bzw. entsprechende Innovationshemmnisse identifiziert. Aus den Analysen können dann wichtige Fragen an das Modell abgeleitet werden. Zusätzlich werden Modellergebnisse im Hinblick auf ihre Realitätsnähe und daraus ableitbare Handlungsempfehlungen diskutiert. Die Grundlage für die qualitativen Analysen bildet die Theorie Technologischer Innovationssysteme. Um das gesamte Innovationssystem zu charakterisieren, werden die Analysen entlang der sieben typischen Funktionen Technologischer Innovationssysteme durchgeführt (Hekkert et al., 2007; Hekkert et al., 2011):

- 1) Unternehmerisches Experimentieren
- 2) Entstehung von Wissen
- 3) Diffusion von Wissen
- 4) Suchrichtung
- 5) Ressourcenmobilisierung
- 6) Marktformierung
- 7) Legitimität

Die Interviews und Workshops werden in mehreren aufeinander aufbauenden Schritten durchgeführt. Expert*inneninterviews werden zunächst dazu genutzt, einen ersten Überblick über das Innovationssystem und einen Einblick in die wichtigsten Akteure und Strukturen zu gewinnen und diesen zu vertiefen. Im ersten Workshop werden bereits identifizierte Hemmnisse entlang der sieben Funktionen Technologischer Innovationssysteme diskutiert, kommentiert, korrigiert und ergänzt. Das Ergebnis ist ein fundierter Überblick über das Innovationssystem und aktuelle Hemmnisse sowie erste mögliche Politikmaßnahmen, durch die sie beseitigt oder abgeschwächt werden können. Die Ergebnisse des Workshops stellen eine wesentliche Grundlage für die Gestaltung des Technologiegenese-Modells dar. Vorhandene Prozesse werden überprüft und wo notwendig ergänzt, um die wesentlichen Fragen bezüglich der Wirkung verschiedener Politikmaßnahmen beantworten zu können. Der Schwerpunkt der Modellierung liegt dabei auf Wissensgenerierung und -austausch. Nach Umsetzung des Modells und der Durchführung von Experimenten zur Beantwortung der Fragen werden die Modellergebnisse in einem weiteren Workshop im Hinblick auf ihre Aussagekraft und Realitätsnähe diskutiert. Gegebenenfalls werden noch weitere Änderungen im Modell vorgesehen bzw. weitere Experimente durchgeführt, um die Analysen zu verbessern.

2.1.1 Ergebnisse aus den empirischen Erhebungen

Für eine erste Orientierung wurde je ein Experte bzw. eine Expertin pro Technologie interviewt, der einen großen Überblick über das Innovationssystem der Technologie hat. Bei den projektintern abgestimmten betrachteten Technologien handelt es sich um Wärmepumpen- und Brennstoffzellenheizgeräte, insbesondere für Einfamilienhäuser. Die gewonnenen Expert*innen stammen aus dem Bereich Bundesverbände, Energieagenturen und Verbraucherzentralen. Die Interviews folgten Leitfäden, die nach den sieben Funktionen des TIS F1 bis F7 (siehe voriger Abschnitt) strukturiert waren.

Aus dem Interview zu Wärmepumpen wurde eine Liste mit den relevantesten Herstellern von Wärmepumpenheizgeräten gewonnen, darüber hinaus weitere wichtige Akteure wie Bundesverbände und Dach- und Fachverbände in Deutschland, Österreich, der Schweiz und auf europäischer Ebene sowie Fachtagungen und Kongresse national und international. Es wurde auf die ebenfalls wichtigen Akteursgruppen Bohrunternehmen sowie energievorsorgende Unternehmen (EVUs) hingewiesen. EVUs sind einerseits wichtig für das Geschäftsmodell des Contracting und andererseits, weil sich über den Strompreis der Wärmepumpentarife der EVUs die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe entscheidet. Bohrunternehmen sind interessant, weil Bohrungen für Sole-Wasser-Wärmepumpen, die das Erdreich als Wärmequelle verwenden und daher eine Erdsonde benötigen, durch starke Regulation rechtlich kompliziert und auch teuer sind. Weitere wichtige Punkte aus dem Interview:

- Bezüglich Marktformierung (F6):
 - Strompreis wichtig für Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe.
 - CO₂-Preis wichtig, weil er den Strompreis und damit die Wirtschaftlichkeit beeinflusst.
 - Entwicklung von Wärmenetzen wichtig, die mit oder ohne Wärmepumpen betrieben werden können.
 - Hersteller haben keine finanziellen Probleme bei 20-30% Wachstum auf dem Wärmepumpenmarkt und viel Neubautätigkeit.
- Bezüglich Diffusion von Wissen (F3):
 - Problem, dass Wärmepumpen auf Grund hoher Vorlauftemperaturen in Bestandsgebäuden nicht in Frage kommen, ist technologisch gelöst, das Wissen darüber aber noch nicht weit verbreitet. Daher werden Wärmepumpen noch immer kaum in der Bestandssanierung, sondern hauptsächlich in Neubauten eingesetzt und bleiben in einer Nische. (An-

merkung: Durch den Angriffskrieg auf die Ukraine und die damit eingesetzte Gasknappheit und Energiekrise hat sich dies inzwischen etwas geändert. Das Interview wurde aber weit davor, im Jahr 2020, durchgeführt.)

- Großer Wissensrückstand bzgl. Wärmepumpen bei vielen Installateur*innen, da kein Druck da ist, sich weiterzubilden.
- Trennung der Gewerke: Heizung/Sanitär und Strom per Gesetz strikt getrennt, dadurch oft keine ganzheitliche Betrachtung.
- Installateur*innen, Planungs- und Ingenieur*innenbüros und Energieberatung spielen wichtige Rollen, der Wissensaustausch mit/zwischen ihnen ist aber oft schwierig.
- Bezüglich Suchrichtung (F4):
 - Grundannahme: "Wärmemarkt der nahen Zukunft wird sich aufteilen in Wärmenetze und Wärmepumpen, weil für H₂ die Infrastruktur fehlt."
- Bezüglich Entstehung von Wissen bzw. Forschung und Entwicklung (F2):
 - Fokus liegt auf Automatisierung der Produktion zur Kostensenkung.
 - Weiterer Fokus systemdienliche Integration von Wärmepumpen ins Stromnetz mit viel Austausch zwischen Industrie und Wissenschaft.

Aus dem Interview zu Brennstoffzellen wurden ebenfalls Listen mit relevanten Herstellern von Brennstoffzellenheizgeräten, Verbänden sowie Fachtagungen und Kongressen gewonnen. Außerdem gab es viel Feedback zu bereits recherchierten Akteuren, von denen viele ausgeklammert werden können, weil sie sich nur mit mobilen Anwendungen von Brennstoffzellen und nicht mit stationären Heizgeräten beschäftigen. Allgemein ist das Innovationsystem Brennstoffzelle stark von der Mobilität dominiert, Heizgeräte sind eher eine Randerscheinung. Weitere wichtige Punkte aus dem Interview:

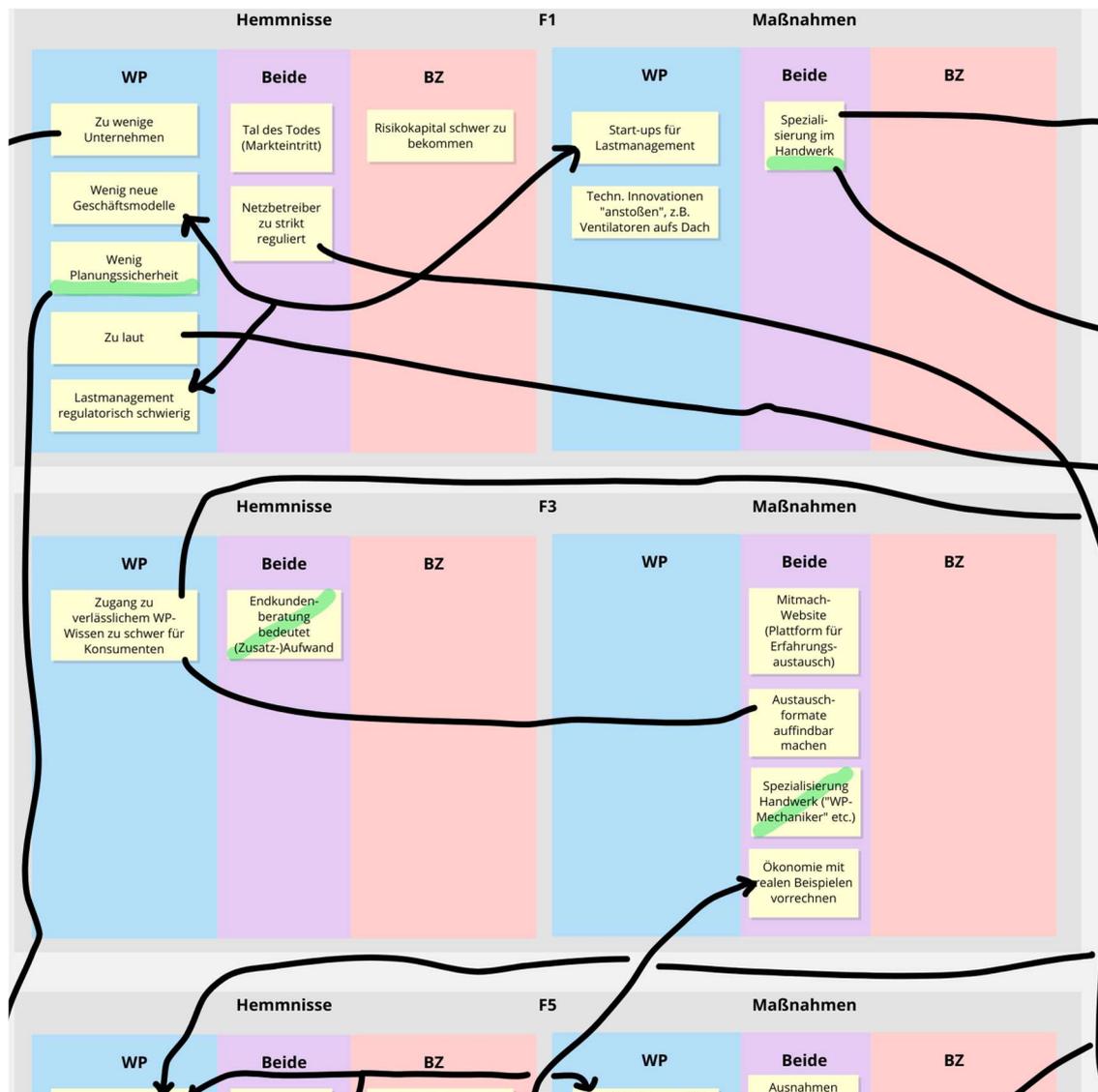
- Bezüglich Marktformierung (F6):
 - Trennung des Marktes in Groß- (60 kW) und Kleinanlagen (1-1,5 kW) mit wenig Wissensaustausch untereinander.
 - Gasleitungen müssen H₂-ready werden, Zielmarke 30% Beimischung H₂ im Gasnetz, heute 5-10% möglich.
 - Vorhandensein von Überschussstrom zur H₂-Produktion entscheidet über Verfügbarkeit und damit Wirtschaftlichkeit. Unsicher bei zunehmender Direktelektrifizierung des Straßenverkehrs.
 - CO₂-Bepreisung entscheidet mit über Wirtschaftlichkeit.
- Bezüglich Diffusion von Wissen (F3):
 - Wie bei Wärmepumpen kein Innovationsdruck seitens der Installateur*innen (volle Auftragsbücher).
 - Kontakt zwischen Wissenschaft und Wirtschaft ausreichend gut.
 - Wichtige Schnittstelle: NOW GmbH.
 - Es wird häufig nicht im System gedacht, z.B. Kombination von Brennstoffzelle mit Speicher.
- Bezüglich Entstehung von Wissen bzw. Forschung und Entwicklung (F2):
 - Aktuelle Schwerpunkte:
 - Langlebigkeit (momentan bei 7-12 Jahren)
 - Verbilligung
 - Industrialisierung/Automation der Produktion
 - noch sehr hoher Ausschuss

- noch viel Handarbeit, vor allem beim Erkennen von Ausschuss
- noch zu geringe Replizierbarkeit

Der erste Expert*innen-Workshop fand statt am 17.03.2021 als reine Online-Veranstaltung. In die Planung und inhaltliche Konzeption des Workshops sind bereits Erkenntnisse aus den Interviews eingeflossen. Die Teilnehmer*innen repräsentierten die Akteursgruppen Stadtwerke, Energieagenturen, Installateur*innen, Industrieverbände, Installateur*innenausbilder*innen sowie Wissenschaft und Forschung.

Nach einer kurzen Einführung ins Projekt und einer Vorstellungsrunde mit der Möglichkeit für die Teilnehmer*innen, ihnen wichtige Punkte zu Hemmnissen und Maßnahmen des Innovationssystems zu nennen, gab es einen interaktiven Teil, in dem die Teilnehmenden online ein sogenanntes Conceptboard, eine Art riesige digitale Leinwand, füllen und mit Anmerkungen versehen konnten. Das Board war bereits eingeteilt in die sieben Funktionen F1 bis F7 der Analyse Technologischer Innovationssysteme (TIS), siehe voriger Abschnitt, sodass strukturiert vorgegangen wurde und keine wichtigen Bereiche übersehen wurden. Nach einer Zeit der Einzelarbeit wurden die Ergebnisse zusammengetragen und gemeinsam diskutiert.

Abbildung 2: Ausschnitt aus dem bereinigten Conceptboard mit den Ergebnissen des Expert*innen-Workshops



Die Inhalte des Boards wurden anschließend bereinigt und Doppelnennungen zusammengefasst. Ein Ausschnitt aus dem überarbeiteten und gekürzten Conceptboard ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu sehen. Außerdem wurden die Aussagen für die leichtere Anwendbarkeit auf die Innovationssystemmodellierung nach den sie betreffenden Akteursgruppen sortiert. Die wichtigsten Aussagen sind hier knapp zusammengefasst:

- Industrie/Wirtschaft:
 - Fehlende Geschäftsmodelle/Firmen/Start-ups
 - Installation von Geräten kompliziert
 - Geringe Investitionssicherheit
 - Strompreis zu hoch
- Industrieverbände:
 - Gesetzgebung EU und national zu langsam
 - Verbandsarbeit abstimmen in Richtung Normen und Gesetze
- Netzbetreiber:

- Regulierung verhindert Innovationen
- Stromnetzertüchtigung notwendig aber schwierig
- Geringe Unterstützung für Contractoren
- Umständliche Formalitäten (z.B. Anmeldung von Anlagen)
- Forschung/Wissen:
 - Aufklärung von falschen Aussagen/veraltetem Wissen durch Wissenschaftskommunikation
 - Luft-Wärmepumpen teils zu laut: Innovationspotenzial
 - Zugang zu Materialien/Ressourcen für Forschung teils schwierig
 - Technische Innovationen für Start-ups: KI-optimierte Wärmepumpen, Horizontalventilatoren, Ventilatoren auf Dach, gedämmte Kompaktanlagen
- Handwerk:
 - Fachkräftemangel: Fachkräfteoffensive, insbesondere bei Frauen
 - Zu wenige Firmen mit Fachkenntnis
 - Keine Anreize zur Weiterbildung/zum Einbau innovativer Technologien
 - Vorurteile/veraltetes Wissen: Weiterbildung anreizen/verpflichten
 - Hohe Anforderungen: Spezialisierung nötig
 - Betriebe zu klein und nicht auf Wachstum ausgelegt
 - Ausbildungsstruktur problematisch: Innovative Technologien vor Markteintritt in Lehrplan, klimaverträgliche Technologien ins Zentrum
- Verbraucher*innen/Eigentümer*innen:
 - Fehlendes Wissen/veraltetes Wissen
 - Keine verlässlichen Wissensquellen
 - Komplizierte/verwirrende Zusammenhänge
 - Zeitdruck bei Heizungsausfall/Investitionsentscheidung
 - Wärmepumpe als störend empfunden (laut, groß)
 - Kompliziertes Mietrecht
 - Förderung komplex
 - Banken unkooperativ
- Medien/Gesellschaft:
 - Wasserstoff-Hype verunsichert/weckt falsche Vorstellungen (Investitionen werden verschleppt)
 - Fundierte Aufklärung benötigt
 - Notwendigkeit konsequenten Umstiegs auf EE nicht ausreichend kommuniziert
- Politik:
 - Keine klare Strategie/Festlegung zur "Wärmewende" bzgl. Rolle EE/fossiler Brennstoffe
 - Geringe Planungssicherheit (u.a. fehlende kommunale Wärmeplanung)
 - Zu viel Bürokratie
 - Ausbildungspläne anpassen

2.1.2 Empirie als Input für das Technologiegenese-Modell

Die in den Interviews und den Workshops erhaltenen Erkenntnisse gehen im Rahmen des oben beschriebenen iterativen Prozesses in die Modellentwicklung ein. Auf Basis ihrer Grundlagen werden modellierte Prozesse gestaltet, die Modellauflösung gewählt und die Parametrisierung des Modells erarbeitet. Die qualitativen Ergebnisse werden dabei unterstützt durch quantitative Daten aus

Statistiken zu Unternehmen und Branchen, Patenten, Forschungs- und Entwicklungsprogrammen. Aus ihnen werden Zahlen erarbeitet, die im Modell direkt verwendet werden können.

In dem im Projekt umgesetzten Modell soll die sukzessive Wissens- und Produktentwicklung aus bereits vorhandenem Wissen besser als bisher abgedeckt werden, um die technologische Entwicklung fundierter darstellen zu können. Insbesondere soll das in den qualitativen Erhebungen angesprochene Innovationspotenzial seitens der Forschung und Entwicklung bei Instituten und Herstellern besser abgebildet werden. Zentrales Entwicklungsziel des Modells war die Umsetzung eines Lernmechanismus, sodass die Produktionskosten durch die Entstehung und den Austausch von Wissen im Sinne von Lernkurven sinken. Dafür wurde, wie bereits erwähnt, das SKIN-Modell durch das gänzlich neu entwickelte Modell SLICK ersetzt.

Zudem ergibt sich aus den empirischen Analysen im betrachteten Bereich der Wärmetechnologien eine spezielle Rolle von Installateur*innen und damit ein großer Einfluss ihres Wissens auf die Vermarktung der Technologien. Aus diesem Grunde wurde eigens ein neues Modul entwickelt, das die Installateur*innen im Modell abbildet. Im Zentrum steht dabei das Wissensportfolio der Installateur*innen bzw. das Portfolio der durch sie installierbaren Technologien und dessen Beeinflussung v.a. durch Aus- und Weiterbildung.

Weitere Anknüpfungspunkte an die Empirie gibt es bei der Modellierung der Unternehmensaktivität und insbesondere der Start-up-Gründung. Start-ups spielen eine wichtige Rolle im Modell und entstehen und vergehen in einem dynamischen Prozess. Es gibt modellseitig verschiedene Wege zur Start-up-Gründung, durch zufällig neu entstehendes Wissen sowie durch die Anwendung bisher ungenutzten Wissens aus Wirtschaft und Wissenschaft.

Im Projekt stehen vor allem die Schnittstellen zu anderen Energiemodellen im Fokus. Deswegen wird das Modell auch ganz wesentlich durch bereits in anderen Modellen als zentral erkannte Parameter geleitet. Die modellierten Ergebnisse zu Lernkurven und Installateur*innen-Portfolien sollen dazu genutzt werden, die Modellierung entsprechender Investitionsentscheidungen in anderen Modellen zu ergänzen.

2.2 Ermittlung der Investitionsbereitschaft

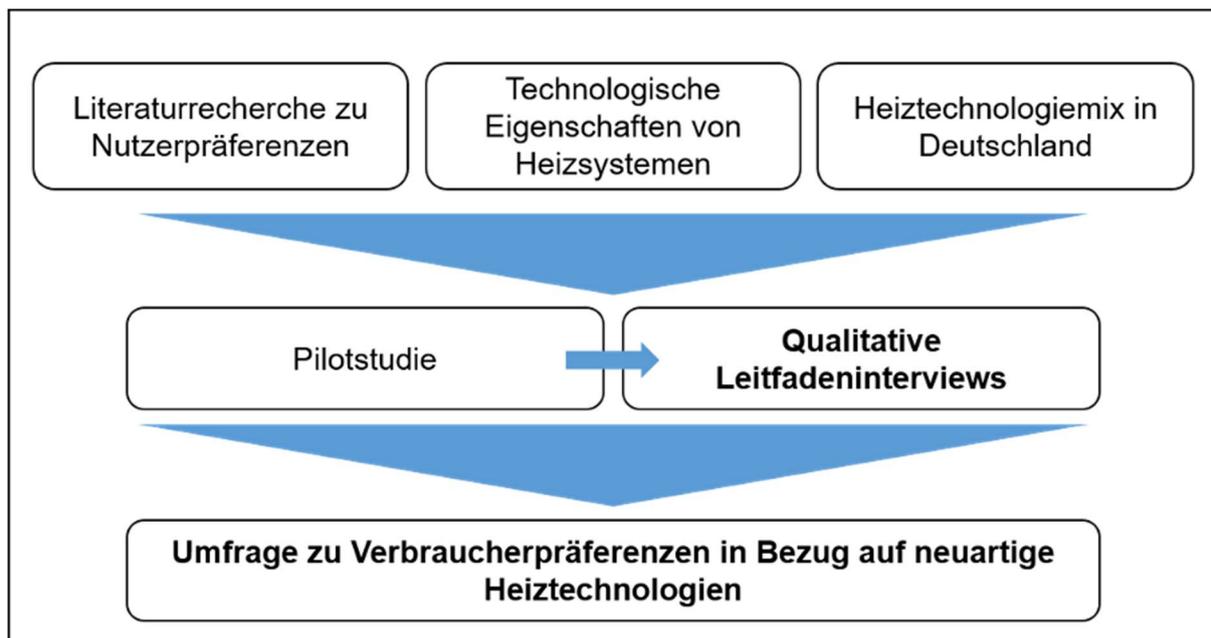
Im folgenden Kapitel wird auf die empirische Erhebung von Zahlungsbereitschaften und deren Integration in die Energiesysteme eingegangen. Dafür werden zunächst für die quantitative Erhebung mittels eines Discrete Choice Experiments (DCE) die Attributsauswahl sowie eine erste Pilotstudie in Abschnitt 2.2.1 und die Schnittstelleneinbettung der qualitativen Interviews Abschnitt 2.2.2 dargestellt. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 2.2.3 die Durchführung, Auswertung und Ergebnisse der qualitativen Interviews erörtert und in 2.2.4 erläutert wie die Ergebnisse der Inhaltsanalyse in das Umfragedesign des DCEs aufgenommen werden. Die Ergebnisse der empirischen Erhebung werden im Kapitel 2.2.5 dargestellt. Wie diese finalen Ergebnisse in die Diffusionsmodelle Invert/ee-Lab und TAM integriert werden, legt Abschnitt 2.2.6 dar.

2.2.1 Attributsauswahl für DCE und Pilotstudie

Für die Ermittlung der Zahlungsbereitschaften von Haushalten für neuartige Heiztechnologien wurde ein DCE durchgeführt. Im Rahmen einer online durchgeführten Umfrage wurden Teilnehmende dabei mit mehreren Entscheidungssituationen konfrontiert und dabei die erklärten Präferenzen (engl. stated preferences) erfasst. Grundsätzlich wurde das methodische Vorgehen bei der Durchführung eines DCE bereits im Meilenstein 4 Dokument beschrieben. Im Folgenden wird daher nun auf das im Projekt MANIFOLD spezifische Vorgehen zur Auswahl der einzelnen Attribute eingegangen werden.

Eine Schwäche der Ermittlung von Präferenzen mithilfe eines DCE ist es, dass die Auswahl der Attribute der einzelnen Wahlalternativen einen starken Einfluss auf die letztendlich ermittelten Präferenzen hat. Dies hängt von drei Eigenschaften des DCE ab: (1) Die Zahl der Attribute, die im Rahmen eines DCE berücksichtigt werden können, ist theoretisch sehr groß, aufgrund unterschiedlicher Limitationen in der praktischen Durchführung jedoch stark begrenzt. (2) Attribute, die in der Realität möglicherweise eine Rolle für die Entscheidungsfindung spielen, aber nicht im DCE berücksichtigt werden, finden keinen Eingang in die ermittelten Nutzerpräferenzen. (3) Ermittelte Nutzerpräferenzen als Ergebnis des DCE setzen sich stets aus einer Gewichtung der einzelnen Attribute zusammen. Auch hier kann die Nichtberücksichtigung von relevanten Attributen die Ergebnisse verzerren.

Um der großen Relevanz der einzelnen Attribute im DCE Rechnung zu tragen, wurden diese in einem mehrstufigen Prozess ausgewählt (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). In einem ersten Schritt wurde dabei eine Literaturrecherche durchgeführt, um Attribute von Heiztechnologien zu identifizieren, die sich bereits in früheren Untersuchungen als besonders relevant herausgestellt hatten. Auch die Heiztechnologien selbst, sowie der in Deutschland existierende Technologiemix wurden in diesem Rahmen untersucht.

Abbildung 3: Prozessschaubild - Ermittlung der Investitionsbereitschaft

Analyse früherer Studien zu Präferenzen für Heiztechnologien zeigte, dass einige klassische und für die Entscheidung intuitiv sehr relevante Attribute von Heizsystemen fast immer in den Untersuchungsrahmen aufgenommen wurden. Darunter fallen vor allem die Investitionskosten, sowie die laufenden variablen Kosten. Bei Letzteren wurden dabei teilweise nur die Betriebskosten, in anderen Fällen auch Wartungskosten berücksichtigt. Fragen des Betriebsaufwandes und der Bedienbarkeit, welche insgesamt den Komfort eines jeweiligen Systems abbilden, waren ebenfalls häufig untersuchte Attribute (Claudy et al., 2011). Je nach Schwerpunkt der Untersuchung gibt es weitere Attribute, wie beispielsweise der Autarkiegrad oder politische Förderprogramme (Michelsen & Madlener, 2012, 2013). Auch der Einfluss von Empfehlungen durch Freunde, Bekannte oder eine Energieberatung, sowie die Klimafreundlichkeit eines Heizsystems wurden untersucht (Achtnicht, 2010; Scarpa & Willis, 2010).

Im Herbst 2020 wurde auf Grundlage der ausgewählten Attribute bereits eine erste Pilotstudie durchgeführt. Wie die finale Umfrage, bestand auch diese Studie bereits aus drei Teilen. Der erste Teil beinhaltete einen kurzen Fragebogen zum soziodemographischen Hintergrund der Teilnehmenden sowie zur aktuellen Wohnsituation und verwendeten Heiztechnologie. Im Rahmen dieses Fragebogens wurde auch sichergestellt, dass die 1236 Teilnehmenden der Umfrage hinsichtlich der Faktoren Geschlecht, Alter und regionaler Verteilung repräsentativ zur deutschen Gesamtbevölkerung waren. Hinsichtlich der Faktoren Mieter und Eigentümer wurde außerdem sichergestellt, dass die Teilnehmenden ein Verhältnis von 50:50 aufwiesen. Den zweiten Teil der Umfrage bildete das eigentliche DCE. Dieses bestand aus jeweils acht Entscheidungssituationen, in welchen die Teilnehmenden vor die Wahlmöglichkeit aus zwei unterschiedlichen Heiztechnologien mit den folgenden Attributen gestellt wurden:

- Investitionskosten
- Jährliche Betriebskosten
- CO₂-Emissionsreduzierung
- Zeitaufwand der Informationssuche
- Hauptinformationsquelle

Bei der Wahl der Ausprägungen insbesondere der Attribute Investitionskosten, jährliche Betriebskosten und CO₂-Emissionsreduzierung wurden Informationen zu dem aktuellen Heiztechnologiemix in Deutschland sowie die technologischen Eigenschaften von Heiztechnologien berücksichtigt.

Als dritten Teil beinhaltete die Pilotstudie eine Likert-Skalen-Befragung. Hierbei bewerteten die Teilnehmenden wie sehr eine Aussage aus ihrer Perspektive zutrifft, bzw. nicht zutrifft. Der Mehrwert dieser nachgelagerten Befragung besteht darin, dass zusätzliche Informationen abgefragt werden können, die zuvor nicht Bestandteil des DCE waren sowie Präferenzangaben validiert werden. Aus den zusätzlichen Informationen lassen sich einerseits die Beweggründe der Teilnehmenden für im Rahmen des DCE ausgedrückte Präferenzen besser nachvollziehen, andererseits können auf diesem Weg weitere, im DCE nicht berücksichtigte Attribute abgefragt werden.

Im Folgenden wird kurz auf die Ergebnisse der Pilotstudie, sowohl des DCE als auch der Likert-Skalen-Befragung, eingegangen und dargelegt, welche Schlussfolgerung daraus für die qualitative Befragung sowie die weitere Attributauswahl für die zweite quantitative Befragung gezogen wurden.

Für die Auswertung des DCE der Pilotstudie wurde ein Mixed-Logit-Modell verwendet. Dieses Modell wird auch für die finale Studie genutzt und daher in Absatz 2.2.5 näher beschrieben. Die Koeffizienten zeigen sich als signifikant mit einem Niveau von 1 %. Zur Basis der Investitionskosten sind mittels der Koeffizienten die Zahlungsbereitschaften ermittelt worden (siehe Tabelle 1). Im Mittel und über die gesamte Stichprobe hinweg zeigt sich, dass die Reduzierung der Betriebskosten um einen Euro eine Zahlungsbereitschaft von ca. 20 Euro bei den Investitionskosten hervorruft. Die Reduzierung von 1 % CO₂-Emissionen ist im Durchschnitt schon knapp 77 Euro an Mehrinvestitionskosten wert. Eine zusätzlich aufgebrachte Stunde bei der Informationssuche hingegen wird mit einer negativen Zahlungsbereitschaft – also einer Ersparnis – von etwas mehr als 135 Euro bemessen. Für die Berechnung der Zahlungsbereitschaften hinsichtlich unterschiedlicher Informationsquellen wurde die Abweichung zur „Quelle“ des Freundes berechnet. Wenn die Information von einem*einer Fachinstallateur*in oder einer Energieberatung stammt, erhöhen sich die Zahlungsbereitschaften für die Investition um ca. 4574 Euro bzw. ca. 3162 Euro. Die Zahlungsbereitschaft der Befragten steigt somit, wenn die Informationen von einem Fachexpert*innen statt von einem Freund kommen. Die Zahlungsbereitschaft steigt auch, wenn die Information insbesondere aus eigener Recherche kommen, diese liegt sogar mit knapp 3832 Euro über der für Energieberatung. Da die Informationsquelle ein relevantes Attribut bei der Präferenzbildung zu sein scheint, aber auf der Datengrundlage der Pilotstudie noch keine Aussagen darüber getroffen werden können, woher dieser Sprung in Zahlungsbereitschaft kommt, wurde dieser Punkt in der qualitativen Befragung berücksichtigt. Auch die anderen Attribute und deren Ergebnisse sind in das Design der Befragung eingeflossen.

Tabelle 1: Ergebnisse des Discrete Choice Experimentes der Pilotstudie für die gesamte Stich-probe

Attribut	β	p-Wert	Zahlungs- bereit- schaft	Interpretation
CO₂-Emissions- reduktion	0,013	0,0000	77	EUR Zahlungsbereitschaft für ein Pro- zent CO ₂ -Reduktion
Eigenrecherchen	0,638	0,0000	3838	EUR Zahlungsbereitschaft im Ver- gleich zu Hauptinformationsquelle „Freund“
Fachinstalla- teur*in	0,761	0,0000	4573	
Energieberatung	0,526	0,0000	3163	
Investitionskosten	- 0,166	0,0000		
Betriebskosten	- 3,340	0,0000	20	EUR Zahlungsbereitschaft für Senkung der jährlichen Betriebskosten um einen EUR
Zeitaufwand	- 0,023	0,0023	136	EUR Zahlungsbereitschaft für Senkung der benötigten Zeit für die Informati- onssuche um eine Stunde

Die vollständigen Ergebnisse der Likert-Skalen-Befragung werden in Abbildung 4 und Abbildung 5 gezeigt. Aussagen zwischen „Trifft voll und ganz zu“ und „Trifft eher zu“ werden dabei abstuftend in grün und Aussagen zwischen „Trifft eher nicht zu“ und „Trifft überhaupt nicht zu“ abstuftend in Rot dargestellt. Es zeigt sich, dass eine knappe Mehrheit der Befragten zumindest eher zustimmt Heiztechnologien, die bereits ausgereift sind, zu bevorzugen. Deutlich weniger – aber noch mehr als 50% – bevorzugen Heizungstechnologien, die der aktuell bei ihnen verbauten Technologie ähnelt. Auch die Meinung der Fachinstallateur*innen ist für knapp 90% der Befragten bei der Wahl der Heizungstechnologie wichtig. Dieser Punkt wurde daher auch verstärkt in der qualitativen Befragung berücksichtigt. Auch die Zeit die in Suche einer geeigneten Heizungstechnologie investiert wird, wird in der qualitativen Befragung aufgenommen, da über 75% bereit sind viel Zeit zu investieren. Für lokale umweltfreundliche Projekte gibt es eine klare Befürwortung der Mehrheit mit knapp 80%. Etwas weniger Befragte, aber immer noch die Mehrheit (ca. 65%), würden für umweltfreundliche Technologien auch geringe Geräuschemissionen in Kauf nehmen.

Abbildung 4: Ergebnisse der Likert-Skalen-Befragung der Pilotstudie (Teil 1)

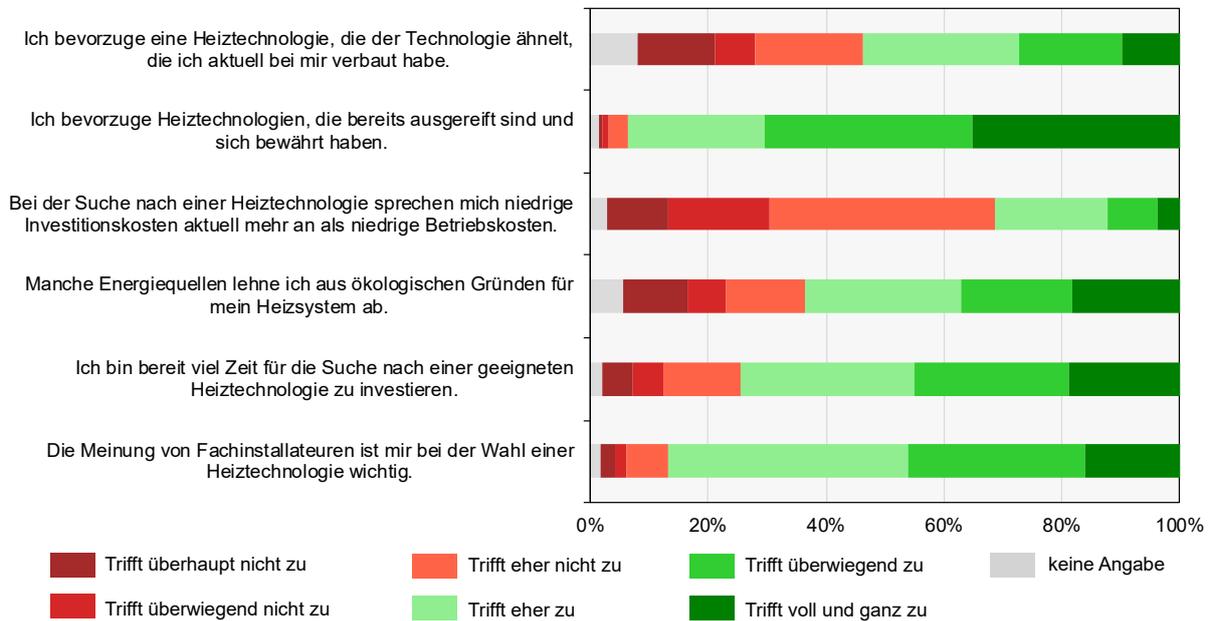
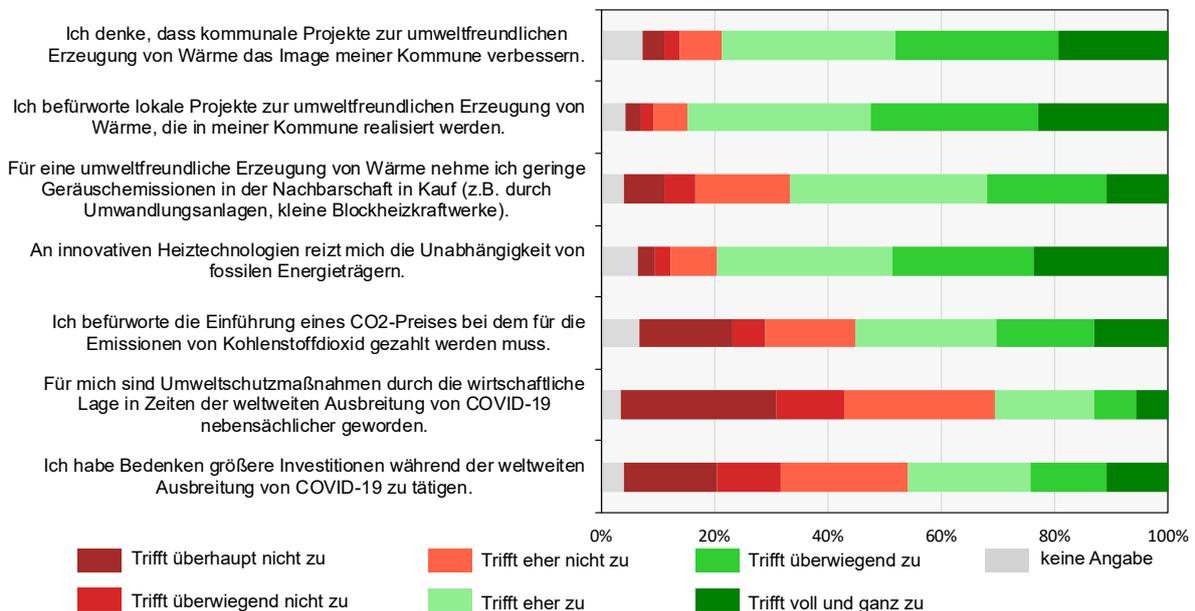


Abbildung 5: Ergebnisse der Likert-Skalen-Befragung der Pilotstudie (Teil 2)



2.2.2 Schnittstelleneinbettung der Qualitative Interviews potentieller Adopter*innen und Fragestellung

Schnittstellenaufgabe der qualitativen Interviews ist es, empirische Daten zu erfassen, die die Auswahl der Attributdimensionen des DCE inhaltlich begründen und einen Bezug zum tatsächlichen Wahlverhalten herstellen. Wie in der gemeinsamen Veröffentlichung des Projektkonsortiums herausgearbeitet, stellt die qualitative Analyse von Interviewmaterial eine Möglichkeit dar, auf Ebene der Mikro-Perspektive verhaltens- und einstellungsbezogene empirische Informationen in Energiesystemmodelle zu integrieren (Senkpiel et al. 2020). Die in den Interviews zu erhebenden Daten sowie die im DCE abgebildete Auswahlentscheidung sollen Wahlentscheidungen zur Adoption bzw. Kaufverhalten bei innovativen Wärmetechnologien von Mieter*innen und Eigentümer*innen von Wohnungen und Häusern, bzw. Teilgruppen dieser, abbilden.

Da sich ein Teil der Projektfragestellung auf die Interaktion zwischen Akteuren bezieht, soll im Rahmen der qualitativen Analyse ein Fokus daraufgelegt werden, welche Konsequenzen durch die Interaktion mit Installateur*innen als eine vereinfacht betrachtete Akteursgruppe produziert werden und wie relevant diese für das Auswahlverhalten sein könnten. Der Fokus wurde auf die Gruppe der Installateur*innen gelegt, da diese sich im Rahmen von Diskussionen im Konsortium als besonders interessant herauskristallisiert haben.

Auf Grundlage von theoretischen Vorüberlegungen wurden in einer Pilotstudie zum DCE bereits die Attribute „Zeitaufwand der Informationssuche“ und „Hauptinformationsquelle“ exploriert. Die Gestaltung der Attributabstufungen „Zeitaufwand der Informationssuche“ und die Interaktionsbeziehung zum*zur Fachinstallateur*in bedurften weiterer Analyse, so dass diese in den qualitativen Interviews mit betrachtet wurden.

Aufgrund der begrenzten Ressourcen für zehn Interviews soll im Rahmen der qualitativen Analyse ein Fokus erstens daraufgelegt werden, welche Konsequenzen für die Wahlentscheidungen der Gruppe der potentiellen Adopter*innen relevant sind, und zweitens, welche gemeinsamen Kontingenzen in der Interaktion mit Installateur*innen eine Rolle spielen.

Die konkreten Fragestellungen sind:

- 1) Basierend auf Verbalverhalten von potentiellen Adopter*innen, welche Kontingenzen sind relevant für die Auswahl von Heiztechnologien bei potentiellen Adopter*innen?
 - a) Was sind individuelle Kontingenzen?
 - b) Wie werden die individuellen Kontingenzen gewichtet?
 - c) Was sind Kontingenzen in der Interaktion mit Installateur*innen?
 - d) Wie werden die Kontingenzen in der Interaktion mit Installateur*innen gewichtet?
- 2) Welche Kontingenzen müssten sich ändern, um das Kaufen einer erneuerbaren, innovativen Heiztechnologie wahrscheinlicher zu machen?

2.2.3 Durchführung, Auswertung und Ergebnisse der qualitativen Interviews potentieller Adopter*innen

Anders als ursprünglich geplant wurden die Interviews aufgrund der Covid-19-Pandemie online durchgeführt. Die Erhebung der Interviews mit potentiellen Adopter*innen fand vom 26.04.2021 bis 07.06.2021 statt.

Populations- und Stichprobenbeschreibung

Potentiell relevante Merkmale bei Kauf oder Auswahl von Heiztechnologien

Mit Personen assoziierte Merkmale die als relevant für die Kaufentscheidung von Heiztechnologien beschrieben werden sind u.a. der Haustyp (Einfamilienhaus, Zweifamilienhaus, Mehrfamilienhaus), die Eigentumsverhältnisse (Besitzen, Mieten) (Beyer et al., 2010) und der Zustand des Hauses (z.B. Neubau, Renovierung) (Kranzl et al., 2018). Diese Merkmale werden typischerweise auch zur Segmentierung in Energiemodellen herangezogen und sind deswegen für die Beschreibung der Stichprobe im Hinblick auf die Schnittstellengestaltung zu beachten. Ein relevantes Personenmerkmal scheint außerdem der Stand des Kaufprozesses zum Zeitpunkt der Erhebung zu sein (im Entscheidungsprozess, kürzlich abgeschlossener Kauf, länger zurückliegender Kauf), da dies Einfluss auf die Erfahrungen hat, welche die Personen im Rahmen eines Kaufprozesses und im Umgang mit einer Heiztechnologie machen konnten.

