

3% Plus

Anschlussvorhaben: „Drei Prozent Plus – Umsetzung des energieeffizienten Sanierungsfahrplans für kommunale Quartiere“

Sachbericht – Teilvorhaben B „Planungs- und Finanzierungstools“

Projektlaufzeit	01.01.2019 (01.04.2019) – (31.12.2021) 31.01.2023 zuwendungsneutral verlängert
Förderkennzeichen	03ET1635A
Ausschreibung	EnEff:Stadt: Energieeffiziente Stadt - Gebäude und Energieversorgung
Verbundkoordinator	Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung e.V. (DV, Teilvorhaben A, FKZ: 03ET1635B)
Ausführende Einrichtung	Hochschule für Technik Stuttgart (HFT, Teilvorhaben B) Institut für Angewandte Forschung Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart
	<u>Zentrum für Nachhaltiges Wirtschaften und Management (ZNWM)</u> Prof. Dr. Tobias Popović (Projektleitung) Dr. Ilka Denk, Elias Wege (geb. Schwemin)
	<u>Zentrum für Nachhaltige Energietechnik (zafh.net)</u> Prof. Dr. habil. Ursula Eicker, Prof. Dr. Bastian Schröter, Dr. Dirk Pietruschka, Chris Kesnar, Nermene Abdelnour, Maryam Zirak, Robert Otto
	<u>Zentrum für Geodäsie und Geoinformatik (ZGG)</u> Prof. Dr. Volker Coors Sabo Kwada Sini, Matthias Betz
Verbundpartnerin	B.&S.U. Beratungs- und Servicegesellschaft Umwelt mbH (BSU, Teilvorhaben C, FKZ: 03ET1635C)

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 03ET1635A gefördert. Die Verantwortung über den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Hochschule für Technik Stuttgart, Januar 2023

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Hochschule
für Technik
Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis.....	6
1 Kurzdarstellung	7
1.1 Aufgabenstellung	7
1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens	9
1.3 Verbundpartner- und Netzwerktreffen	11
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	14
3 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	17
3.1 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	17
3.2 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.....	17
4 Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse	18
4.1 CrowdSourcing-Tool zur Analyse der Umsetzungsbereitschaft bei Privateigentümern (AP 4.1).....	18
4.2 BuildingScout-Portal zur Analyse von Umsetzungsvarianten bei Einzelgebäuden und kleineren Gebäudegruppen (AP4.2).....	23
4.3 AP4.3 – Datenintegration für die Erfolgskontrolle bei der Umsetzung energetischer Maßnahmen.....	26
4.4 AP4.4 – (De)zentrale Stromspeicherszenarien	31
4.5 AP4.5 – Betreiber- und Finanzierungsmodelle für die Energiewende (Produkt- und Geschäftsmodellentwicklung, Finanzierungslösungen)	65
5 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	134
6 Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	135
6.1 Notwendigkeit der Zuwendung	135
6.2 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	136
7 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses.....	136
7.1 Wissenschaftliche Erfolgsaussichten	136
7.2 Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit.....	137
7.3 Veröffentlichungen des Ergebnisses	138
7.4 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten.....	138
Literaturverzeichnis.....	139

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verlauf, Inhalte und Konsortium des Gesamtvorhabens [1]	9
Abbildung 2: Übersicht Gesamtvorhaben, blau dargestellt:.....	10
Abbildung 3: Grafische Oberfläche des CrowdSourcing-Tools.....	18
Abbildung 4: Informationsfluss im CS-Tool	19
Abbildung 5: http://193.196.138.36/dashboard.html - Monatliches PV Potential- und Kostenabschätzung eines Einfamilienhauses, Monatlicher Verlauf des Wärme- und Kühlbedarfs eines Einfamilienhauses.	20
Abbildung 6: Vergleich des Wärmebedarfs für eine Sanierungsmaßnahme	20
Abbildung 7: Darstellung der Photovoltaikpotentialsimulation	21
Abbildung 8: Screenshot SimStadt / BuildingPhysicsLibraryEditor, Gebäudetypologie	22
Abbildung 9: Benutzeroberfläche WEG-Tool	23
Abbildung 10: Schema von Smart Meter Gateway-Systemen.....	27
Abbildung 11: Mögliche Schnittstelle für den Workflow	30
Abbildung 12: 3D-CityGML Modell für Schlosslesfeld (Ludwigsburg) mit 1533 Gebäuden.....	31
Abbildung 13: Sanierungsfahrplan Schlosslesfeld 2050; Quelle: Ludwigsburg [21].....	32
Abbildung 14: Vereinfachte Darstellung eines AC-gekoppeltes PV-Speichersystem (links) und DC-gekoppeltes PV-Speichersystem (rechts) [25].....	33
Abbildung 15: Die Entwicklung der kumulierten Batteriekapazität und Batterie-Wechselrichterleistung von privaten Speichersystemen in Deutschland [30]	34
Abbildung 16: Entwicklung der Einspeisevergütung (PV-Anlagen bis zu 10 kWp) und des mittleren Haushalts-Strompreises [30]	35
Abbildung 17: Illustrativer Tagesverlauf von Nachfrage und Stromerzeugung bei eigenverbrauchsoptimiertem und netzentlastendem Speicherbetrieb [36]	36
Abbildung 18: Charakteristik verschiedener Betriebsstrategien für PV-Speichersysteme – jedoch noch ohne Berücksichtigung der steigenden Zahl an E-Fahrzeugen mit deutlich größerem Speicher. Quelle: HTW Berlin [38].....	36
Abbildung 19: Schematische Darstellung des Optimierungs-Algorithmus der dynamischen Einspeisebegrenzung [24].....	37
Abbildung 20: Links: Verteilung Solarstromspeicher in D absolut, rechts: relativ pro 100.000 Haushalte [41].....	38
Abbildung 21: Strompreisentwicklungsfade bis 2050 [29]	41
Abbildung 22: Zuschuss zu Strom- und Gaspreisen. Quelle: Die Bundesregierung	41
Abbildung 23: Tatsächlicher Verlauf und Trendlinie der Preisentwicklungen für Heimspeicher inkl. Leistungselektronik und MwSt. (Darstellung nach [30]).....	43
Abbildung 24: Kosten für Batteriewechselrichter, Webshop-Recherche; Stand: 12.05.2020.....	43
Abbildung 25: Endkundenpreis für eine schlüsselfertige PV-Anlage (eigene Darstellung, Quelle: photovoltaik-angebotsvergleich.de, Stand Juni 2020)	45
Abbildung 26: Spezifische PV-Anlagenkosten (Quelle: Institut für Agrarökonomie der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft) [60]	45

Abbildung 27: Ansicht: PV-Batteriespeicher Modell in INSEL.....	46
Abbildung 28: Ausschnitt aus dem Python-Skript, welches das Batteriemodell in INSEL durchläuft ...	48
Abbildung 29: Sensitivitätsanalyse der wichtigsten Parameter beim Einfamilienhaus: Änderung im Nettobarwert [%]	52
Abbildung 30: EFH mit 2,8 kWh Speicher: Änderung im NBW und SGK durch Anpassung der kapazitätsbezogenen Batteriekosten.....	53
Abbildung 31: SimStadt: Screenshot der grafischen Nutzeroberfläche	55
Abbildung 32: Links: Verteilung der beheizten und unbeheizten Flächen für verschiedene Nutzungsarten in Schlosslesfeld basierend auf 3D-CityGML- und ALKIS-Daten [in m ²], rechts: Verteilung des Strombedarfs in [kWh/a] für Wohn- und Nichtwohngebäude.	57
Abbildung 33: SimStadt - Grafische Ausgabe der Simulation: links PV-Dachpotentials (grün: rentabel); rechts: Gebäudefunktion (Hellblau: Wohngebäude, andere Farben: Nichtwohngebäude).....	58
Abbildung 34: Jahresdauerlinie für die Stromlast von Wohngebäuden in Schlosslesfeld	59
Abbildung 35: Potenzial für die Stromversorgungsglättung durch den Einsatz der PV Batterie. Beispiel für Wohngebäude in Schlosslesfeld. (eigene Darstellung).....	59
Abbildung 36: Stromversorgungsglättungspotential durch PV-Batterie. Nichtwohngebäude in Schlosslesfeld.....	60
Abbildung 37: Änderung im Autarkiegrad bei zunehmender Speicherkapazität (Einfamilienhaus mit 3,9 MWh Stromverbrauch und 4,9 MWh PV-Produktion pro Jahr, 2,5 kWh Speicherkapazität, 1,0 kW Wechselrichterleistung) (Eigene Darstellung)	62
Abbildung 38: Änderung des Nettobarwerts mit zunehmender Speicherkapazität und Wechselrichterleistung (Einfamilienhaus mit 3,9 MWh Stromverbrauch und 4,9 MWh PV-Produktion)	63
Abbildung 39: Innovations- und Transferprozess im Rahmen des Projekts	66
Abbildung 40: Zusammenfassung und Klassifizierung der Treiber bei energetischen Sanierungen [76]	67
Abbildung 41: Zusammenfassung und Klassifizierung der Treiber bei energetischen Sanierungen....	67
Abbildung 42: Umfrage Energetische Gebäudesanierung (1) [77]	68
Abbildung 43: Umfrage Energetische Gebäudesanierung (2)	68
Abbildung 44: Anwendung WEG-Tool.....	80
Abbildung 45: Anwendung Crowdsourcing-Tool	81
Abbildung 46: „Dashboard“ Monatliches PV-Potenzial	81
Abbildung 47: DEEP-Plattform Gebäude [95]	83
Abbildung 48: Das „Drei-Säulen-Modell“ [97] (Eigene Darstellung in Anlehnung an Kropp 2019).....	84
Abbildung 49: EU Taxonomie Umweltziele [102]	86
Abbildung 50: Grundkonzeption der Balanced Scorecard (nach Kaplan und Norton) [105].....	87
Abbildung 51: Einflussfaktoren energetische Sanierung.....	88
Abbildung 52: Ausschnitt aus der Excel-basierten SBSC-Tool.....	88
Abbildung 53: Anwendung der SBSC auf die Thematik der energetischen Gebäudesanierung	90
Abbildung 54: Die Sustainable Balanced Scorecard (SBSC) und ihre „Datenzuflüsse	90