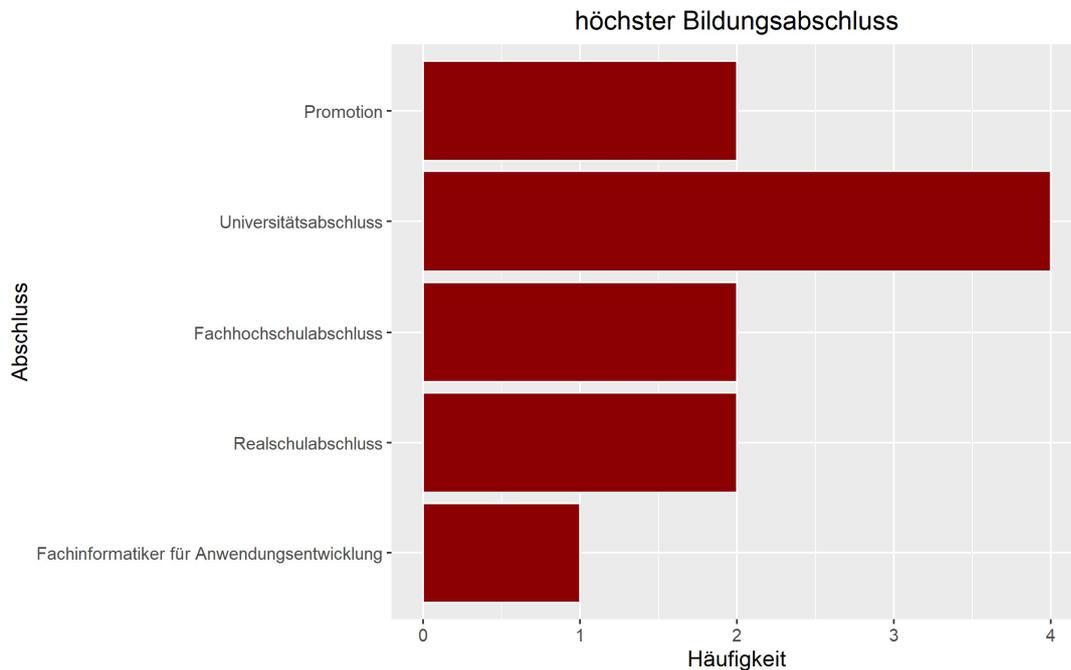
Aufgrund der begrenzten Anzahl möglicher Interviews (zehn laut Projektantrag) ist es sinnvoll eine homogene Stichprobe zu rekrutieren (Robinson, 2014), sodass wir bestimmte Einschlusskriterien im Studienaufruf formuliert haben. Auf Basis einer Anfallsstichprobe (convenience sample) über themenspezifische Internetseiten (Heiztechnikforum.eu; Heizforum.de; niedrigenergieforum.de; <https://www.facebook.com/co2online>) wurden Personen gesucht, die ein Einfamilienhaus besitzen, das ein Neubau ist oder durch die neue Heiztechnologie renoviert werden soll und die sich gerade im Entscheidungsprozess zum Kauf einer neuen Heiztechnologie befinden oder der Kauf noch nicht länger als drei Monate zurückliegt. Interessierte Personen konnten sich per E-Mail melden und daraufhin wurden Studien- und Teilnahmeinformationen, die Einverständniserklärung sowie Vorschläge für Interviewtermine verschickt. Es wurden so lange Interviews vereinbart bis in etwa abschätzbar war, dass die Zielgröße von 10 Interviews erreicht werden würde.

Zusätzlich zu den oben genannten Personen oder Personen assoziierten Merkmalen sollte man für die Stichprobenbeschreibung auch berücksichtigen, dass die verfügbare Zeit und das verfügbare Geld (Beyer et al., 2010) zu Unterschieden in der Gewichtung von Konsequenzen bei der Kaufentscheidung beitragen kann. Auch die geographische Verortung in Deutschland sollte miterfasst werden, da die unterschiedliche Verteilung bereits installierter Heiztechnologien in verschiedenen Regionen (Dena, 2017) ebenfalls von Relevanz sein könnte für die Kaufentscheidung, z.B. aufgrund von Empfehlungsverhalten von Installateur*innen oder Nachbarschaftsempfehlungen.

Merkmale der rekrutierten Stichprobe

Die Stichprobe besteht aus elf männlichen Teilnehmenden von ursprünglich vierzehn Interessentebekundungen per E-Mail als Antwort auf unsere Forumsbeiträge. Von diesen vierzehn Personen vereinbarten dreizehn nach Zusenden des Informationsmaterials einen Interviewtermin. Zwei Personen erschienen nicht zum Interview und antworteten auf das Angebot für einen neuen Termin nicht mehr. Die elf Teilnehmenden waren zum Untersuchungszeitpunkt zwischen 29 und 58 Jahre alt und alle zu 100 % erwerbstätig mit mehr als 30 Std./Woche. Die Teilnehmenden hatten alle mindestens einen Realschulabschluss (siehe Abbildung 6) und ein monatliches Haushaltseinkommen von 3.600 € bis 5.000 € pro Monat (n = 4) oder 5.000 € pro Monat oder mehr (n = 5) oder sie haben keine Angabe gemacht (n = 2). Die Einschätzung der durchschnittlichen wachen Freizeit pro Woche inklusive des Wochenendes in Stunden schwankte stärker zwischen den Teilnehmenden (Min = 4, Max = 65, Mittelwert = 36.86, SD = 18.02; n = 11).

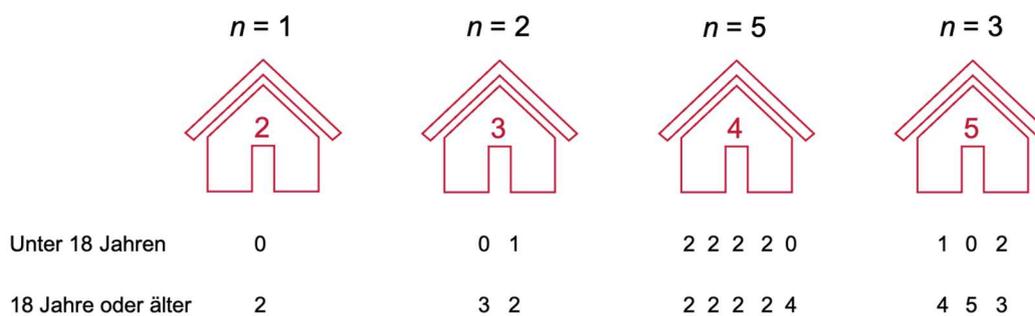
Abbildung 6: Höchster Bildungsabschluss



Anmerkung Die Auswahlmöglichkeiten waren: Kein Schulabschluss, Hauptschulabschluss, Realschulabschluss, Fachhochschulreife, Allgemeine Hochschulreife (Abitur), Abschluss an einer Fach-, Meister-, Technikerschule, Berufs- oder Fachakademie, Fachhochschulabschluss (z.B. Bachelor, Master, Diplom), Universitätsabschluss (z.B. Bachelor, Master, Diplom, Magister, Staatsexamen), Promotion, Ein anderer Bildungsabschluss, und zwar _____

Die Teilnehmenden waren Eigentümer eines Hauses und die Haushaltsgrößen lagen zwischen zwei bis fünf Personenhaushalten. Die Häufigkeiten der verschiedenen Haushaltsgrößen sowie die Anzahl der Personen unter 18 Jahren und 18 Jahre oder älter in jedem der elf Haushalte können der Abbildung 7 entnommen werden. Bei allen Teilnehmenden handelte es sich um Renovierungsmaßnahmen.

Abbildung 7: Haushaltsgröße



Die Teilnehmenden kamen aus den Bundesländern Bayern (n = 4), Hessen (n = 2), Baden-Württemberg (n = 2), Rheinland-Pfalz (n = 1), Niedersachsen (n = 1) und Sachsen (n = 1). Beim Lesen der Interviews zeigt sich, dass die Teilnehmenden tendenziell als „early adopter“ beschrieben werden können, da die meisten die ersten im Freundes- bzw. Bekanntenkreis sind, die sich mit dem Kauf einer neuen Heizung beschäftigen und erneuerbare Heiztechnologien in Erwägung ziehen.

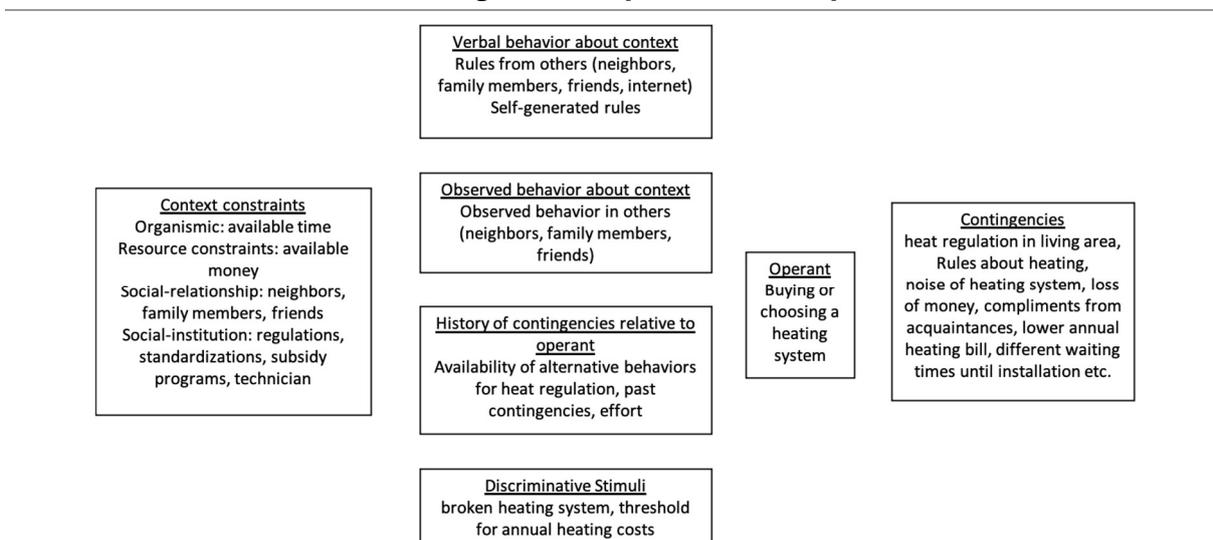
Methoden- und Materialbeschreibung

Zur Beantwortung der Fragestellungen eins und zwei wurden qualitative Interviews mit halbstrukturierten Leitfäden durchgeführt und anschließend mit einer Methode zur qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Darüber hinaus wurden durch die Teilnehmenden zwei Aufgaben (eine pile-sort Aufgabe von etwa zehn Minuten und eine freelist Aufgabe von etwa acht Minuten) während des Interviews bearbeitet und soziodemographische Merkmale anhand eines mündlich ausgefüllten Fragebogens (etwa fünf Minuten) erfasst. Der Interviewleitfaden (siehe 88) basiert auf einer selektionistischen Perspektive operanten Verhaltens (Skinner, 1981) und wurde vorab inklusive des technischen Ablaufs mit einer wissenschaftlichen Hilfskraft erprobt.

Wesentliche theoretische Terme zur Strukturierung des Leitfadens und zur Beschreibung von Kauf- und Auswahlverhalten von Heiztechnologien von Individuen werden in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** mit möglichen Beispielen aufgeführt. Kern für das Verständnis operanten Verhaltens ist die Annahme, dass Verhalten in Interaktion mit einem jeweiligen Kontext Konsequenzen produziert und diese Konsequenzen die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Verhaltens bzw. eines Operant (die theoretische Einheit von Verhalten) beeinflusst. In der vorliegenden Analyse geht es um das Kaufen bzw. Auswählen von Heiztechnologien, je nachdem in welchem Prozessschritt sich ein Individuum befindet. Je nach Kontext in dem ein Operant gezeigt wird, sind Konsequenzen mit unterschiedlichen Regelmäßigkeiten produzierbar, was zusammen betrachtet als Kontingenz bezeichnet wird. Zum Beispiel kann es sein, dass die Wahl einer Erd-Wärmepumpe in bestimmten Gebieten Deutschlands als Konsequenz lange Wartezeiten produziert bis zur Installation, da aufgrund von rechtlichen Regularien erst Sondergenehmigungen eingeholt werden müssen. Diskriminative Hinweisreize zeigen bestimmte Kontingenzbedingungen zwischen Operant und Konsequenzen an, sodass sie auf die Möglichkeit hinweisen bestimmte Konsequenzen zu produzieren. Beispielsweise kann ein kaputtes Heizungssystem im Winter ein diskriminativer Hinweisreiz für Frieren im Haus sein. In der selektionistischen Perspektive selektieren Konsequenzen Verhalten und beeinflussen so die zukünftige Auftretenswahrscheinlichkeit von Verhalten. Für die Verhaltensanalyse sind also vergangene Kontingenzen in Bezug auf bisherige Heizsysteme, Wahl- und Kauf von Heizsystemen und Heizverhalten im Haushalt relevant. Besonders bei Verhaltensweisen die selten oder zum ersten Mal gezeigt werden spielen das Verbalverhalten von anderen Personen, z.B. in Form von Empfehlungen oder das beobachtete Verhalten bei anderen eine wichtige Rolle (Schmitt, 1987). Das könnte zum Beispiel die Beobachtung sein, welches Heizsystem mein*e Nachbar*in benutzt.

Für die Analyse von Kauf- und Auswahlverhalten von Heizsystemen bei Adopter*innen haben wir Installateur*innen als eine potentiell interessante Gruppe von Interaktionspartner*innen identifiziert. Theoretisch gesehen sind sie, wie auch andere Personen, Teil des Kontextes und in Interaktion mit ihnen werden bestimmte Konsequenzen produziert, wie z.B. Verbalverhalten über Vor- und Nachteile der Installation unterschiedlicher Heiztechnologien. Innerhalb des verhaltensanalytischen Frameworks erlangt die Analyse solcher interpersonalen Kontingenzen bzw. „interlocking behavioral contingencies“ (Glenn, 1991; Glenn et al., 2016) mehr und mehr an Bedeutung, wenn es darum geht soziale oder kulturelle Prozesse zu verstehen (Cihon & Mattaini, 2020).

Abbildung 8: Begriffe der Verhaltensanalyse zur theoretischen Strukturierung des Leitfadens und zur Analyse des Kauf- und Auswahlverhaltens von Heiztechnologien durch potentielle Adopter*innen



Die Interviews fanden online über das Videokonferenzsystem Cisco Webex Meetings (Version 41.x) statt, wurden alle von der Autorin (wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Technischen Universität Braunschweig mit Erfahrung im Durchführen von Interviews) durchgeführt und als Tonaufnahmen gespeichert. Bis auf einen Teilnehmenden schalteten alle die Videokamera für das Interview an. Nicht Teilnehmende Personen waren nicht anwesend, aber es gab teilweise Unterbrechungen durch ein klingelndes Telefon oder Familienmitglieder auf Seiten der Proband*innen. Zu Beginn stellte die Interviewerin sich vor, wiederholte die Ziele der Studie und holte die Einverständniserklärung ein. Fragen der Proband*innen sowohl zur eigenen Person als auch zu Studieninhalten wurden zu Beginn und auch im Verlauf der Interviews beantwortet.

Bei einem Teilnehmenden (VP 11) kam es während des Interviews zu technischen Schwierigkeiten, die aber behoben werden konnten. Ansonsten gibt es keine Auffälligkeiten, die im Postskriptum notiert wurden. Die Interviews dauerten zwischen anderthalb und zwei Stunden, sodass insgesamt etwa 17 Stunden Tonaufnahmen im Anschluss mit der Software MAXQDA Plus 2020 (Release 20.4.1) transkribiert wurden. Der Transkriptionsleitfaden (A.2.2) basiert auf den Regeln von Rädiker und Kuckartz (2019, Seiten 44-45). Die so erstellten Transkripte ^[1] stellen das Ausgangsmaterial für die qualitative Inhaltsanalyse dar.

Die qualitative Inhaltsanalyse nutzt die von Mayring beschriebene Methode (2010, 2017), die den Inhalt der Transkripte basierend auf vorab definierten deduktiven Kategorien strukturiert und die Inhalte dieser Kategorien anschließend induktiv abstrahierend zusammenfasst. Die kleinste Kodiereinheit sind bedeutungsvolle Phrasen und der Kodierkontext ist alles Interviewmaterial inklusive Postskriptum Notizen. Das angepasste Kodiersystem nach 10 % Materialdurchgang ist in A.2.3. Es baut auf den in Abbildung 8 beschriebenen Begriffen der Verhaltensanalyse auf. Zusätzlich enthält es eine Oberkategorie zur Beschreibung der technischen Voraussetzungen der Häuser (z.B. Neubau vs. Renovierung) und eine Kategorie „changes for buying innovative, renewable technologies“, die hilfreiche Fördernisse und zu behebende Hindernisse enthält für den Kauf von innovativen, erneuerbaren Heiztechnologien. Eine erst nach den Interviews hinzugefügte Kategorie „verbalizations

¹ An dieser Stelle ein großer Dank für die tolle Unterstützung durch die Praktikant*innen Tabea Schlender, Fabius Berner, Jan Nikolov und die wissenschaftliche Hilfskraft Anna-Sophia Heidrich bei der Transkription und Kodierung des Ausgangsmaterials.

during pile-sort task“ wurde notwendig, weil das Notieren der wesentlichen gesprochenen Inhalte während dieser Aufgabe im Interview zu schwierig war, sodass die Inhalte mittranskribiert wurden. Um eine quantitative Analyse von Worthäufigkeiten zu ermöglichen, wurde die Kategorie „corpus quantitative analysis“ hinzugefügt. Eine zunächst erwogene evaluative Kategorie zur Skalierenden Strukturierung der operant contingencies (Mayring, 2010; Seiten 50 - 114) wurde nicht kodiert, da das Datenmaterial hierfür nicht reichhaltig genug ist.

Die Interraterreliabilität wurde auf Basis von zwei Interviews (VP_Haushalt_1 und VP_Haushalt_5), die von zwei Kodierern kodiert wurden, in MAXQDA bestimmt. Bei einer Segmentüberlappung von 80 % lag die Interraterreliabilität bei 71,57 % (Range 0 % - 100 %). Kategorien mit niedrigen Werten wurden diskutiert und konsensuell angepasst. Die erneute, strengere Prüfung mit 90 % Segmentüberlappung ergab eine Intercoder-Übereinstimmung von 78,33 % mit einer Range von 57,14 % bis 100 % und wurde als akzeptabel bewertet. Die restlichen Interviews wurden von einem Kodierer kodiert.

Ergebnisse

In welchem Prozessschritt befanden sich die Teilnehmenden und um welche Technologien ging es?

Fünf Teilnehmende befanden sich zum Zeitpunkt des Interviews im Kaufprozess, wobei erst ein Teilnehmender (VP_Haushalt_1) diesen Prozess abgeschlossen und die Technologie seit sechs Tagen vollständig installiert hatte (Tabelle 2). Vier Personen befanden sich im Auswahlprozess. Bei zwei Teilnehmenden liefen beide Prozesse für unterschiedliche Technologien gleichzeitig ab (VP_Haushalt_3 und VP_Haushalt_13).

Bis auf einen Teilnehmenden, der den Kauf der Heiztechnologie zum Zeitpunkt des Interviews abgeschlossen hatte, hatten die anderen Teilnehmenden noch keine Erfahrungen mit der Installation und dem Betrieb der Heiztechnologie bei sich zu Hause. Von den elf Teilnehmenden haben sich acht für eine Wärmepumpe als primäre Heiztechnologie entschieden und je eine Person für eine Scheitholzheizung, eine Gasbrennwertanlage und eine Brennstoffzellenheizung. Drei Personen nennen als Heiztechnologie einen Holzofen.

Dieser wird beschrieben als „Komfort-Ofen“ für die Gemütlichkeit und teilweise als Absicherung, z.B. „wir hätten noch zur Not einen Ofen, aber nur so einen Komfort-Ofen,“ (VP_Haushalt_1, Absatz 10).

Tabelle 2: Prozessschritte der Teilnehmenden und (geplante) Heiztechnologien

Teilnehmenden ID	Prozessschritt	Heiztechnologie
VP_Haushalt_1	Kauf (abgeschlossen)	Luft-Wärmepumpe, Holzofen
VP_Haushalt_2	Kauf	Holzheizung (Scheitholz), Solarthermie, Ölheizung als Backup
VP_Haushalt_3	Auswahl, Kauf	Wärmepumpe (Wahl; Typ noch nicht entschieden), Solaranlage (Kauf)
VP_Haushalt_4	Kauf	Gasbrennwertanlage
VP_Haushalt_5	Auswahl	Solewärmepumpe in Kombination mit einem Ringgrabenkollektor
VP_Haushalt_6	Auswahl	Luft-Wärmepumpe
VP_Haushalt_7	Kauf	Brennstoffzellenheizung, Holzofen
VP_Haushalt_10	Kauf	herunter modulierende Gasbrennwerttherme, Brauchwasser-Wärmepumpe
VP_Haushalt_11	Auswahl	Erdwärmepumpe, Photovoltaik, Holzofen
VP_Haushalt_12	Auswahl	Wärmepumpe (Typ noch nicht entschieden)
VP_Haushalt_13	Kauf, Auswahl	Luft-Wärmepumpe (Kauf), Photovoltaik (Wahl), elektrische Decken- und Wandheizung (Wahl)

Wie lange dauern die Prozessschritte und welche Verhaltensweisen sind wesentliche Bestandteile?

Szenarien zur Transformation hin zu erneuerbaren Heiztechnologien im Haushaltssektor müssen die Zeit berücksichtigen, die es dauert, den Bestand auszutauschen. Wichtige Aspekte sind dabei die Anteile der verschiedenen Heiztechnologien die aktuell im Bestand sind, aber noch nicht auf erneuerbaren umweltfreundlichen Technologien basieren, der Absatz von verschiedenen Heiztechnologien und die Nutzungsdauer der Technologien.

Im aktuellen Bestand sind 2019 etwa 75 % der Wohngebäude mit Öl- oder Gasheizung ausgestattet und etwa 70 % der Wohneinheiten (DENA, 2022). In Wohngebäuden sind davon 30 % Ölzentralheizungen, 41 % Gaszentralheizungen und 5 % Erdgas-Etagenheizung. In Wohneinheiten sind die Anteile 25 % Ölzentralheizungen, 36 % Gaszentralheizungen und 10 % Erdgas-Etagenheizungen (Gebäudeforum klimaneutral, 2022). Auf Wärmepumpen entfallen 3 % (Wohngebäude) und 2 % (Wohneinheiten) und auf Holzkessel 3 % sowohl in Wohngebäuden als auch in Wohneinheiten (Gebäudeforum klimaneutral, 2022).

Der Absatz von fossilen Wärmeerzeugern, also Ölheizungen und Gasheizungen, die neu eingebaut wurden lag 2020 bei etwa 73 % und der von Wärmepumpe und Biomasse bei etwa 19 % (Gebäudeforum klimaneutral, 2022, eigene Berechnung). Die Anteile unterscheiden sich dabei zwischen Renovierungen und Neubauten. In Neubauten wurden 47 % erneuerbare Heiztechnologien verbaut (Wärmepumpe und Biomasse), während in Bestandsbauten 7 % Wärmepumpen und 1 % Biomasse verbaut wurden und noch etwa 93 % auf fossile Verbrennungsheizungen entfielen (Gebäudeforum klimaneutral, 2022, eigene Berechnungen).

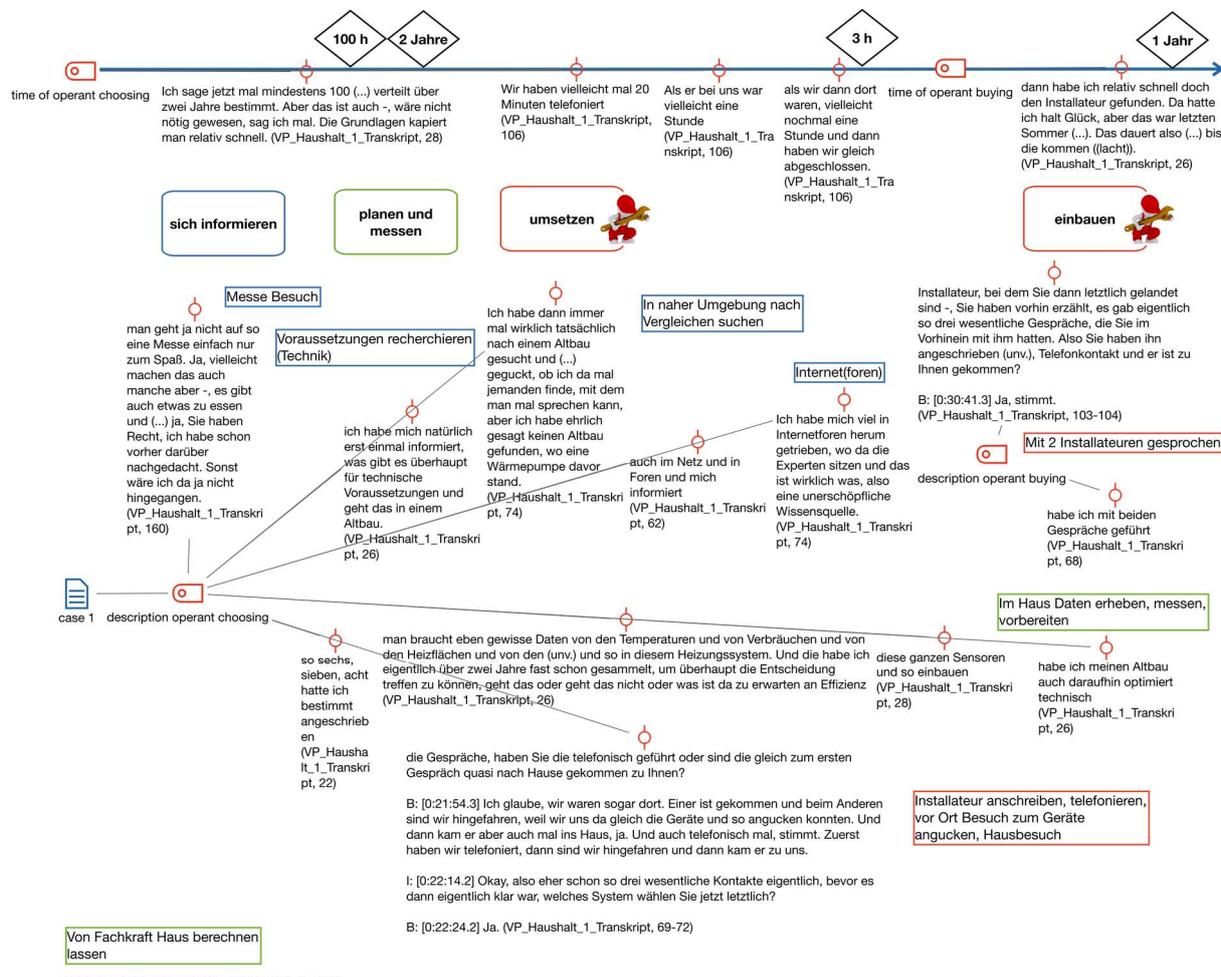
Die jährliche Austauschrate von Heizungsanlagen im Gebäudebestand lag 2015 bei 2,5 bis 3 % (DENA, 2022). Das Durchschnittsalter von Heizungsanlagen betrug 2019 etwa 17 Jahre (DENA, 2022). Etwa 25 % der Heizungsanlagen sind älter als 25 Jahre und ungefähr 13 % sind zwischen 15 und 19 Jahren alt (Gebäudeforum klimaneutral, 2022).

Angesichts der Notwendigkeit die Transformation hin zur Nutzung erneuerbarer Energien im Haushaltssektor voranzutreiben, ist allerdings auch ein Blick darauf interessant, wie lang es dauert, bis Personen für eine Bestandsrenovierung eine Heiztechnologie ausgewählt und gekauft haben und welche Verhaltensweisen Bestandteil dieser Prozessschritte waren. Da wir annehmen, dass der Zeitaufwand, der mit der Wahl und dem Kauf einer Heiztechnologie zusammenhängt, eine relevante Konsequenz sein könnte, kann diese Analyse auch dabei helfen, Aspekte zu identifizieren, deren Beschleunigung ein Fördernis hin zu mehr erneuerbaren Heiztechnologien darstellen könnte.

Zur Analyse wurden in MAXQDA mit Hilfe des visuellen Analysetools MaxMaps konzeptuelle Abstraktionen anhand der Codes *description operant* und *time of operant* jeweils für die dazugehörigen Oberkategorien *operant contingencies choosing heating system* und *operant contingencies buying heating system* für jeden Teilnehmenden einzeln erstellt und anschließend die abstrahierten Verhaltensweisen mit einer Übersicht der unterschiedlichen zeitlichen Dauern zusammengefasst.

Exemplarisch sind hier die individuelle Konzeptkarte des Teilnehmers VP_Haushalt_1 (Abbildung 9) und des Teilnehmers VP_Haushalt_4 (Abbildung 10) dargestellt. In der Gruppe der hier Untersuchten ist Fall 1 als typischer Fall zu sehen, allerdings mit einer langen Auswahlphase. Im Vergleich zu den anderen Fällen hat Fall 4 eine deutlich kürzere Auswahlphase. Die Konzeptkarten der anderen Teilnehmenden befinden sich im Anhang A.2.4.

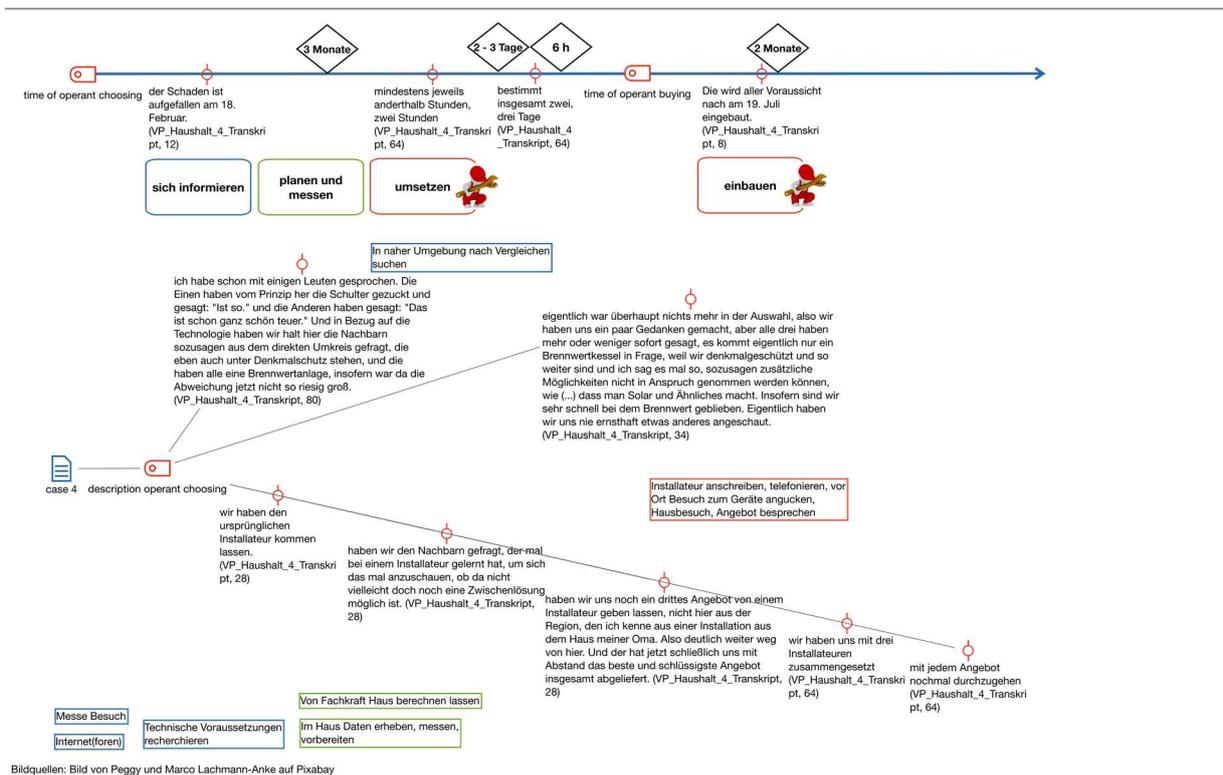
Abbildung 9: Konzeptkarte der Prozessschritte, Verhaltenssequenzen und deren zeitlicher Dauer für Fall 1



Fall 1 hat insgesamt etwa 100 Stunden verteilt über zwei Jahre darauf verwandt sich zu informieren und im Haus Daten zu erheben, um zu entscheiden, was für Heiztechnologien möglich sind und wie effizient diese wären. Zu der abstrahierten Verhaltensweise „sich informieren“ gehören hier exemplarisch der Besuch einer Fachmesse, das Recherchieren von technischen Voraussetzungen, das Konsultieren von Expert*innen in Internetforen und das Suchen nach Altbauten in der Umgebung mit einer Wärmepumpe. Die Suche nach Austausch mit Personen, die bereits eine Wärmepumpe in einem Altbau installiert haben, um somit die Möglichkeiten des Modell- und Instruktionslernens zu nutzen, war für Fall 1 nicht erfolgreich. Beispiele für die abstrahierte Verhaltensweise „planen und messen“ sind das Anbringen von Sensoren im Haus und das Erheben von Messwerten, wie Temperaturen und Verbräuchen über die Zeitspanne von etwa zwei Jahren. Die Teilnehmenden unterscheiden sich dahingehend, wie viel sie selber planen und messen und wieviel sie davon an eine Fachkraft, z.B. eine Energieberatung oder ein Architekturplanungsbüro, abgeben. Fall 6 hat bspw. eine Energieberatung dafür hinzugezogen und beschreibt die Abwägung so: „habe ich selber noch ein bisschen rumgelesen, manche Leute fangen auch an selber zu messen und erstmal (...) einen Heizungsabgleich zu machen. (...) Da hatte ich dann keine Lust drauf. Das war mir zu viel Aufwand. Da hätte man dann wahrscheinlich mehrere Winter messen dürfen und tun und machen und erstmal Geräte kaufen.“ (Absatz 5). Fall 4 hat direkt nach der Informationsphase die Umsetzung mit einem Installateur begonnen. Die abstrahierte Verhaltensweise „umsetzen“ der Auswahl erfolgt in der Regel in Interaktion mit einem Installateur oder einer Installateurin. Fall 1 hat sechs bis acht

Installationsbüros angeschrieben und mit zwei von ihnen ein Gespräch geführt. Die Zeit für die Phase der Umsetzung in der Interaktion mit dem Installateur hat in etwa 3 Stunden gedauert und bestand aus einem Telefonkontakt, einem Hausbesuch und einem Gespräch in der Firma des Installateurs mit Kaufabschluss. Betrachtet man die anderen Fälle, scheint es eine geteilte Erfahrung, dass die Interaktion mit den Installateur*innen, was die Umsetzung angeht, relativ kurz und ähnlich verläuft und zumeist aus den Verhaltensweisen besteht den*die Installateur*in anzuschreiben (z.B. per E-Mail), zu telefonieren, einen Besuch in der Firma wahrzunehmen (evtl. auch um sich Geräte anzuschauen), einem Hausbesuch, das Einholen von Angeboten und teilweise wird in dieser Phase auch die Herstellerfirma kontaktiert. Nur bei Fall 1 ist der Einbau zum Zeitpunkt des Interviews schon erfolgt, aber trotz vorheriger eigener Planung und Kauf beim Installateur betrug die Wartezeit hier etwa ein Jahr „dann habe ich relativ schnell doch den Installateur gefunden. Da hatte ich halt Glück, aber das war letzten Sommer (...). Das dauert also (...) bis die kommen ((lacht)).“ (Absatz 26). Obwohl bei Fall 4 zum Zeitpunkt des Interviews der Einbau noch nicht erfolgt ist, beträgt hier die voraussichtliche Wartezeit bis zum Einbau der Gasbrennwertanlage nur 2 Monate.

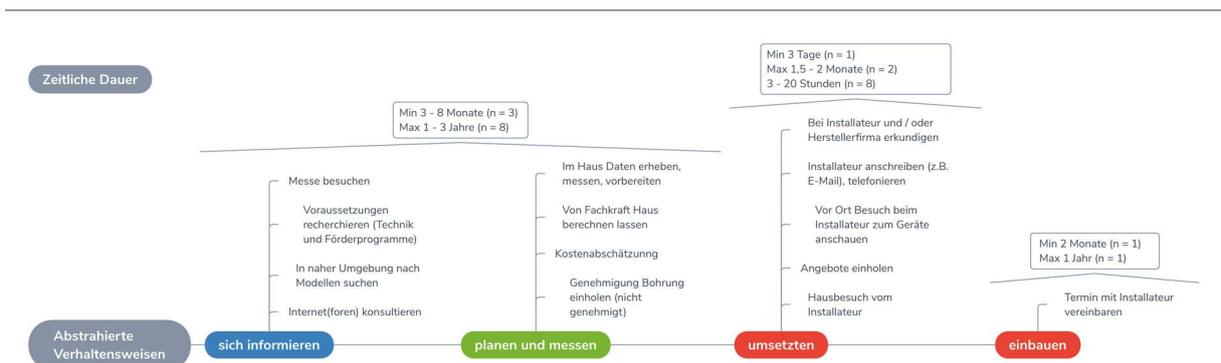
Abbildung 10: Konzeptkarte der Prozessschritte, Verhaltenssequenzen und deren zeitlicher Dauer für Fall 4



Im Vergleich zu den Fällen, die mehr Zeit auf die abstrahierten Verhaltensweisen sich informieren sowie planen und messen verwendet haben (vergleich Abbildung 11 für die zusammenfassende Darstellung aller Fälle), hat Fall 4 hier einen deutlich kürzeren Zeitraum angegeben (3 Monate vs. etwa 2 Jahre). Die Verteilung der unterschiedlichen Bestandteile der abstrahierten Verhaltensweisen ist in dem Zusammenhang interessant. Während beispielsweise Fälle 1-3 viel Information selber recherchiert haben und wenig Interaktion in der Umsetzung mit dem Installateur haben, hat Fall 4 mehr Codes, die die Interaktion mit dem Installateur betreffen. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte der bei Fall 4 identifizierbare relevante diskriminative Hinweisreiz sein, der die verfügbare Zeit begrenzt. Hier lag ein Schaden des bisherigen Heizsystems vor und außerdem wurde die Auswahl möglicher Heizsysteme durch die Kontextrestriktion Denkmalschutz eingeschränkt.

Es ist zu erwägen, inwieweit die unterschiedlich langen Wartezeiten auf den Einbau einer neuen Heizung mit der Neuheit der Technologie bzw. der Verfügbarkeit entsprechend qualifizierter Installateur*innen zusammenhängen könnte. Eine zeitliche Diskrepanz von über einem halben Jahr zwischen einer etablierten und einer innovativen Technologie würde dann eine mögliche Stellschraube für Veränderungen sein, um die Transformation zu beschleunigen. So wäre es möglich, auch bei Vorliegen von diskriminativen Hinweisreizen, wie einer defekten Heizung, erneuerbare Technologien tatsächlich in die Auswahlentscheidung einzubeziehen und den zeitlichen Aufwand insgesamt zu reduzieren und somit eine potentiell wesentliche Konsequenz zu verändern.

Abbildung 11: Zusammenfassung der abstrahierten Verhaltensweisen und deren zeitliche Dauer



Welche Kontingenzen sind relevant für die Auswahl von Heiztechnologien bei potentiellen Adopter*innen? (Fragestellung 1)

Die Fragestellung 1 gliedert sich in vier Unterpunkte: a) Was sind die individuellen Kontingenzen? b) Wie werden die individuellen Kontingenzen gewichtet? c) Was sind Kontingenzen in der Interaktion mit Installateur*innen? d) Wie werden die Kontingenzen in der Interaktion mit Installateur*innen gewichtet?

Die Analyse der individuellen Kontingenzen sowie der Kontingenzen in Interaktion mit Installateur*innen erfolgte anhand der kodierten Codes in den Kategorien *operant contingencies choosing heating system – contingencies* und *operant contingencies choosing heating system – interlocking contingencies technicians*. Die kodierten Textsegmente wurden mit Hilfe des Analyse Tools „Summary-Grid“ pro Fall zusammengefasst und mögliche Kontingenzdimensionen formuliert. Die Kontingenzdimensionen wurden anschließend in einer „Summary-Tabelle“ exportiert, zu neuen Subcodekategorien zusammengefasst, im Kodiersystem ergänzt und kodiert. Die Kodierung mit den induktiv am Textmaterial erarbeiteten Subcodekategorien ermöglicht es, die Fragen nach der Gewichtung der Kontingenzen zu beantworten. Zu diesem Zweck wurden die Codehäufigkeiten analysiert, mit denen ein Code in den elf Dokumenten vorkommt. Diese Analyse informiert darüber, wie viele der Adopter*innen eine Kontingenzdimension benannt haben. Als zweiter Indikator für die Wichtigkeit kann herangezogen werden, wie viele der Textsegmente auf eine Subcodekategorie entfallen, also wie viele der insgesamt kodierten Textsegmente auf eine bestimmte Kontingenzdimension entfallen. Diese Analyse informiert darüber, wie oft über eine bestimmte Kontingenzdimension über alle Teilnehmenden hinweg betrachtet, gesprochen wurde. Abbildungen 12 und 13 zeigen die jeweiligen Ergebnisse für die individuellen Kontingenzen. Die Betrachtung beider Auswertungen ist interessant, weil deutliche Diskrepanzen in der Rangfolge Hinweise darauf geben können, dass einzelne Adopter*innen eine Kontingenz als sehr wichtig einschätzen und sehr viel darüber reden, dies aber nicht die Wichtigkeit widerspiegelt, die die Gesamtheit der untersuchten Gruppe einer Kontingenz beimisst.

Was sind die individuellen Kontingenzen und wie werden sie gewichtet?

Für 9 von 11 Teilnehmenden, also 82 % (siehe Abbildung 12), war die Passung zu anderen Systemen, die bereits im zu renovierenden Haus vorhanden sind oder zusätzlich installiert werden sollen wichtig für die Auswahlentscheidung. Oft ging es hier um die Kompatibilität mit anderen erneuerbaren Energietechnologien, insbesondere Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen). Fall 13 beschrieb dies so: "Voraussetzung, dass dieses SG-Ready-Flatrate mit dabei ist, weil es geht ja im Prinzip mir darum, dass die Wärmepumpe auch mit der Solaranlage kommunizieren kann." (Absatz 10). Ebenso wichtig waren die einmaligen monetären Investitionskosten in Euro, gefolgt von wiederholt auftretenden monetären Kostenersparnissen durch geringere Heizkostenrechnungen (von 64 % benannt) sowie der wiederholt auftretende Zeitaufwand in Stunden für den Betrieb eines Heizsystems, welcher bei 55 % der Teilnehmenden als Kontingenzen bei der Auswahlentscheidung berücksichtigt wurde. Bei den wiederholt auftretenden monetären Kostenersparnissen ging es vor allem um den Vergleich zu öl- oder gasbasierten Heizsystemen, z.B. „hoffentlich dann auch eine deutliche Kostenersparnis, weil nämlich die CO2-Bepreisung des Gases ja nach und nach steigen wird.“ (Fall 5, Absatz 32). Auch der wiederholte zeitliche Aufwand für Pflege und Betrieb eines Heizsystems werden berücksichtigt. Diese gehen zwar bei vielen erneuerbaren Heiztechnologien, ähnlich wie bei öl- oder gasbasierten Heizungen gegen Null, aber insbesondere bei Scheitholzheizungen oder Pelletheizungen werden Reinigungsaufwand und Lageraufwand für den Rohstoff mitberücksichtigt, z.B. „Es wäre noch eine Scheitholzheizung gewesen, ist aber für mich nicht infrage gekommen, weil ich mich ums Holz und so weiter nicht kümmern will und auch keine Zeit dafür habe.“ (Fall 7, Absatz 33).

Abbildung 12: Gewichtung individueller Kontingenzen des Auswahlverhaltens anhand der Auftretenshäufigkeit bei den 11 betrachteten Adopter*innen



Für jeweils 5 von 11 Teilnehmenden (45 %) waren die Kontingenzen Art des Energieträgers, ob es sich um eine CO2-arme und/ oder umweltfreundliche Technologie handelt, wie groß der einmalige Planungsaufwand in Stunden für die neue Heiztechnologie ist, ob das System die gewünschte Raumtemperatur und Komfort bereitstellen kann und wie optimal ein Heizsystem dimensioniert werden kann, ein relevanter Abwägungsaspekt bei der Auswahlentscheidung.

Die Kategorie Art des Energieträgers umfasst Präferenzen, die eng mit dem jeweiligen Rohstoff und der darauf basierenden Technologie assoziiert sind. Diese Präferenzen fußen zumeist in Begründungen, die andere Kontingenzen benennen, wie z.B. monetäre Konsequenzen, wurden aber so

deutlich als Präferenz gegenüber einem bestimmten Energieträger gefasst, dass wir sie als gesonderte Kategorie codiert haben. Besonders deutlich wird dies an Textauszügen von Fall 6: „das Wasserstoff-System habe ich nicht tatsächlich in Erwägung gezogen, da bin ich tatsächlich nur drüber gestolpert und habe gleich gesagt: "Oh, nette Sache, aber das kommt auf gar keinen Fall in Frage."“ (Absatz 35). Gründe waren sowohl das Überschreiten einer preislichen Restriktion für die Investitionskosten „Es gibt ja auch Leute, die bauen sich (...) ein Wasserstoffsystem in das Haus. Gibt es ja mittlerweile auch zu kaufen (...) das fängt dann bei 70 - 80.000 an, so weit würde ich nicht gehen. Das ist dann Liebhaberei, das ist Interesse, das ist gut, das ist schön, dass das Leute machen, aber da wäre dann meine Hemmschwelle doch zu niedrig, oder niedriger.“ (Absatz 33) sowie die Einschätzung, dass Wasserstoff sinnvoller in anderen Bereichen, wie z.B. im Fernverkehr oder für chemische Prozesse in der Industrie (Absatz 39) als beim Heizen einsetzbar ist „Wasserstoff kann man sinnvoller nutzen, als damit zu heizen.“ (Absatz 37). Als dritten Grund führt Fall 6 an, dass die Wasserstoff Technologie noch nicht ausgereift sei (Absatz 35) und holzbasierte Heizungen kommen ebenfalls nicht in Frage, da Holz eine begrenzte Ressource sei „Holzbasierte Heizung würde ich nicht nehmen wollen, also Pellets oder so etwas.“ (Absatz 35) und „Ich glaube, dass wenn alle das tun, dass das dann nicht mehr so toll ist. (...) Also die Pellets als Abfallprodukt zu benutzen finde ich gut, die extra zu produzieren, um damit heizen zu können, ist wiederum nicht so ganz toll. (...) Und dann gibt es auch nicht mehr genug davon und dann wird da wieder Raubbau mit getrieben. Idealerweise lässt man die Wälder stehen, so gut es geht und nutzt nur den entsprechend dafür aufgeförfsteten Bereich und die Abfälle, die in der Produktion von Möbeln oder so verwendet werden.“ (Absatz 41).

Die Wichtigkeit der umweltrelevanten Konsequenzen wurden z.B. von Fall 5 so beschrieben „Naja, ganz klar war es so eigentlich der Umweltgedanke. Sprich also, CO₂-Fußabdruck reduzieren.“ (Absatz 66). Für 2 Teilnehmende war auch die Kongruenz zu bereits gezeigten umweltfreundlichen Verhaltensweisen relevant, z.B. „ich bin immer schon so ein bisschen auf dem Weg halt regenerative -, was weiß ich, Solaranlagen hatte ich schon ganz lang und fahre halt auch wenig Auto und all dieses ganze Zeug, ja. Ich fliege auch nicht und (...) da überlegt man halt immer, was könnte man noch machen. Und da kam ich halt irgendwann -, bin ich auf die Idee gekommen, Heizung. Das ist auch ein riesen Brocken, den man mal angehen müsste.“ (Absatz 100). Trotz des hohen zeitlichen Planungsaufwandes, der in dieser Gruppe der Teilnehmenden beschrieben wird, mit eher 1 bis 3 Jahren als 3 bis 8 Monate, wird diese Kontingenz von nur 45 % benannt. Das könnte daran liegen, dass wir es hier mit einer 'early adopter' Gruppe zu tun haben, die oft technisches Interesse gezeigt hat, viel monetäre Ressourcen hat und bis auf einen Teilnehmenden keinen Zeitdruck aufgrund kontextbedingter Faktoren hatte. In der Kategorie gewünschte Raumtemperatur und Komfort ist enthalten, inwieweit das Heizsystem, auch in Verbindung mit dem eigenen Verhalten, in der Lage ist, die Erwartungen an die Wärmeregulation im eigenen Haus zu erfüllen: „Bei einer Flächenheizung haben wir ja die, also, Wärmestrahlung. Das ist ein ganz anderes Empfinden sozusagen.“ (Absatz 69) [...] „es ist jetzt nicht so, wenn ich jetzt hier mal komme und mir ist jetzt spontan viel zu kalt oder ich habe irgendwo in irgendeinem Zimmer habe ich die Heizung nicht angehabt im Winter, komme da rein und will es da schnell warm haben, dann drehe ich jetzt hier die Heizung auf fünf und eine Viertelstunde später ist das Zimmer warm. Das funktioniert so mit einer Flächenheizung ja nicht.“ (Absatz 69). Die Kategorie Optimalität der Dimensionierung des Heizsystems umfasst Äußerungen der Teilnehmenden, die sich mit der möglichst optimalen bzw. effizienten Auslegung und (Größen-)Dimensionierung des in Erwägung gezogenen Heizsystems beschäftigen, z.B. Fall 12 „das ist nicht irgendwie abschätzen von der Situation oder ich glaube zu wissen, dass es so geht, sondern da steckt wirklich knallharte Berechnung dahinter.“ (Absatz 39).

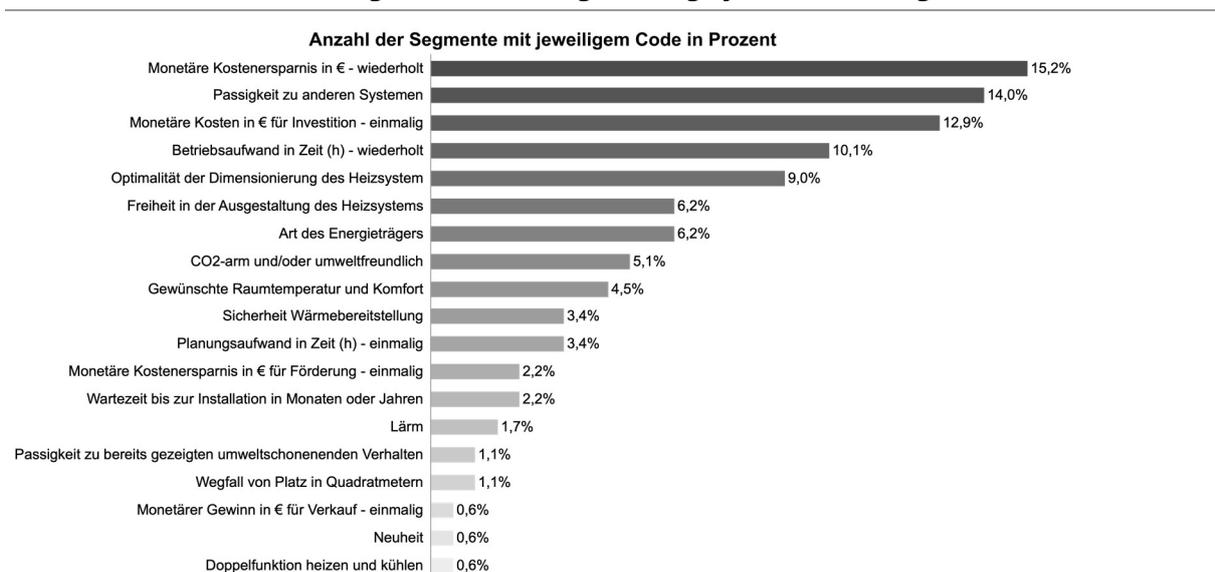
Für 4 von 11 Teilnehmenden (36 %) spielten die Freiheit in der Ausgestaltung des Heizsystems (z.B. Fall 11 Absatz 80 „im Internet recherchieren und dann einfach so machen, wie ich das will.“), die Wartezeit bis zur Installation in Monaten oder Jahren (z.B. Fall 6 Absatz 95 „dann könnte es im

schlimmsten Fall doch wieder eine Gastherme werden, weil die halt verfügbar ist und ich nicht irgendwie erst eine große Auslegung von einer Wärmepumpe machen müsste.“) und die Sicherheit der Wärmebereitstellung (z.B. Fall 3 Absatz 12 „da bin ich natürlich daran interessiert, dass, wenn es vielleicht irgendwann mal deutlich kälter sein sollte, dass das Ding nach wie vor funktioniert.“) eine Rolle bei der Auswahl einer Heiztechnologie.

Für 3 von 12 Teilnehmenden (27 %) war die einmalige monetäre Kostenersparnis durch Förderung relevant, z.B. Fall 1 Absatz 44 „wenn man sich zwei Jahre mit dem Gedanken beschäftigt, dann gewöhnt man sich irgendwann mal -, weiß man einfach, das kostet halt so viel (...) und dann mit der Förderung zusammen war es dann schon machbar. Aber da war schon, sag ich mal, Idealismus dabei.“.

Von zwei oder einer Person wurden als relevante Kontingenzen für die Auswahlentscheidung eine Passigkeit zu bereits anderen gezeigten umweltschonenden Verhalten, der potentiell selbst erlebte Lärm, die Neuheit der Technologie (Fall 3 Absatz 24 „wenn ich mich jetzt für ein System entscheide, dann sollte das einigermaßen modern sein“), der einmalige monetäre Gewinn in Euro bei Verkauf des renovierten Hauses im Sinne einer Wertsteigerung durch die Investition ins neue Heizsystem, der Wegfall von Platz in Quadratmetern durch zu lagernde Pellets und die positiv bewertete Kontingenz einer möglichen Doppelfunktion von heizen und kühlen bei Wärmepumpenanlagen.

Abbildung 13: Gewichtung individueller Kontingenzen des Auswahlverhaltens anhand der relativen Häufigkeit in allen kodierten Textsegmenten der Kategorie „operator contingencies choosing heating system – contingencies“



Obwohl die Kontingenzen der Passigkeit zu anderen Systemen, die wiederholt auftretende Kostenersparnis, die einmaligen Investitionskosten und der wiederholte Betriebsaufwand eine andere Reihenfolge aufweisen, belegen sie auch beim Wichtigkeitsindikator der relativen Häufigkeit in allen kodierten Textsegmenten (siehe Abbildung 13) die ersten vier Rangpositionen. Auch in Bezug auf die anderen Kontingenzen gibt es keine wesentlichen Unterschiede: Die Kategorien auf den letzten sechs Rangplätzen, welche von zwei bzw. einem Teilnehmenden benannt wurden und auch die Kontingenz Kategorien, die auf die mittleren Rangplätze fallen, unterscheiden sich nicht.

Was sind Kontingenzen in der Interaktion mit Installateur*innen und wie werden sie gewichtet?

In der Interaktion mit Installateur*innen spielten bei 7 von 11 Teilnehmenden (64 %) eine wahrgenommene mangelnde Kompetenz bei den Installateur*innen und Schwierigkeiten in der Kontaktaufnahme eine Rolle in Bezug auf ihr Auswahlverhalten (siehe Abbildung 9). Fall 10 beschreibt beispielsweise sich nicht auf die Kompetenz des Installateurs bzw. der Installateurin bei der Auslegung zu verlassen und habe es selber gemacht: „Ich habe nach seiner Kompetenz der Auslegung nicht mehr gefragt“ [...] „ich glaube für meine Bedürfnisse das besser zu verstehen und auszulegen, als er das hätte für mich machen können. Und er hat es ja auch zugegeben.“ (Absatz 78). Bei Fall 7 scheint die Wahrnehmung einer mangelnden Kompetenz im Bereich Wärmepumpen Anlagen auch dazu geführt zu haben, dass der Austausch diesbezüglich nicht mehr gesucht wurde, insbesondere da drei Installateure vorher schon eine Brennstoffzellenheizung empfohlen hätten „ich sehe da meinen Heizungsbauer, den ich jetzt gewählt habe nicht wirklich als Experten, weshalb es dann auch wenig Sinn macht, dann mich mit ihm da groß auszutauschen.“ (Absatz 97). Diese wahrgenommene mangelnde Kompetenz insbesondere in Bezug auf Wärmepumpen Anlagen scheint außerdem zu Schwierigkeiten in der Kontaktaufnahme beizutragen, z.B. Fall 13 „an der Wärmepumpe sind drei Anschlüsse dran. Einmal der Strom, der Vorlauf und der Rücklauf, ne. So, das kann eigentlich -, aus meiner Sicht müsste das jeder Handwerker können, aber da will keiner so richtig ran“ (Absatz 39). Die Kategorie Schwierigkeiten in der Kontaktaufnahme beinhaltet vor allem Probleme der initialen Kontaktherstellung und einer als angemessen empfundenen Antwortzeit durch die Installateure, z.B. Fall 1 „so sechs, sieben, acht hatte ich bestimmt angeschrieben und geantwortet haben mein bisheriger Installateur und eben dieser Wärmepumpenexperte.“ (Absatz 22), „dann habe ich relativ schnell doch den Installateur gefunden. Da hatte ich halt Glück, aber das war letzten Sommer (...). Das dauert also (...) bis die kommen ((lacht)).“ (Absatz 26).

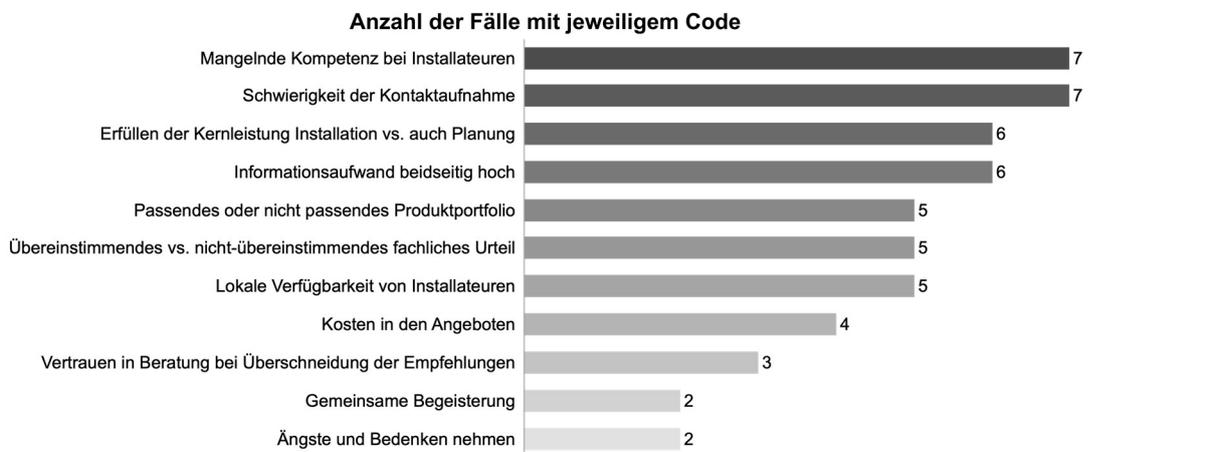
Sechs von 11 Teilnehmenden (55 %) beschreiben, dass ihnen in der Interaktion mit einem*einer Installateur*in die Unterscheidung wichtig war, ob diese*r ausschließlich die (Kern-)Leistung der Installation des ausgesuchten Heizsystems übernimmt nach vorheriger Auslegung durch die Teilnehmenden selbst oder durch eine*n dritte*n Expert*in (z.B. einem*einer Energieberater*in) oder ob die Leistung der Planung und Auslegung bei der*m Installateur*in mit angeboten wird. In dieser Gruppe gab es viele, die von dem*der Installateur*in nur die Installationsleitung erbracht haben wollten nach eigenen Spezifikationen. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass wir es hier mit einer Gruppe zu tun haben, die sehr viel Aufwand in die Recherche und oft auch Messung des eignen Hauses investiert haben (z.B. „Also ich plane selber, Ziel ist es aber, dass der Heizungsbauer alles komplett macht, also diesen Kollektor im Grundstück legt und die Heizung installiert.“ (Fall 5 Absatz 22)), was in anderen nicht 'early adopter' Gruppen oder bei Personen mit zeitlich restringierenden Faktoren nicht in dem Maße zu erwarten wäre. Aber auch hier bevorzugen zwei Teilnehmende es die Planung abzugeben, z.B. „Ich kann mit Strom recherchieren, ich kann Ihnen mit einer anderen Sache recherchieren, das kann ich auch alles bauen, das weiß ich auch genauer einzuschätzen, aber Heizung habe ich irgendwann gemerkt an einem Punkt: Hör zu, das kannst du nicht und das willst du auch nicht und da habe ich mir jemanden geholt.“ (Fall 12 Absatz 61). Ebenfalls 55 % der Teilnehmenden benennen, dass der Informationsaufwand während des Auswahlprozesses der sowohl von den Installateur*innen, als auch von den Hauseigentümer*innen geleistet werden muss, hoch ist. Ein wesentlicher Bestandteil der Interaktion bestehe in Informationsaustausch. Bei Fall 6 werden z.B. Unterlagen zum Haus an den Installateur geliefert und der Installateur informiert dann über Möglichkeiten eine Wärmepumpe einzubauen, auch wenn dies zusätzliche Informationen bezüglich etwaiger anderer Änderungen im Haus bedarf: „dann habe ich den angeschrieben und der hat mir dann gesagt, was er alles braucht an Unterlagen. Also Unterlagen habe ich zusammengesucht und dann auf dieser Basis hat der mir ein Angebot geschrieben.“ (Absatz 49) und „Nimmt sich jemand die Zeit, mein Heizungssystem wirklich so auszulegen, (...) dass es mit einer Wärmepumpe funktioniert. Auch das wäre ja eine Möglichkeit. Wenn es jetzt nicht geht, was muss man tun, damit es

geht? (Absatz 51). Viele der Teilnehmenden haben vorab ausführlich im Internet Informationen recherchiert (vgl. Abbildung 9 und Abbildung 11), sodass eine Person auch zu der Einschätzung kommt, dass viele der relevanten Informationen auch gar nicht kostendeckend von den Fachexpert*innen vermittelt werden können, z.B. „Das erzählt dir kein Heizungsbauer, das erzählt dir kein Solarinstallateur, kein Mensch hat die Zeit, dir so umfassende Informationen freiwillig aufbereitet und dazu noch kostenlos zu geben.“ (Absatz 84).

Fünf von 11 Teilnehmenden (45 %) berichten, dass während des Auswahlprozesses für sie wichtig war, dass der*die Installateur*in ein passendes Produktportfolio hat, (z.B. Fall 1 Absatz 66 „Es gibt natürlich auch da gute und schlechte Hersteller und es ist ja nicht so, dass jeder Installateur jeden Hersteller im Programm hat. Manche suchen sich halt einen billigen aus oder einen der aus der Nähe kommt oder wo er auch schon die Gaskessel davon verkauft hat und der hatte halt MARKE. Das ist eine relativ gute schwedische Marke und ja gut, es gibt auch andere gute, das will ich damit jetzt nicht sagen, aber er konnte mir halt auch darlegen, warum die gut sind. Und das hat sich mit dem gedeckt, was ich halt in meiner Vorbereitungszeit gelernt hatte.“), ein mit der eigenen Meinung übereinstimmendes fachliches Urteil (z.B. Fall 10 Absatz 92 „ich habe ja einen Wärmemengenzähler einbauen lassen, um mit realen Daten dann auch messen zu können: Wie ist der Volumenstrom in meinem Heizungsstrang, (...) welche Temperaturkurven fährt die Heizung denn tatsächlich. Also, um Fakten zu pflegen für eine Entscheidungsgrundlage und nicht den Aussagen eines Heizungsbauers einfach blind auf Treue und Glauben zu folgen.“) und ein*e Installateur*in lokal verfügbar ist, der sich mit der gewünschten (erneuerbaren) Technologie auskennt bzw. bereit ist, die Installation zu übernehmen (z.B. Fall 6 Absatz 49 „der zweite Installateur hat gesagt: "Mein Interesse ist nur begrenzt, wenn Sie schon ein Hausinstallateur haben, wieso sollte ich das mit Ihnen machen?" Dem habe ich dann gut zuredet und habe gesagt: "Ja, aber vielleicht, - den kann man ja auch ändern den Hausinstallateur. Und ich brauche halt jemanden, der mir eine Wärmepumpe auslegt." Ja, er selber könnte das auch nicht, aber er arbeitet halt mit diesem Energieberater zusammen.). Distanzen innerhalb derer nach Installateur*innen gesucht wurde variierte von 5 km bzw. innerhalb der Gemeindegrenze bis 50 km.

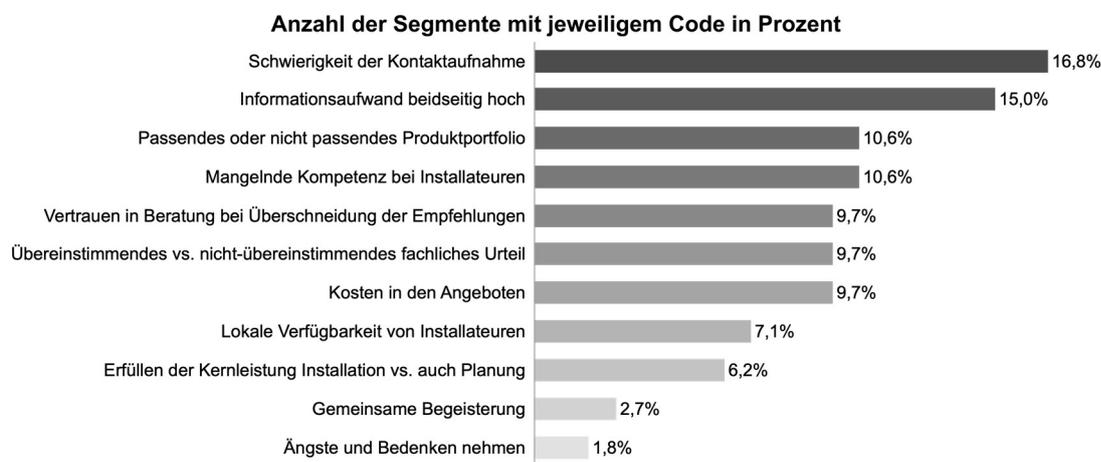
Für 4 oder weniger der 11 Personen waren in der Interaktion die Kosten in den Angeboten verschiedener Installateur*innen ausschlaggebend für die Wahl eines Angebots, das Vertrauen in die Beratung, welches besonders bei Überschneidungen der Empfehlungen zwischen verschiedenen Installateur*innen gesteigert wurde, eine gemeinsame Begeisterung für das Thema erneuerbare Heiztechnologien, die die Wahl positiv beeinflusst und das Nehmen von Ängsten und Bedenken im Gespräch wichtig, z.B. in Bezug auf Lärmbelastung oder Funktionsfähigkeit von Wärmepumpen auch in kalten Wintern.

Abbildung 14: Gewichtung der Kontingenzen des Auswahlverhaltens in der Interaktion mit Installateuren anhand der Auftretenshäufigkeit bei den 11 betrachteten Adopter*innen



Der zweite Indikator für die wichtigen Aspekte in der Interaktion mit den Installateur*innen (Abbildung 15) hat innerhalb der ersten vier Rangplätze ebenfalls die Kategorien Schwierigkeit der Kontaktaufnahme, wahrgenommene mangelnde Kompetenz und beidseitig hoher Informationsaufwand. Auffällig ist die Verschiebung der Kategorie Erfüllen der Kernleistung Installation vs. Planung (von Rangplatz 2 auf Rangplatz 6), die zwar von 6 verschiedenen Teilnehmenden angesprochen wird, auf die aber insgesamt nur 6,2 % der Codesegmente entfallen. Das liegt daran, dass die Personen es zwar jeweils in einem bzw. in einem Fall in zwei Codes thematisieren, im Vergleich zu anderen Kategorien ist die Häufigkeit der codierten Segmente für einen Fall pro Kategorie aber gering. Die Kategorie lokale Verfügbarkeit von Installateur*innen verschiebt sich in dieselbe Richtung von Rangplatz 3 auf Rangplatz 5. Eine Rangplatzverschiebung um 1 in die andere Richtung, also mehr kodierte Segmente aber weniger Nennungen von unterschiedlichen Personen, ist für die Kategorie Vertrauen in Beratung bei Übereinstimmung der Empfehlungen zu beobachten. Die Häufigung in den Segmenten kommt wesentlich dadurch zu Stande, dass für Fall 13 vier separate Segmente im selben Absatz (43) zum selben inhaltlichen Thema kodiert werden mussten.

Abbildung 15: Gewichtung der Kontingenzen des Auswahlverhaltens in der Interaktion mit Installateur*innen anhand der relativen Häufigkeit in allen kodierten Textsegmenten der Kategorie „operant contingencies choosing heating system – interlocking contingencies technicians“



Interpretation und Diskussion der Ergebnisse: Fragestellung 1

Unter Berücksichtigung beider Gewichtungsindikatoren individueller Kontingenzen sind für das Auswahlverhalten eines neuen Heizungssystems in einem Renovierungskontext insbesondere die Kompatibilität mit anderen Systemen im Haus, die einmaligen monetären Investitionskosten, die wiederholt auftretenden monetären Kosteneinsparungen im Vergleich zur Verwendung fossiler Brennstoffe und der wiederholt auftretende zeitliche Aufwand während des Betriebs relevant. Interessant ist, dass die wiederholten Kosten auf den Dimensionen Geld und Zeit und die einmaligen Kosten auf der Dimension Geld eine so hohe Gewichtung haben im Vergleich zu den einmaligen zeitlichen Kosten für den Planungsaufwand. Der Planungsaufwand in dieser 'early adopter' Gruppe war bei vielen mit etwa 2 Jahren hoch. Ohne das Vorhandensein einer Kontextrestriktion wie eines Ausfalls oder eines zeitnahen notwendigen Austausches des Heizsystems, scheinen lange Planungsphasen akzeptabel und werden von dieser technisch affinen Gruppe auch als interessant, teilweise als Hobby beschrieben. Für ein schnelles Voranbringen der Energietransformation im Wärmebereich des Haushaltssektors ist diese lange Planungsphase verbunden mit langen Wartezeiten auf eine Installation ein potentieller Ansatzpunkt zur Beschleunigung. Unter Berücksichtigung der Kategorien lokale Verfügbarkeit, Schwierigkeit der Kontaktaufnahme und wahrgenommene mangelnde Kompetenz in der Interaktion mit Installateur*innen, könnte es sein, dass im Falle eines schnell anstehenden Wechsels eines Heizsystems nicht genügend Installateur*innen vorhanden sind, die sich auch mit erneuerbaren Technologien auskennen. Ist das nicht gegeben, so wie es in der Kategorie mangelnde Kompetenz in der Interaktion mit Installateur*innen anklingt, kann eine einheitliche Beratung zwar für Vertrauen in die Beratung auf Seiten der Hausbesitzer*innen führen, aber eben auch zu oft zu Gunsten bereits bekannter Technologien ausfallen. Ein einfacher, lohnenswerter Zugang für Installateur*innen zu Weiterbildungsmaßnahmen im Bereich erneuerbarer Heiztechnologien wäre eine Möglichkeit dieser Herausforderung zu begegnen.

Der zeitliche Aufwand für den Betrieb erneuerbarer Heiztechnologien unterscheidet sich nicht wesentlich von öl- oder gasbasierten Heizsystemen. Exklusive der jährlichen Wartung beinhaltet der Betriebsaufwand Verhaltensweisen wie das Nachfüllen oder Lagern von Rohstoffen, das Leeren von Aschebehältern bei Pelletheizungen und ggf. weitere Reinigungsaufgaben. Je nach Technologie liegen diese schätzungsweise zwischen 0 Stunden pro Jahr und etwa 1 Stunde pro Monat. Obwohl diese zeitlichen Kosten gering sind, sind es im Gegensatz zum Planungsaufwand wiederholt und

relativ regelmäßig auftretende Verhaltenskosten, sodass man davon ausgehen kann, dass sie in der Bewertung einer Technologie stärker ins Gewicht fallen. Da die bisherigen Erfahrungen vieler Personen dahingehen, dass es einfach warm wird im Wohnbereich und man nichts für das Heizen oder an der Heizung tun muss, außer das Thermostat einzustellen, scheint es gerechtfertigt davon auszugehen, dass die „Default“ Erwartung an Aufwand 0 Stunden beträgt. Bei einer technologieoffenen Betrachtung und im Kontext innovativer, vielleicht auch noch nicht entwickelter Heizsysteme, scheint diese Kategorie trotz der geringen Differenzierung somit relevant für die Auswahlentscheidung.

Wir haben entschieden in der Analyse die Kontingenz Investitionskosten getrennt von der Kategorie monetäre Kostenersparnis durch Erhalt von Fördermitteln bei Wahl bestimmter Technologien zu kodieren. Obwohl dies ebenfalls einmalig auftretende Kosten sind und in der Evaluation durch die Teilnehmenden auch von den Investitionskosten abgezogen werden, spricht für die Aufrechterhaltung der Trennung dieser beiden Kategorien in der Analyse, dass der Erhalt der Förderung separat beantragt werden muss, erst später erfolgen kann als der Zeitpunkt zu dem die Investitionskosten anfallen und man im Nachhinein diese beiden Kategorien noch hätte zusammenführen können, womit die Bedeutung der Investitionskosten in der Gewichtung weiter steigen würde. Im Vergleich zu den hohen Investitionskosten, die teilweise „nur mit Idealismus“ (Fall 1 Absatz 44) oder Förderung akzeptabel scheinen, aber bekannt sind, sind die wiederholten Kostenersparnisse durch Verwendung nicht fossiler Brennstoffe mit Unsicherheit behaftet. Diese wiederholten Kostenersparnisse mit größerer Sicherheit zu belegen, z.B. durch eine längerfristig absehbare CO₂ – Bepreisung, könnte eine weitere Möglichkeit sein das Auswahlverhalten mehr in Richtung erneuerbarer Heiztechnologien zu beeinflussen.

Die Passung zu anderen Systemen scheint besonders im Kontext von Renovierungsmaßnahmen im Vergleich zum Neubau relevant. Da sich die verbalen Äußerungen sowohl auf Kompatibilität mit bereits installierten Technologien, vor allem PV-Anlagen beziehen, als auch auf zukünftige Anschaffungen, scheint ein Vorantreiben der Standardisierung auch zwischen verschiedenen Produktherstellern wünschenswert. Eine Standardisierung der Technologieschnittstellen könnte außerdem den positiven Effekt haben, sowohl den Aufwand für Eigenrecherche, wie auch für Informationsvermittlung seitens der Installateur*innen zu verringern. Somit könnte durch eine weiterführende Standardisierung auch die wichtige Kategorie Informationsaufwand beidseitig hoch in der Interaktion mit den Installateur*innen adressiert werden.

Ein Aspekt, der in der Gewichtung individueller Kontingenzen weniger oft vorkommt, aber insbesondere bei Wärmepumpen bisher viel diskutiert wird, ist der Aspekt des Lärmes. Lärm wurde wenig als individuelle Geräuschbelastung thematisiert. Auch als Gesprächspunkt zwischen Teilnehmenden und Installateur*innen in der Kategorie Ängste und Bedenken nehmen, die in der Gewichtung auch auf dem letzten Rangplatz liegt, findet das Thema Lärm wenig Gehör. Eine weitere bedeutende Kontingenz im Zusammenhang mit Lärm scheint jedoch der daraus resultierende potentielle soziale Konflikt mit Nachbarn zu sein, der in der Kategorie interlocking contingencies others kodiert wurde. Angesichts dieses Ergebnisses gewinnen erfahrbare, ästhetische und auditive Kontingenzen von innovativen Technologien in (ländlichen) Nachbarschaftskontexten und nicht nur auf Ausstellungen oder in städtischen Reallaboren an Bedeutung. Insbesondere bei hoch innovativen Technologien ist Modelllernen bei Nachbarn oft noch nicht möglich und es Bedarf eines Interesses und Aufwand um weiter entfernte Angebote aufzusuchen. Vielleicht wären Konzepte wie Wanderausstellungen erneuerbarer Energietechnologien eine denkbare Option.

Eine Kategorie, wie die der wahrgenommenen mangelnden Kompetenz auf Seiten der Installateur*innen, bedarf aufgrund der negativen Bewertung einer besonderen Betrachtung, zumal sie in der Gewichtung auf den oberen Rangplätzen ist. Wenn man sich die Merkmale der Teilnehmenden nochmal vor Augen führt, dann waren das eher 'early adopter', die sich viel und selbst informiert

haben im Internet und auf Foren, sodass man hier durchaus von einer ins Negative verzerrten Beurteilung ausgehen könnte, die ein relativ naiver Laie so nicht erleben würde. Allerdings enthalten die Beschreibungen der Teilnehmenden, wie an einigen der gewählten Textauszüge sichtbar wird, wiedergegebene Äußerungen von Installateur*innen, die nicht in der Lage sind erneuerbare Heiztechnologien auszulegen oder es ablehnen diese zu installieren. Es ist nicht zu erwarten, dass jede*r Installateur*in ein komplettes Produktportfolio aus erneuerbaren Heiztechnologien aufweist. Wenn es jedoch zu wenig qualifizierte Expert*innen gibt, was sich in der Kategorie Schwierigkeit der Kontaktaufnahme und lokale Verfügbarkeit andeutet, besteht im Bereich der Qualifizierung dennoch Verbesserungspotential. Diese Verantwortung muss jedoch nicht einseitig auf die Betriebe gelegt werden, welche zum Teil kleine Betriebe sind. Es gilt auch andere Möglichkeiten für eine qualifizierte Beratung in Betracht zu ziehen, seien es staatliche unabhängige Informationsportale oder die Energieberatung.

Welche Kontingenzen müssten sich ändern, um das Kaufen einer erneuerbaren, innovativen Heiztechnologie wahrscheinlicher zu machen? (Fragestellung 2)

Die Hemmnisse und Fördernisse die unsere Teilnehmenden beschreiben scheinen besonders relevant, weil im Vergleich zum Neubau mit etwa 47 % Wärmepumpen und Biomasse Nutzung bei Renovierungen der Anteil mit 8 % deutlich geringer lag in 2020 (Gebäudeforum klimaneutral, 2022).

Die Analyse der Verbesserungsmöglichkeiten in Bezug auf Fördernisse und Hemmnisse für den Kauf erneuerbarer, innovativer Heiztechnologien erfolgte anhand der kodierten Codes in der Kategorie *changes for buying innovative, renewable technologies*. Die kodierten Textsegmente wurden mit Hilfe des Analyse Tools „Summary-Grid“ pro Fall zusammengefasst, in einer „Summary-Tabelle“ exportiert, zu neuen Subcodekategorien abstrahiert, im Kodiersystem ergänzt und kodiert. In Tabelle 3 sind die als Verbesserungsmöglichkeiten formulierten Äußerungen der Teilnehmenden zusammengefasst. Die Sortierung erfolgte anhand der Häufigkeit der kodierten Textsegmente.

Tabelle 3: Von Teilnehmenden benannte Fördernisse für mehr innovative, regenerative Heiztechnologien sortiert nach Häufigkeit

Abstrahierte Kategorienbezeichnungen	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 5	Fall 6	Fall 7	Fall 10	Fall 11	Fall 12	Fall 13	Total
Preise von regenerativen Systemen senken	2	1	0	0	0	9	0	0	0	1	0	13
Haus-Technologie-Passung soll im Fokus stehen	0	0	0	0	0	0	1	9	0	2	0	12
Mangelnde Vertrauenswürdigkeit beteiligter Akteure abbauen	3	0	0	5	2	0	0	0	1	0	0	11
Aktive Maßnahmen durch die Politik notwendig	4	1	0	0	0	1	0	4	0	0	1	11
Informationslage verbessern	1	1	0	1	0	0	0	4	0	2	2	11
Mehr Aufklärung über verfügbare innovative Systeme	0	1	0	1	5	1	2	0	0	0	1	11
Interesse an erneuerbarem Heizen fördern	0	0	0	0	1	1	1	6	0	0	1	10
Positivbeispiele verbreiten	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10
Qualität der Beratung verbessern	0	0	0	3	1	0	1	1	0	3	1	10
Unabhängige, kostenfreie Beratungsstellen	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	4	8
Fachkräftemangel und hohe Auslastung abbauen	0	4	0	0	0	1	1	0	0	1	0	7
Installateure müssen aktiv werden	0	3	0	0	1	0	0	2	0	0	0	6
Selbsteinbau fördern	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Finanzielle Kosten einführen für klassische Systeme	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	5
Traditionen abbauen	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	1	5
Fehlerhafte Beratung bestrafen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
Lobbyarbeit entgegenwirken	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	4
Standardisierung der Angebotsstruktur	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	4
Qualität der Leistung verbessern	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0	4
Klare politische Kommunikation notwendig	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	4
Alte Systeme in den Hintergrund rücken	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
Schulungen für Installateure über neue innovative Systeme	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	3
Förderrichtlinien überarbeiten	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Bewusstsein schaffen über Zusammenh. von Heizen und Co2-Ausstoß	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3
Sorgen nehmen, die mit neuen Systemen aufkommen	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3
Netzwerkstreben unter Nachfragern fördern	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
Installateure sollen Referenzen vorweisen können	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
SUMME	16	18	0	14	12	38	8	28	6	18	16	174

Interpretation und Diskussion der Ergebnisse: Fragestellung 2

In Übereinstimmung mit den identifizierten Kontingenzen des Auswahlverhaltens in Fragestellung 1 bezieht sich die Mehrzahl der vorgeschlagenen Fördernisse auf eben diese Kontingenzen.

Insgesamt 10 der 27 abstrahierten Kategorien beziehen sich direkt auf Installateur*innen, was erneut deren Wichtigkeit als Akteur bei der Gestaltung der Transformation des Haushaltswärmesektors verdeutlicht. Eine vorher nicht identifiziertes Fördernis Traditionen abbauen beschreibt die Möglichkeit die Anpassungsfähigkeit der Installateur*innen im Hinblick auf neue Heiztechnologien zu fördern. Aus Sicht der Teilnehmenden ist ein wahrgenommenes Hemmnis auf Seiten der Installateur*innen das noch günstigere Kosten-Nutzen-Verhältnis beim Beharren auf alten bzw. bekannten Heiztechnologien, z.B. „die können Ihr Geld auch noch einfacher verdienen, indem die einfach das tun, was sie schon immer gemacht haben.“ (Fall 6, Absatz 49). Eine bisher ebenfalls nicht so konkret benannte Idee ist die Angebotsstruktur zu vereinheitlichen, um einen Vergleich verschiedener Angebote zu erleichtern.

Drüber hinaus wird häufig die Politik als wesentlicher Akteur bei der Umsetzung von förderlichen Bedingungen benannt. So werden von der Politik aktivere Maßnahmen zur Unterstützung gewünscht. Obwohl diese wenig konkret werden, sind Beispiele verbesserte Rahmenbedingungen für innovative Systeme, ordnungspolitische Regelungen, mehr finanzielle Unterstützung, stärkerer Fokus auf CO₂- Neutralität und Anreize für die Anbieter erneuerbarer Heiztechnologien. In der Wahrnehmung einiger Fälle bedarf es auch einer klareren politischen Kommunikation. So könnten bspw. politische Signale, die über monetäre Fördermaßnahmen hinausgehen, wie z.B. das Festschreiben von Emissionszielen und insbesondere deren Kommunikation durch Informations- oder Werbekampagnen ein Fördernis sein.

2.2.4 Integration der Qualitativen Interviews und des DCE

Aus den Erkenntnissen der Pilotstudie und der qualitativen Leitfadeninterviews wurden zwei neue Attribute in das DCE übernommen. Zum einen wurde der Betriebsaufwand des jeweiligen Heizsystems als zusätzliches Attribut einbezogen. Einzelne Heiztechnologien sind mit deutlich höherem Aufwand im Betrieb verbunden und erfordern beispielsweise die Nachfüllung von Brennstoffen sowie regelmäßige Reinigung. Des Weiteren wurde das Vorhandensein politischer Fördersignale für bestimmte Heiztechnologien mit einbezogen. Neben rein finanzieller Besserstellung können politische Fördermaßnahmen von Verbrauchern auch als Signale für die Zukunftsfähigkeit eines Heizsystems betrachtet werden. Dieser Tatsache sollte durch das zusätzliche Attribut Rechnung getragen werden und die Stärke des Effektes in unterschiedlichen soziodemographischen Gruppen weiter untersucht werden.

Neben den beiden neuen Attributen wurde das Attribut der Hauptinformationsquelle aus der Pilotstudie basierend auf den Ergebnissen der qualitativen Befragung abgeändert. In der neuen Form wurde vor allem darauf fokussiert, inwiefern Informationen zur Planung und Umsetzung eines neuen Heizsystems direkt durch den*die Fachinstallateur*in verfügbar sind, oder ob diese Informationen größerer Eigenrecherche bedürfen. Diese Änderung berücksichtigt die Erkenntnis, dass lokale Fachinstallateur*innen vielfach eine entscheidende Rolle für die Wahl des Heizsystems spielen können.