Abbildung 55: Innovative Tools und ihre Anwendungsmöglichkeiten [114].....	91
Abbildung 56: Klimaschutz-Taxonomie – Technische Evaluierungskriterien für Gebäude sektor [124]	94
Abbildung 57: Vom „Stranded Asset“ zur nachhaltigen Immobilie.....	95
Abbildung 58: Die DNA des DGNB Systems [134] (Eigene Darstellung in Anlehnung an DGNB System)	96
Abbildung 59: Die drei zentralen Nachhaltigkeitsbereiche [135] (Eigene Darstellung, Anlehnung an DGNB).....	96
Abbildung 60: Lebenszyklusbetrachtung [136]	97
Abbildung 61: Die Auszeichnungslogik der DGNB	97
Abbildung 62: Die Kosten einer Sanierung [138]	99
Abbildung 63: Prognose für die Bauwirtschaft 2023	100
Abbildung 64: Umfrage Bauindustrie [140]	101
Abbildung 65: Berechnung der Sanierungskosten.....	101
Abbildung 66: Ubakus	102
Abbildung 67: CO ₂ -Emissionsminderungen durch CO ₂ -Bepreisung von Kraft- und Heizstoffen und Senkung der EEG-Umlage, 2020 – 2030.....	104
Abbildung 68: Value Proposition (Wertangebot) (Eigene Darstellung basierende auf Strategyzer [165])	108
Abbildung 69: Business Model Canvas (Geschäftsmodell) (Eigene Darstellung basierend auf Strategyzer) [168].....	108
Abbildung 70: St. Galler Business Model Navigator [170]	110
Abbildung 71: Bewertung der Nachhaltigkeit der Geschäftsmodelle im Workshop (Workshop-Ergebnisse / Whiteboard) [171].....	111
Abbildung 72: Kalkulationsbeispiel Energy Sharing (Eigene Darstellung in Anlehnung an Bürgerwerke)	115
Abbildung 73: Vergleich Bankkredit und KfW-Kredit (Eigene Darstellung) [201].....	119
Abbildung 74: 144 Prozent Wachstum bei Green-Tech-Neugründungen [216]	124
Abbildung 75: Miro-Board [222].....	125
Abbildung 76: Geschäftsmodell Gründungsvorhaben (Eigene Darstellung von 5 Prozent basierend auf Strategyzer [224]).....	126
Abbildung 77: Gap-Analyse (eigene Darstellung)	127
Abbildung 78: Umfrage zu „Blockchain in der Energiewende“ [226].....	128
Abbildung 79: Funktionsweise der Blockchain-Technologie [229].....	129
Abbildung 80: Architektur einer Blockchain-Technologie.....	130
Abbildung 81: Der Wechsel von zentralen zu dezentralen Energienetzen [234]	131
Abbildung 82: OpenVolery™ IOT-Plattform.....	132
Abbildung 83: National Grid Plc.	133
Abbildung 84: Kriterien für die Bieterevaluation	135