Letztendlich wurden die folgenden Attribute in die Alternativen des DCE übernommen:

1. Investitionskosten

Die Investitionskosten spiegeln den Gesamtbetrag Ihrer Investition wider. Mögliche Fördermittel sind dabei bereits berücksichtigt.

2. Jährliche Betriebskosten

Die Betriebskosten enthalten die jährlichen Betriebs- und Wartungskosten (inklusive Brennstoffkosten und Kosten durch die CO₂-Bepreisung im Rahmen des Brennstoffemissionshandelsgesetzes).

3. CO₂-Emissionsminderung

Mit der CO₂-Emissionsminderung wird angegeben, inwieweit sich Ihre CO₂-Emissionen im Vergleich zum Heizen mit Erdgas reduzieren würden. Eine höhere Einsparung zeigt also die höhere Klimafreundlichkeit einer Technologie.

4. Politisches Fördersignal

Durch ein politisches Fördersignal wird angegeben, ob politische Unterstützung für diese Heiztechnologie, bspw. in Form eines Förderprogrammes, existiert.

5. Informationsbezug

Der Informationsbezug gibt an, wie einfach die Informationen zur Planung und Umsetzung der Installation eines gewissen Heizsystems von Fachinstallateur*innen bezogen werden können. Während für etablierte Technologien viele Informationen durch Fachinstallateur*innen bereitgestellt werden können, erfordern weniger etablierte und innovative Heizungstechnologien mehr Eigenrecherche.

6. Zusätzlicher Betriebsaufwand

Der zusätzliche Betriebsaufwand gibt an, welcher Zeitaufwand für eine Technologie, zusätzlich zur jährlichen Wartung, anfällt. Dieser zusätzliche Aufwand besteht beispielsweise im Nachfüllen von Brennstoffen, Leeren von Aschebehältern, oder weiteren Reinigungsaufgaben.

Analog zur Pilotstudie, wurden für die Wahl der die Ausprägungen der quantitativ messbaren Attribute Investitionskosten, jährliche Betriebskosten, CO₂-Emissionsminderung und zusätzlicher Betriebsaufwand die technologischen Eigenschaften der in Deutschland existenten Heizungstechnologien berücksichtigt. Die konkreten Zahlen basieren zum einen auf Technologiesteckbriefen, die zu Beginn des Projektes vom Projektpartner IREES bereitgestellt wurden, und eigenen Recherchen. Die Ausprägung für das Attribut Informationsbezug wurde gemeinsam mit dem Projektpartner TU Braunschweig basierend auf den Ergebnissen der qualitativen Umfrage erarbeitet. Die vollständigen Ausprägungen sind in Tabelle 4 abgebildet.

Tabelle 4: Wahl der Attribute und Ausprägungen für das DCE

Attribut	Ausprägung
1. Investitionskosten	[8 000 EUR; 11 000 EUR; 14 000 EUR; 17 000 EUR]
2. Jährliche Betriebskosten	[500 EUR/Jahr; 800 EUR/Jahr; 1 100 EUR/Jahr; 1 400 EUR/Jahr]
3. CO ₂ -Emissions-reduzierung	[0%; 25%; 50%; 75%]
4. Politisches Fördersignal	[Es gibt ein Förderprogramm; Es gibt kein Förderprogramm]
5. Zusätzlicher Betriebsaufwand	[0 Stunde (Kein zusätzlicher Betriebsaufwand); 1 Stunde pro Halbjahr; 1 Stunde pro Vierteljahr; 1 Stunde pro Monat]
6. Informationsquelle	[(1) Informationsbezug hauptsächlich über Fachinstallateur*innen, kaum Eigenrecherche notwendig; (2) Informationsbezug eher über Fachinstallateur*innen und teilweise Eigenrecherche notwendig;

Attribut	Ausprägung
	(3) Informationsbezug nur teilweise Fachinstallateur*innen und eher Eigenrecherche notwendig;
	(4) Informationsbezug kaum über Fachinstallateur*in, hauptsächlich Eigenrecherche notwendig]

Für die Durchführung des DCE musste ein angemessenes und effizientes Design der Choice Sets gewählt werden. Insgesamt werden orthogonale und balancierte Designs für eine möglichst hohe Effizienz angestrebt. Daher sind bei allen Attributen vier bzw. in einem Fall zwei Ausprägungslevel gewählt worden. Die Aufteilung der Ausprägungen auf die Choice Sets sowie die Anzahl der Choice Sets wurde mit Hilfe des Statistikprogramms jmp bestimmt. Das vollständige Design ist in Tabelle 5 dargestellt. Insgesamt wurden 16 Choice Sets definiert, die in zwei Umfrageteile unterteilt wurden. Ein Umfrage-Teilnehmender hat dabei jeweils nur einen der Umfrageteile bekommen, um so nur acht statt 16 Antworten geben zu müssen. Das Design hat sowohl eine 100 %-ige A-Effizienz – bestimmt durch das arithmetische Mittel der Eigenwerte – als auch eine 100 %-ige D-Effizienz – eine Funktion der geometrischen Mittel der Eigenwerte (Huber & Zwerina, 1996).

Tabelle 5: DCE Choice Set Design (*siehe Definition Tabelle 4)

Choice-Satz	Umfrageteil	Investitionskosten [EUR]		Jährliche Betriebskosten [EUR/Jahr]		CO ₂ -Emissionsminderung [%]		Politisches Signal		Zusätzlicher Betriebsaufwand [Std/Jahr]		Informationsquelle*	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Auswahlmöglichkeit</i>													
1	1	14000	11000	1400	1100	75	0	Nein	Ja	4	2	(1)	(1)
2	1	8000	17000	1100	800	75	0	Ja	Nein	4	2	(4)	(4)
3	1	11000	14000	1100	800	50	0	Nein	Ja	0	12	(1)	(1)
4	1	11000	8000	1400	500	25	50	Nein	Ja	4	12	(2)	(2)
5	1	14000	11000	1100	500	25	0	Nein	Ja	2	4	(4)	(4)
6	1	17000	11000	1400	800	75	0	Ja	Nein	2	0	(2)	(2)
7	1	8000	14000	800	1400	25	0	Nein	Ja	4	0	(2)	(2)
8	1	11000	8000	1100	1400	75	50	Ja	Nein	4	0	(1)	(1)
9	2	8000	14000	800	1100	75	50	Ja	Nein	0	12	(3)	(3)
10	2	14000	11000	500	1400	25	75	Ja	Nein	4	12	(3)	(3)
11	2	17000	14000	1400	800	50	75	Ja	Nein	4	12	(4)	(4)
12	2	8000	17000	500	800	0	50	Nein	Ja	2	12	(1)	(1)
13	2	8000	11000	1100	500	0	25	Nein	Ja	4	0	(3)	(3)
14	2	17000	8000	500	1400	75	25	Nein	Ja	0	12	(4)	(4)
15	2	11000	17000	500	1100	50	0	Nein	Ja	2	0	(3)	(3)
16	2	14000	17000	800	500	50	25	Ja	Nein	2	12	(2)	(2)

Zur methodischen Vorgehensweise der Schnittstelle zwischen qualitativer (Leitfadeninterviews) und quantitativer (DCE) Forschung ist eine gemeinsame Veröffentlichung zwischen RWTH FCN-ESE und TU Braunschweig geplant.

2.2.5 Durchführung, Auswertung und Ergebnisse der empirischen Erhebung des DCE

Für die Durchführung der Umfrage wurde diese als Fragebogen auf einem lehrstuhleigenen Webserver aufgesetzt und mit einer Datenbank zur Erfassung der Ergebnisse gekoppelt. Im Gegensatz zu den qualitativen Leitfadeninterviews, welche gezielt die Perspektive von potentiellen Adopter*innen abbilden sollte, wurde für die quantitative Umfrage ein deutlich breiterer Kreis an Teilnehmenden gewählt, die jeweils zur Hälfte aus Mietern und zur Hälfte aus Eigentümern von Wohnraum bestanden. Hinsichtlich der Kriterien Geschlecht, regionale Verteilung (auf Bundeslandebene) und Haushaltsnettoeinkommen sind die Teilnehmenden dabei repräsentativ zur deutschen Bevölkerung (siehe Tabelle 6) gewählt. Grund für diese Entscheidung war, dass in der Umfrage nicht nur die Präferenzen tatsächlicher Entscheidungsträger erfasst werden sollten, sondern auch die anderen Gruppen wie beispielsweise Wohnungsmieter, oder jüngere Menschen, die typischerweise nur geringen Einfluss auf die jeweils eingesetzten Heiztechnologien haben. Ziel dieser Vorgehensweise war es, Differenzen in den Präferenzen unterschiedlicher soziodemographischer Gruppen, auch in Abhängigkeit von den jeweiligen Wohneigentumsverhältnissen abbilden zu können.

Für die Durchführung der Umfrage wurde anhand der Zahl der Attribute im DCE eine notwendige Zahl von Teilnehmenden von $n = 2000$ identifiziert und Angebote von mehreren Panel-Anbietern für Online-Umfragen eingeholt.

Die tatsächliche Durchführung der Online-Umfrage fand im Februar 2022 in Zusammenarbeit mit dem Panel-Anbieter Bilendi & respondi statt. 2200 Teilnehmende nahmen dabei an der jeweils ca. 5-10-minütigen Befragung teil. Am 09.02.2022 konnte die Umfrage mit der Übergabe der quotenrelevanten, von Bilendi & respondi erfassten Daten abgeschlossen werden. Mittels erfasster Identifikationsnummer konnten die von Bilendi & respondi erfassten Daten mit den in der lehrstuhleigenen Datenbank eingegangenen zugeordnet werden.

Tabelle 6: Soziodemographische Faktoren der Umfrageteilnehmenden

Soziodemographische Faktoren (N = 2052)			
Geschlecht		Bildungshintergrund	
männlich	50,44%	Kein Schulabschluss	0,29%
Weiblich	49,46%	Hauptschule	8,14%
Divers	0,10%	Realschule	23,25%
		Fachhochschulreife	6,34%
Altersklassen		Abitur	14,86%
18-29	19,30%	FMTBF*	15,25%
30-39	17,84%	Fachhochschulabschluss	10,53%
40-49	18,37%	Universitätsabschluss	19,35%
50-59	24,85%	Promotion	1,02%
60-69	19,64%	Sonstiger Bildungsabschluss	0,49%
Nettohaushaltseinkommen		Beschäftigung	
Weniger als 900 EUR/Monat	4,97%	Vollzeit	55,36%
900 - 1.500 EUR/Monat	9,55%	Teilzeit	13,99%
1.500 - 2.000 EUR/Monat	8,48%	Azubi	2,58%
2.000 - 2.600 EUR/Monat	14,91%	FSJ/Wehrdienst	0,19%
2.600 - 3.600 EUR/Monat	18,81%	Geringfügig	3,41%
3.600 - 5.000 EUR/Monat	29,14%	Sonstiges	21,00%
Mehr als 5.000 EUR/Monat	14,13%		

* Fach-, Meister-, Technikerschule, Berufs- oder Fachakademie

Tabelle 7: Wohnsituation der Umfrageteilnehmenden

Wohnsituation (N = 2052)			
Haushaltsgröße		Heiztechnologie	
Einpersonenhaushalt	17,10%	Gas	49,51%
Zweipersonenhaushalt	40,69%	Öl	16,52%
3-5 Personen-Haushalt	39,33%	Fernwärme	13,30%
Mehr als 5 Personen	0,83%	Wärmepumpe	6,63%
		Holzpellets	4,00%
Wohnfläche		Sonstiges	3,41%
1-50 m ²	9,52%	Weiß nicht	5,26%
51-100 m ²	42,96%		
101-150 m ²	29,91%	Wohnsituation	
151-200 m ²	12,05%	Eigentümer	51,90%
mehr als 200 m ²	5,41%	Mieter	48,10%

Für die Analyse der Ergebnisse eines DCE können unterschiedliche statistische Methoden gewählt werden. Grundsätzlich dienen diese dazu, die sogenannten „stated preferences“ der Teilnehmenden zu ermitteln. Dabei werden aus den hypothetischen Entscheidungen, mit welchen die Teilnehmenden im Rahmen des DCE konfrontiert wurden, Nutzerpräferenzen abgeleitet. Diese Präferenzen spiegeln dabei die relative Wichtigkeit der untersuchten Attribute wieder und sind stets vom konkreten Umfragedesign abhängig. Sie lassen Rückschlüsse über die folgenden zwei Fragen zu:

- Ist der Einfluss einer Attributsausprägung auf die Wahrscheinlichkeit zur Entscheidung für eine bestimmte Alternative positiv oder negativ (Erhöhen oder senken höhere Betriebskosten c.p. die Wahrscheinlichkeit zur Entscheidung für ein Heizsystem)?
- Wie groß ist der Einfluss eines Attributes im Verhältnis zu einem anderen Attribut (Wie stark erhöht eine Reduktion der Betriebskosten die Wahrscheinlichkeit zur Entscheidung für ein Heizsystem, im Vergleich zur Reduktion der Investitionskosten)?

Die konkrete Auswahl des statistischen Modells für die Datenauswertung hängt von mehreren Kriterien ab². Im vorliegenden Fall wurde nach der Analyse und dem Testen unterschiedlicher Methoden ein Mixed Logit (auch Random Parameter Logit) Modell ausgewählt. Der Vorteil dieses Ansatzes

² Hauber et al. (2016) bieten einen guten Überblick zu den unterschiedlichen Vor- und Nachteilen einzelner Methoden.

gegenüber dem klassischen Logit Modell ist, dass die Heterogenität der Präferenzen innerhalb der Teilnehmenden berücksichtigt werden kann. Neben der Ermittlung durchschnittlicher Präferenzgewichte kann mithilfe dieses Modells auch eine Aussage zur Verteilung dieser innerhalb der Teilnehmenden geschätzt werden³.

Tabelle 8: Ergebnisse des Discrete Choice Experimentes für die gesamte Stichprobe

Attribut	β	p-Wert	Zahlungsbereitschaft ⁴	Interpretation
CO₂-Emissionsreduktion	0,008	0,0000	60	EUR Zahlungsbereitschaft für ein Prozent CO ₂ -Reduktion im Vergleich zum Heizen mit Erdgas ⁵
Eigenrecherche	0,169	0,0000	-1271	EUR Zahlungsbereitschaft im Vergleich zu Informationsbezug vollständig durch Fachinstallateur*in
Eigenrecherche-Fachinstallateur*in	0,263	0,0000	-1977	
Fachinstallateur*in-Eigenrecherche	0,143	0,0000	-1075	
Investitionskosten	0,133	0,0000		
Betriebskosten	1,856	0,0000	14	EUR Zahlungsbereitschaft für Senkung der jährlichen Betriebskosten um einen EUR
Politiksignal	0,536	0,0000	4030	EUR Zahlungsbereitschaft für positives politisches Fördersignal
Betriebsaufwand	0,062	0,0000	466	EUR Zahlungsbereitschaft für Senkung des jährlichen zusätzlichen Betriebsaufwands um eine Stunde

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der statistischen Auswertung des Discrete Choice Experimentes für die gesamte Stichprobe. Der Gewichtungparameter β gibt die relative Wichtigkeit eines einzelnen Attributes für die Entscheidungssituation, im Verhältnis zu den anderen Attributen an. Eine Interpretation des absoluten Wertes von β ist hingegen nicht möglich und die Interpretation der Relationen zwischen den einzelnen Attributen hängt von den jeweiligen Einheiten ab. Für eine einfachere Interpretierbarkeit sowie für die Übergabe in die Energiesystemmodelle, wurden die Ergebnisse deshalb in Zahlungsbereitschaften umgerechnet wie in Formel (1) angegeben. Für diese Berechnung wird die relative Wichtigkeit β_a eines Attributes a in Verhältnis zur relativen Wichtigkeit

³ Für eine detaillierte mathematische Herleitung des Mixed Logit Modells, siehe Revelt und Train (1998).

⁴ Teilweise wurden die Vorzeichen der angegebenen Zahlungsbereitschaften geändert, um eine leichtere Interpretierbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen.

⁵ Auch beim Heizen mit Erdgas gibt es deutliche Unterschiede in den CO₂-Emissionen, bspw. zwischen einem Niedrigtemperaturkessel und einem Brennwertkessel. Im Umfragedesign wurde diese Differenzierung aus Gründen der Komplexitätsreduktion für die Teilnehmenden nicht vorgenommen.

β_c eines anderen Attributes gesetzt, welches mit einer monetären Einheit in die Regression eingegangen ist. Das entsprechende Verhältnis entspricht dem Verhältnis der Grenznutzen und damit der Grenzrate der Substitution beider Attribute. Für die Berechnungen der vorliegenden Zahlungsbereitschaften wurden die Investitionskosten als monetäres Attribut c verwendet. Dies führt dazu, dass die jeweilige Zahlungsbereitschaft WTP_a für Attribut a ebenfalls als monetärer Wert interpretiert werden kann.

$$WTP_a = - \frac{\frac{\partial U}{\partial a}}{\frac{\partial U}{\partial c}} = - \frac{\beta_a}{\beta_c} \quad (1)$$

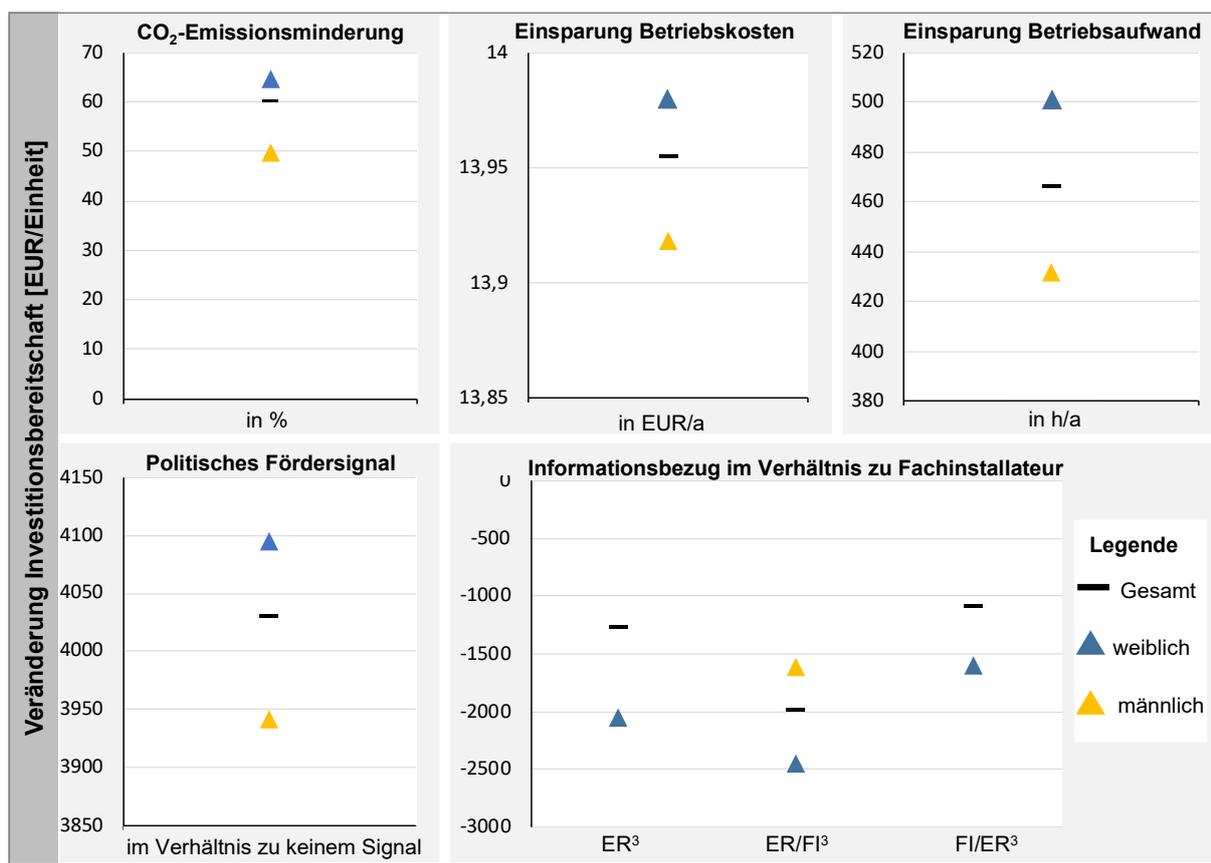
In den Ergebnissen für die gesamte Stichprobe zeigt sich eine positive Zahlungsbereitschaft für die Reduktion von CO₂-Emissionen, zusätzlichem Betriebsaufwand, Einsparungen bei den Betriebskosten und bei positiven Politiksignalen. Beispielsweise sind die Teilnehmenden durchschnittlich bereit zusätzliche Investitionskosten von ca. 60 Euro zu zahlen, um eine CO₂-Emissionsreduktion von 1% im Vergleich zum Heizen mit Erdgas zu erreichen. Für die Reduktion der jährlichen Betriebskosten um einen Euro besteht eine durchschnittliche Zahlungsbereitschaft von rund 14 Euro höheren Investitionskosten. Damit sind im Vergleich zur Pilotstudie die Zahlungsbereitschaften sowohl für die Emissionsreduktion als auch für die Einsparung jährlicher Betriebskosten gesunken. Ob dies an den veränderten Attributen, den angepassten Ausprägungen der in beiden Studien vorhandenen Attribute oder an tatsächlich veränderten Präferenzen beispielsweise in Folge einer anderen wirtschaftlichen Lage zu den Zeitpunkten der Umfragedurchführung liegt, lässt sich nicht eindeutig identifizieren.

Negative Zahlungsbereitschaften ergeben sich für die ausgewiesenen Attributsausprägungen des Informationsbezuges. Diese ist so zu interpretieren, dass Teilnehmende im Durchschnitt die enge Beratung durch eine*n Fachinstallateur*in bevorzugen und dass die Zahlungsbereitschaft für Alternativen, bei denen ein höherer Anteil an Eigenrecherche erforderlich ist, sinkt. Interessanterweise ist der Zusammenhang hier allerdings nicht linear. Stattdessen wird der Informationsbezug ausschließlich durch Eigenrecherche mit einer höheren Zahlungsbereitschaft verbunden als die Situation, in welcher Fachinstallateur*innen in einem geringen Maß für den Informationsbezug zur Verfügung stehen. Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung ist, dass die Ergebnisse hier durch die Heterogenität der Präferenzen getrieben werden. Während ein Großteil der Stichprobe grundsätzlich gern ein hohes Maß an Informationen über Fachinstallateur*innen beziehen möchte, könnte eine kleine Gruppe an sogenannten 'early adopter' dieses Bild verzerren, indem sie eine sehr hohe Präferenz für reine Eigenrecherche aufweisen. Eine alternative Erklärung der Beobachtung wäre jedoch auch, dass die Zwischenabstufung zwischen den beiden extremen Attributsausprägungen („Informationsbezug findet komplett über Fachinstallateur*innen statt“ und „Informationsbezug findet ausschließlich über Eigenrecherche statt“) für die Teilnehmenden des DCE nur schwer zu interpretieren waren und daher keine klaren Ergebnisse zeigen. Eine genauere Analyse des Attributes Informationsbezug kann leider keine dieser beiden Erklärungen bestätigen oder ausschließen. Zwar zeigen Teilnehmende mit soziodemographischen Profilen, die klassischerweise in den Bereich der 'early adopter' eingeordnet werden tatsächlich eine starke Präferenz für Eigenrecherche, allerdings ist der Anteil dieser Gruppe an der Gesamtstichprobe nicht groß genug, um hier eine abschließende Aussage treffen zu können. Analysen anderer soziodemographischer Gruppen zeigen

hier keine klaren Trends und verstärken somit den Eindruck, dass die Interpretation der Zwischenausprägungen für die Teilnehmenden nicht eindeutig genug war.

Im Folgenden werden beispielhaft weitere Ergebnisse der Erhebung anhand ausgewählter soziodemographischer Kriterien vorgestellt.

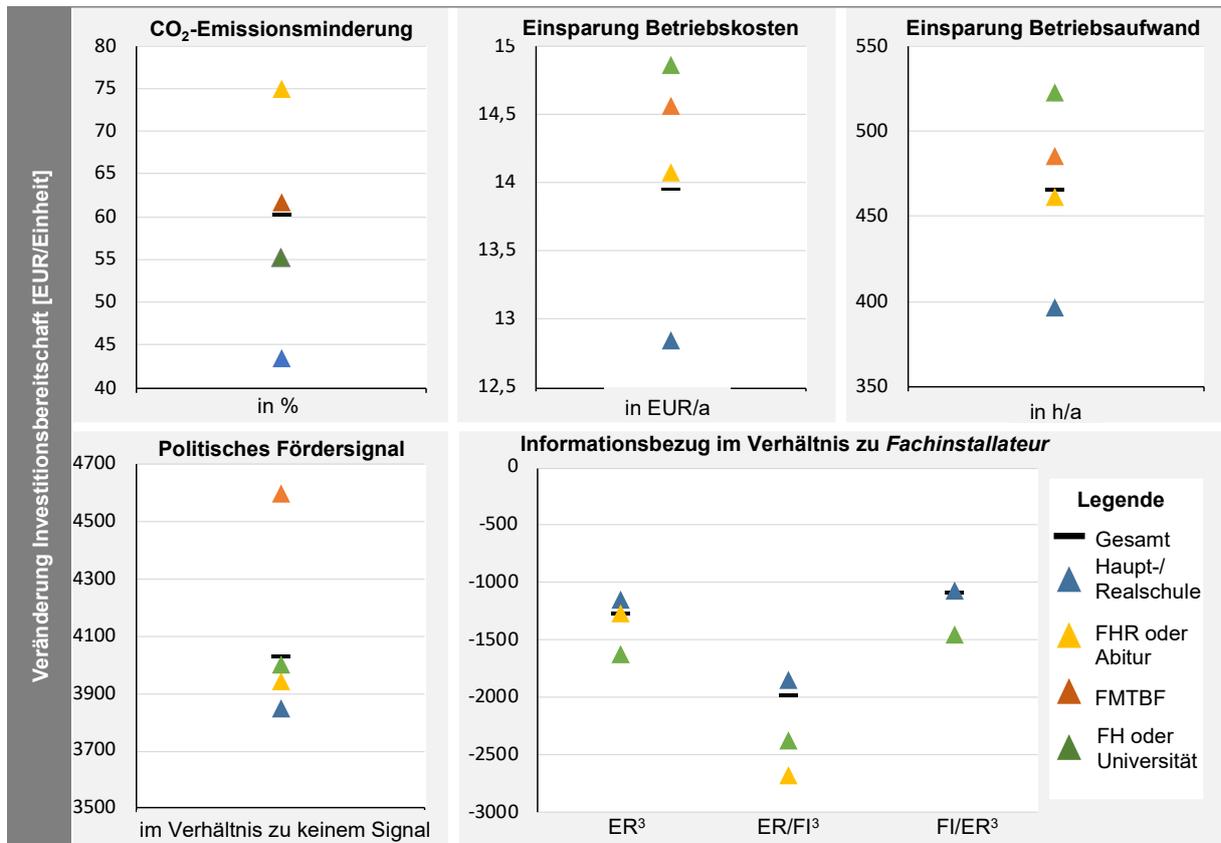
Abbildung 16: Zahlungsbereitschaften nach Geschlecht [EUR Investitionskosten/Einheit]



¹ Im Verhältnis zum Heizen mit Erdgas, ² 0, 2, 4 oder 12 Stunden/Jahr, ³ ER-reine Eigenrecherche; ER/FI-Eigenrecherche, teils über Fachinstallateur*innen; FI/ER Informationsbezug über Fachinstallateur*in, teilweise Eigenrecherche

Differenziert man nach dem Geschlecht der Teilnehmenden, so zeigen Frauen im Vergleich zu Männern eine höhere Zahlungsbereitschaft für Heizsysteme mit niedrigeren CO₂-Emissionen sowie für die Vermeidung von zusätzlichem Betriebsaufwand. Männer haben im Vergleich zu Frauen eine leicht erhöhte Zahlungsbereitschaft für Heizsysteme, die einen höheren Anteil an Eigenrecherche erfordern.

Abbildung 17: Zahlungsbereitschaften nach Bildungsgrad [EUR Investitionskosten/Einheit]



¹ Im Verhältnis zum Heizen mit Erdgas, ² 0, 2, 4 oder 12 Stunden/Jahr, ³ ER-reine Eigenrecherche; ER/FI-Eigenrecherche, teils über Fachinstallateur*in; FI/ER Informationsbezug über Fachinstallateur*in, teilweise Eigenrecherche; *Fach-, Meister-, Technikerschule, Berufs- oder Fachakademie

Die Differenzierung nach dem Bildungsgrad zeigt größere Zahlungsbereitschaften für die Attribute CO₂-Emissionsminderung sowie Einsparung von Betriebskosten und –aufwand für Teilnehmende mit höheren Bildungsabschlüssen. Politische Fördersignale erhöhen die Zahlungsbereitschaft von Teilnehmenden mit Abschlüssen einer *Fach-, Meister-, Technikerschule, Berufs- oder Fachakademie* deutlich im Vergleich zu anderen Bildungshintergründen.

Abbildung 18: Zahlungsbereitschaften nach Wohnsituation und Urbanisierungsgrad [EUR Investitionskosten/Einheit]



¹ Im Verhältnis zum Heizen mit Erdgas, ² 0, 2, 4 oder 12 Stunden/Jahr, ³ ER-reine Eigenrecherche; ER/FI- Eigenrecherche, teils über Fachinstallateure; FI/ER Informationsbezug über Fachinstallateur, teilweise Eigenrecherche

Bei der Betrachtung von Mietern und Eigentümern, jeweils im ländlichen Raum sowie in der Stadt, wird deutlich, dass die Präferenzen in Abhängigkeit von der Wohnsituation bei Teilnehmenden in der Stadt deutlich homogener ausfallen als bei Teilnehmenden des ländlichen Raums. Insgesamt zeigen Mieter höhere Zahlungsbereitschaften für CO₂-Emissionsminderung, Einsparungen bei den Betriebskosten, politische Fördersignale und Informationsbezug durch Fachinstallateur*in. Teilnehmende aus der Stadt weisen eine geringere Zahlungsbereitschaft für politische Fördersignale auf als Teilnehmende des ländlichen Raums.

Abbildung 19: Ergebnisse der Likert-Skalen Befragung Teil 1

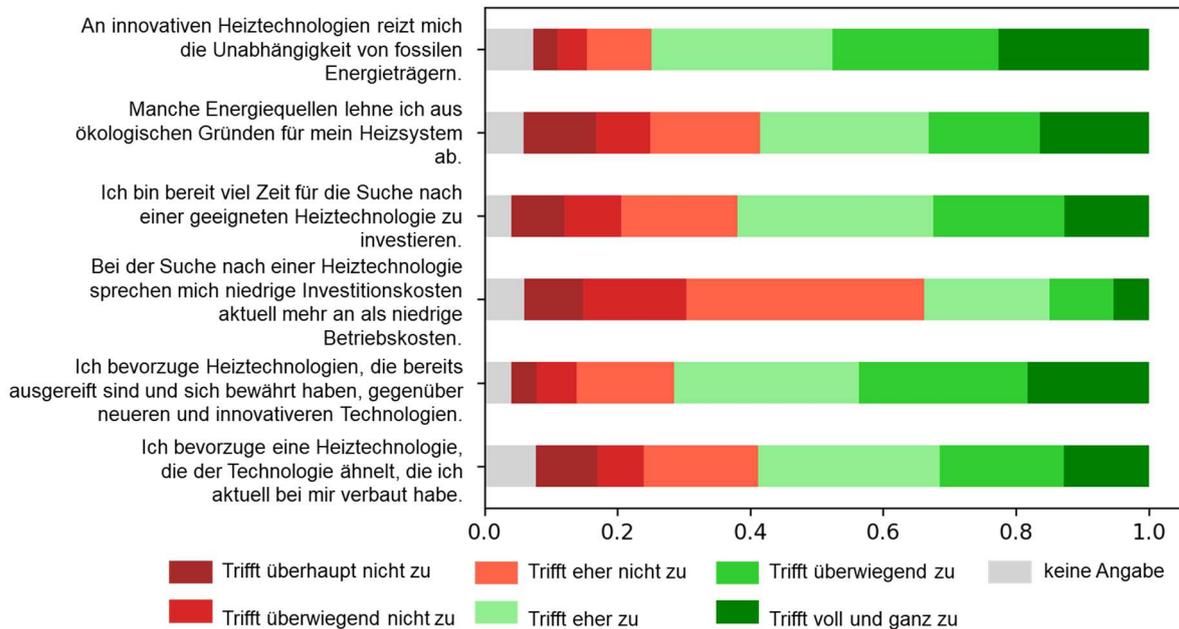
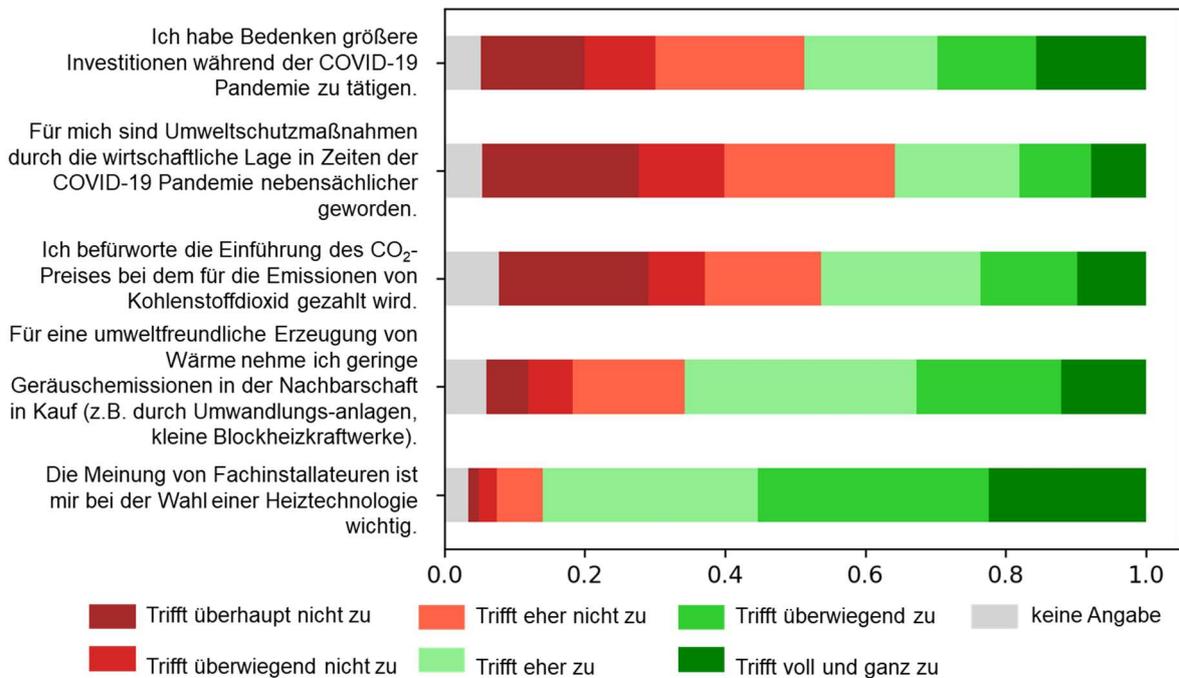


Abbildung 20: Ergebnisse der Likert-Skalen Befragung Teil 2



Die Analyse der Likert-Skalen Befragung spiegelt in vielen Punkten die Ergebnisse aus der Pilotstudie wie Abbildung 19 und

Abbildung 20 dargestellt. Die Meinung von Fachinstallateur*innen nimmt weiterhin einen großen Stellenwert ein, 86% der Teilnehmenden ist diese bei der Entscheidung für eine Heiztechnologie wichtig. Eine interessante Änderung der Ergebnisse aus der Likert-Skalen-Befragung ergibt sich hinsichtlich der Aussage: *Ich bevorzuge Heiztechnologien, die bereits ausgereift sind und sich bewährt haben*, gegenüber neueren und innovativeren Technologien. Dieser Aussage stimmen zwar 71% der Befragten zu, allerdings deutlich weniger als noch im Herbst 2020 im Rahmen der Pilotstudie. Eine mögliche Interpretation für diese Beobachtung ist, dass sich ein Wandel der Präferenzen vollzieht und die Bereitschaft zur Investition in neue und innovative, aber damit auch weniger ausgereifte Heiztechnologien steigt.

Die Ergebnisse des DCE wurden Ende September 2022 auf der *IAEE European Energy Conference "The Future of Global Energy Systems"* in Athen vorgestellt.

2.2.6 DCE-Ergebnisse als Input für TAM/INVERT

Die Ergebnisse der empirischen Erhebung fließen in einer weiteren Schnittstelle in die Diffusionsmodelle Invert/ee-lab und TAM ein. Die Daten werden dabei verwendet, um individuelle Entscheidungskalküle der Gebäudeeigentümer zu berücksichtigen und damit Entwicklungen der Marktanteile unterschiedlicher Wärmeversorgungstechnologien verbessert abschätzen zu können. Strukturelle Unterschiede der Nutzerpräferenzen in Abhängigkeit des jeweiligen soziodemographischen Hintergrundes werden dabei durch eine Betrachtung unterschiedlicher Cluster berücksichtigt. Die übergebenen Daten enthalten aus diesem Grund neben den Ergebnissen für die gesamte Stichprobe auch Ergebnisse für folgende ausgewählte soziodemographischen Faktoren:

- Geschlecht
- Stadt-Land
- Eigentümer-Mieter
- Nettohaushaltseinkommen
- Alter
- Bildungshintergrund

Für das Modell TAM, welches bestimmte Bevölkerungscluster hinterlegt hat, ist die Unterscheidung nach den Kriterien Eigentümer-Mieter, Stadt-Land und Nettohaushaltseinkommen relevant. Hier wird z. B. die Willingness-to-pay nach diesen Merkmalen zusammen mit dem mit der methodischen Erweiterung der Energiesystemoptimierungsmodell-Methode der Budget Constraint integriert. Durch eine hohe Disaggregation der relevanten Akteure kann die Haushalts- und Bevölkerungsstruktur die realitätsnäher dargestellt werden als in herkömmlichen, aggregierten Energiesystemmodellen und es können zielgruppenspezifischere Ergebnisse erzielt werden. In Abhängigkeit davon, ob die DCE-Stichprobengröße statistisch aussagekräftige Ergebnisse zuließ, wurden auch die Ergebnisse für die Kombination mehrerer soziodemographischer Kriterien (bspw. Alter und Geschlecht) an das Modell Invert/ee-lab übergeben.

2.3 Empirie als Input für das Akteursmodell PANDORA

Die empirische Analyse im Rahmen des Projektes soll unter anderem zu einem besseren Verständnis der Mechanismen führen, welche im Hinblick auf die sozio-politische Akzeptanz von Politikmaßnahmen eine Rolle spielen und zudem der Parametrisierung des PANDORA-Modells dienen. Konkret verfolgt die im Folgenden beschriebene empirische Analyse dabei die folgenden beiden Zielsetzungen:

- Die Identifikation von Faktoren, die die Akzeptanz von politischen Maßnahmen beeinflussen.
- Die Identifikation von Subgruppen, die sich bezüglich der Bedeutung und Wahrnehmung dieser Einflussfaktoren unterscheiden.

2.3.0 Grundlagen des Vignetten-Experiments

Die empirische Erhebung wird in Form eines Vignetten-Experiments umgesetzt. Bei einer Vignette handelt es sich um eine Situationsbeschreibung, die von den Befragten hinsichtlich der interessierenden Aspekte bewertet wird. Im Rahmen eines Vignetten-Experiments bewerten die Befragten mehrere Vignetten – der Inhalt der Vignetten wird dabei jeweils variiert, um feststellen zu können, welchen Einfluss die Änderungen auf die Bewertungen des Befragten haben. Im konkreten Fall wurden die Vignetten den Befragten in Form eines Zeitungsartikels präsentiert, in dem über eine geplante politische Maßnahme zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes von Wohngebäuden berichtet wurde. Der Text der Vignetten variierte dabei hinsichtlich folgender Aspekte:

- Inwieweit die Politikmaßnahme Ge- und Verbote enthält.
- In welchem Umfang die Politikmaßnahme mit (steuerbedingten) Preiserhöhungen für konventionelle Energieträger verbunden ist.
- Inwieweit Herstellende und Installateur*innen, die viele konventionelle Heizsysteme verkaufen, über Strafzahlungen sanktioniert werden.
- Für welche Zwecke die Einnahmen verwendet werden, die durch (steuerbedingte) Preiserhöhungen und evtl. Strafzahlungen von Herstellern oder Installateur*innen anfallen.
- Welche zivilgesellschaftlichen Akteure die geplante Politikmaßnahme kritisieren.

Zur Erfassung der sozio-politischen Akzeptanz wurden die Befragten gebeten, bei jeder Vignette anzugeben, inwieweit sie die Politikmaßnahme befürworten oder ablehnen. Um den Einfluss sozialer Normen auf die sozio-politische Akzeptanz untersuchen zu können, wurde zudem gefragt, welche Reaktionen auf die Politikmaßnahme die Befragten aus ihrem sozialen Umfeld erwarten. Weiterhin wurde jeweils die Einschätzung der Befragten dazu erhoben, für wie fair und wie wirksam sie die Politikmaßnahme halten und inwieweit sie glauben, dadurch persönlich materiell belastet zu werden – auch diese Aspekte sind potenzielle Einflussfaktoren auf die sozio-politische Akzeptanz.

Ein Vignetten-Experiment bietet sich als Methode an, da es folgende Vorteile bietet:

- Ähnlich wie bei einem DCE wird es durch die Bewertung mehrerer unterschiedlicher Vignetten pro Befragten möglich, den Einfluss von Eigenschaften der Befragten und der Politikmaßnahme (statistisch) isoliert voneinander zu analysieren.
- Hinsichtlich der Forschungsfrage ist ein Vignetten-Experiment zudem besser als ein DCE dazu geeignet, eine experimentelle Situation zu schaffen, die der realen Situation sehr ähnlich ist. Ein DCE würde es erfordern, dass die Befragten sich zwischen unterschiedlichen Politikmaßnahmen entscheiden – eine solche Entscheidungssituation kommt in der Realität in der Regel jedoch nicht vor. Das Vignetten-Experiment erlaubt es dagegen, eine Situation nachzubilden, in der jemand einen Zeitungsartikel über eine Politikmaßnahme liest und sich währenddessen eine Meinung dazu bildet.

Die hierarchische Datenstruktur, die aus einem Vignetten-Experiment resultiert (Befragte als Makro-Ebene, Vignetten als Mikro-Ebene), ermöglicht Auswertungen, durch die sich die beiden Zielsetzungen der empirischen Analyse erreichen lassen.