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung aller Anwendungsfälle nach Testkonzept zu BSI TR-03109-TS-1	27
Tabelle 2: Kostenannahmen für die Simulationsstudie	40
Tabelle 3: Simulationsergebnis für ein exemplarisches Einfamilienhaus mit 3 kWh nutzbarer Speicherkapazität, 3 kWp installierter PV-Leistung und 3.238 kWh Strombedarf pro Jahr	47
Tabelle 4: Ergebnisse der Simulation: Speicher-Optimum für EFH und MFH	50
Tabelle 5: Vergleich der wichtigsten Parameter der drei Systemkonfigurationen.....	51
Tabelle 6: Gegenüberstellung der jetzigen und prognostizierten Parameter mit optimaler Speichergröße	54
Tabelle 7: Grundlagen Lastmanagement	55
Tabelle 8: Statistische Kennwerte für den Jahresstrombedarf für Nicht-Wohngebäude	56
Tabelle 9: Strombedarf Nichtwohngebäude nach Sektoren.....	57
Tabelle 10: Übersicht verwendeter Parameter für Wirtschaftlichkeitsberechnung der Wohngebäude.	61
Tabelle 11: Gebäude im Privatbesitz.....	69
Tabelle 12: Aussagen und daraus folgende Erkenntnisse	73
Tabelle 13: Kommerziell genutzte Bestandsimmobilien.....	74
Tabelle 14: Crowdsourcing Tool und seine potenziellen Nutzer	75
Tabelle 15: WEG Tool und seine potenziellen Nutzer.....	77
Tabelle 16: Gegenüberstellung der unterschiedlichen Analysetools [113]	89
Tabelle 17: Die verschiedenen Heizungsarten und ihre CO ₂ -Emissionen [151].....	103
Tabelle 18: Feststellung der CO ₂ -Vermeidungskosten [152]	103
Tabelle 19: Feststellung der CO ₂ -Minderung und der CO ₂ -Vermeidungskosten [156]	103
Tabelle 20: Relevante Funktionen für die Entwicklung und das Betreiben digitaler Tools	105
Tabelle 21: Übersicht über die Betreibermodelle	107
Tabelle 22: Bewertung der Nachhaltigkeit der Geschäftsmodelle im Workshop (Digitalisierte Version / Eigene Darstellung) [172]	112
Tabelle 23: Begründung der Bewertungen [173].....	113
Tabelle 24: Energy Sharing [179] (Eigene Darstellung in Anlehnung an Bürgerwerke)	115
Tabelle 25: Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude [192] - Förderungen bis 07.2022 / Änderungen ab 08.2022	117
Tabelle 26: Ein Überblick über die Inflationsrate in Deutschland seit 2005 [199]	118
Tabelle 27: Unterschied Bundes- und Landesförderung.....	121
Tabelle 28: Beispiel Förderprogramm L-Bank mit Zielgruppe und Fördersache [205] (Eigene Darstellung)	122

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Das Verbundvorhaben „**Drei Prozent Plus – Umsetzung des energieeffizienten Sanierungsfahrplans für kommunale Quartiere**“ ist ein Anschlussvorhaben des „**Drei Prozent Projekt – Energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere 2050**“ (Förderkennzeichen: 03ET4017B, BMWK) und ist in drei Teilvorhaben unterteilt:

- **Teilvorhaben A: „Erfahrungsaustausch und Beratungsnetzwerke“**, DV
- **Teilvorhaben B: „Planungs- und Finanzierungstools“**, HFT
- **Teilvorhaben C: „Umsetzung Sanierungsfahrpläne und operative Methodik“**, BSU

Aufbauend auf den bisherigen konzeptionellen Arbeiten sollte zur Steigerung der Umsetzung von energieeffizienten Sanierungsfahrplänen für kommunale Quartiere das innovative Instrument getestet und gemeinsam mit den Kommunen und ihren Beratungsnetzwerken praktisch erprobt werden. Während der Fokus der HFT im Drei Prozent Projekt auf Akzeptanz und Ansprache der Eigentümer lag, sollte mit dem Anschlussvorhaben Drei Prozent Plus die **praktische Umsetzung der Sanierungsfahrpläne** und die **Weiterentwicklung der Planungs- und Analysetools** erfolgen. Ein Schwerpunkt der HFT lag dabei auf **Betreibermodellen** als zentrale Rolle für die Finanzierung der Energiewende.

1.1.1 Beitrag der HFT: Digitale Tools zur quartiersbezogenen Mobilisierung

Um die quartiersbezogene Mobilisierung zur Umsetzung von Sanierungs- und Effizienzmaßnahmen für einen klimaneutralen Gebäudebestand effizient unterstützen und vorantreiben zu können, sind Kommunen und Fachplaner auf digitale Tools und eine konsistente Datenbasis angewiesen. Gemeinsam mit den Projektpartnern leistet die HFT hierzu im Rahmen des Projekts Beiträge mit der Entwicklung zweier Tools, um einerseits Daten für den kommunalen Gebäudebestand individuell durch Eigentümer, Betreiber und EVU niedrigschwellig zu erheben („WEG-Tool“), und diesen daraufhin mit dem sog. Crowdsourcing-Tool („CS-Tool“) in verschiedenen Sanierungsszenarien technisch zu analysieren und ökologisch sowie ökonomisch zu bewerten.

Im Projekt wurde dazu ein nutzerfreundliches Verfahren entwickelt, mit dem die Datenerhebung von Gebäuden zur energetischen Sanierung ermöglicht wird und eine grafische Darstellung des energetischen Bedarfs (Strom, Wärme, Kälte) sowie die Berechnung von verschiedenen Sanierungsszenarien hinsichtlich ihrer ökonomischen und ökologischen Performance erfolgen kann. Eine intuitive Bedienung und vereinfachte Darstellung der Ergebnisse ermöglicht insbesondere Fachplaner:innen, Energieberater:innen, Quartiersmanager:innen, Gebäudeeigentümer:innen sowie dem Finanzsektor einen schnellen Zugang zu allen relevanten Informationen zur energetischen Bewertung und Planung von Gebäuden und Quartieren und zur Steigerung der Umsetzungsbereitschaft von Gebäudeeigentümern im Allgemeinen. Um die Nutzerfreundlichkeit hierbei zu gewährleisten, wurden die Tools in einem iterativen Prozess in der Praxiserprobung durch verschiedene Nutzergruppen optimiert. Idealerweise können die Tools im Nachgang des Projekts von den erwähnten Nutzergruppen direkt verwendet werden, aufwändige Schulungen sollten sich auf eine entsprechende (Online-) Dokumentation beschränken können.

Die Tools weisen die folgenden Funktionalitäten auf:

- Crowdsourcing: Anreicherung von Gebäudedaten in Quartieren um Datenpunkte, die nicht aus der Gebäudegeometrie ersichtlich sind, wie beispielsweise der Sanierungsstand
- Dreidimensionale, webbasierte Darstellung von Gebäuden und Quartieren durch eine Überlagerung von 3D-Gebäudemodell und Open Street Maps
- Berechnung Heizwärmeverbrauch nach dem Monatsbilanz-Verfahren nach DIN V 18599 auf Basis der Gebäudegeometrie und des Baujahres und idealerweise weiterer Datenpunkte
- Berechnung Warmwasser- und Strombedarf (statistische Referenzdaten für Einzelgebäude)
- Berechnung Solarstrahlung auf Gebäudefassade und Dachfläche (mit der Möglichkeit, Verschattungen mit zu betrachten und damit)
- Berechnung der PV und Solarenergiepotenziale
- Berechnung von CO₂-Ausstoß und Primärenergiebedarf sowie Emissions-/Kosteneinsparung durch energetische Sanierungen
- Wärmeleitung: Optimierte Trassenführung und Dimensionierung von Nah-/ Fernwärmennetzen für Quartiere
- Simulation von Sanierungsszenarien, anhand nutzer-definierter Kriterien (EnEV/GEG)