2.3.1 Ergebnisse des Vignetten-Experiments

Die Teilnehmerbefragung in der durchgeführten empirischen Studie erfolgte auf zwei Ebenen. Die Mikro-Ebene bildet die Beurteilung der Vignettenausprägung. Auf der Makro-Ebene (Personen-/Befragten-Ebene) werden Personenvariablen erfasst. Diese umfassen neben den sozio-demographischen Daten, wie Alter, Geschlecht, Bildung, Einkommen auch Fragen nach Umweltbewusstsein, Technikaffinität, Einstellungen zu sozialen Normen bezüglich Umwelt und Politik, politischer Einstellung und Medienkonsum. Mit den zusätzlich erhobenen Daten soll überprüft werden welche Faktoren auf das Entscheidungsverhalten bei der Beurteilung der Vignette wirken könnten. Die Stichprobenauswahl erfolgte repräsentativ nach Alter, Geschlecht, Bildung/Schulabschluss (siehe Tabelle 9). Zusätzlich aufgeführt ist die Wohnsituation der Umfrageteilnehmenden (Tabelle 10: Wohnsituation der Umfrageteilnehmenden (Tabelle 10).

Tabelle 9: Soziodemographische Faktoren der Umfrageteilnehmenden

Soziodemographische Faktoren (N = 2048)			
Geschlecht		Akademischer Abschluss	
männlich	49,3%	Kein Schulabschluss/Anderer Abschluss	1,8%
Weiblich	50,5%	Hauptschule	22,4%
Divers	0,2%	Realschule	35,4%
		Fachhochschulreife	9,1%
		Abitur	31,3%
18-29	12,1%	FMTBF ⁶	44,1%
30-39	11,9%	Fachhochschulabschluss	9,4%
40-49	15,5%	Universitätsabschluss	13,2%
50-59	25,0%	Promotion	1,9%
60-69	17,0%	Sonstiger Bildungsabschluss	0,49%
>70	18,6%	Kein akademischer Abschluss	23%

6

Soziodemographische Faktoren (N = 2048)			
Nettohaushaltseinkommen			
Weniger als 900 EUR/Monat	5,1%	3.600 - 5.000 EUR/Monat	17,3%
900 - 1.500 EUR/Monat	10,9%	5.000 - 7.000 EUR/Monat	10,6%
1.500 - 2.000 EUR/Monat	8,5%	7.000 - 8.000 EUR/Monat	2,9%
2.000 - 2.600 EUR/Monat	14,4%	Mehr als 9.000 EUR/Monat	1,8%
2.600 - 3.600 EUR/Monat	19,3%	Keine Angabe	9,1%

Tabelle 10: Wohnsituation der Umfrageteilnehmenden

Wohnsituation (N = 2048)			
Haushaltsgröße		Wohnsituation	
Einpersonenhaushalt	23,2%	Mietverhältnis in einer Wohnung	38,2%
Zweipersonenhaushalt	41,2%	Eigentümer*in einer Wohnung	11,5%
3-5 Personen-Haushalt	28,1%	Mietverhältnis in einem Haus	6,4%
Mehr als 5 Personen	1,7%	Eigentümer*in eines Hauses	43,8%
Baualtersklasse		Heiztechnologie	
vor 1949	18,6%	Ölheizung	20,1%
1949 - 1978	31,9%	Gasheizung	46,4%
1979 - 1990	17,7%	Wärmepumpe	4,4%
1991 - 2010	18,3%	Holz- oder Pelletheizung	4,7%
nach 2010	6,4%	Fernwärme	14,4%
weiß nicht / keine Angabe	7,2%	Ein anderes Heizsystem	5,0%
		Ich weiß es nicht	4,9%

Wie bereits im Kapitel 2.3 beschrieben, bewerteten die Umfrageteilnehmer*innen des Vignetten-Experiments unterschiedliche Vignetten mit randomisierten Ausprägungen. Pro Person wurden acht voneinander abweichende Vignetten präsentiert. Dem ist hinzuzufügen, dass nicht alle möglichen Kombinationen der Ausprägungen allen Umfrageteilnehmern präsentiert wurden. Ein Beispiel für eine Vignette befindet sich im Anhang des Dokuments. Die variierenden Ausprägungen der Vignetten-Attribute sind in der Tabelle dargestellt. Zu jeder Vignette wurden durch die Umfrage sechs abhängige Variablen erhoben

Tabelle 11: Vignetten-Ausprägungen

Attribut	Ausprägung pro Vignette	Baseline/Referenzkategorie ⁷
Verbote (5 Ausprägungen)	<ul style="list-style-type: none"> • Verkauf von neuen Öl- und Gasheizungen mit mittlerer Energieeffizienz ab 2025 • Verkauf von neuen Öl- und Gasheizungen mit schlechter Energieeffizienz ab 2025 • kein Verbot • zusätzliche Austauschpflicht von installierten Anlagen • keine zusätzliche Austauschpflicht von installierten Anlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • kein Verbot des Verkaufs von neuen Öl- und Gasheizungen mit schlechter Energieeffizienz ab 2025 • keine zusätzliche Austauschpflicht von installierten Anlagen
Höhe CO ₂ -Steuer – entstehende Mehrkosten pro Jahr (6 Ausprägungen)	<ul style="list-style-type: none"> • 150 EUR • 400 EUR • 650 EUR • 900 EUR • 1.150 EUR • 1.400 EUR 	<ul style="list-style-type: none"> • 150 EUR
Strafzahlungen (5 Ausprägungen)	<ul style="list-style-type: none"> • Mittlere bis hohe Strafzahlungen • niedrige bis mittlere Strafzahlungen • keine Strafzahlungen • für entweder Herstellende • oder Installateur*in 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Strafzahlungen
Mittelverwendung (6 Ausprägungen)	<ul style="list-style-type: none"> • Entlastung für einkommensschwache Haushalte • Entlastung für Mietende • Entlastung für Familien mit Kindern • Entlastung für Forschung & Entwicklung • Kaufprämie für erneuerbare Heizsysteme • keine Regelung 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Regelung
Kritiker:Innen (5 Ausprägungen)	<ul style="list-style-type: none"> • der vorgelegte Gesetzesentwurf wurde kritisiert durch Umweltverbände • der vorgelegte Gesetzesentwurf wurde kritisiert durch den Mieterbund • der vorgelegte Gesetzesentwurf wurde kritisiert durch Eigenheimbesitzende 	<ul style="list-style-type: none"> • der vorgelegte Gesetzesentwurf wurde kritisiert durch Verbände der Heizungsbranche

⁷ Die Referenzkategorie wird für die Anwendung der Linearen Regression festgelegt

Attribut	Ausprägung pro Vignette	Baseline/Referenzkategorie ⁷
	<ul style="list-style-type: none"> • der vorgelegte Gesetzesentwurf wurde kritisiert durch Sozialverbände • der vorgelegte Gesetzesentwurf wurde kritisiert durch Verbände der Heizungsbranche 	

Tabelle 12: Vignetten-Experiment – Abhängige Variablen

Akzeptanz – individuell:

Ich würde diesen Gesetzesentwurf...

1 = voll und ganz ablehnen – 6 = voll und ganz befürworten

Akzeptanz – Peers:

Die meisten Menschen, die mir wichtig sind, würden diesen Gesetzesentwurf...

1 = voll und ganz ablehnen – 6 = voll und ganz befürworten

Belastung:

Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen würden spürbare Belastungen auf mich zukommen.

1 = trifft überhaupt nicht zu – 6 = trifft voll und ganz zu

Fairness / Gerechtigkeit:

Dieser Gesetzesentwurf ist ausgewogen und fair.

1 = trifft überhaupt nicht zu – 6 = trifft voll und ganz zu

Sinnhaftigkeit/ Effektivität:

Die vorgeschlagenen Maßnahmen wären ein sinnvoller Beitrag zum Klimaschutz.

1 = trifft überhaupt nicht zu – 6 = trifft voll und ganz zu

Nicht weit genug:

Die vorgeschlagenen Maßnahmen gehen nicht weit genug.

1 = trifft überhaupt nicht zu – 6 = trifft voll und ganz zu

Um einen ersten Überblick über die Daten zu erhalten wurden die Abhängigen Variablen (siehe) über alle Vignetten hinweg analysiert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine signifikante Korrelation zwischen der wahrgenommenen Fairness und persönlichen Belastung einer politischen Maßnahme und der entsprechenden Akzeptanz dieser besteht. Hinsichtlich der sozio-demografischen Daten besteht eine Korrelation mit den Personenvariablen Alter, Schul- bzw. beruflicher Abschluss und Einkommen. Die Auswertung ergab auch eine Korrelation zwischen abhängigen Variablen und den Faktoren Umweltbewusstsein und Technikaffinität.

Lineare Regression

Ein Ziel des Vignetten-Experiments ist die Analyse der Faktoren, die einen möglichen Einfluss auf die individuelle Akzeptanz einer politischen Maßnahme haben können. Einerseits soll überprüft werden ob bestimmte sozio-demographische Daten oder normative Einstellungen mit der Abhängigen Variable „individuelle Akzeptanz“ korrelieren. Andererseits soll überprüft werden, ob eine Korrelation zwischen den sechs abhängigen Variablen untereinander besteht und die Beurteilung von Fairness/ Effektivität/ Belastung/ oder Sinnhaftigkeit einer politischen Maßnahme die Akzeptanz dieser beeinflusst.

Bei den statistischen Analysen von Daten eines Vignetten-Experiments mittels Regressionsmodellen ist gegebenenfalls die hierarchische Natur der Daten zu beachten. Denn wenn die Umfrageteilnehmer*innen mehrere Vignetten beurteilen (im Falle unseres Experiments sind es acht aufeinander folgende Vignetten), so sind die einzelnen Urteile nicht stochastisch unabhängig voneinander. Daher müssen in solchen Fällen in der Regel hierarchische Regressionsmodelle (Mehrebenenmodelle) eingesetzt werden. Da jedoch die Regressionskoeffizienten in erster Linie für den Einsatz im Modell PANDORA abgeleitet werden, reicht aus unserer Sicht eine vereinfachte Auswertung der Ergebnisse. Dies bedeutet, dass jede Vignette unabhängig gewertet wird und das Ordinary-Least-Squares Regressionsmodell angewendet werden kann.

Die unabhängigen Daten des Vignettenexperiments (Ausprägungen der Attribute der politischen Maßnahme) hauptsächlich nominal (bzw. ordinal im Falle der Ausprägung der CO₂-Steuer) vorliegen wird für die lineare Regression dummy-kodiert. Für eine bessere Lesbarkeit der Ergebnisse, wurden die Variablen aus der Befragung (Werte der Likert-Skala von 0 bis 6) auf den Bereich von -1 bis +1 normiert. Da sich die Variable ‚nicht weit genug‘ schon zu Beginn der Auswertung als vernachlässigbar herausgestellt hat, wird bei den nachfolgenden Auswertungen auf die Darstellung dieser verzichtet.

Tabelle 13 zeigt die Regressionskoeffizienten der Ausprägungen der Politikmaßnahmen. Auffällig signifikant ist die Korrelation zwischen den verschiedenen Ausprägungen der CO₂-Steuern sowie der Mittelverwendung und den abhängigen Variablen. Dabei sind alle Werte der CO₂-Steuer negativ korreliert mit Akzeptanz, Akzeptanz-Peers, Fairness und Sinnhaftigkeit und positiv korreliert mit Belastung. Genau umgekehrt verhält es sich bei der Mittelverwendung. Signifikant ist auch die Korrelation der Verbote, auf alle abhängigen Variablen außer der persönlichen Belastung. Bei den Attributen Strafzahlungen und Kritikäußerung sind nur einzelne Posten

Tabelle 13: Regressionskoeffizienten der abhängigen Variablen auf die Ausprägungen der Politikmaßnahme

Ausprägungen der Politikmaßnahme	Regressionskoeffizienten				
	Akzeptanz	Akzeptanz Peers	Belastung	Fairness	Sinnhaftigkeit
CO2-Steuer_2	-0.0546*	-0.0549*	0.0649*	-0.0463*	-0.0186*
CO2-Steuer_3	-0.0930*	-0.0907*	0.0901*	-0.0756*	-0.0305*
CO2-Steuer_4	-0.1262*	-0.1195*	0.1153*	-0.0994*	-0.0421*
CO2-Steuer_5	-0.1503*	-0.1403*	0.1225*	-0.1219*	-0.0557*
CO2-Steuer_6	-0.1671*	-0.1539*	0.1271*	-0.1318*	-0.0596*
Verbote_1	0.0208*	0.0156*	0.0069	0.0157*	0.0418*
Verbote_2	0.0214*	0.0135*	0.0012	0.0207*	0.0304*
Verbote_3	0.0272*	0.0219**	0.0162*	0.0254*	0.0549*
Verbote_4	0.0187*	0.0149*	0.0025	0.0146*	0.0322*
Strafzahlungen_1	0.0145**	0.0131**	0.0106	0.0108**	0.0056
Strafzahlungen_2	0.0060	0.0013	0.0022	0.0019	-0.0061
Strafzahlungen_4	0.0015	0.0026	0.0032	-0.0017	0.0013
Strafzahlungen_5	0.0051	0.0047	0.0034	0.0009	-0.0048
Mittelverwendung_1	0.0255*	0.0164*	0.0014	0.0143**	0.0168*
Mittelverwendung_2	0.0397*	0.0277*	-0.0129**	0.0272*	0.0239*
Mittelverwendung_3	0.0397*	0.0306*	-0.0215*	0.0309*	0.0184*
Mittelverwendung_4	0.0364*	0.0311*	-0.0169*	0.0264*	0.0172*
Mittelverwendung_5	0.0218*	0.0185*	-0.0115	0.0134**	0.0113
Kritik_1	0.0026	0.0003	-0.0001	0.0061	-0.0034
Kritik_2	0.0105	0.0053	0.0002	0.0111**	0.0042
Kritik_3	0.0026	-0.0019	0.0083	0.0067	0.0105
Kritik_4	0.0090	0.0029	0.0094	0.0130**	0.0078

*Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)
**Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

Auch die Regressionskoeffizienten zwischen den Variablen Akzeptanz, Akzeptanz-Peers, Fairness, Belastung und Sinnhaftigkeit untereinander wurden abgeleitet. Tabelle zeigt die Regressionskoeffizienten der, in diesem Fall, unabhängigen Variable Akzeptanz. Eine sehr hohe Korrelation besteht zwischen der individuellen Akzeptanz und Fairness. Etwas geringer, aber dennoch hoch ist die Korrelation der Variablen Sinnhaftigkeit mit Akzeptanz. Die Variable Belastung ist negativ korreliert mit Akzeptanz und eher gering, im Vergleich zu den anderen Variablen.

Latent Class Analysis

In einem weiteren Analyseschritt wurde eine Latent Class Analysis (LCA) durchgeführt. Die Latent Class Analyse (LCA) ist eine modellbasierte Clustertechnik, die in verschiedenen Forschungsfeldern Anwendung findet, um unbeobachtete heterogene Subgruppen innerhalb einer Gesamtpopulation zu identifizieren. Die grundlegende Annahme der LCA ist, dass die Bevölkerung aus verschiedenen, nicht direkt beobachtbaren Klassen besteht, die sich durch bestimmte Charakteristika unterscheiden. Dies ist besonders nützlich in den Sozialwissenschaften, der Psychologie, der Marktforschung und anderen Bereichen, in denen Gruppen mit ähnlichen Merkmalen oder Verhaltensweisen identifiziert werden sollen, die jedoch nicht direkt sichtbar sind. Bei der Durchführung einer LCA werden auf Basis von beobachteten Daten, wie Umfrageantworten oder Messwerten, Wahrscheinlichkeiten zugeordnet, die anzeigen, mit welcher Wahrscheinlichkeit bestimmte Beobachtungen zu einer bestimmten latenten Klasse gehören. Dieser Ansatz ermöglicht es, die Struktur in den Daten zu erkennen, die sonst durch traditionelle Clusteranalysemethoden verborgen bleiben könnte. Einer der Hauptvorteile der LCA gegenüber herkömmlichen Clusterverfahren ist ihre Wahrscheinlichkeitsbasis. Anstelle von heuristischen Distanzmaßen werden explizite statistische Modelle verwendet, die eine probabilistische Interpretation der Klassenzugehörigkeit erlauben. Dies ermöglicht eine fundierte Schätzung der Anzahl der Klassen sowie eine Bewertung der Modellgüte. Zur Beurteilung und zum Vergleich verschiedener Modelllösungen bietet die LCA eine Reihe von Gütekriterien. Ein Beispiel hierfür ist das Bayes'sche Informationskriterium (BIC), das eine Abwägung zwischen Modellanpassung und Modellkomplexität vornimmt. Modelle mit einem niedrigeren BIC-Wert werden in der Regel bevorzugt, da sie eine bessere Balance zwischen Erklärungskraft und Einfachheit bieten.

Für die Analyse wurde ein zweistufiges Verfahren ausgewählt, welches auf dem komplexen Datensatz der Umfrage durchgeführt wurde. Ziel war es, latente Klassen innerhalb der Daten zu identifizieren und zu verstehen, wie verschiedene gemessene Variablen diese Klassen charakterisieren. Auf der ersten Ebene, der "Within"-Ebene, werden individuelle Unterschiede innerhalb der geclusterten Einheiten untersucht. Hier werden Modelle für jeden der latenten Klassen spezifiziert, die auf Variablen basieren, die das Belastungsempfinden (burden), die wahrgenommene Fairness (fairness) und das Maß an Sinnhaftigkeit (ma_sense) sowie weitere Variablen wie Steuereinstellungen und Einstellungen zu verschiedenen Lebensbereichen abbilden. Auf der zweiten Ebene, der "Between"-Ebene, werden Unterschiede zwischen den Klassen analysiert. Hier wird untersucht, wie demografische und sozioökonomische Variablen (wie Alter, Bildung und Einkommen) sowie Einstellungen und Meinungen zu Technologie, Politik und Umwelt die Zugehörigkeit zu den verschiedenen latenten Klassen beeinflussen. Aufgrund der Komplexität des Modells war die Verwendung der Monte-Carlo-Integration, notwendig.

Im ersten Schritt der LCA wurde überprüft, welche Klassenlösung die beste Option darstellt. Hierzu wurden mehrere Klassenlösungen durchgerechnet und untereinander verglichen. Einen Überblick über die entsprechenden Faktoren, auf deren Basis die Auswahl der Klassenlösung gibt Tabelle 14.

Tabelle 14: Auswertungen der LCA Klassenlösungen

	LL	BIC(LL)	Degrees of freedom	p-value (Likelihood Ratio Test)	(Class error) Classification quality
2-Class	-63634	128,510.912	134		0.955
3-Class	-62016	126,019.185	214	<0.001	0.942
4-Class	-60804	124,336.509	294	<0.001	0.920
5-Class	-59761	122,992.710	374	<0.001	0.940
6-Class	-58884	120,537.776	454	<0.001	0.95

Basierend auf dem Vergleich der Modelle von einer 2- bis zu einer 6-Klassenlösung, scheint das 5-Klassenmodell die bevorzugte Lösung zu sein. Die Auswahl dieses Modells kann durch mehrere Faktoren begründet werden:

- Bayes'sches Informationskriterium (BIC): Das BIC des 5-Klassenmodells ist niedriger als das der 2-, 3- und 4-Klassenmodelle, was auf eine bessere Modellanpassung bei angemessener Komplexität hinweist. Obwohl das 6-Klassenmodell ein noch niedrigeres BIC aufweist, ist der Unterschied zum 5-Klassenmodell nicht so ausgeprägt, was darauf hindeutet, dass das 5-Klassenmodell eine ausreichend gute Passform bietet, ohne unnötige Komplexität hinzuzufügen.
- Log-Likelihood (LL): Das 5-Klassenmodell hat eine höhere LL als die Modelle mit weniger Klassen, was auf eine stärkere Unterstützung der Daten für das 5-Klassenmodell hindeutet. Auch hier gilt, obwohl das 6-Klassenmodell eine noch höhere LL aufweist, dass der marginale Gewinn in der LL möglicherweise nicht die zusätzliche Komplexität rechtfertigt.
- p-Wert des Likelihood-Ratio-Tests: Die signifikanten p-Werte ($p < 0.001$) für Modelle mit mehr als zwei Klassen zeigen, dass diese Modelle signifikant besser sind als das einfachere Modell. Dies gilt für alle Modelle von 3 bis 6 Klassen und trägt nicht direkt zur Entscheidung zwischen dem 5- und 6-Klassenmodell bei.
- Klassifikationsqualität (Class error): Die Klassifikationsqualität bleibt zwischen dem 5- und 6-Klassenmodell relativ stabil, mit einer leichten Verbesserung im 6-Klassenmodell. Dennoch könnte der geringfügige Anstieg der Klassifikationsqualität im 6-Klassenmodell im Vergleich zum 5-Klassenmodell als unzureichend angesehen werden, um die höhere Komplexität und die potenzielle Überanpassung des Modells zu rechtfertigen.
- Freiheitsgrade (Degrees of Freedom): Mit steigender Klassenanzahl erhöht sich die Anzahl der Freiheitsgrade, was auf ein komplexeres Modell hinweist. Das 5-Klassenmodell bietet einen guten Kompromiss zwischen Modellanpassung und Modellkomplexität.

Basierend auf dem 5-Klassen-Modell führte die LCA zu einer Segmentierung der Studienteilnehmer in fünf unterschiedliche Klassen. Zusätzlich zu den abhängigen Variablen wurden soziodemographische Merkmale, Interesse an neuen Technologien, Umwelteinstellungen, politische Orientierung und Einstellungen zu Verantwortung und Kontrolle in Bezug auf energiepolitische Maßnahmen in die Klassifizierung einbezogen. Jede Klasse stellt eine einzigartige Kombination dieser Merkmale dar, die einen tieferen Einblick in das Verhalten und die Einstellungen der Befragten ermöglicht. In Tabelle 15 sind die Ausprägungen der Merkmale verglichen zum Gesamtdurchschnitt nach Klasse dargestellt.

Tabelle 15: Beschreibung der Klassen der Latent Class Analyse nach ihren Merkmalen

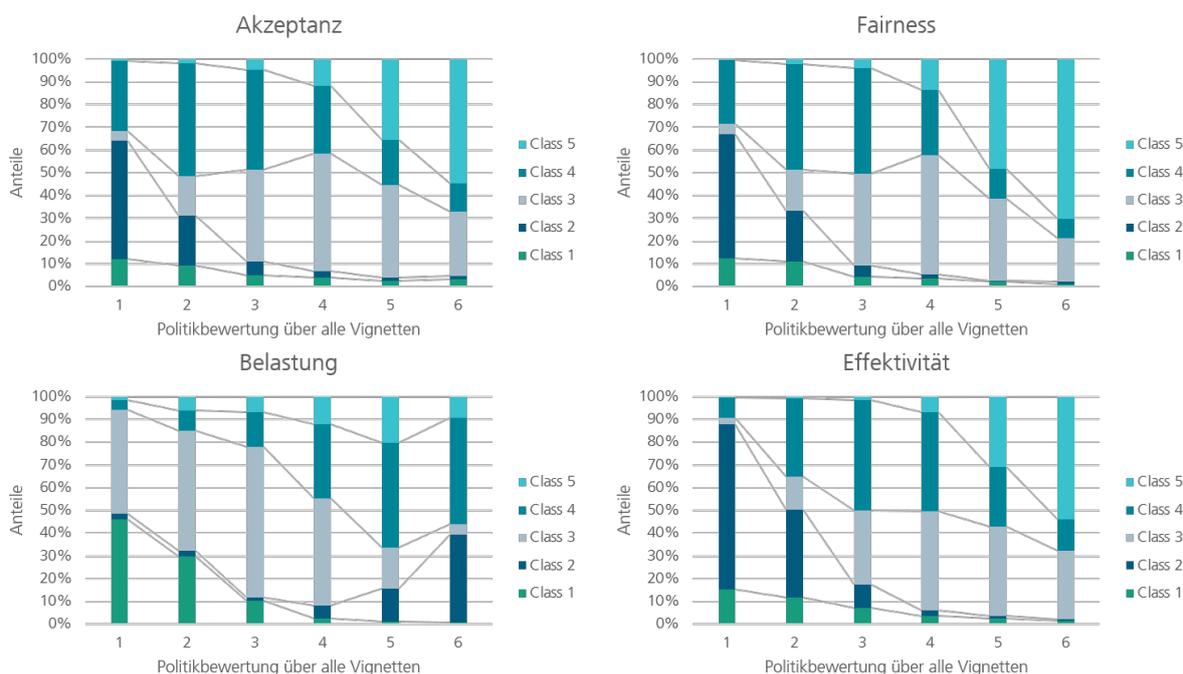
Merkmale	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
Sozio-demografisch	Größerer Anteil an Familien mit Kindern und ein höherer Prozentsatz an Haus/Wohnungsbesitzern, höheres Einkommen	Älter, größere Haushaltsgröße, niedrigeres Einkommen, durchschnittlicher Haus-/Wohnungsbesitz	Jünger, durchschnittliches Einkommen, höherer Anteil an Personen mit akademischen Qualifikationen und Abschlüssen, durchschnittlicher Haus-/Wohnungsbesitz	Älter, kleinere Haushaltsgröße, durchschnittliches Einkommen, durchschnittlicher Haus-/Wohnungsbesitz	Jüngste Gruppe, hoher Anteil an Familien mit Kindern, durchschnittliches Einkommen, höchster Anteil an Personen mit akademischen Qualifikationen und Abschlüssen, niedriger Anteil an Haus-/Wohnungsbesitzern
Interesse an Technologie	Mehr Interesse an neuer Technologie, aber sehr niedrige Nutzung von fossil betriebenen Heiztechnologien	Geringeres Interesse an neuer Technologie	Niedrigstes Interesse an neuer Technologie	Geringeres Interesse an neuer Technologie	Sehr hohes Interesse an neuer Technologie
Umweltein-stellung	Geringe Besorgnis um Umweltprobleme	Sehr geringe Besorgnis um Umweltprobleme	Hohe Besorgnis um Umweltprobleme	Durchschnittliche Besorgnis um Umweltprobleme	Sehr hohe Besorgnis um Umweltprobleme
Politik	Durchschnittliches politisches Interesse und politische Ideologie, geringe Bedeutung der Erwartungen/Meinungen von Freunden und Familie (politischer Ansichten), weniger häufige politische Diskussionen	Stark rechtsgerichtete politische Einstellung, höheres politisches Interesse und häufigere politische Diskussionen	Durchschnittliches politisches Interesse und politische Einstellung, sehr hohe Bedeutung der Erwartungen/Meinungen von Freunden und Familie	Politische Ansichtsabweichung nach links, durchschnittliches politisches Interesse,	Durchschnittliches politisches Interesse und politische Einstellung, sehr hohe Bedeutung der Erwartungen/Meinungen von Freunden und Familie
Verantwortung und Kontrolle	Geringere Überzeugung, dass Steuern ein effektiver Kontrollmechanismus zur Reduzierung von Emissionen sind, geringerer Glaube an Selbstverantwortung und höherer Glaube an staatliche Verantwortung	Starke Abneigung gegen staatliche Maßnahmen (und Verantwortung) zur Reduzierung von Emissionen, besonders Steuern, sehr geringer Glaube an Selbstverantwortung für die Reduktion von Emissionen	Sehr starke Überzeugung, dass Steuern ein effektiver Kontrollmechanismus zur Reduktion von Emissionen sind, höhere Überzeugung der Selbstverantwortung	Starke Überzeugung, dass Industrie und Herstellung die Verantwortung und Kontrollmechanismen haben, um Emissionen im Gebäudesektor effektiv zu reduzieren	Starke Überzeugung, dass staatliche Maßnahmen effektiv sind, um Emissionen zu reduzieren, hoher Glaube an Kontrolle und Selbstverantwortung für die Reduktion von Emissionen im Gebäudesektor

Diese Profile zeigen, wie die Mitglieder einer Klasse in Bezug auf die gemessenen Variablen tendenziell zusammengefasst werden können. Durch die Klassenbildung liefert die LCA Einsichten in die Struktur der Population. Dies kann hilfreich sein, um zu verstehen, welche Subpopulationen existieren und wie sie sich in Bezug auf interessierende Merkmale oder Verhaltensweisen unterscheiden. Die Ergebnisse der Latent Class Analyse bieten wertvolle Einblicke in die Vielschichtigkeit der Bevölkerung hinsichtlich ihrer Einstellungen. Die beobachteten sozio-demografischen Unterschiede bestätigen, dass individuelle Attribute wie Alter, Haushaltsgröße, Einkommen und Bildungsstand eine zentrale Rolle bei der Formung von Akzeptanz von Politikmaßnahmen eine wichtige Rolle spielen. Die politische Orientierung innerhalb der Klassen offenbart eine Spannweite von Meinungen. Ein interessantes Ergebnis ist, dass zwischen den Gruppen unterschiedliche Ansichten darüber bestehen, wer die Führung bei der Bewältigung von Klima- und Umweltfragen übernehmen sollte. Während manche staatliche Maßnahmen bevorzugen, setzen andere auf Marktmechanismen als eine wirkungsvolle Maßnahme um Emissionsminderungen im Gebäudesektor zu erzielen.

Zusätzlich zeigt Abbildung 21, dass die Bewertungsmuster der Politikmaßnahme sich für die Klassen hinsichtlich der Akzeptanz sowie der wahrgenommenen Fairness, finanziellen Belastung und Effektivität sich deutlich voneinander unterscheiden.

Für die Übersicht der Ergebnisse des Vignetten-Experiments ist eine Veröffentlichung geplant.

Abbildung 21: Übersicht über die klassenspezifische Bewertung politischer Maßnahmen über alle präsentierten Vignetten



2.3.2 Einbindung der Ergebnisse in PANDORA

Empirische Erhebungen erfassen eine Momentaufnahme eines bestimmten Phänomens zu einem bestimmten Zeitpunkt und an einem bestimmten Ort. In einer Umfrage bildet sich jeder Teilnehmer seine Meinung unabhängig und isoliert. Diese Meinungen können sich jedoch ändern, wenn die Personen mit anderen interagieren oder neuen Informationen ausgesetzt sind. Die agenten-basierte Modellierung bietet eine Möglichkeit den Einfluss des sozialen Netzwerks durch die Simulation der Interaktionen zwischen einzelnen Agenten innerhalb eines dynamischen Systems zu über-

prüfen. Dabei können Auswirkungen der Variation verschiedener Parameter auf das Systemverhalten untersucht werden. Diese Flexibilität ermöglicht nicht nur die Prüfung verschiedener politischer Szenarien, sondern erleichtert auch die Identifizierung zugrunde liegender Mechanismen und Muster, die in einer einzelnen empirischen Momentaufnahme nicht unmittelbar erkennbar sind.

Zur Erforschung des Potenzials in der Simulation der Dynamik sozio-politischer Akzeptanz verwenden wir einen neuartigen Modellierungsansatz, der empirische Daten, etablierte Theorien aus der Sozialpsychologie und Meinungsdynamik ('opinion dynamics') mit agentenbasierten Modellen integriert. Mit dem agenten-basierten Modell PANDORA wird explorativ untersucht, wie der Prozess der Einstellungsbildung gegenüber einer neuen Politikmaßnahme in einem Modell formalisiert werden kann. Besonders im Fokus steht die Untersuchung des Einflusses, den dynamische Interaktionen innerhalb sozialer Netzwerke auf die individuelle Akzeptanz neuer politischer Maßnahmen haben. Das Ziel des Modells ist es für verschieden konfigurierte politische Maßnahmenpakete abzuleiten, wie die Interaktion in einem sozialen Netzwerk die Einstellung zu einer Politik beeinflussen könnte. Hierzu nutzen wir die Stärke der agenten-basierten Modellierung die Heterogenität von Agenten abzubilden.

Über das Vignetten-Experiment werden Parameter erfasst, um den Akzeptanzprozess der individuellen Akteure im Modell abbilden zu können. Der Fragebogen erfasst zudem Personendaten, welche zur weiterführenden Parametrisierung der individuellen Akteure genutzt werden können.

Die konzeptionelle Entwicklung von PANDORA erfolgt in weiten Teilen analog zur Konzipierung des oben beschriebenen Vignetten-Experiments, sodass die Ergebnisse aus der empirischen Untersuchung direkt als Input in das Modell integriert werden können. So ist die Datenanalyse und die lineare Regression (Kapitel 2.3.1.1) aus dem Vignetten-Experiment dem Modell direkt vorangeschaltet. Auf diese Weise lässt sich das Modell schnell anpassen, wenn zum Beispiel unterschiedliche Teildaten für die Analyse im Modell eingesetzt werden sollen.

Für den weiteren Aufbau des Modells und zur Bewertung der Akzeptanz wird ein Mediationsmodell verwendet. Die Hypothese ist hierbei, dass die Beurteilung einer Politikmaßnahme über die Mediations-Variablen Fairness, Sinnhaftigkeit und Belastung erfolgt (siehe Abbildung 22). Dies bedeutet insofern, dass bei der Konfrontation mit der Information zur Ausgestaltung der Politikmaßnahme ein Agent zuerst ein Urteil über die Wahrnehmung dieser bildet, was schließlich zur finalen Bewertung der Maßnahme und zur individuellen Akzeptanz oder Ablehnung führt. Die Darstellung des Einflusses sozio-demographischer Faktoren erfolgt über die Gruppenzugehörigkeit des Agenten.

Die empirisch erhobenen Daten werden dazu verwendet Agenten im Modell zu initialisieren. Zu Beginn des Modelllaufs werden soziale Gruppen definiert, die in sich möglichst homogen sind, sich jedoch voneinander deutlich abgrenzen lassen. Hierzu werden die Ergebnisse der Latent-Class-Analyse hinzugezogen. Aus der Klassenzugehörigkeit lassen sich zusätzlich die entsprechenden sozio-demographischen Daten ableiten, die zur Netzwerkinitialisierung und zum Aufbau des Kommunikationsmodells verwendet werden. Die detaillierte Modellbeschreibung befindet sich im Anhang zum Dokument (siehe A.1.1).Modellbeschreibung PANDORA

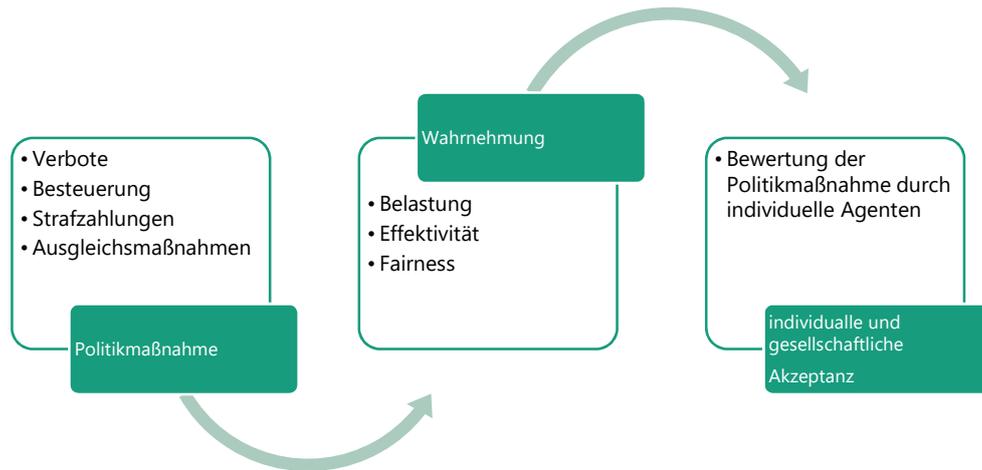


Abbildung 22: Wahrnehmung der Politikmaßnahme als Mediator für individuelle Akzeptanz

Für die jeweiligen Gruppen werden Regressionskoeffizienten ermittelt (analog zum Vorgehen beschrieben in Kapitel 2.3.1.1). Im Fokus steht einerseits die Korrelation zwischen den Attributen der Politikmaßnahme und den Mediationsvariablen. Andererseits die Korrelation zwischen individueller Akzeptanz und den Mediationsvariablen. Die ermittelten Koeffizienten fließen als Vektoren in das Modell ein.

3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Empirie- und Modellschnittstellen und Modellintegration.....	5
Abbildung 2: Ausschnitt aus dem bereinigten Conceptboard mit den Ergebnissen des Expert*innen-Workshops	11
Abbildung 3: Prozessschaubild - Ermittlung der Investitionsbereitschaft.....	15
Abbildung 4: Ergebnisse der Likert-Skalen-Befragung der Pilotstudie (Teil 1)	18
Abbildung 5: Ergebnisse der Likert-Skalen-Befragung der Pilotstudie (Teil 2)	18
Abbildung 6: Höchster Bildungsabschluss.....	21
Abbildung 7: Haushaltsgröße	21
Abbildung 8: Begriffe der Verhaltensanalyse zur theoretischen Strukturierung des Leitfadens und zur Analyse des Kauf- und Auswahlverhaltens von Heiztechnologien durch potentielle Adopter*innen.....	23
Abbildung 10: Konzeptkarte der Prozessschritte, Verhaltenssequenzen und deren zeitlicher Dauer für Fall 1.....	27
Abbildung 11: Konzeptkarte der Prozessschritte, Verhaltenssequenzen und deren zeitlicher Dauer für Fall 4.....	28
Abbildung 12: Zusammenfassung der abstrahierten Verhaltensweisen und deren zeitliche Dauer	29
Abbildung 13: Gewichtung individueller Kontingenzen des Auswahlverhaltens anhand der Auftretenshäufigkeit bei den 11 betrachteten Adopter*innen.....	30
Abbildung 14: Gewichtung individueller Kontingenzen des Auswahlverhaltens anhand der relativen Häufigkeit in allen kodierten Textsegmenten der Kategorie „operant contingencies choosing heating system – contingencies“	32
Abbildung 15: Gewichtung der Kontingenzen des Auswahlverhaltens in der Interaktion mit Installateuren anhand der Auftretenshäufigkeit bei den 11 betrachteten Adopter*innen	35
Abbildung 16: Gewichtung der Kontingenzen des Auswahlverhaltens in der Interaktion mit Installateur*innen anhand der relativen Häufigkeit in allen kodierten Textsegmenten der Kategorie „operant contingencies choosing heating system – interlocking contingencies technicians“	36
Abbildung 17: Zahlungsbereitschaften nach Geschlecht [EUR Investitionskosten/Einheit]	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 18: Zahlungsbereitschaften nach Bildungsgrad [EUR Investitionskosten/Einheit].....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 19: Zahlungsbereitschaften nach Wohnsituation und Urbanisierungsgrad [EUR Investitionskosten/Einheit].....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 20: Ergebnisse der Likert-Skalen Befragung Teil 1...	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 21: Ergebnisse der Likert-Skalen Befragung Teil 2...	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abbildung 22: Wahrnehmung der Politikmaßnahme als Mediator für individuelle Akzeptanz	65
Abbildung 23: Struktur des Simulationsmodells Invert/EE-Lab (Quelle: Steinbach 2015).....	77
Abbildung 24: Struktur der hinterlegten Gebäudetypologie in Invert/ EE-Lab	78
Abbildung 25: Modellierung der Gebäudeeigentümer als Investor-Agenten	79
Abbildung 26: Schematische Darstellung der Modellierung von Politikinstrumente in Invert-Agents (Quelle: Steinbach, 2015).....	80
Abbildung 27: Darstellung die abgebildeten Akteursgruppen in TAM (Quelle: Universität Stuttgart – IER).....	81
Abbildung 28: Modellrahmen ENERTILE (Quelle: Fraunhofer ISI)	83
Abbildung 29: Schematische Darstellung des in REMod-D abgebildeten Energiesystems ohne die Darstellung der Subsysteme für Wärmeversorgung von Gebäuden und Verkehr (Quelle: Fraunhofer ISE)	85
Abbildung 30: Optimierendes Energiesystemmodell TIMES-D.....	87

4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse des Discrete Choice Experimentes der Pilotstudie für die gesamte Stich-probe	17
Tabelle 2: Prozessschritte der Teilnehmenden und (geplante) Heiztechnologien	25
Tabelle 3: Von Teilnehmenden benannte Fördernisse für mehr innovative, regenerative Heiztechnologien sortiert nach Häufigkeit.....	39
Tabelle 4: Wahl der Attribute und Ausprägungen für das DCE	41
Tabelle 5: DCE Choice Set Design (*siehe Definition Tabelle 4)	42
Tabelle 6: Soziodemographische Faktoren der Umfrageteilnehmenden.....	44
Tabelle 7: Wohnsituation der Umfrageteilnehmenden.....	45
Tabelle 8: Ergebnisse des Discrete Choice Experimentes für die gesamte Stichprobe	46
Tabelle 9: Soziodemographische Faktoren der Umfrageteilnehmenden.....	54
Tabelle 10: Wohnsituation der Umfrageteilnehmenden	55
Tabelle 11: Vignetten-Ausprägungen.....	56
Tabelle 12: Vignetten-Experiment – Abhängige Variablen.....	57
Tabelle 13: Regressionskoeffizienten der abhängigen Variablen auf die Ausprägungen der Politikmaßnahme.....	59
Tabelle 14: Auswertungen der LCA Klassenlösungen.....	61
Tabelle 15: Beschreibung der Klassen der Latent Class Analyse nach ihren Merkmalen.....	62

5 Literaturverzeichnis

- Achtnicht, M. (2010, 1. Dezember). Do Environmental Benefits Matter? A Choice Experiment Among House Owners in Germany (E.ON Energy Research Center, Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN) 27/2010). E.ON Energy Research Center, Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN).
https://econpapers.repec.org/paper/riscnwpa/2010_5f027.htm
- Ahanchian, M.; Bailey, I.; Dobbins, A.; Tash, A.; Fahl, U. (2020): Optimale Struktur von dezentralen und zentralen Technologien im Systemverbund – Intelligente dezentrale Energiesysteme. Förderkennzeichen: 03ET4026. Schlussbericht. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart. Verfügbar unter: https://www.ier.uni-stuttgart.de/forschung/projekte/abgeschlossen/dezentral/downloads/BMWi-03ET4026_Schlussbericht_Dezentral.pdf
- Beyer, C., Hermelink, A., Klaus, S., Kleßmann, C., Krechting, A., Müller, A., & Palenberg, A. (2010). Innovative Politikmaßnahmen für mehr Energieeffizienz - Vorschlag für Politikmaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudesektor in Deutschland bis 2020.
www.ecofys.com
- Boguñá M, Pastor-Satorras R, Díaz-Guilera A et al. (2004) Models of social networks based on social distance attachment. *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys* 70:56122.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevE.70.056122>
- Castro J, Drews S, Exadaktylos F et al. (2020) A review of agent-based modeling of climate-energy policy. *Wiley Interdiscip Rev Clim Change* 11. <https://doi.org/10.1002/wcc.647>
- Cihon, T. M., & Mattaini, M. A. (Eds.). (2020). *Behavior Science Perspectives on Culture and Community*. Association for Behavior Analysis International.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-45421-0>
- Cischinsky, H.; Diefenbach, N.; Rodenfels, M. (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Anleitung zur Durchführung von Auswertungen mit der Auswertungsdatenbank
- Claudy, M. C., Michelsen, C. & O'Driscoll, A. (2011). The diffusion of microgeneration technologies – assessing the influence of perceived product characteristics on home owners' willingness to pay. *Energy Policy*, 39(3), 1459–1469. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.018>
- Clausnitzer, K.-D.; Jahnke, M.; Rohde, C.; Steinbach, J. (2015): Datenerhebung Gebäudebestand – Erfassung von statistischen Basisdaten zum Nichtwohngebäudebestand und empirische Analyse der energetischen Qualität ausgewählter Gebäudetypen. Band II: Mengengerüst Nichtwohngebäude und energetische Eigenschaften
- Deffuant G, Amblard F, Weisbuch G et al. (2002) How can extremism prevail? A study based on the relative agreement interaction model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*
- Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2021) „DENA-GEBÄUDEREPORT 2022. Zahlen, Daten, Fakten.“
- Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2017). „Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor.“
- Diefenbach, N.; Cischinsky, H.; Rodenfels, M.; Clausnitzer, K.-D. (2010): Datenbasis Gebäudebestand - Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den

- Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt (IWU)
- Droste-Franke, B.; Fohr, G.; Voge, M.; Nietgen, T.; van Doren, D.; Weidle, M.; O'Sullivan, M.; Deissenroth, M.; Nitsch, F.; Jacqué, K. (2020): Simulation von Innovationsdynamiken neuer Schlüsseltechnologien im Energiebereich am Beispiel von Lithium-Batterien, final report. Bad Neuenahr-Ahrweiler: IQIB GmbH
- Fais, B. (2015): Modelling policy instruments in energy system models – the example of renewable electricity generation in Germany, IER Forschungsberichte, Band 121
- Fishbein M, Ajzen I (1975) Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research. Addison-Wesley series in social psychology. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Gebäudeforum klimaneutral 2022. (n.d.). Zahlen, Daten und Fakten zum Gebäudesektor. Gebäudeforum klimaneutral. Retrieved April 1, 2022, from <https://www.gebaeudeforum.de/wissen/zahlen-daten/>
- Gilbert, N.; Ahrweiler, P.; Pyka, A. (2010): The SKIN (Simulating Knowledge Dynamics in Innovation Networks) model. University of Surrey, University College Dublin, University of Hohenheim
- Glenn, S. S. (1991). Contingencies and metacontingencies: Relations among behavioral, cultural, and biological evolution. In P. A. Lamal (Ed.), Behavioral analysis of societies and cultural practices. Hemisphere Publishing Corporation. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=NTCa6mX1FZgC&pgis=1>
- Haasz, T. (2017): Entwicklung von Methoden zur Abbildung von Demand Side Management in einem optimierenden Energiesystemmodell – Fallbeispiele für Deutschland in den Sektoren Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Haushalte, IER Forschungsberichte, Band 131
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S. & Smits, R. E (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. Technological forecasting and social change 74, 413–432. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162506000564>
- Hekkert, M., Negro, S., Heimeriks, G. & Harmsen, R. (2011). Technological innovation system analysis: A manual for analysts. Utrecht, NL. <https://www.semanticscholar.org/paper/Technological-Innovation-System-Analysis-A-manual-Hekkert-Negro/68e1abecbbe0da073c7e63d95dbb750f5d910024?p2df>
- Hauber, A. B., González, J. M., Groothuis-Oudshoorn, C. G. M., Prior, T., Marshall, D. A., Cunningham, C., IJzerman, M. J. & Bridges, J. F. P. (2016). Statistical Methods for the Analysis of Discrete Choice Experiments: A Report of the ISPOR Conjoint Analysis Good Research Practices Task Force. Value in health : the journal of the International Society for Pharmacoeconomics and Outcomes Research, 19(4), 300–315. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2016.04.004>
- Huber, J., & Zwerina, K. (1996). The Importance of Utility Balance in Efficient Choice Designs. Journal of Marketing Research, 33(3), 307–317. <https://doi.org/10.1177/002224379603300305>
- IWU et al (2020): Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude (dataNWG). www.dataNWG.de
- Glenn, S. S., Malott, M. E., Andery, M. A. P. A., Benvenuti, M., Houmanfar, R. A., Sandaker, I., Todorov, J. C., Tourinho, E. Z., & Vasconcelos, L. A. (2016). Toward Consistent Terminology

- in a Behaviorist Approach to Cultural Analysis. *Behavior and Social Issues*, 25(1), 11–27.
<https://doi.org/10.5210/bsi.v25i0.6634>
- Konc T, Drews S, Savin I et al. (2022) Co-dynamics of climate policy stringency and public support. *Global Environmental Change* 74:102528. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102528>
- Kranzl, I.; Anagnostopoulos, F.; Aichinger, E.; Müller, A.; Staniaszek, D.; Steinbach, J.; Toleikyte, A (2016): Energy Saving Cost Curves for the Case of the German Building Stock. In: 14. Symposium Energieinnovation an der Technischen Universität Graz. Graz, Austria. Retrieved (<https://www.tugraz.at/events/eninnov/nachlese/download-beitrag/stream-f/#c36892>)
- Kranzl, L.; Hummel, M.; Müller, A.; Steinbach, J. (2013): Renewable heating: perspectives and the impact of policy instruments. In: *Energy Policy* 59, pp. 44–58. Retrieved June 10, 2013 (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513002280>)
- Kranzl, L., Müller, A., Maia, I., Büchele, R., & Hartner, M. (2018). *Wärmezukunft 2050. Erfordernisse und Konsequenzen der Dekarbonisierung von Raumwärme und Warmwasserbereitstellung in Österreich*. https://eeg.tuwien.ac.at/fileadmin/user_upload/projects/import-downloads/PR_469_Waermewende_finalreport.pdf
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (11., aktua). Beltz. <https://katalog.ub.tu-braunschweig.de/vufind/Record/626245915>
- Mayring, P. (2017). *Qualitative Inhaltsanalyse in der psychologischen Forschung*. In *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (pp. 1–17). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-18387-5_52-1
- McPherson M, Smith-Lovin L, Cook JM (2001) Birds of a Feather: Homophily in Social Networks. *Annu Rev Sociol* 27:415–444. <https://doi.org/10.1146/annurev.soc.27.1.415>
- Michelsen, C. C. & Madlener, R. (2012). Homeowners' preferences for adopting innovative residential heating systems: A discrete choice analysis for Germany. *Energy Economics*, 34(5), 1271–1283. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.06.009>
- Michelsen, C. C. & Madlener, R. (2013). Motivational factors influencing the homeowners' decisions between residential heating systems: An empirical analysis for Germany. *Energy Policy*, 57, 221–233. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.01.045>
- Müller, A. (2015): *Energy Demand Assessment for Space Conditioning and Domestic Hot Water: A Case Study for the Austrian Building Stock*. Wien: Technische Universität Wien.
- Rädiker, S., & Kuckartz, U. (2019). *Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-22095-2>
- Remme, U. (2006): *Zukünftige Rolle erneuerbarer Energien in Deutschland: Sensitivitätsanalysen mit einem linearen Optimierungsmodell*, IER Forschungsberichte, Band 99
- Revelt, D. & Train, K. (1998). Mixed Logit with Repeated Choices: Households' Choices of Appliance Efficiency Level. *The Review of Economics and Statistics*, 80(4), 647–657. <http://www.jstor.org/stable/2646846>
- Robinson, O. C. (2014). Sampling in Interview-Based Qualitative Research: A Theoretical and Practical Guide. *Qualitative Research in Psychology*, 11(1), 25–41 <https://doi.org/10.1080/14780887.2013.801543>
- 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(1), 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.06.00>

- Schlomann, BB.; Steinbach, J.; Kleeberger, H.; Geiger, B.; Pich, A.; Gruber, E.; Mai, M.; Schiller, W.; Gerspacher, A. (2014): Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006. Stuttgart: Fraunhofer-Verlag. Retrieved (<https://portal.dnb.de/opac.htm?method=simpleSearch&cqlMode=true&query=idn%3D1049801253>)
- Schmitt, D. R. (1987). INTERPERSONAL CONTINGENCIES: PERFORMANCE DIFFERENCES AND COST-EFFECTIVENESS. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 48(2), 221–234. <https://doi.org/10.1901/jeab.1987.48-221>
- Senkpiel, C., Dobbins, A., Kockel, C., Steinbach, J., Fahl, U., Wille, F., Globisch, J., Wassermann, S., Droste-Franke, B., Hauser, W., Hofer, C., Nolting, L., Bernath, C. (2020): Integrating Methods and Empirical Findings from Social and Behavioural Sciences into Energy System Models—Motivation and Possible Approaches. In: *Energies* 13, 4951. <https://doi.org/10.3390/en13184951>
- Skinner, B. F. (1981). Selection by Consequences. *Science*, 213(4507), 501–504. <https://doi.org/10.1126/science.7244649>
- Steinbach, J. (2015): Modellbasierte Untersuchung von Politikinstrumenten zur Förderung erneuerbarer Energien und Energieeffizienz im Gebäudebereich. Edited by Fraunhofer ISI. Stuttgart: Fraunhofer Verlag. Retrieved (<https://www.verlag.fraunhofer.de/bookshop/buch/Modellbasierte-Untersuchung-von-Politikinstrumenten-zur-Förderung-erneuerbarer-Energien-und-Energieeffizienz-im-Gebäudebereich/245046>)

A.1 Annex – Modellbeschreibungen

A.1.1 Modellbeschreibung PANDORA⁸

Agenten-basierte Modellierung wird häufig verwendet, um die Auswirkungen von Politikmaßnahmen auf die Verbreitung von Technologien zu analysieren. Solche Modelle können verwendet werden, um die Rolle der sozialen Akzeptanz erneuerbarer Energietechnologien oder -systeme bei der Bewertung von Politiken (Castro, 2020). Weniger Aufmerksamkeit wurde jedoch der Akzeptanz politischer Maßnahmen gewidmet, die den Einsatz erneuerbarer Technologien fördern können. Darüber hinaus berücksichtigen nur wenige ABMs die Dimension der politischen Akzeptanz im Zusammenhang mit Klima und Energie (Konc, 2022).

Analog zur empirischen Datenerhebung und -analyse wurde im Projekt Manifold ein agentenbasiertes Modell entwickelt, um zu untersuchen, wie der gesellschaftliche Akzeptanzprozess in einem agentenbasierten Modell formalisiert werden könnte. Der Modellrahmen umfasst zwei Dimensionen des Akzeptanzprozesses von Akteuren gegenüber einer neu eingeführten Politikmaßnahme: die Einstellungsbildung des einzelnen Akteurs und die Kommunikation innerhalb des sozialen Netzwerks durch den Meinungs austausch über die Wahrnehmung der Politik, die sich auf die Meinungsbildung auswirkt.

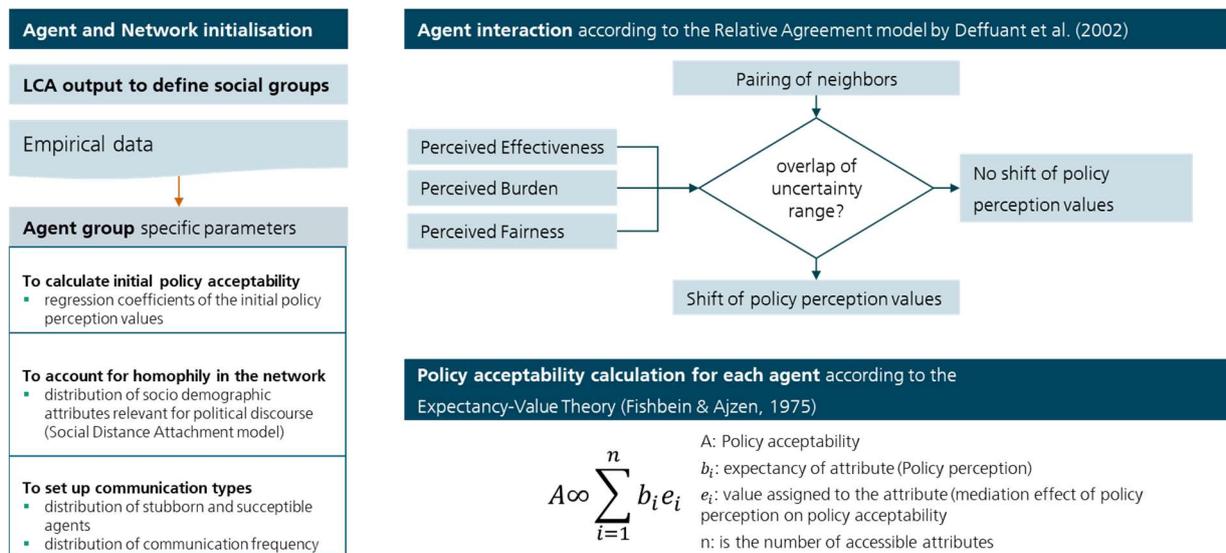
Den Kern des Modells bilden individuelle Agenten, die die statistische Verteilung der Individuen in der deutschen Gesellschaft auf der Grundlage der Ergebnisse der durchgeführten empirischen Erhebung repräsentieren. Ziel des Modells ist es nicht, empirisch beobachtbare Daten zu imitieren, sondern mögliche Pfade aufzudecken, die die gesellschaftliche Akzeptanz einer neu eingeführten Politikmaßnahme unter Berücksichtigung der Effekte eines öffentlichen politischen Diskurses nehmen könnte. Zukünftige Iterationen des Modells werden auch den Einfluss von Medien und sektorrelevanten institutionellen Akteuren einbeziehen. Darüber hinaus ermöglicht das Modell das Testen verschiedener politischer Szenarien im Wärmesektor.

Innerhalb des Projektes wird das Modell PANDORA (Policy Acceptance, Diffusion of Opinions and Relations among Actors) dazu verwendet wie die Dynamik des politischen Akzeptanzprozesses in verschiedenen Politikszenerarien zu untersuchen, die auf den Wärmesektor abzielen. Die politischen Szenarien unterscheiden sich in ihrem Grad an Rigorosität, d.h. sie könnten entweder kohlenstoffarme Heiztechnologien durch die Einführung unterschiedlich hoher Kohlenstoffsteuern unterstützen oder Verbote für fossile Brennstofftechnologien anwenden. Zukünftig könnte der PANDORA-Output mit techno-ökonomischen Modellen kombiniert werden, um die Ungewissheit in Bezug auf die Akzeptanz der öffentlichen Politik zu integrieren.

Jeder einzelne Agent ist eine Repräsentation eines diskreten Individuums mit einer Reihe von Attributen, einer Fähigkeit zur Einstellungsbildung und einem Kommunikationsverhalten. Die Agenten interagieren innerhalb der Modellumgebung, die die Agenten über einen Netzwerkgraphen miteinander verbindet und Zustandsvariablen speichert. Auf der Grundlage ihres Meinungs austauschs mit anderen Agenten im Netzwerk über ihre Wahrnehmungsfaktoren haben sie die Möglichkeit, ihre Einstellung zur Politik zu ändern. Unter der Annahme, dass die Mitglieder jeder sozialen Gruppe eine ähnliche anfängliche Einstellung zu einem politischen Szenario haben, führen die Interaktionen im sozialen Netzwerk im Laufe des Modells zu Veränderungen in der Einstellung der einzelnen Agenten. Einen Überblick über die Modellkomponenten und Modellannahmen zeigt Abbildung 23.

⁸ Quelle: Pröpfer et al. (2023) Konferenzbeitrag auf der Social Simulation Conference Glasgow 2023

Abbildung 23: Struktur des Modells PANDORA



Modellinitialisierung

Zunächst wird das PolitikszENARIO definiert. Anschließend werden die kritischen Parameter für das Modell konfiguriert, wie z. B. die Anzahl der Agenten, die Simulationsschritte, die netzspezifischen Merkmale und die Parameter des Kommunikationsmodells. Jeder einzelne Agent gehört zu einer sozialen Gruppe, die die Anfangswerte der Attribute der Politikwahrnehmung und die gruppenspezifischen Gewichte bestimmt, um die Einstellung des Agenten zu berechnen. Dabei wird davon ausgegangen, dass Mitglieder der gleichen sozialen Gruppe eine ähnliche Einstellungsbildung gegenüber einer Politik aufweisen würden. Die Eigenschaften sozialer Gruppen werden aus einer vorherigen Analyse (Latent Class Analysis) empirischer Daten siehe (2.3.1) unter Verwendung von Regressionskoeffizienten und Verteilungen abgeleitet und beschrieben. Innerhalb jeder Gruppe werden Agenten in drei Kategorien unterteilt, die jeweils eine „extreme“, „moderate“ oder „gemäßigte“ Position im Diskurs einnehmen. Die Verteilungen dieser drei Akteurstypen pro Gruppe werden aus den empirischen Daten ermittelt und als Wahrscheinlichkeiten für die Initialisierung der einzelnen Agenten verwendet. Die Zahl *N* der Akteure ist durch ein soziales Netzwerk verbunden. Die Bildung sozialer Netzwerke und ihre Struktur werden maßgeblich von einem Prinzip beeinflusst, das als Homophilie bekannt ist, einem sozialen Selektionseffekt, der die Entwicklung sozialer Bindungen auf der Grundlage gemeinsamer soziodemografischer Merkmale vorhersagt (McPherson, 2001). Um Homophilie in politischen Diskussionsnetzwerken zu berücksichtigen, verwenden wir ein (heterogenes) Watts-Strogatz-Kleinweltenetzwerk. Zunächst wird das Netzwerk mit Hilfe des Watts-Strogatz Netzwerks initialisiert, bei dem jeder Agent mit seinen *k* nächsten Nachbarn in einer Ringgitterstruktur verbunden ist. Im zweiten Schritt wird das Social Distance Attachment (SDA)-Modell (Boguna, 2004) verwendet, um das Watts-Strogatz-Netzwerk neu zu konfigurieren. Das SDA-Modell ist ein theoretischer Ansatz, der erklärt, wie Individuen auf der Grundlage ihrer sozialen Distanz Beziehungen aufbauen. Dieser Ansatz stellt sicher, dass Agenten mit einer höheren Wahrscheinlichkeit miteinander im Netzwerk verbunden werden, wenn sie ähnliche soziodemografische Faktoren aufweisen, aber trotzdem die Eigenschaften eines Watts-Strogatz-Netzwerks erhalten bleiben.

Kommunikationsprozess und Meinungsformierung

Eine Möglichkeit, die Interaktion und den sozialen Einfluss innerhalb eines sozialen Netzwerks zu beschreiben, ist das Relative Agreement (RA) (Deffuant, 2020). Das RA-Modell versucht, die Meinungsbildung und Konvergenz in einem Netzwerk von Individuen mit unterschiedlichen Meinungen zu simulieren. Im RA-Modell werden die Agenten nach dem Zufallsprinzip für die Interaktion gepaart. Bei jeder Interaktion tauschen beide Agenten ihre Meinungen aus und revidieren sie auf der Grundlage der Meinung des anderen. Bei jeder Interaktion wird ein vorher festgelegter Unsicherheitsbereich als Schwellenwert verwendet. Wenn die Differenz zwischen den Meinungen zweier interagierender Individuen kleiner als ein Schwellenwert ist, nähern sie sich an, was zu einer Konvergenz ihrer Meinungen führt. Ist der Unterschied zwischen den Meinungen der Individuen hingegen größer als der Schwellenwert, kommt es zu keiner Änderung der Meinungen. Eine weitere Annahme im Modell ist, dass Individuen in einem persönlichen Austausch eher dazu neigen, die Gründe für ihre Zustimmung oder Ablehnung einer politischen Maßnahme zu artikulieren, als einfach nur ihre allgemeine Einstellung gegenüber der politischen Maßnahme zu äußern. In PANDORA teilt jeder Agent seine Meinung zu einer politischen Maßnahme mit, die aus den Attributen "Effektivität", "Fairness" und "Persönliche Belastung" (kontinuierliche Werte zwischen -1 und 1) besteht, und vergleicht seine Attribute mit denen seines Gegenübers. Die Hypothese hinter dieser Annahme ist, dass die Akzeptanz der Politik im Wärmesektor durch Attribute der Politikwahrnehmung vermittelt wird. Um eine Verbindung zwischen diesen Attributen der Politikwahrnehmung und der Einstellungsbildung herzustellen, verwenden wir die Expectancy-Value (EV) Theorie (Fishbein u. Ajzen, 1975). Die EV-Theorie ist ein weit verbreitetes psychologisches Erklärungsmodell dafür, wie Individuen Einstellungen gegenüber einem Objekt bilden. Als Ergebnis der Interaktion zwischen den Agenten wird schließlich der Akzeptanzwert jedes Agenten gemäß der Formel der EV-Theorie neu berechnet.

A.1.2 Modellbeschreibung SKIN

Das Modell SKIN (Simulating Knowledge in Innovation Networks)-Energy, das im Projekt verwendet wird, basiert auf dem SKIN-Basismodell von Gilbert et al. (2010). SKIN wurde bereits vielfach im Kontext der Innovationsforschung in Unternehmensnetzwerken angewandt und stellt ein anerkanntes Verfahren in diesem Bereich dar. Mit SKIN-Energy wurde das Modell um einige Funktionalitäten erweitert, um es konkreter auf Technologieinnovationsprozesse anzupassen (vgl. Droste-Franke et al. 2020).

Wissensgenese und Wissensaustausch sind zentrale Elemente von SKIN. In dem agentenbasierten Modell interagieren Agenten mit heterogenen Eigenschaften in einer sich kontinuierlich verändernden Umgebung. Agenten im Modell sind vor allem Firmen und Forschungsinstitutionen, zum Beispiel im Bereich der Entwicklung von Wärmepumpen. Firmen produzieren und verkaufen innovative Güter, wie Wärmepumpen oder deren Vorprodukte. Dazu benötigen sie Wissen und Inputs von anderen Agenten. Dies umfasst Wissen aus Forschung und Entwicklung anderer Firmen und Forschungsinstitute, aber auch praktisches Wissen für eine effiziente Produktion und über benötigte Vorprodukte bzw. Ressourcen. Durch Forschung und Produktionskooperation können Firmen entsprechendes Wissen generieren. So können Wärmepumpen durch den Einsatz neuer Materialien oder eines neuen Designs effizienter gestaltet werden. Forschungsinstitutionen forschen dabei in geförderten Projekten, vermehren so ihr Wissen und tauschen es unter anderem mit Firmen als Projektpartner aus. Findet eine Wärmepumpe keinen Absatz, senkt die Firma den Preis. Das Modell SKIN-Energy enthält zusätzlich zum Basismodell folgende wesentlichen Aspekte, die für typische Fragen im Energiebereich wichtig sind: Zur Darstellung des Wissens wird eine Mengendarstellung verwendet, die Berechnung der Expertise von Agenten und Qualität von Produkten ist wesentlich

verfeinert, Prozesse öffentlicher Förderung von Forschungsprojekten sind abgebildet, Start-up-Prozesse werden differenziert implementiert, große Firmen und Konglomerate sind abbildbar, der Produktraum ist stärker in Richtung Wertschöpfungskette strukturiert, Produktmengen werden modelliert und Produktcharakteristiken sowie Märkte werden spezifisch abgebildet.

Um die Auswirkungen von Maßnahmen auf Struktur und Dynamik von Innovationsnetzwerken zu analysieren, werden diese im Rahmen von Simulationsexperimenten in SKIN implementiert. Maßnahmen können dabei direkt darauf abzielen, bestimmte Funktionalitäten eines Innovationssystems zu verbessern. Eine Maßnahme könnte es zum Beispiel sein, die Zusammenarbeit und Kommunikation entlang der Wertschöpfungskette (zum Beispiel zwischen Wärmepumpenherstellern und den Zulieferern) bzw. quer dazu (zum Beispiel unter bestimmten Zulieferern) und damit den Wissensaustausch zwischen den jeweiligen Akteuren zu verstärken.

A.1.3 Modellbeschreibung INVERT

Methodisch stellt INVERT/EE-Lab ein dem Bottom-up-Ansatz folgendes, techno-ökonomisches Simulationsmodell dar, mit dem Optionen des Energiebedarfs und dessen Deckung für Wärme (Raumwärme und Warmwasser) sowie Klimatisierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden ermittelt und die Auswirkungen verschiedener Förderinstrumente in Jahresschritten abgebildet werden können. Grundlage des Modells ist eine detaillierte Darstellung des Gebäudebestands nach Gebäudetypen, Baualtersklassen und Sanierungszuständen mit relevanten bauphysikalischen und ökonomischen Parametern einschließlich der Technologien zur Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser und Klimatisierung. Darauf aufbauend wird der Heiz- und Kühlenergiebedarf unter Einbeziehung von Nutzerverhalten und Klimadaten ermittelt. Die Investitionsentscheidung in Technologien und Effizienzmaßnahmen wird unter Berücksichtigung von investorenspezifischen Entscheidungskalkülen und Hemmnissen sowie Energieträgerpotenzialen im Modul INVERT-Agents ermittelt (vgl. Kranzl et al. 2013; Müller und Biermayer 2011; Steinbach 2013).

Mit INVERT/EE-Lab ist es möglich, die Auswirkung unterschiedlicher Politikinstrumente und Ausgestaltungsvarianten auf den Ausbau der erneuerbaren Energien im Gebäudebereich in Szenarien zu analysieren. Im Rahmen des laufenden Forschungsprojektes *Diffusion EE* wird das Modell um den Bereich der Intermediäre als zentrale Change Agents erweitert, um den Einfluss auf die Investitionsentscheidung im Gebäudebereich abzubilden.

Für eine realitätsnahe Simulation des Einsatzes erneuerbarer Energien im Gebäudebereich werden unter anderem folgende relevante Zusammenhänge im Modell abgebildet:

Berücksichtigung von investorenspezifischen Hemmnissen und Kalkülen bei der Investitionsentscheidung in Wärmeversorgungssysteme und Effizienzmaßnahmen.

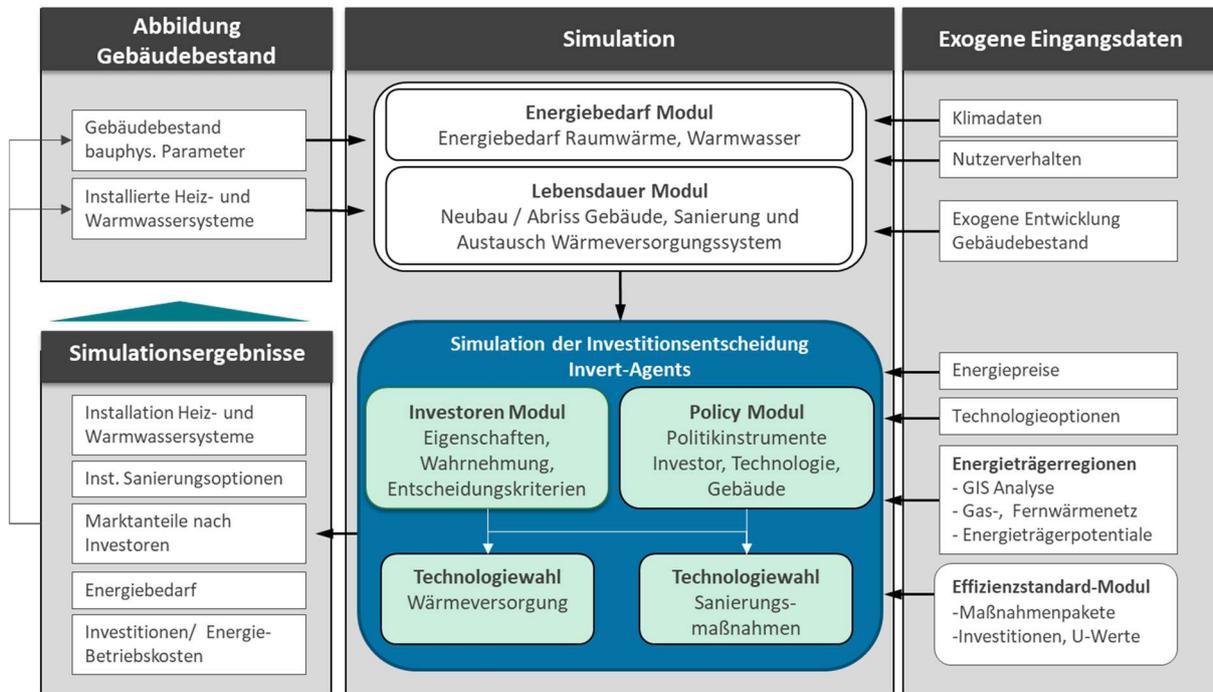
Das Temperaturniveau des Wärmeverteilungssystems wird in der Simulation berücksichtigt, besonders die Interaktion zwischen diesem und den Wirkungsgraden bzw. Arbeitszahlen der Bereitstellungstechnologien. Dies ist in besonderem Maße für eine realitätsnahe Simulation des Einsatzes von Wärmepumpen in älteren Gebäuden von Bedeutung.

Die Modellierung der Energiebereitstellung aus solarthermischen Anlagen erfolgt auf monatlicher Basis unter Berücksichtigung der entsprechenden solaren Einstrahlung. Zudem wird die entsprechend der Geometrie der Referenzgebäude den solarthermischen Anlagen zur Verfügung stehende Dachfläche im Modell berücksichtigt.

Politikinstrumente zur Förderung von EE-Wärme und Effizienzmaßnahmen wie Investitionszuschüsse (Marktanreizprogramm), Nutzungspflichten (EEWärmeG) oder haushaltsunabhängige Umlegesysteme werden technologie- und gebäudespezifisch (Neubau, Bestand, öffentliche Gebäude) definiert.

Darüber hinaus erfolgt eine Berücksichtigung der Limitierung erneuerbarer Energieträger über definierte Kostenpotenziale inklusive deren Entwicklung über den Simulationszeitraum.

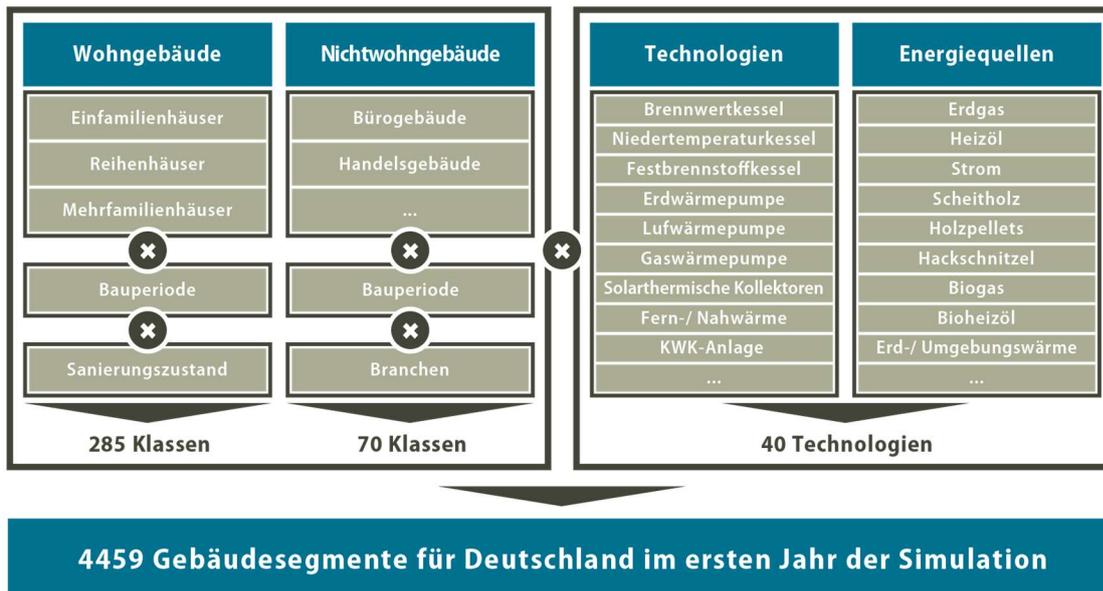
Abbildung 24: Struktur des Simulationsmodells Invert/EE-Lab (Quelle: Steinbach 2015)



Gebäudetypologische Abbildung von Referenzgebäuden und Wärmeversorgungstechnologien

Derzeit werden 40 verschiedene Technologien zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser unterschieden, welche über detaillierte technische und ökonomische Daten abgebildet werden. Die Referenzgebäudetypologie mit den entsprechenden Zuordnungen von Gebäuden und Technologien wird auf Basis der Erhebungen „Datenbasis Wohngebäude“ (Diefenbach et al. 2010) und deren Aktualisierung aus dem Jahr 2018 (Cischinsky und Diefenbach 2018) vorgenommen. Die Gebäudetypologie von Nichtwohngebäuden basiert ursprünglich auf der Studie „Energieverbrauch im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ (Fraunhofer ISI et al. 2013) und wird derzeit mit den Daten aus dem Projekt dataNWG: Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude (<https://www.datanwg.de>) aktualisiert. Der aus der Modellrechnung resultierende Energiebedarf ist auf die temperaturbereinigten Werte der Anwendungsbilanzen sowie der EE-Wärmebereitstellung nach AGEE-Stat kalibriert.

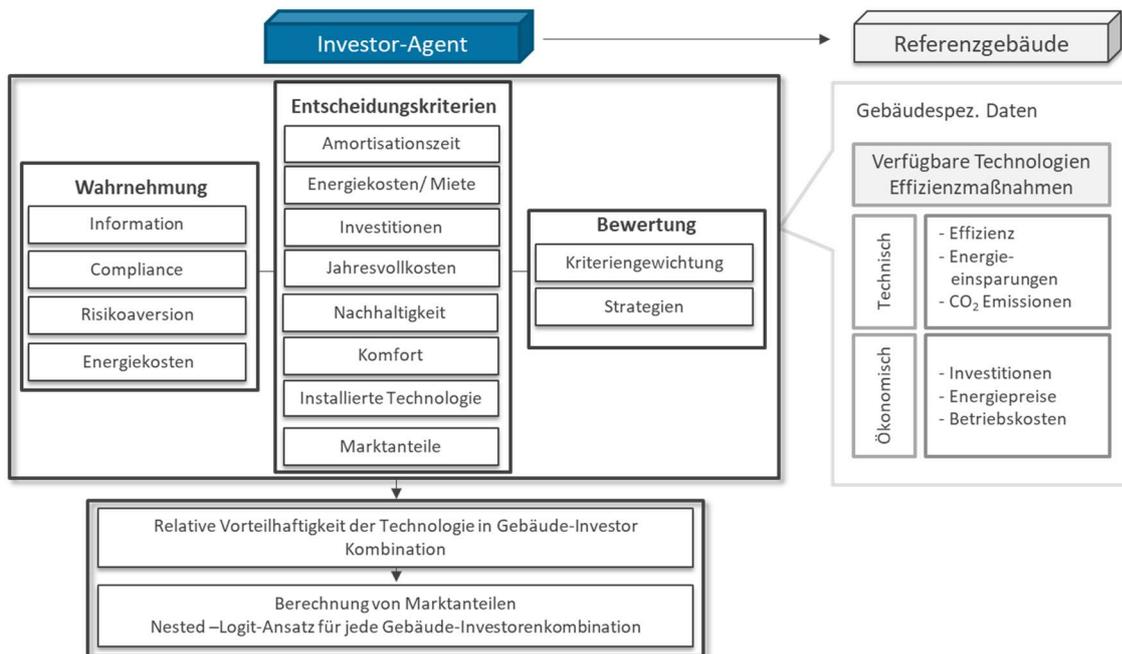
Abbildung 25: Struktur der hinterlegten Gebäudetypologie in Invert/ EE-Lab



Modellierung von Investoren im Gebäudebereich

Im Modell können einzelne Investorentypen implementiert werden, welche den Referenzgebäudesegmenten anteilig als Besitzer zugeordnet werden. Diese Anteile sind zeitabhängig und können somit exogen über den Simulationszeitraum verändert werden. Das Modell erlaubt die Definition beliebig vieler Investorenagenten, welche jeweils Instanzen einer von fünf möglichen Agentenklassen darstellen – *Selbstnutzende Eigentümer*, *Private Vermieter*, *Eigentümergeinschaften*, *Wohnungsbaugesellschaften*, *gewerbliche Gebäudebesitzer*. Als Grundlage der Investitionsentscheidung werden verschiedene ökonomische und nichtökonomische Entscheidungskriterien definiert, die für jede Kombination von Investoren, Referenzgebäudesegmenten und Technologieoptionen individuell ermittelt werden. Die Eigenschaften einer Investoreninstanz werden als Eingangsdaten definiert, womit einerseits die Relevanz unterschiedlicher Entscheidungskriterien über Gewichte bestimmt werden, andererseits auch die Ausprägung der Kriterien beeinflusst werden. Somit wird sowohl die Art der Investitionsentscheidung – Berücksichtigung unterschiedlicher Kriterien – als auch die Wahrnehmung der Technologieoptionen und der damit verbundenen Parameterausprägungen unterschieden. Für jede zur Verfügung stehende Technologieoption werden in jedem Referenzgebäudesegment aus Sicht jeder Investoreninstanz Nutzwerte berechnet, auf deren Basis die Marktanteile mit einem *Nested-Logit-Modell* ermittelt werden.

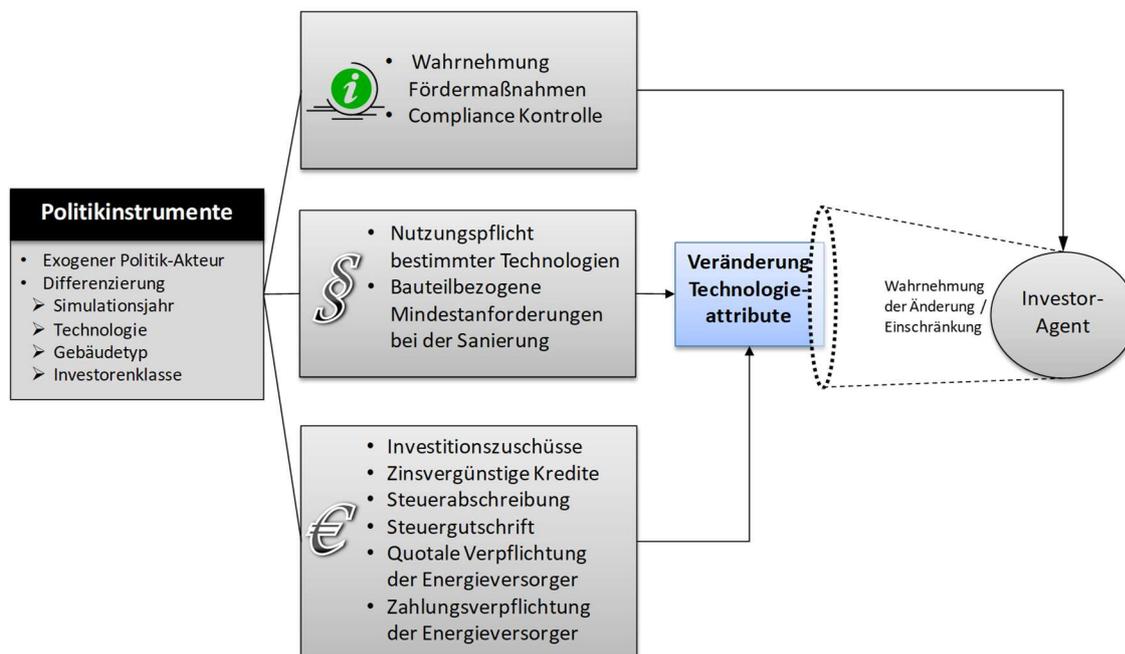
Abbildung 26: Modellierung der Gebäudeeigentümer als Investor-Agenten



Modellierung von Politikinstrumenten

Um die Wirkung der Politikinstrumente auf die Investitionsaktivität in Energieeffizienzmaßnahmen und Wärmeversorgungssysteme zu untersuchen, werden diese explizit im Modell abgebildet. Dies geschieht als integrale Modellierung von Politikinstrumenten und Investoren, die eine aktorenspezifische Untersuchung der Wirkungen der Instrumente ermöglichen sollen.

Abbildung 27: Schematische Darstellung der Modellierung von Politikinstrumente in Invert-Agents (Quelle: Steinbach, 2015)

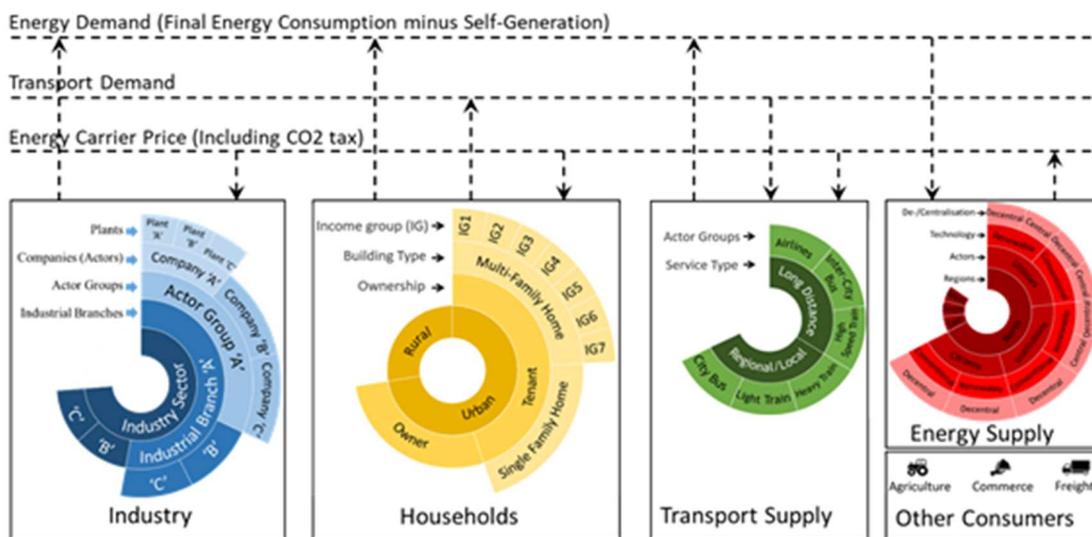


Die Politikinstrumente und deren Ausgestaltung werden zunächst aus Sicht eines Politik-Akteurs für jedes Simulationsjahr exogen definiert. Dabei werden Förder- und Anforderungsbedingungen nach den adressierten Technologien und Maßnahmen sowie den Adressaten – Investorenklassen und Gebäudetypen differenziert. Ordnungsrechtliche und finanzielle Fördermaßnahmen verändern die Attribute der Technologiealternativen oder schränken die Wahlmöglichkeiten durch Nutzungspflichten oder Mindestanforderungen ein. In Abhängigkeit der definierten Investor-Agenten werden diese Veränderungen oder Einschränkungen bei der Investitionsentscheidung berücksichtigt. Ein Investitionszuschuss beispielsweise verändert die relative Vorteilhaftigkeit einer Technologie hinsichtlich des Attributes Investitionen, wobei dies nicht zwangsläufig der wahrgenommenen Attributausprägung eines Investor-Agenten entspricht. Informativische Maßnahmen wiederum wirken indirekt auf die Attribute der Wahlmöglichkeiten, indem die investorenspezifische Wahrnehmung verändert wird.