1.1.2 Potentielle Nutzer:innen

Für die zukunftsweisende energetisch-optimierte Quartiersentwicklung müssen energetische Aspekte bereits in der frühen Planung einbezogen und abgestimmt werden (bspw. bei der Bauleit- und Flächennutzungsplanung). Die Tools dienen relevanten Akteuren zur Analyse von Gebäudezustand und Sanierungspotential ohne planungsrelevantes Fachwissen oder spezieller Expertise. Diese sind kommunale Gebietskörperschaften, Energieversorgungsunternehmen oder Projektentwickler sowie Wohnungseigentümergemeinschaften (WEGs) die als eine der primären Anwendungsgruppe identifiziert sind: Im Speziellen adressieren die beiden Tools jeweils folgende Nutzergruppen primär:

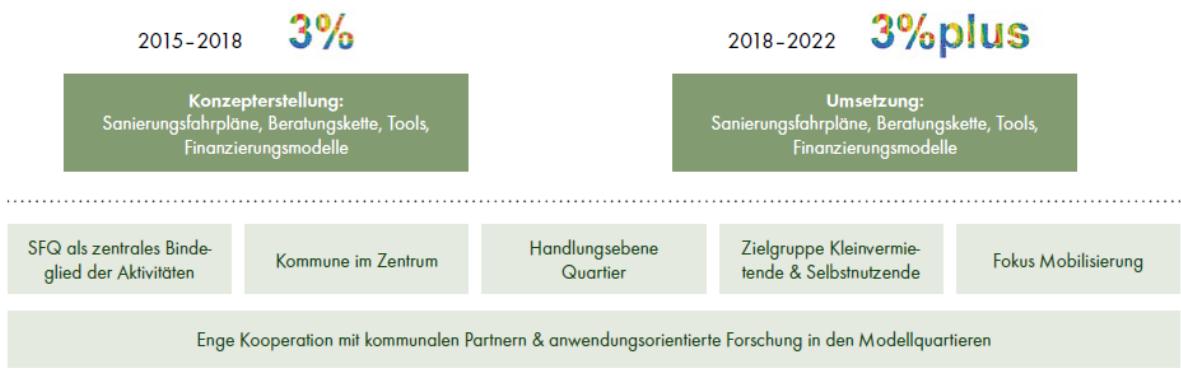
- WEG-Tool: Eigentümer:innen von Einzelgebäuden bzw. in WEG, Verwaltung, Energieberater, etc.
- Crowdsourcing-Tool: Kommunale Entscheidungsträger, Landratsämter, Stadtwerke und Stadtplaner:innen so wie Ingenieur-/Planungsbüros, Energieberatung

1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

1.2.1 Projektkonsortium

Das Gesamtvorhaben „EnEff:Stadt: Drei Prozent Plus: 'Drei Prozent Plus' Umsetzung des energieeffizienten Sanierungsfahrplans für kommunale Quartiere“ schließt an das Vorhaben 'Drei Prozent Projekt - Energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere' an.

PROJEKTVERLAUF UND -INHALTE



AKTEURE IM VERBUNDVORHABEN „3 % PLUS“



Abbildung 1: Verlauf, Inhalte und Konsortium des Gesamtvorhabens [1]

1.2.2 Arbeitsschwerpunkte der HFT

Die HFT pflegt seit vielen Jahren eine starke inter- und transdisziplinäre Arbeitsweise und bringt im Projektverbund ihre fachlichen Expertisen ein:

1. **Sustainable Finance**: Zentrum für Nachhaltiges Wirtschaften und Management (ZNWM) unter Leitung des Teilvorhaben B von Prof. Dr. Tobias Popovic'
2. **Energietechnologie**: Zentrum für Nachhaltige Energietechnik (zafh.net) unter Koordination von Prof. Dr. Ursula Eicker und Prof. Dr. Bastian Schröter
3. **Geoinformatik**: Zentrum für Geodäsie und Geoinformatik (ZGG) unter Koordination von Prof. Dr. Volker Coors

Der Fokus der HFT lag in Teilvorhaben B auf Planungs- und Finanzierungstools und wurde in fünf Arbeitspaketen bearbeitet:

AP4.1: CrowdSourcing-Tool zur Analyse der Umsetzungsbereitschaft bei Privateigentümern

24 Personenmonate (ZGG und zafh.net):

- Implementierung des CrowdSourcing-Tools in einem Referenzquartier
- Launch und Betriebsphase
- Auswertung und Nutzung der generierten Informationen