A.1.4 Modellbeschreibung TAM

Das TIMES-Akteursmodell (TAM) basiert auf dem TIMES-Modellgenerator, beinhaltet aber die detailliertere Charakterisierung der verschiedenen Akteure innerhalb der Angebots- und Nachfragesektoren. TAM verwendet das gleiche Grundkonzept wie TIMES und zielt auf die Ermittlung der wirtschaftlich optimalen Struktur des Energiesystems bei einem vorgegebenen Nutzenergie- bzw. Energiedienstleistungsbedarf und ggf. energie- und umweltpolitischen Vorgaben. Die Komplexität des Modells wird jedoch durch die erhöhte Auflösung der verschiedenen Wirtschaftssektoren des Energiesystems erhöht: Energieversorgung, Industrie, Haushalte und Verkehr, während die restlichen Sektoren weiterhin aggregiert abgebildet sind, wie in Abbildung 26 dargestellt (Ahanchian et al. 2020).

Abbildung 28: Darstellung die abgebildeten Akteursgruppen in TAM (Quelle: Universität Stuttgart – IER)



Um die höhere Sektorauflösung zu ermöglichen, ohne die Rechenzeit des Modells unnötig zu erhöhen, werden die Sektoren in Einzelmodelle aufgeteilt und durch einen Kopplungsmechanismus verbunden, der durch Nachfragen aus den Nachfragesektoren und Preise für Energieträger aus dem Angebotssektor durch einen iterativen Prozess ermöglicht wird. Der TAM-Modellhorizont erstreckt sich von 2013 bis 2060 in jährlicher Auflösung mit 4 Regionen im Angebotssektor sowie jeweils eine Region auf Jahresbasis in den Nachfragesektoren. Die Eingaben in das Modell zielen darauf ab, die Versorgung der Nachfragesektoren mit Energiedienstleistungen zu minimalen globalen Kosten sicherzustellen, indem gleichzeitig Entscheidungen über Anlageninvestitionen und -betrieb, Primärenergieversorgung und Energiehandel für jede Region getroffen werden. Wenn beispielsweise die Energiedienstleistung für die Beleuchtung von Wohngebäuden im Vergleich zum Referenzszenario zunimmt (vielleicht aufgrund eines Rückgangs der Kosten für die Beleuchtung von Wohngebäuden oder aufgrund einer anderen Annahme für das Einkommenswachstum), müssen entweder die vorhandenen Erzeugungsanlagen intensiver genutzt oder neue, möglicherweise effizientere Anlagen installiert werden. Die Auswahl der Erzeugungsanlagen (Typ und Brennstoff) durch das Modell basiert auf der modellintegrierten vergleichenden Analyse der Eigenschaften alternativer Erzeugungstechnologien, auf der Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung und auf Umweltkriterien.

TAM berücksichtigt auch Budgetrestriktionen, die die Investitionen auf das tatsächlich verfügbare Kapital für die definierten Akteursgruppen begrenzt. Diese methodischen Erweiterungen verbessern die Einschätzung der möglichen angebots- und nachfrageseitigen notwendigen Veränderungen. Das entwickelte und angewandte Verfahren der Modellkopplung bietet eine ganzheitliche Sicht auf ein integriertes Energiesystem in seiner Gesamtheit mit einer verbesserten Darstellung der Akteure, womit anwendbare innovative Lösungen zur Reduktion der Treibhausgas-(THG)Emissionen erarbeitet werden können, die für die verschiedenen Akteure innerhalb der verschiedenen Sektoren relevant sind. Die Methodik eignet sich auch dazu, die Herausforderungen bei der politischen Koordination zwischen ähnlichen Akteuren zu bewältigen und die Konsistenz bei der Modellanwendung zur Definition CO₂-armer Transformationspfade zu erhöhen. Hiermit können die Akteure unter Berücksichtigung ihrer nichttechnischen Entscheidungskriterien gezielter bezüglich der Investitionsentscheidungen angesprochen werden, was die Kostenwirksamkeit bei der Erreichung der Ziele der Energiewende deutlich steigern kann.

A.1.5 Modellbeschreibung ENERTILE

Das Modell ENERTILE ist ein am Fraunhofer ISI entwickeltes techno-ökonomisches Modell zur detaillierten Optimierung des Stromsystems und basiert auf der Methodik der linearen Optimierung. Das Modell konzentriert sich auf den Stromsektor, deckt aber auch die Wechselwirkungen mit anderen Sektoren (z. B. Wärme und Verkehr) ab. Es wird primär für Szenariostudien eingesetzt, um kostenminimale Entwicklungspfade zu ermitteln. Ein Fokus liegt auf der Analyse von Chancen und Herausforderungen bei steigenden Anteilen erneuerbarer Energien. Zur Integration erneuerbarer Energien wird zusätzliche Flexibilität innerhalb des Stromsektors oder auch eine stärkere Verknüpfung mit anderen Sektoren genutzt.

In Stromversorgungssystemen mit hohen Anteilen fluktuierender Erzeugung beeinflusst die Stochastik wetterabhängiger Wind- und Solarstromerzeugung die Auslegung des Systems signifikant. ENERTILE besitzt daher eine stündliche Auflösung und berechnet den kostenminimalen Erzeugungs- und Infrastrukturmix zu exogenen Strom- und Wärmenachfragen. Dazu wird sowohl der Ausbau als auch der Einsatz der fossilen und erneuerbaren Strom- und Wärmeerzeuger, der Stromnetze und der Energiespeicher optimiert. Der hohe Detailgrad in der Darstellung der erneuerbaren Energien ist eine zentrale Stärke des Modells.

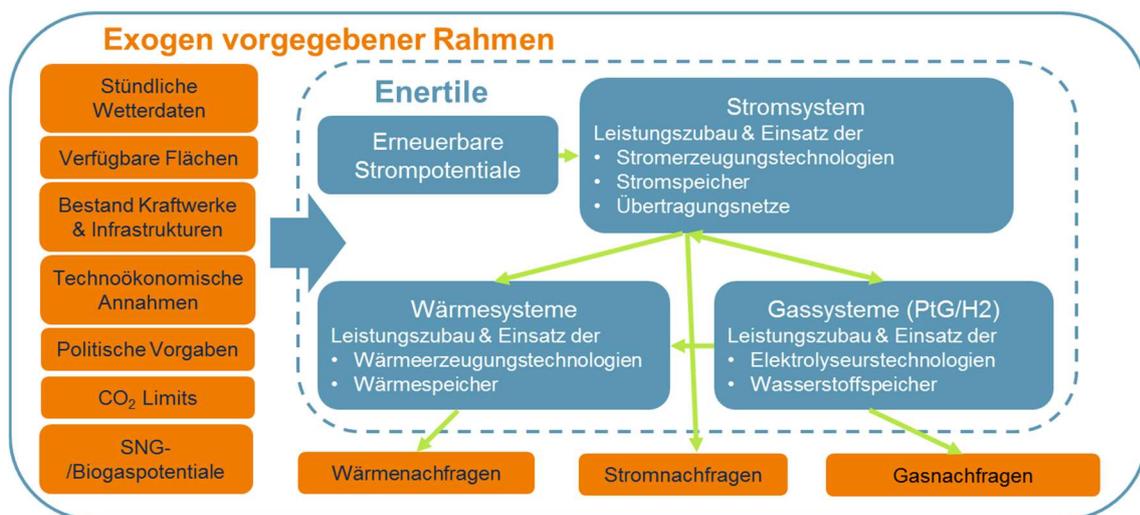
Zu den derzeit modellierten Regionen gehören die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union, das Vereinigte Königreich, die Schweiz, Norwegen, der Balkan und die Staaten der MENA-Region (Mittlerer Osten und Nordafrika). Die regionale Auflösung unterscheidet sich nach den betrachteten Aspekten. Während die Potenziale erneuerbarer Energien auf einem sehr feinen Flächengitter über die gesamte modellierte Region abgebildet werden, werden andere Aspekte, wie beispielsweise Energienachfragen, auf größere, zusammenhängende Modellregionen aggregiert, die sich an Netzengpässen im Stromübertragungsnetz und den Nationalstaaten orientieren. Innerhalb einer Modellregion findet innerhalb eines Modelllaufs keine weitere regionale Differenzierung statt.

Das lineare Optimierungsproblem wird typischerweise für die Stützjahre 2030, 2040, und 2050 in stündlicher Auflösung aufgestellt und gelöst. Dabei werden der Ausbau und der Einsatz der Infrastrukturen über alle Stützjahre unter perfekter Voraussicht in einem einzigen Modelllauf gemeinsam optimiert. Dies bedeutet, dass das Modell die Folgen einer Entscheidung im Jahr 2030 in den Folgestützjahren berücksichtigen muss. So wird gewährleistet, dass die Wechselwirkungen und Komplementaritäten zwischen Systemkomponenten voll erfasst werden und der für den gesamten Zeitraum kostenminimale Erzeugungs-, Übertragungs- und Speichermix bestimmt wird.

Die Deckung der exogenen und endogenen Nachfragen nach Strom, Wärme in Wärmenetzen und erneuerbaren Gasen in jeder Stunde eines Jahres wird über die zentralen Nebenbedingungen der Optimierung sichergestellt. Für jede Modellregion und jeden betrachteten Energieträger wird eine stundenscharfe Bilanzgleichung aufgestellt, die ausgeglichen sein muss. So müssen beispielsweise Stromangebot und -nachfrage für eine modellierte Region in jeder Stunde synchronisiert sein. Sektorenkopplungsoptionen, Energiespeicher und Netze schaffen Verbindungen zwischen einzelnen Bilanzgleichungen. Sektorenkopplungstechnologien wie beispielsweise Elektroheizkessel gehen mit unterschiedlichen Vorzeichen in der Strom- und Wärmebilanzgleichung einer Region in einer bestimmten Stunde ein. Speicher schaffen intertemporale Verbindungen zwischen den Bilanzgleichungen eines Energieträgers für unterschiedliche Stunden. Übertragungsstromnetze werden durch die Verknüpfung der Strombilanzräume unterschiedlicher Regionen für einen Zeitpunkt realisiert. Somit kann ENERTILE im Rahmen der Optimierung ein sehr detailliertes Abbild der gegenseitigen Abhängigkeiten bei der Optimierung des gesamten angebotsseitigen Energiesystems liefern.

Die Modellierung des Wärmesektors in ENERTILE umfasst dezentrale Wärmepumpen sowie Wärmenetze mit multivalenter Wärmeerzeugung. Der durch Wärmepumpen und in Wärmenetzen gedeckte Wärmebedarf wird exogen vorgegeben. Diese Vorgaben basieren beispielsweise auf Ergebnissen des Modells Invert/EE-Lab. Ein dezentrales Wärmepumpensystem besteht aus einem Gebäude mit einem definierten Wärmebedarf, einer Wärmepumpe und einem Wärmespeicher. Die Deckung der Stromnachfrage ist ebenso wie die Verlagerung der Stromnachfrage der Wärmepumpen mithilfe des Wärmespeichers Teil des Optimierungsproblems. Für die Deckung des Wärmebedarfs in Wärmenetzen stehen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK), Gaskessel, Elektrokessel, Großwärmepumpen und Wärmespeicher zur Verfügung. Die Investition und der Einsatz der Wärmeerzeugungstechnologien in Wärmenetzen ist direkt in die Systemoptimierung integriert.

Abbildung 29: Modellrahmen ENERTILE (Quelle: Fraunhofer ISI)



A.1.6 Modellbeschreibung REMOD

Untersuchungsschwerpunkte:

- Kostentoptimierte strukturelle Entwicklungen treibhausgasneutraler nationaler Energiesysteme
- Zukünftige jahresscharfe Ausbaupfade von Technologien sowie Marktanteil- und Technologietrends
- Technologiespezifische Betriebsführungsstrategien basierend auf der Interaktion sektor-kopplender Technologien
- Einfluss und Sinnhaftigkeit von Sektorkopplungstechnologien wie z.B. Elektrofahrzeuge, Elektrolyseuren oder elektrische Wärmepumpen im Gesamtsystemkontext

Hintergrund und Modellanwendung

Um die gesetzten Klimaschutzziele zu erreichen, hat die Bundesregierung die fundamentale Umgestaltung des Energiesystems beschlossen. Eine grundlegende Restrukturierung des heutigen Energiesystems ist somit unausweichlich. Wie und mit welchen Auswirkungen diese Umstrukturierung erfolgt, ist Gegenstand der Analysen mit dem Energiesystemmodell REMod:

Wie kann eine kostenoptimale Transformation eines nationalen Energiesystems - unter Berücksichtigung aller Energieträger und Verbrauchersektoren - im Einklang mit den erklärten Klimazielen und der Gewährleistung einer sicheren Energieversorgung erreicht werden? Aufgrund der individuell anpassbaren Durchführung von Szenario-basierten Simulationen, ist das Modell REMod

zur Beantwortung spezifischer Fragen zur Transformation nationaler Energiesysteme bestens geeignet. In wiederholter Zusammenarbeit mit Bundes- und Landesministerien, internationalen Forschungseinrichtungen und vor allem durch den engen Austausch mit Industriekunden wurde die Anwendbarkeit als strategisches Beratungs-Tool bewiesen und das Modell fortlaufend weiterentwickelt.

Modelleigenschaften:

Die Grundfunktionalität des Modells REMod beruht auf einer kostenbasierten (nicht-linearen) Optimierung nationaler Energieversorgungssysteme, deren energiebedingte CO₂-Emissionen einen vorgegebenen Zielwert und/oder Zielpfad nicht überschreiten. Das Optimierungsziel besteht darin, alle Generatoren, Speicher, Konverter und Verbraucher zu minimalen Kosten so zu dimensionieren, dass die Energiebilanz des Gesamtsystems zu jeder Stunde erfüllt wird. Jede Technologieeigenschaft kann hierbei in beliebiger Detailtiefe abgebildet werden. So können z.B. verschiedene Ladestrategien für batterie-elektrische Fahrzeuge oder die Interaktion von thermischen Speichern und unterschiedlichster Heizungssysteme realitätsnah abgebildet werden. Im Model wird somit neben der ökologischen Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit auch die Versorgungssicherheit durch eine hohe technische Detailtiefe sowie zeitliche Auflösung, die Energiebedarf und -nachfrage zu jeder Stunde über das gesamte Jahr hinweg in Einklang bringt, berücksichtigt. Ebenso können durch einen Mehr-Knoten-Ansatz unterschiedliche Regionen in dem Betrachtungsraum abgebildet und deren Interaktion untereinander untersucht werden, wodurch Rückschlüsse auf Infrastrukturmaßnahmen möglich sind.

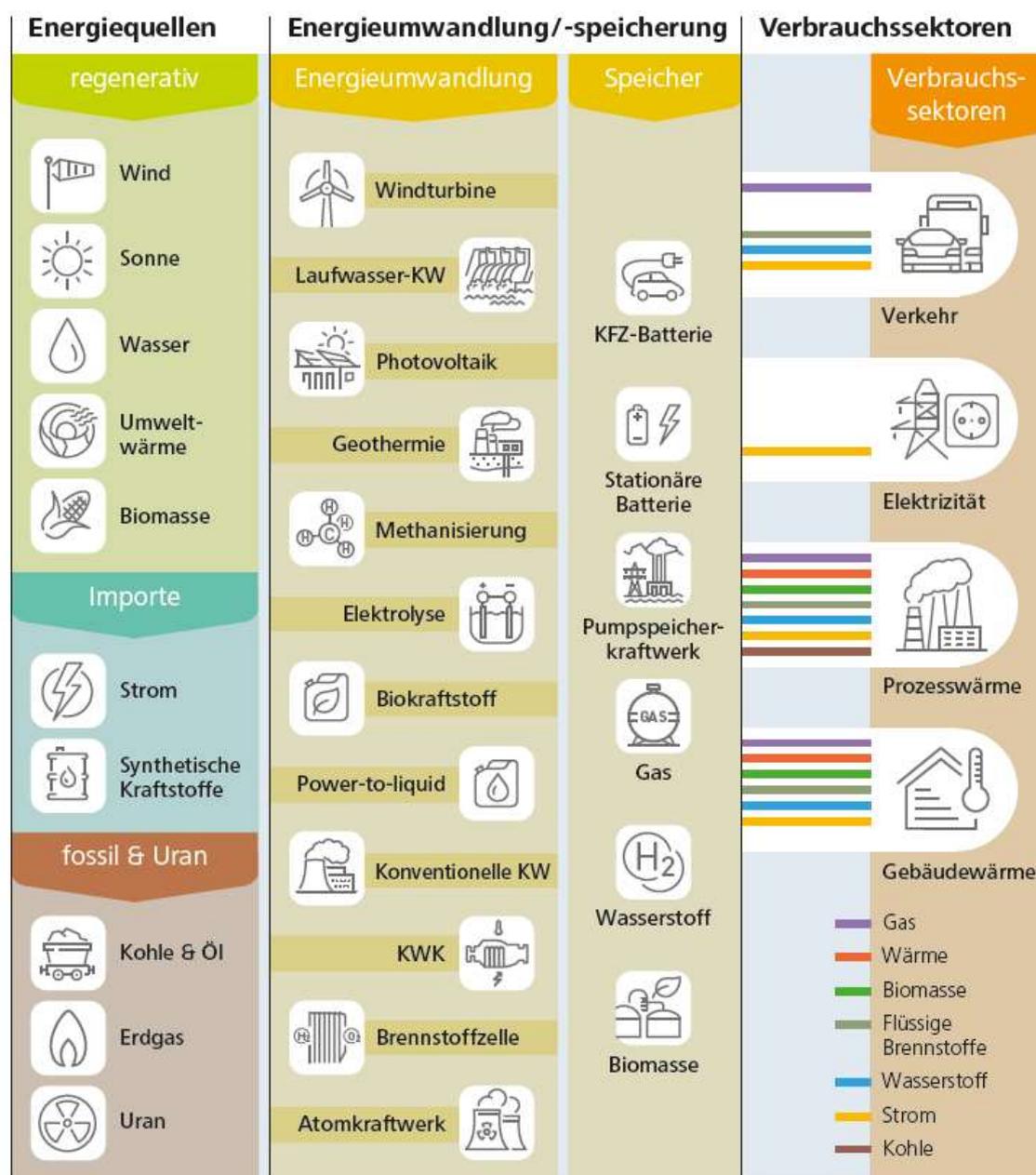
Merkmale des Modells:

- Technischer Fokus: Beschreibung des Zusammenspiels der Energiesektoren Strom, Wärme, Mobilität und Industrie auf dem Transformationspfad bis 2045
- Ziel: Ermittlung der kostenoptimalen Umgestaltung des deutschen Energiesystems bis 2045 und Erreichung der festgelegten Reduktion von Treibhausgasemissionen.
- Typ des Energiesystemmodells: Technisches, Bottom-up Energiesystemmodell mit dynamischer, nicht-linearer Optimierung der Erweiterungsplanung
- Geographische Abdeckung: national (z.B. Deutschland) und regional möglich (z.B. Bundesländer)
- Zeitliche Auflösung: stündliche von 2020 (Kalibrierung) bis 2050
- Alle Sektoren: Nachfrage, Erzeugung, Speicherung, Energieumwandlung, Nachfragesteuerung sowie Infrastrukturen
- Rahmenbedingungen: Einhaltung einer festgelegten Reduktion von Treibhausgasemissionen (Budget und/oder jahresscharf)
- Umgang mit Unsicherheit: Sensitivitätsanalysen z.B. verschiedene Szenarioberechnungen
- Programmiersprache: julia / Python, Solver: Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy (CMA-ES)

Abbildung 30 zeigt den schematischen Aufbau des abgebildeten Energiesystems. Die Energienachfrageseite (rechts) wird dabei in vier Nutzungsbereiche unterteilt: Verkehr, Strom, Niedertemperatur- und Prozesswärme. In den Rechnungen wird das sogenannte „Ein-Knoten-Modell“ oder „Kupferplatten-Modell“ angenommen, in dem die Verteilung von Strom keinen Restriktionen unterliegt, das heißt, dass jede erzeugte und jede nachgefragte Einheit Strom im betrachteten Zeitschritt in ganz Deutschland verfügbar ist. Die notwendigen Kosten für Ausbau bzw. Betrieb des Stromnetzes sind in der Kostenrechnung enthalten.

Eine ausführliche Liste der Referenzen ist [hier](#) zu finden.

Abbildung 30: Schematische Darstellung des in REMod-D abgebildeten Energiesystems ohne die Darstellung der Subsysteme für Wärmeversorgung von Gebäuden und Verkehr (Quelle: Fraunhofer ISE)



A.1.7 Modellbeschreibung TIMES

Das Energiesystemmodell TIMES (The Integrated Market Eform System) ist eine in GAMS geschriebene Weiterentwicklung der beiden Modellgeneratoren MARKAL und EFOM-ENV. TIMES wurde in den letzten Jahren im Rahmen des „Energy Technology Systems Analysis Programme“ (ETSAP) der IEA unter Mitwirkung des IER entwickelt. Es ist somit in eine Klasse mit den Modellen MARKAL, EFOM oder MESSAGE einzuordnen. Der Modellgenerator TIMES wurde aus Gründen der Portierbarkeit in der allgemeinen Modellierungssprache GAMS entwickelt. TIMES ist ein mehrperiodisches,

lineares Optimierungsmodell, das auf einem prozesstechnischen Ansatz basiert, bei dem einzelne Anlagen im Energiesystem aggregiert abgebildet werden.

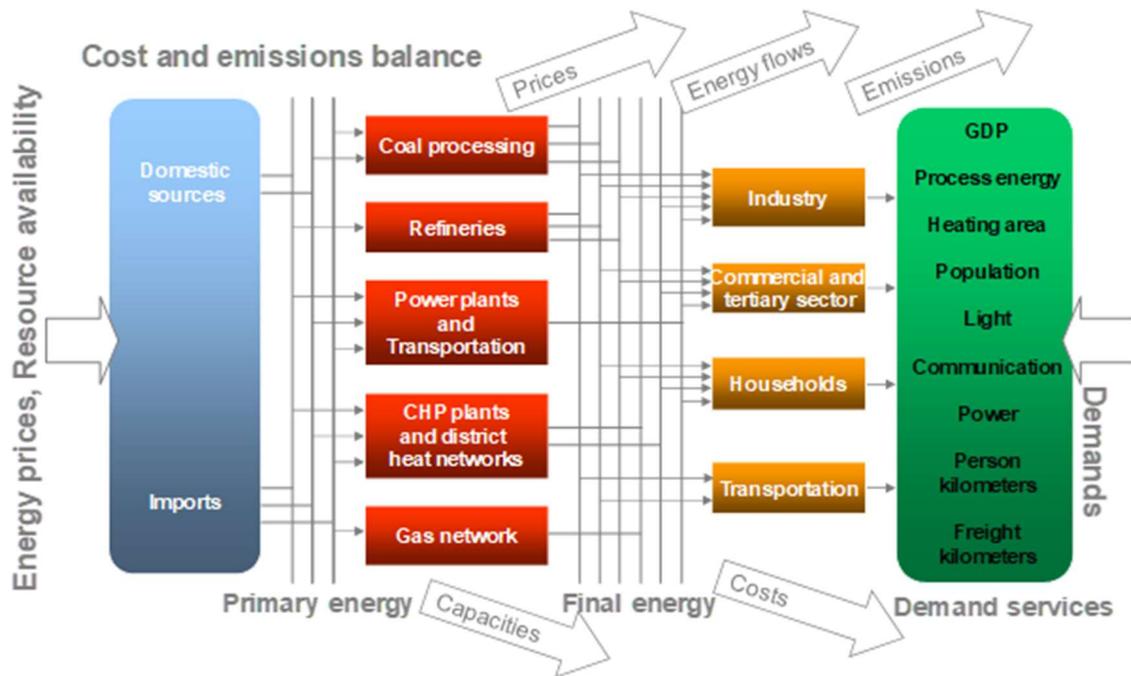
Ziel ist die Ermittlung der wirtschaftlich optimalen Struktur des Energiesystems bei einem vorzuziehenden Nutzenergie- bzw. Energiedienstleistungsbedarf und ggf. energie- und umweltpolitischen Vorgaben. Hierzu erfolgt eine Minimierung der diskontierten Aufwendungen des Energiesystems, wobei jedoch die einzelnen Akteure (Haushalte, Industrie, Energieversorgung) unterschiedliche wirtschaftliche Kalküle haben können. Vorrangige Zielsetzung der Modellentwicklung von TIMES ist die flexible Struktur, um eine einfache Anpassung der mathematischen Modellformulierung an die jeweilige Problemstellung zu gewährleisten.

TIMES-D ist ein Energiesystemmodell für Deutschland, in dem das deutsche Energiesystem mit seinen Strukturen und Wechselwirkungen detailliert abgebildet wird. Das Modell TIMES-D wurde ursprünglich im Rahmen der Dissertation von Remme 2006 entwickelt und wurde seitdem kontinuierlich am IER weiterentwickelt (zum Beispiel von Fais 2015, Haasz 2017) und für zahlreiche, vor allem nationale Projekte eingesetzt, unter anderem für die Energieprognose 2009 im Auftrag des BMWi. Modelliert sind die Energieflüsse von der Primärenergiebereitstellung bis zur Energiedienstleistung. Insgesamt sind knapp 2.700 Prozesstypen erfasst.

TIMES-D umfasst den Modellhorizont von 2015 bis 2050 und bildet sowohl Energieflüsse als auch (energie- und prozessbedingte) Treibhausgas- und Schadstoffemissionen ab. Zur Erfassung der zeitlichen Struktur der Energienachfrage und des Angebotes, insbesondere bei den erneuerbaren Energien, ist das Modell pro Meilensteinjahr in 672 Zeitsegmente untergliedert. Innerhalb des Modells sind alle Angebots- und Nachfragesektoren des Energiesystems erfasst. Dazu zählen die Ressourcenbereitstellung, die öffentliche Strom- und Wärmeversorgung sowie die Nachfragesektoren Industrie, Haushalte, Verkehr, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Landwirtschaft. Zwischen den einzelnen Sektoren bzw. zwischen den verschiedenen Technologien und Energieumwandlungspfaden ist ein vollständiger Wettbewerb unterstellt. Diese Sektoren sind detailliert und technologieorientiert mit den jeweiligen sektorspezifischen Besonderheiten abgebildet. Dazu zählen unter anderem Sterbekurven des Kraftwerksparks oder Potenziale für erneuerbare Energien sowie Einsparpotenziale im Gebäudebestand. Als nationales Modell für Deutschland wird TIMES-D bezüglich der Importe und Exporte von Energieträgern über Import- und Exportpreisannahmen geschlossen, die teilweise in Potenzialstufen weiter untergliedert sind.

Als optimierendes Energiesystemmodell können mit TIMES-D sehr einfach Szenarien mit Begrenzungen simuliert werden, seien es Obergrenzen für das Niveau des Primärenergieverbrauchs oder für die Treibhausgasemissionen oder Mindestanteile am Primär-, am Bruttoendenergie- oder am Endenergieverbrauch, zum Beispiel der erneuerbaren Energien. Somit kann mit einem Modelllauf analysiert werden, welche Strukturen sich im Energiesystem einstellen würden, um die Begrenzungen einhalten zu können, wobei die Wechselwirkungen im Energiesystem, zum Beispiel zwischen Stromnachfrage und -angebot, integriert berücksichtigt werden.

Abbildung 31: Optimierendes Energiesystemmodell TIMES-D



A.2 Annex

A.2.1 Interviewleitfaden der qualitativen Interviews potentieller Adopter*innen

Interviewleitfaden Manifold - Haushalte

Datum: _____ Interviewer(in): _____

Ort: _____ VP_Haushalt_Nummer: _____

Begrüßung und Vorstellung

Guten Tag Herr / Frau <Name>.

Ich bin <Name>

Ich arbeite in der Abteilung Methodenlehre und Biopsychologie des Instituts für Psychologie an der Technischen Universität Braunschweig und wir werden heute gemeinsam das Interview durchführen.

Die Dauer des Interviews beträgt etwa eine bis anderthalb Stunden.

Haben Sie sich so eingerichtet, dass Sie für diese Zeit ausreichend Ruhe haben, sich wohl fühlen und vielleicht einen Schluck Wasser parat haben?

Organisatorisches (Chat in Webex-Meeting Dokument nutzen)

Haben Sie die Allgemeinen Informationen für Teilnehmer und Teilnehmerinnen bekommen?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> In den Chat gestellt
Haben Sie noch Fragen zu den Allgemeinen Informationen für Teilnehmer und Teilnehmerinnen?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Fragen beantwortet
Haben Sie die Einwilligungserklärung bekommen?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> In den Chat gestellt
Haben Sie noch Fragen zur Einwilligungserklärung?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Fragen beantwortet
Dann würde ich Sie bitten, sich mit der Einwilligungserklärung einverstanden zu erklären.	<input type="checkbox"/> Einverständnis zur Einwilligungserklärung wurde gegeben		
Erklären Sie sich mit einer künftigen Kontaktaufnahme einverstanden?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	
Sind Sie daran interessiert etwas über die Ergebnisse der Studie zu erfahren?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	
Erklären Sie sich bereit, dass eine Bild- oder Tonaufnahme gemacht wird?	<input type="checkbox"/> nur Ton	<input type="checkbox"/> Ton- und Bild	
Haben Sie noch Fragen?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Fragen beantwortet

Ok, dann schalte ich jetzt das Aufnahmegerät an.

Leitfaden-Interview

Das Thema mit dem wir uns beschäftigen ist, welche Erfahrungen Sie bei der Auswahl Ihres neuen Heizsystems gerade machen bzw. welche Erfahrungen Sie beim Kauf Ihres neuen Heizsystems kürzlich gemacht haben und welche Rolle dabei Ihr Heizungsinstallateur(in) bzw. Fachhandwerker(in) gespielt hat.

Technisches System

Was für ein Heizsystem haben Sie gekauft bzw. ausgewählt? Wie lange ist es schon installiert? Benutzen Sie es zusammen mit anderen Heizsystemen?

Haben Sie renoviert / saniert oder neu gebaut?

Leitfragen Kontextbeschränkungen

Wer hat alles Mitspracherecht dabei welche Heiztechnologie Sie kaufen? (sozial-Beziehungen: Nachbarn, Familienmitglieder, Freunde... und sozial-Institutionen: Regulierungen, Standardisierungen, Anreizprogramme, Fachhandwerker(innen), Energieberater(innen)...)

Wie haben Sie Ihre(n) Installateur(in) ausgewählt?

Wie viel Zeit (in Stunden) hatten / haben Sie für den Kauf des Heizsystems zur Verfügung? Wie viel für Wartungsaufgaben / Instandhaltung?

Wie viel Geld hatten / haben Sie für den Kauf des Heizsystems zur Verfügung? Wie viel für monatliche Heizkosten?

Leitfragen Antezedens

Kontingenz-
geschichte Bevor Sie sich für Ihre neues Heizsystem entschieden haben, wie haben Sie bisher geheizt in Ihrem Wohnumfeld bzw. sich warmgehalten oder abgekühlt?
(Alternative Wärmeregulationsverhaltensweisen; Aufwand und Dauer der Anwendung der bisherigen Heiztechnologie)

Verbalverhalten
– andere Während der Auswahl des Heizsystems, was haben andere Personen darüber zu Ihnen gesagt? Und in welcher Form? Wie haben Sie darauf reagiert?

(Ratschläge, Regeln, Instruktionen...)

Verbalverhalten – selbst	Wem und was haben Sie anderen während des Auswahl Ihres Heizsystems darüber gesagt? Wie reagieren diese darauf?
Verbalverhalten – Installateur(in)	Was hat Ihr(e) Installateur(in) während des Auswahlprozesses und der Installation (Beratung) zu Ihnen gesagt? Was war Ihnen besonders wichtig in der Interaktion?
Beobachtetes Verhalten	Was haben Sie im Vorfeld der Entscheidung ein neues Heizsystem zu kaufen bei anderen (z.B. Familienmitglieder, Freunde, Nachbarn etc.) in Bezug auf ihr Heizverhalten beobachten können?
Diskriminative Hinweisreize	Was sind Änderungen, die Sie in ihrer Umgebung vor der Auswahl des neuen Heizsystems wahrgenommen haben? (z.B. Heizung kaputt gegangen, starker Anstieg der Heizkosten etc.)
Leitfragen Auswahl	
Operant – Auswahl	Wie sind Sie bei der Auswahl des Heizsystems vorgegangen? Was haben Sie gemacht?
Operant – Auswahl – Zeit	Wie lang (in Wochen / Monaten) war der Zeitraum, den der Auswahlprozess in Anspruch genommen haben? Wie viel Zeit (in Stunden) haben Sie im Schnitt in der Woche auf die Wahl des Heizsystems verwandt?
Operant – Interaktion – Installateur(in)	Wie viel Zeit (in Stunden) haben Sie insgesamt während des Auswahlprozesses und auf die Interaktion mit dem (der) Installateur(in) verwandt?

Kontingenzen – Auswahl Was sind Änderungen, die Sie in ihrer Umgebung während der Auswahl des neuen Heizsystems wahrgenommen haben?

Wie haben sich diese Konsequenzen in Ihren Regelmäßigkeiten / Abläufen geändert?

Wie wichtig sind Ihnen die verschiedenen Konsequenzen?

- Interaktion Installateur(in) Wie hängen diese Konsequenzen mit dem Verhalten des (der) Installateurs(in) zusammen? (kooperativ oder kompetitiv?)

- Interaktion – andere Wie hängen diese Konsequenzen mit dem Verhalten anderer Personen zusammen? (kooperativ oder kompetitiv?)

Leitfragen Kauf (optional)

Operant – Kauf Wie sind Sie beim Kauf des Heizsystems vorgegangen? Was haben Sie gemacht?

Operant – Kauf – Zeit Wie lang (in Wochen / Monaten) war der Zeitraum, den der Kauf in Anspruch genommen haben?

Wie viel Zeit (in Stunden) haben Sie im Schnitt in der Woche auf den Kauf des Heizsystems verwandt?

Operant – Interaktion – Installateur(in) Wie viel Zeit (in Stunden) haben Sie insgesamt während des Kaufes auf die Interaktion mit dem (der) Installateur(in) verwandt?

Kontingenzen – Kauf Was sind Änderungen, die Sie in ihrer Umgebung nach dem Kauf des neuen Heizsystems wahrgenommen haben? (z.B. weniger Geld für andere Aktivitäten)

Was waren andere Konsequenzen, die neu hinzugekommen sind oder sich geändert haben durch den Kauf /die Wahl des neuen Heizsystems?

Wie haben sich diese Konsequenzen in Ihren Regelmäßigkeiten / Abläufen geändert?

Wie wichtig sind Ihnen die verschiedenen Konsequenzen?

- Interaktion – Installateur(in) Wie hängen diese Konsequenzen mit dem Verhalten des (der) Installateurs(in) zusammen? (kooperativ oder kompetitiv?)

- Interaktion – andere Wie hängen diese Konsequenzen mit dem Verhalten anderer Personen zusammen? (kooperativ oder kompetitiv?)

Leitfragen Nutzung (optional)

Operant – Nutzung Wie nutzen Sie Ihr neues Heizsystem zur Wärmeregulation? Gibt es neue Verhaltensweisen bzw. Dinge, die Sie vorher nicht gemacht haben? (z.B. in Bezug auf die Art wie Sie die Wärme regulieren - mehr Räume heizen, höhere Thermostateinstellung, längere Heizperiode, dauerheizen, überwachen von Smart-meter Anzeige etc.)

Kontingenzen – Nutzung Was sind Änderungen, die Sie in Ihrer Umgebung jetzt während der Nutzungsphase des neuen Heizsystems wahrnehmen?

Wie haben sich diese in Ihren Regelmäßigkeiten verändert (z.B. Änderungen alternativer Wärmeregulationsverhaltensweisen)

Wie wichtig sind Ihnen die verschiedenen Konsequenzen?

- Interaktion – Installateur(in) Wie hängen diese Konsequenzen mit dem Verhalten des (der) Installateurs(in) zusammen? (kooperativ oder kompetitiv?)

- Interaktion – andere Wie hängen diese Konsequenzen mit dem Verhalten anderer Personen zusammen? (kooperativ oder kompetitiv?)

Leitfragen verbale Kontingenzen Auswahl, Kauf, Nutzung

Kontingenzen – verbal Was haben Sie an Änderungen nach dem Treffen der Auswahlentscheidung / nach dem Kauf wahrgenommen in Gesprächen mit anderen über Heizsysteme? (Nachbarn, Familie, Partner, Freunde, Bekannte, Internetforen). Wie haben Sie Ratschläge, Hinweise oder Anweisungen bekommen? Oder selber gegeben?

Kontingenzen – verbal Wie haben sich die Themen und deren Häufigkeit oder Regelmäßigkeit geändert?

Leitfragen Bewertung

Bewertung Welche Konsequenzen oder Aspekte bei der Auswahl und / oder dem Kauf eines Heizsystems müssten sich ändern, um eine hoch innovative, kaum erprobte umweltfreundliche bzw. CO2- emissionsarme Technologie zu kaufen?

Pile-sort Task

Aufbau

Der/ die Versuchsleiter/-in teilt den Bildschirm im Videokonferenztool mit Blick auf ein online Whiteboard. Der Teilnehmer oder die Teilnehmerin wird gebeten, einem Link zu diesem Browser basierten Whiteboard (miro¹) zu folgen. Dort kann anonymisiert die Pile-sort Aufgabe erledigt werden.

Instruktion Sortieren

Im oberen, grünen Bereich sehen Sie verschiedene Aspekte, die beim Kauf von innovativen Heiztechnologien eine Rolle spielen können. Bitte sortieren Sie diese Aspekte hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit in Stapel, die für Sie zusammengehören. Wenn Sie einen Notizzettel in mehrere Stapel sortieren möchten, dann können Sie das. Ich kopiere dann den Notizzettel und Sie können ihn einsortieren.

Mögliche Nachfrage: „Was heißt zusammengehören?“

Antwort: „Mich interessiert hier wirklich sehr, was Sie denken, welche Aspekte zusammengehören und es gibt keine richtigen oder falschen Antworten“.

Mögliche Nachfrage: „Wie viele Stapel soll ich machen?“

Antwort: „Sie können so viele Stapel machen, wie Sie möchten, aber Sie dürfen nicht alles in einen Stapel sortieren und nicht jeden Notizzettel als eigenen Stapel machen.“

Beispiel Materialanordnung in miro

(Notizzettel können per drag-and-drop bewegt werden)

Im oberen, grünen Bereich sehen Sie verschiedene Aspekte, die beim Kauf von innovativen Heiztechnologien eine Rolle spielen können. Bitte sortieren Sie diese Aspekte hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit in Stapel, die für Sie zusammengehören. Wenn Sie einen Notizzettel in mehrere Stapel sortieren möchten, dann können Sie das. Ich kopiere dann den Notizzettel und Sie können ihn einsortieren.



¹ Information der Technischen Universität Braunschweig zu miro (abgerufen von <https://www.tu-braunschweig.de/lehreundmedienbildung/unser-angebot/medien-und-infrastruktur/tools-fuer-die-lehrgestaltung/kommunikation-und-kollaboration#289514> am 02.02.2021): „Alle User-Informationen, die im Rahmen der Nutzung erhoben werden, sind über das EU-U.S. and Swiss-U.S. Privacy Shield Framework geschützt. Die Rechte erstellter Inhalte liegen laut RT bei den Nutzern und Nutzerinnen – die Betreiber und Betreiberinnen behalten sich jedoch vor, die Daten für interne Optimierungsprozesse zu verwenden. Weitere Informationen finden Sie unter: <https://realtimeboard.com/legal/terms-of-service/> und <https://realtimeboard.com/security/>.“

Instruktionen Labeln

Bitte benennen Sie jeden Stapel, den Sie machen und beschreiben Sie ihn.

Ergebnis notieren: Name für jeden Stapel notieren und die Kriterien für die Sortierung.

Stapel # 1: _____

Stapel # 2: _____

Stapel # 3: _____

Stapel # 4: _____

Stapel # 5: _____

Stapel # 6: _____

Stapel # 7: _____

Stapel # 8: _____

Stapel # 9: _____

Ergebnis notieren: Jeder Notizzettel hat ein Zahlen Code. Diese werden für die jeweiligen Stapel festgehalten.

Stapel # 1: _____
Stapel # 2: _____
Stapel # 3: _____
Stapel # 4: _____
Stapel # 5: _____
Stapel # 6: _____
Stapel # 7: _____
Stapel # 8: _____
Stapel # 9: _____

Daten speichern: Den Arbeitsbereich bzw. „frame“ in miro als PDF-Datei speichern.
Dateiname: VP_nummer_pile.pdf

Free List Aufgaben

Instruktion:

Listen Sie alle Heizungstechnologien, die Ihnen einfallen (und schreiben Sie diese ins Chat-Protokoll).

Unspezifischer Prompt (Brewer et al., 2002, S.347): Was für andere Heizungstechnologien fallen Ihnen noch ein?

Antworten wörtlich in der benannten Reihenfolge notieren

1	_____
2	_____
3	_____
4	_____
5	_____
6	_____
7	_____
8	_____
9	_____
10	_____
11	_____
12	_____
13	_____
14	_____
15	_____

Soziodemographische Fragen

Dann würde ich Ihnen abschließend gerne noch ein paar Fragen zu Ihrer Person stellen.