AP4.2: BuildingScout-Portal zur Analyse von Umsetzungsvarianten bei Einzelgebäuden und kleineren Gebäudegruppen

9 Personenmonate (ZNWM und ZGG):

- Implementierung des BuildingScout-Portals in einer Referenzliegenschaft
- Launch und Nutzungsphase des Portals
- Ableitung konkreter Umsetzungsmaßnahmen
- Überprüfung/Monitoring der Umsetzungsmaßnahmen

AP4.3: Datenintegration für die Erfolgskontrolle bei der Umsetzung energetischer Maßnahmen

10 Personenmonate (zafh.net):

- Auswahl geeigneter Maßnahmen für die Umsetzungsbegleitung und Datenintegration
- Implementierung des Umsetzungsmonitorings
- Auswertung der Informationen und ggfs. Empfehlungen zum Nachjustieren

AP4.4: (De)zentrale (Wärme/Strom-)Speicherszenarien

11 Personenmonate (zafh.net):

- Auswahl geeigneter Maßnahmen für das virtuelle Umsetzungsmonitoring
- Implementierung des virtuellen Umsetzungsmonitoring
- Auswertung der Informationen und ggfs. Empfehlungen zum Nachjustieren

AP4.5: Betreiber- und Finanzierungsmodelle für die Energiewende (Produkt- und Geschäftsmodellentwicklung, Finanzierungslösungen)

18 Personenmonate (ZNWM):

- Wissenschaftliche Begleitung und Ableitung von Handlungsempfehlungen
- Zusammenführung der (Zwischen-)Ergebnisse der AP 4.1 - 4.4 und Ableitung von Key Performance Indikatoren (KPI) zu den jeweiligen Umsetzungsmaßnahmen bzw. -gebieten

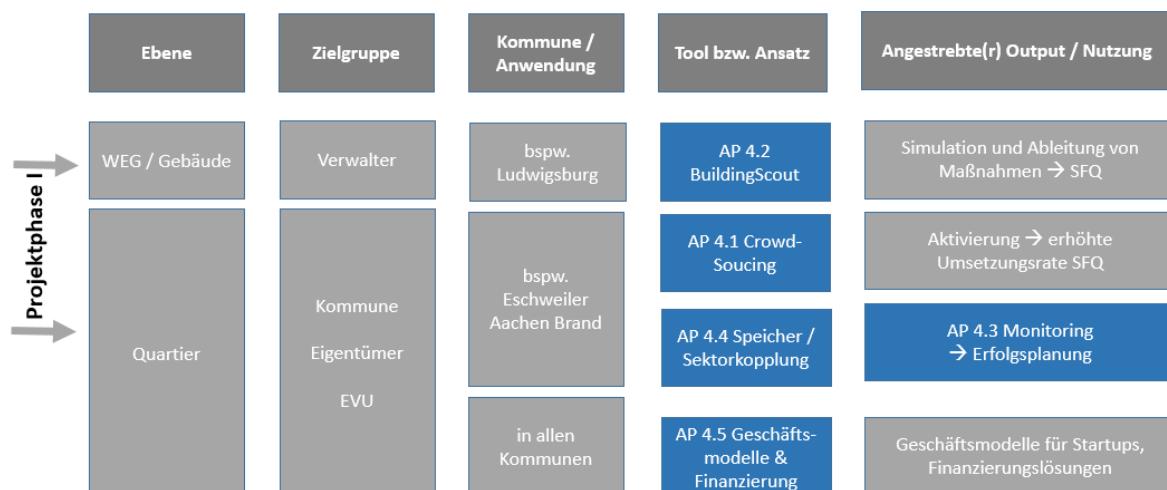


Abbildung 2: Übersicht Gesamtvorhaben, blau dargestellt:

AP4: Teilaspekt der Planungs- und Finanzierungstools.

1.2.3 Zeitplan

Das Vorhaben wurde für eine Laufzeit vom 01.01.2019 bis zum 31.12.2021 bewilligt.

Aufgrund der seit geraumer Zeit bestehenden arbeitsmarktbedingten Schwierigkeiten, qualifiziertes Personal zu finden, gab es im Projektverlauf Verzögerungen, die zu Verschiebungen von Meilensteinen und einer ausgabenneutralen Laufzeitverlängerung geführt haben.