Wie alt sind Sie?	_____Jahre
Welchem Geschlecht fühlen Sie sich zugehörig?	<input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/> weiblich <input type="checkbox"/> divers
Was ist Ihr höchster Bildungsabschluss?	<input type="checkbox"/> Kein Schulabschluss <input type="checkbox"/> Hauptschulabschluss <input type="checkbox"/> Realschulabschluss <input type="checkbox"/> Fachhochschulreife <input type="checkbox"/> Allgemeine Hochschulreife (Abitur) <input type="checkbox"/> Abschluss an einer Fach-, Meister-, Technikerschule, Berufs- oder Fachakademie <input type="checkbox"/> Fachhochschulabschluss (z.B. Bachelor, Master, Diplom) <input type="checkbox"/> Universitätsabschluss (z.B. Bachelor, Master, Diplom, Magister, Staatsexamen) <input type="checkbox"/> Promotion <input type="checkbox"/> Ein anderer Bildungsabschluss, und zwar _____
Wie hoch ist das ungefähre monatliche Nettoeinkommen Ihres gesamten Haushaltes?	<input type="checkbox"/> Weniger als 900 €/Monat <input type="checkbox"/> 900 €/Monat – 1.500 €/Monat <input type="checkbox"/> 1.500 €/Monat – 2.000 €/Monat <input type="checkbox"/> 2.000 €/Monat – 2.600 €/Monat <input type="checkbox"/> 2.600 €/Monat – 3.600 €/Monat <input type="checkbox"/> 3.600 €/Monat – 5.000 €/Monat <input type="checkbox"/> Mehr als 5.000 €/Monat <input type="checkbox"/> Keine Angabe
In welcher Erwerbssituation befinden Sie sich?	<input type="checkbox"/> Vollzeitbeschäftigt (mehr als 30 Std./Woche) <input type="checkbox"/> Teilzeitbeschäftigt (bis max. 30 Std./Woche) <input type="checkbox"/> Geringfügig bzw. unregelmäßig erwerbstätig, 450-Euro-Job, Minijob <input type="checkbox"/> In einer beruflichen Ausbildung/Lehre oder betrieblichen Umschulung <input type="checkbox"/> Freiwilliger Wehrdienst/Freiwilliges Soziales oder Ökologisches Jahr <input type="checkbox"/> Nicht erwerbstätig, und zwar _____
Wie viel Stunden Freizeit haben Sie durchschnittlich pro Woche?	

<p>Wie sieht Ihre aktuelle Wohnsituation aus?</p>	<p><input type="checkbox"/> Eigentümer eines Hauses</p> <p>Ergänzung weitere Studien</p> <p><input type="checkbox"/> Eigentümer einer Wohnung</p> <p><input type="checkbox"/> Mietverhältnis in einem Haus</p> <p><input type="checkbox"/> Mietverhältnis in einer Wohnung</p>	
<p>Wie lautet Ihre Postleitzahl?</p>		
<p>Wie viele Personen (mit Ihnen) leben in Ihrem Haushalt?</p>	<p>unter 18</p>	<p>18 oder älter</p>
<p>Wie viele Quadratmeter (Wohnfläche) hat Ihr Haus?</p>		
<p>Wie hoch sind die jährlichen Heizkosten Ihres Haushaltes im Durchschnitt? (Falls Sie die Heizkosten Ihres Haushaltes nicht kennen und auch nicht einschätzen können, können Sie dieses Feld freilassen)</p>		

Ausklang

Bedanken, offene Fragen, Kontaktmöglichkeit, Information Aufwandsentschädigung,
Information Zeitpunkt Ergebnismeldung, Verabschieden

A.2.2 Transkriptionsleitfaden

Transkriptionsregeln (angepasst nach Rädiker & Kuckartz, 2019, pp. 44–45)

1. Es wird wörtlich transkribiert, also nicht lautsprachlich oder zusammenfassend. Vorhandene Dialekte werden nicht mit transkribiert, sondern möglichst genau in Hochdeutsch übersetzt. Ausnahme: der Dialekt ist nicht eindeutig übersetzbar.
2. Sprache und Interpunktion werden leicht geglättet, d.h. an das Schriftdeutsch angenähert. Zum Beispiel wird aus „Sie saß auf so´m Stuhl“ → „Sie saß auf so einem Stuhl“.
3. Bei Satzzeichen auf Lesbarkeit und Bedeutungszusammenhänge achten. Im Zweifelsfall einen Punkt dem Komma vorziehen.
4. Satzabbrüche werden durch einen Gedankenstrich „-“ gekennzeichnet. Wortabbrüche werden ausgelassen. Teilsatzabbrüche werden durch Gedankenstrich und Komma „-,“ gekennzeichnet.
5. Doppelte Wörter werden entfernt, außer der Sprecher bzw. die Sprecherin nutzt sie zur Betonung oder Verstärkung.
6. Die Satzform und Artikel (bestimmt und unbestimmt) etc. werden auch dann beibehalten, wenn sie Fehler enthalten.
7. Pausen werden durch drei Auslassungspunkte in Klammern (...) markiert.
8. Absätze der interviewenden Person werden durch ein „I:“, die der befragten Person durch ein „B:“ gekennzeichnet.
9. Jeder Beitrag eines Sprechers bzw. einer Sprecherin wird als eigener Absatz transkribiert. Zwischen den Beiträgen gibt es eine Leerzeile. Jeder Absatzanfang ist mit einer Zeitmarke versehen. Beispiel: [00:01:26]
10. Zustimmungde bzw. bestätigende Lautäußerungen (mhh, ahh etc.) der interviewenden Person und der befragten Person werden nicht transkribiert, sofern sie den Redefluss der anderen Person nicht unterbrechen. Ausnahme: Eine Antwort besteht nur aus „mhm“ ohne jegliche weitere Ausführung. Dies wird als „mhm (bejahend)“, oder „mhm (verneinend)“ erfasst, je nach Interpretation.
11. Lautäußerungen der Befragten wie auch der interviewenden Person werden in Doppelklammern notiert, z.B. ((lacht)) und Ähnliches. Nonverbale Aktivitäten werden nicht kodiert.
12. Unterbrechungen, die nicht als Sprach- oder Lautäußerung von InterviewerIn und Befragte transkribiert werden, werden als Satzabbruch mit Grund in Klammern „Für mich ist ein schöner Tag“- (Ausfall der Technik) gekennzeichnet.
13. Unverständliche Wörter werden mit (unv.) gekennzeichnet. In der Klammer können auch Vermutungen zum Wort mit „?“ angestellt werden, z.B.: „Methylphenylinat (unv., Methylphenidat?)“
14. Alle Angaben, die einen Rückschluss auf eine befragte Person erlauben, werden in Großbuchstaben anonymisiert. Zum Beispiel: „Ich wohne derzeit im Neubaugebiet von Wolfsburg“ wird anonymisiert als „Ich wohne derzeit im Neubaugebiet von STADT“.
15. Das Transkript wird als .docx-Datei gespeichert. Dateiname ist „Transkript_Haushalt_VP_Angabe der Interviewnummer“ oder „Transkript_Installateur_VP_Angabe der Interviewnummer“, also z.B. Transkript_Haushalt_VP_2

Quelle: Rädiker, S., & Kuckartz, U. (2019). Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-22095-2>

A.2.3 Überarbeitetes Kodiersystem nach zehn Prozent Materialdurchgang

Contingencies heating systems.mx20
08.07.21

The following changes were made compared to version 1:

Checking the intercoder agreement between coder 1 and coder 2 showed following problems:

- *segmentation mistakes*: coding of larger paragraphs with multiple relevant aspects instead of coding each relevant aspect separately
- *segmentation mistakes*: in tendency, one coder coded complete sentences instead of meaningful phrases
- *category mistake*: some relevant text passages were overlooked by one or the other coder, but were consensually viewed as relevant
- *category mistake*: the category "interlocking contingencies" (# 14.4, 14.5, 15.4, 15.5, 16.4, 16.5, 17.4, 17.5, 18.4, 18.5) had most difficulties. The coding scheme is altered to include in the description, that "Interactions are also coded if a contingency is not explicitly stated in the text".
- *category mistake*: the category "context constraint..." (# 4, 5) versus "changes for..." (# 21, 22) is difficult to differentiate because often stating what needs change includes statements about constraints that are currently in place. The coding scheme is altered to include in the description of the category "changes for...", that "This category is coded if the context is about what has to be changed and can include reference to context constraints. In this case context constraints are not coded separately."

Spelling mistakes in the coding scheme are corrected.

Codesystem

1 verbalizations during pile-sort task
2 technical system potential adopter
2.1 renovating home
2.2 new built home
2.3 type of heating system chosen or bought
3 technical system technicians
3.1 types of technologies
3.2 specializations
3.3 types of services
3.4 differences between newly built and renovation
4 context constraint buying heating system
5 context constraint recommending
6 history contingencies heating
7 history contingencies recommending

8 discriminative stimuli choosing and buying heating system
9 discriminative stimuli recommending
10 observed behavior others heating
11 observed behavior others recommending
12 verbal behavior about choosing and buying
12.1 verbal oneself
12.2 verbal others
12.3 verbal technician
13 verbal behavior about recommending
13.1 verbal oneself
13.2 verbal other
13.3 verbal potential adopters
14 operant contingencies choosing heating system
14.1 description operant
14.2 time of operant
14.3 contingencies
14.4 interlocking contingencies technicians
14.5 interlocking contingencies others
15 operant contingencies buying heating system
15.1 description operant
15.2 time of operant
15.3 contingencies
15.4 interlocking contingencies technicians
15.5 interlocking contingencies others
16 operant contingencies using heating system
16.1 description operant
16.2 time of operant
16.3 contingencies
16.4 interlocking contingencies technicians
16.5 interlocking contingencies others
17 operant contingencies recommending during choosing
17.1 description operant
17.2 time of operant
17.3 contingencies
17.4 interlocking contingencies adopters

17.5 interlocking contingencies others
18 operant contingencies recommending during installation
18.1 description operant
18.2 time of operant
18.3 contingencies
18.4 interlocking contingencies adopters
18.5 interlocking contingencies others
19 evaluative category contingencies adopters
20 evaluative category contingencies technicians
21 changes for buying innovative, renewable technologies
22 changes for recommending innovative, renewable technologies

1 verbalizations during pile-sort task

During the online interview participants did a pile-sort task on an online whiteboard. This code marks all the verbalizations during the pile-sort task from participant as well as interviewer as one chunk of code.

2 technical system potential adopter

What kind of technology did the potential adopters choose or adopters buy and install in their new home or as part of a renovation.

2.1 renovating home

heating system was chosen or bought as renovation measure

2.2 new built home

heating system installed in a newly built house

2.3 type of heating system chosen or bought

type of heating technology that was chosen or bought

3 technical system technicians

e.g., types of technologies, specializations, types of services, differences newly built homes versus renovations

3.1 types of technologies

portfolio of technologies

3.2 specializations

technology specializations

3.3 types of services

services offered as part of installing heating systems

3.4 differences between newly built and renovation

do the technicians have different offers for newly built homes versus when a renovation is asked for. What are the main differences?

4 context constraint buying heating system

Constraints for buying or choosing a heating system. They can be for example organismic or resource constraints, due to social-relationships or social-institutions.

5 context constraint recommending

Constraints for recommending a heating system. They can be for example organismic or resource constraints, due to social-relationships or social-institutions.

6 history contingencies heating

previous contingencies relative to operant heating

7 history contingencies recommending

previous contingencies relative to operant recommending a heating system

8 discriminative stimuli choosing and buying heating system

changes that coincide with changes in operant choosing and buying a heating system

9 discriminative stimuli recommending

changes that coincide with changes in operant recommending

10 observed behavior others heating

observed behaviors in others on their heating behavior and choice of heating system

11 observed behavior others recommending

observed recommending behavior in others

12 verbal behavior about choosing and buying

verbal behavior from others, from oneself and especially from the technician, during choosing and buying a heating system

12.1 verbal oneself

verbal behavior from oneself

12.2 verbal others

all others except technicians

12.3 verbal technician

verbal behavior from technicians

13 verbal behavior about recommending

verbal behavior about recommending from others, from oneself and from potential adopters (customers)

13.1 verbal oneself

verbal behavior from oneself

13.2 verbal other

all others except potential adopters

13.3 verbal potential adopters

verbal behavior from technicians

14 operant contingencies choosing heating system

contingencies for the operant choosing a heating system

14.1 description operant

description of for example topography, sequences, smaller behavioral units as part of operant.

14.2 time of operant

the amount of time the operant behavior usually takes up

14.3 contingencies

consequences which are produced by the interaction of the individual with physical context

14.4 interlocking contingencies technicians

consequences which are produced by the interaction with technicians

14.5 interlocking contingencies others

consequences which are produced by the interaction of the individual with others

15 operant contingencies buying heating system

contingencies for the operant buying a heating system

15.1 description operant

description of for example topography, sequences, smaller behavioral units as part of operant.

15.2 time of operant

the amount of time the operant behavior usually takes up

15.3 contingencies

consequences which are produced by the interaction of the individual with physical context

15.4 interlocking contingencies technicians

Consequences which are produced by the interaction with technicians. Interactions are also coded if a contingency is not explicitly stated in the text.

15.5 interlocking contingencies others

Consequences which are produced by the interaction of the individual with others. Interactions are also coded if a contingency is not explicitly stated in the text.

16 operant contingencies using heating system

contingencies for the operant using a heating system

16.1 description operant

description of for example topography, sequences, smaller behavioral units as part of operant.

16.2 time of operant

the amount of time the operant behavior usually takes up

16.3 contingencies

consequences which are produced by the interaction of the individual with physical context

16.4 interlocking contingencies technicians

Consequences which are produced by the interaction with technicians. Interactions are also coded if a contingency is not explicitly stated in the text.

16.5 interlocking contingencies others

Consequences which are produced by the interaction of the individual with others. Interactions are also coded if a contingency is not explicitly stated in the text.

17 operant contingencies recommending during choosing

contingencies for the operant recommending a heating system during the potential adopters' choosing behavior

17.1 description operant

description of for example topography, sequences, smaller behavioral units as part of operant.

17.2 time of operant

the amount of time the operant behavior usually takes up

17.3 contingencies

consequences which are produced by the interaction of the individual with physical context

17.4 interlocking contingencies adopters

Consequences which are produced by the interaction with potential adopters or customers. Interactions are also coded if a contingency is not explicitly stated in the text.

17.5 interlocking contingencies others

Consequences which are produced by the interaction of the individual with others (e.g., craft associations). Interactions are also coded if a contingency is not explicitly stated in the text.

18 operant contingencies recommending during installation

contingencies for the operant recommending on how to use a heating system during the installation of a heating system

18.1 description operant

description of for example topography, sequences, smaller behavioral units as part of operant.

18.2 time of operant

the amount of time the operant behavior usually takes up

18.3 contingencies

consequences which are produced by the interaction of the individual with physical context

18.4 interlocking contingencies adopters

Consequences which are produced by the interaction with potential adopters or customers. Interactions are also coded if a contingency is not explicitly stated in the text.

18.5 interlocking contingencies others

Consequences which are produced by the interaction of the individual with others (e.g., craft associations). Interactions are also coded if a contingency is not explicitly stated in the text.

19 evaluative category contingencies adopters

Importance of a contingency dimension

Categories: low, medium, high, (not applicable)

In the text material contingencies of operants are coded. Those can be abstracted and maybe explicated to relate to underlying dimensions of contingencies. If explication is possible, those dimensions will be evaluated. If not, the summarized contingencies will be evaluated.

20 evaluative category contingencies technicians

Importance of a contingency dimension

Categories: low, medium, high, (not applicable)

In the text material contingencies of operants are coded. Those can be abstracted and maybe explicated to relate to underlying dimensions of contingencies. If explication is possible, those dimensions will be evaluated. If not, the summarized contingencies will be evaluated.

21 changes for buying innovative, renewable technologies

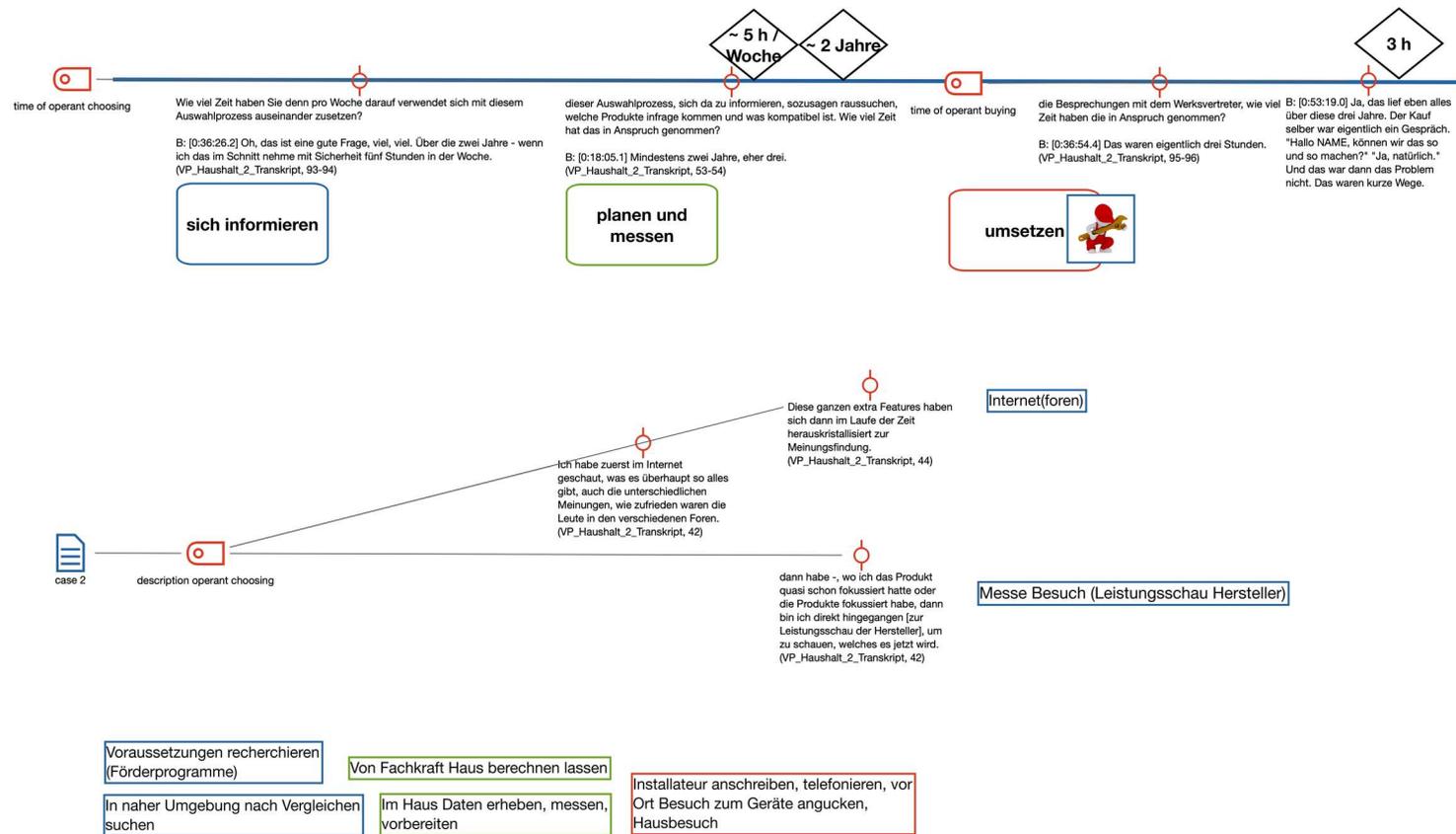
Context changes that could help change buying behavior towards more innovative, environmentally friendly and sustainable heating systems. This category is coded if the context is about what has to be changed and can include reference to context constraints. In this case context constraints are not coded separately.

22 changes for recommending innovative, renewable technologies

Context changes that could help change recommending behavior towards recommending more innovative, environmentally friendly and sustainable heating systems. This category is coded if the context is about what has to be changed and can include reference to context constraints. In this case context constraints are not coded separately.

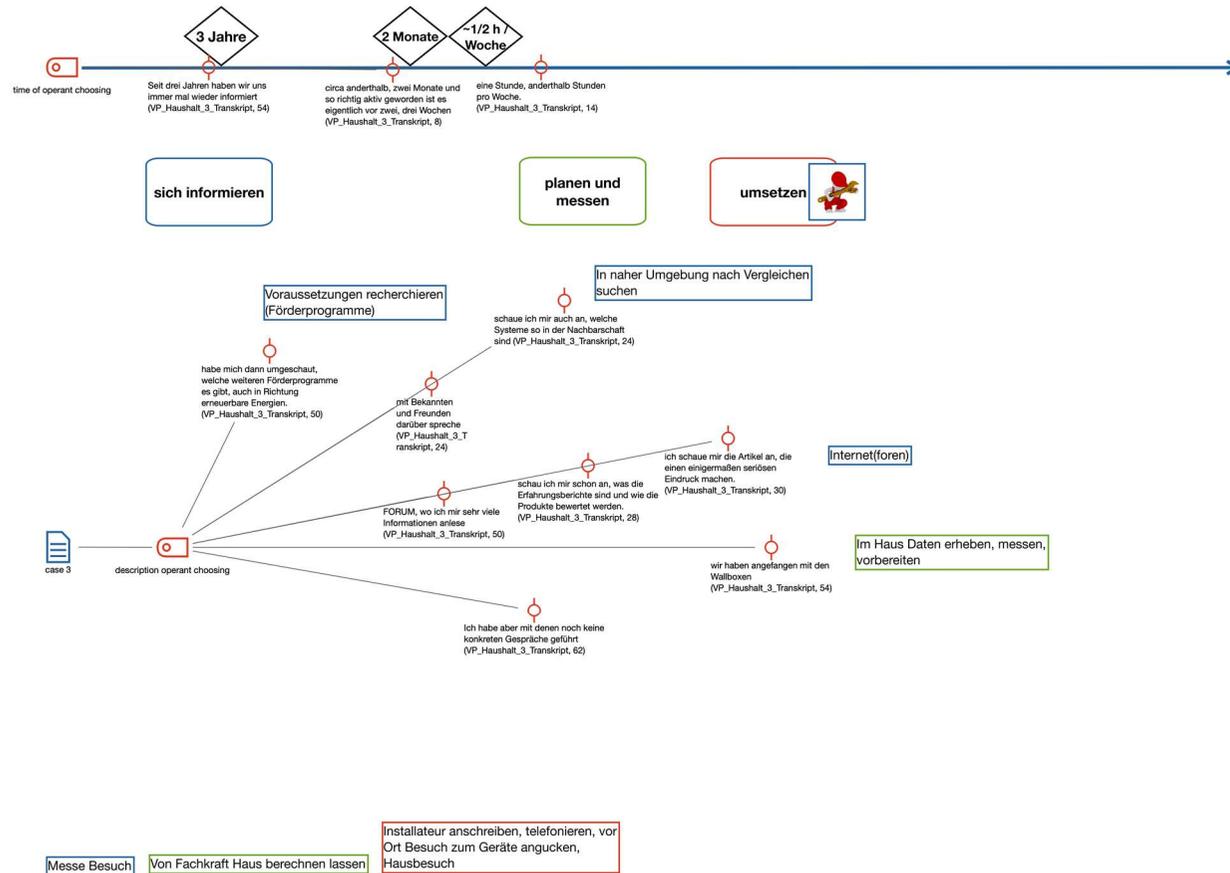
A.2.4 Konzeptkarten der Prozessschritte, Verhaltenssequenzen und deren zeitlicher Dauer

A.2.4.1 Fall 2



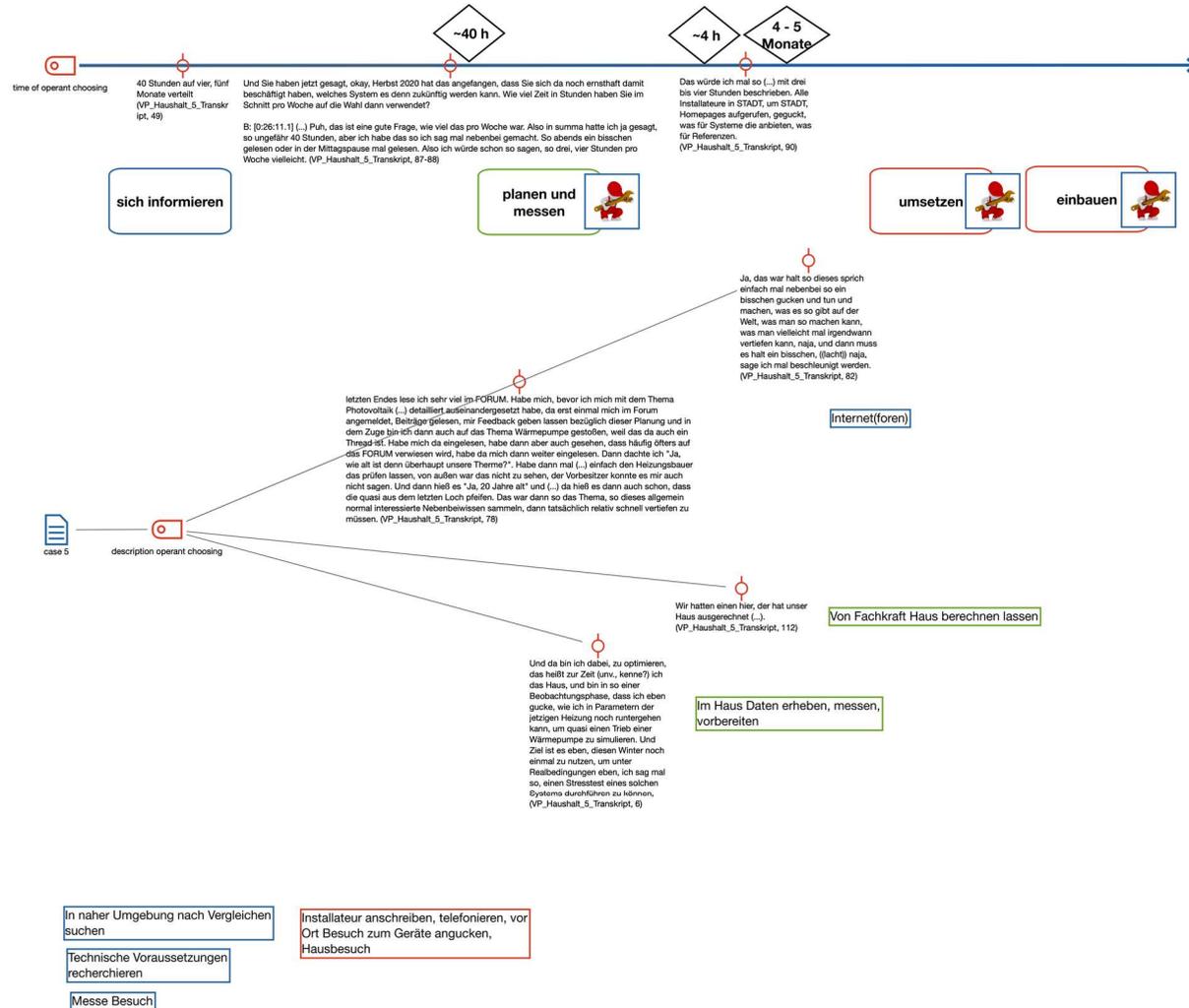
Bildquelle: Bild von Peggy und Marco Lachmann-Anke auf Pixabay

A.2.4.2 Fall 3



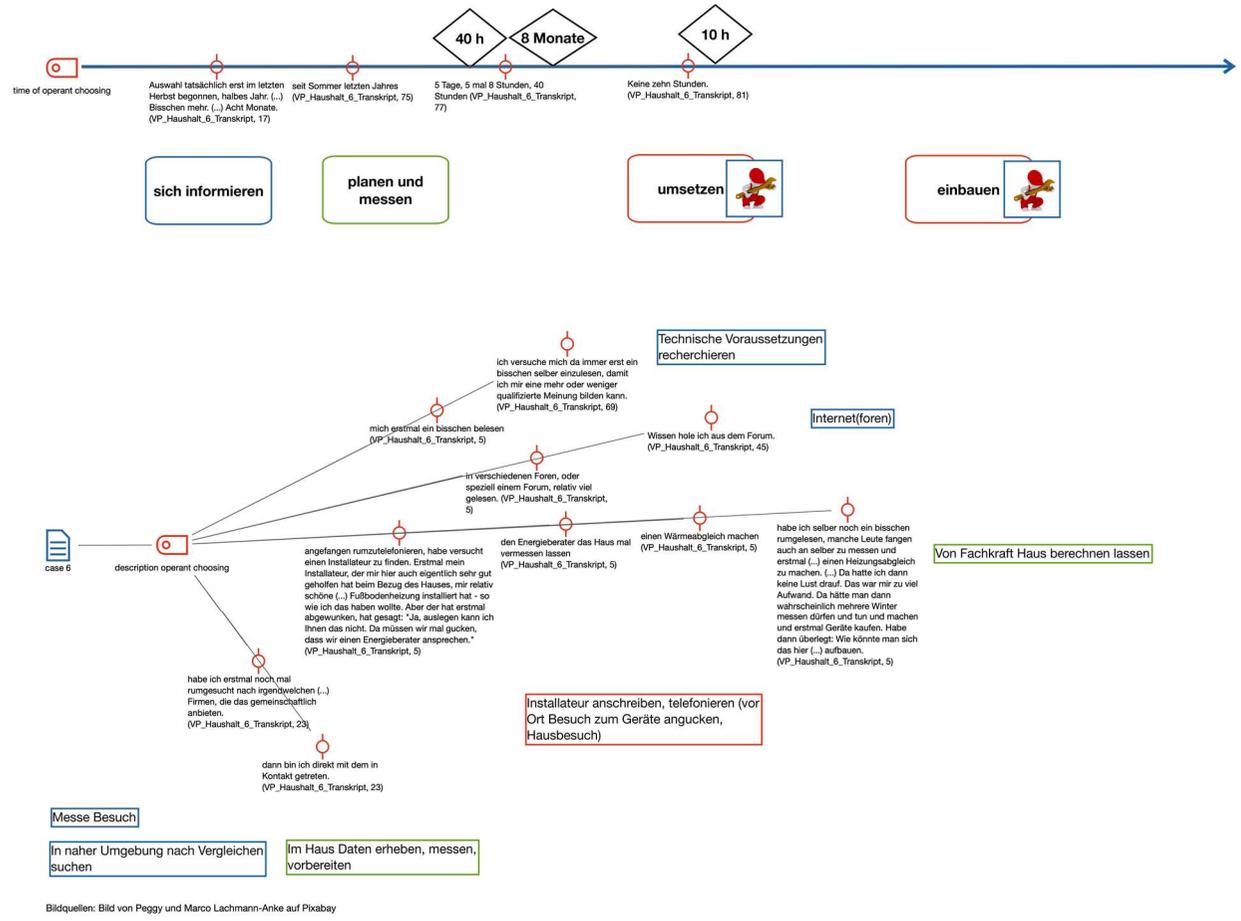
Bildquellen: Bild von Peggy und Marco Lachmann-Anke auf Pixabay

A.2.4.3 Fall 5

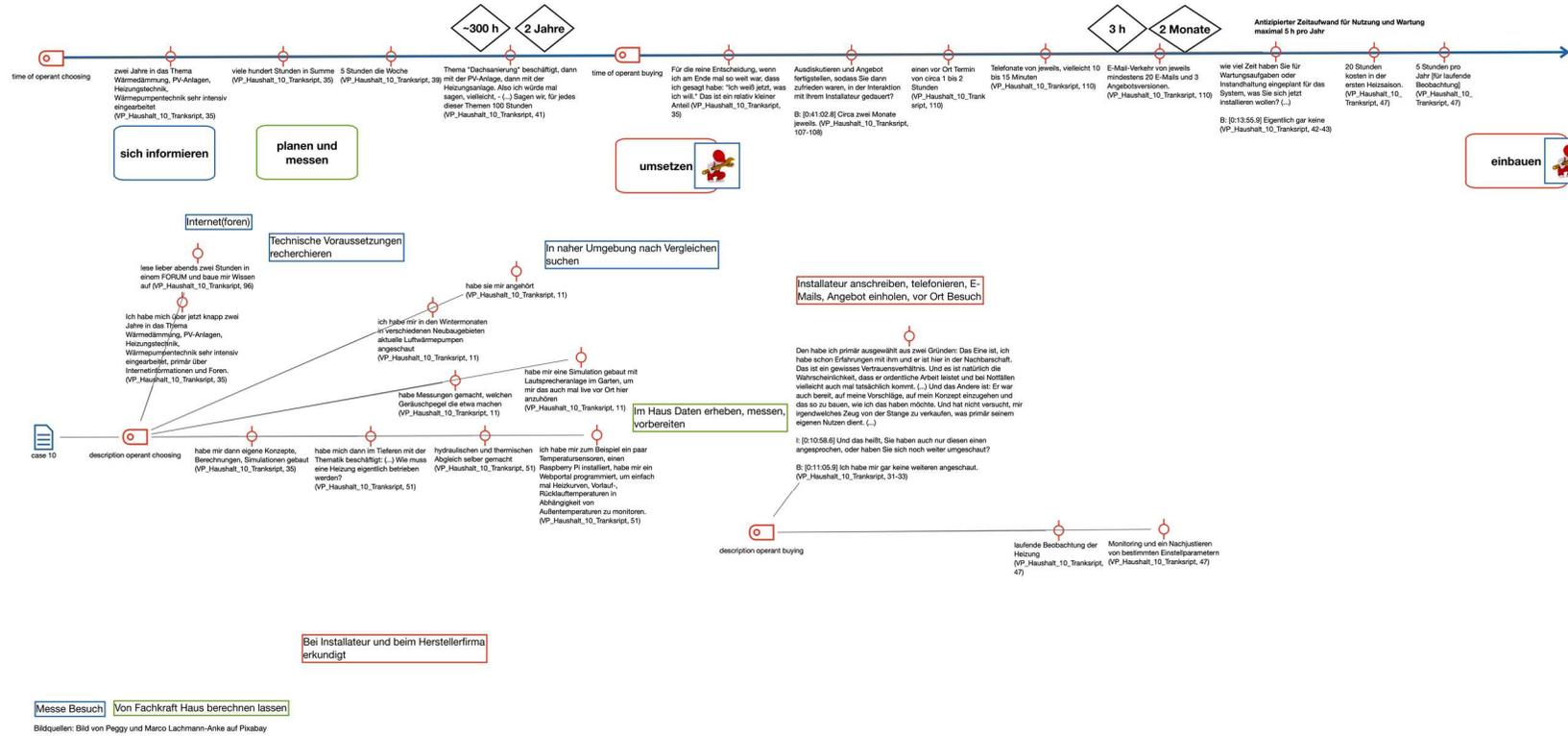


Bildquellen: Bild von Peggy und Marco Lachmann-Anke auf Pixabay

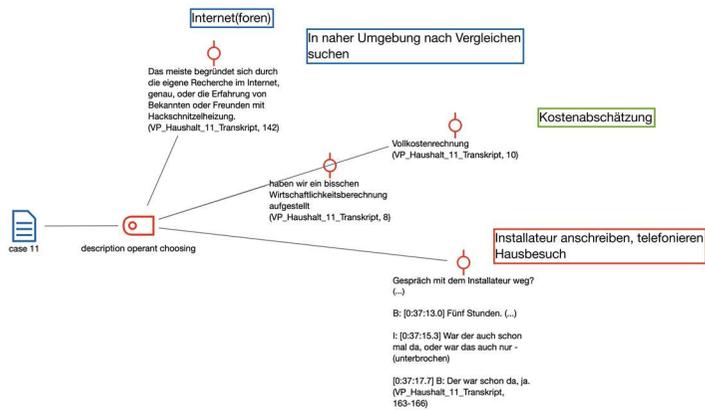
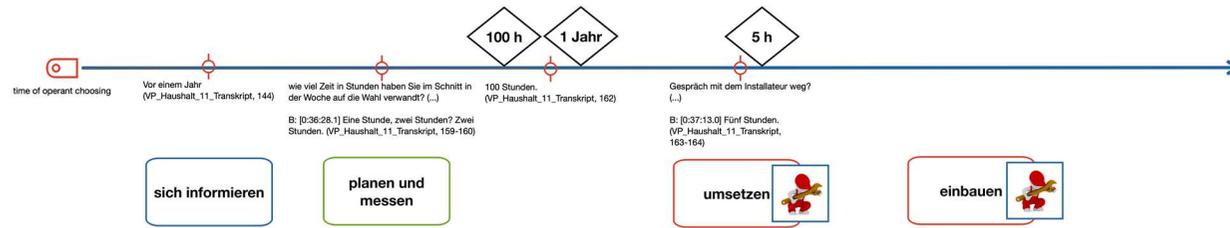
A.2.4.4 Fall 6



A.2.4.5 Fall 10



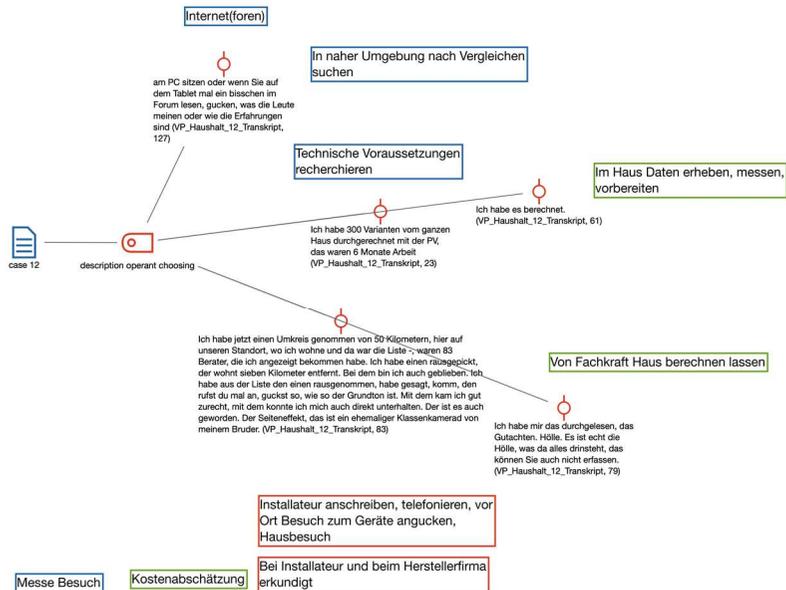
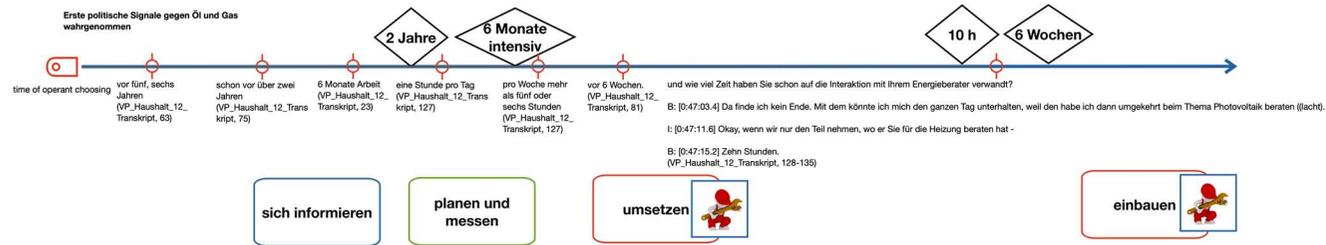
A.2.4.6 Fall 11



- Technische Voraussetzungen recherchieren
- Messe Besuch
- Von Fachkraft Haus berechnen lassen
- Im Haus Daten erheben, messen, vorbereiten
- Bei Installateur und beim Herstellerfirma erkundigt

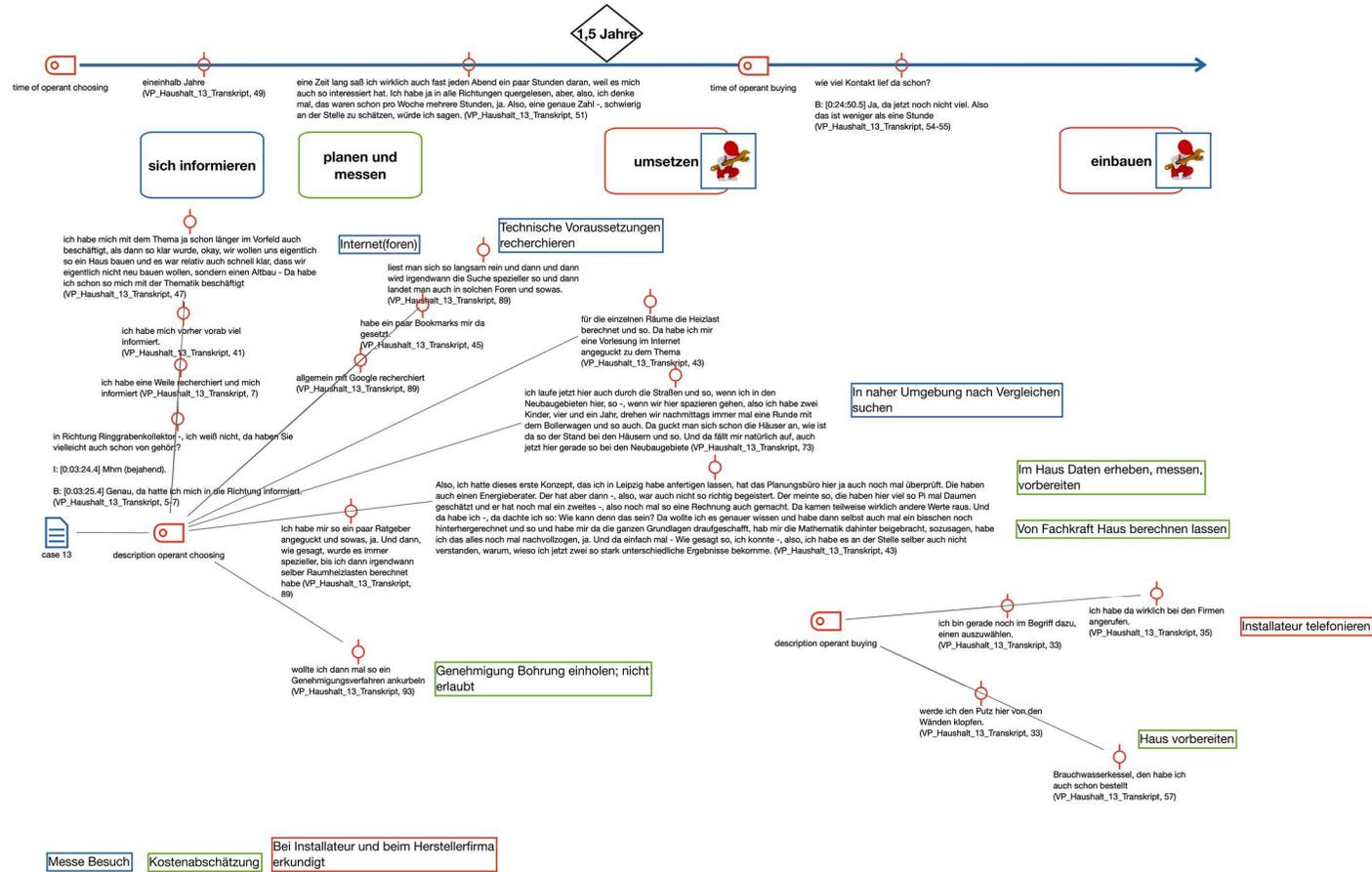
Bildquellen: Bild von Peggy und Marco Lachmann-Anke auf Pixabay

A.2.4.7 Fall 12



Bildquellen: Bild von Peggy und Marco Lachmann-Anke auf Pixabay

A.2.4.8 Fall 13



Bildquellen: Bild von Peggy und Marco Lachmann-Anke auf Pixabay