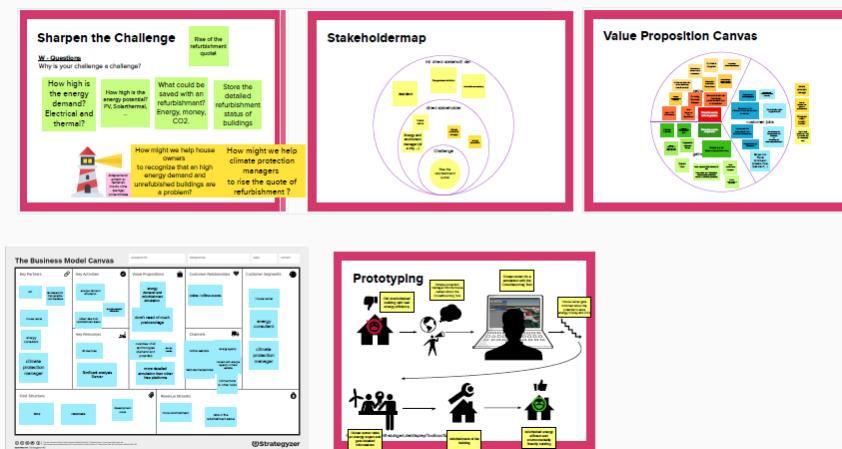
Zudem hat sich der Ausschreibungsprozess für das CS-Tool (AP4.2) als sehr aufwändig herausgestellt.

Mit einem Antrag auf zuwendungsneutrale Verlängerung vom 15.07.2021 wurde das Projekt um 9 Monate vom 31.12.2021 bis zum 30.09.2022 verlängert, mit einem erneuten Antrag auf zuwendungsneutrale Verlängerung am 23.05.2022 wurde das Projekt um 4 Monate schließlich vom 30.09.2022 bis zum 31.01.2023 verlängert.

1.3 Verbundpartner- und Netzwerktreffen

Anlass	Ort, Datum	Erläuterungen
Auftaktveranstaltung	23.05.2019 Rötgen	Interne Auftaktveranstaltung: Planung der ersten 6 Monate Teilnehmende: Projektbeteiligte Teilprojekt B „Planungs- und Finanzierungstools; Agenda: Was haben wir vor (Arbeitspakete) Methodik Anwendungsbeispiele
Projekttreffen  17.45 Ankommen und Kennenlernen der Teilnehmer 18.00 Begrüßung, Präsentation der Akteure des Quartiersentwicklungsraums 18.10 Das Projekt Plus – Überblick des Projektmanagementmodells 18.20 Der Quartiersentwicklungsraum im Quartier Schlösslesfeld Münsterdorf (Quartier 10) – Quartierstruktur, Quartierentwicklung, Quartierentwicklungsraum, Quartierentwicklungsraum und Quartierentwicklung 18.30 Mehrwertprojektgemeinschaft (MEG) Neuenstadt – ein Beispiel aus dem Projekt Plus Projekt und Chris Kesnar, Hochschule für Technik Stuttgart 18.45 Wissenswechsel und neue WIS 18.55 Ausblick auf weitere Quartiersentwicklungen im Partnernetz 19.05 Ausblick und weitere Anregungen 19.30 Gestaltbare Ausbildung für regenerative Straßen 20.00 Ende der Veranstaltung	Auftaktveranstaltung im Quartier Schlösslesfeld, ab 17.45 Uhr in der Stadtteilbibliothek Schlösslesfeld Brahmweg 30, 71640 Ludwigsburg. Nach einer kurzen Einführung zum aktuellen Stand des energieeffizienten Sanierungsfahrplans für Quartiere im Schlösslesfeld wurden gesellschaftlichen Akteuren die bereits bestehenden Angebote zur Sanierung und Energiewende in Ludwigsburg vorgestellt und Anregungen gesammelt. Vortrag: Thomas Bäumer, Stephanie Huber, Tobias Popović & Chris Kesnar: Beteiligungskonzept für nachhaltige Sanierungen bei WEG	
Verbundpartnertreffen	22.10.2019 Stuttgart	Teilnehmende: DV, B.&S.U., HFT HFT Raum 200, Programm: 9:00 Uhr: Begrüßung, 9:30 Uhr: Präsentation BuildingScout 10:30 Uhr: Präsentation Crowdsourcing Tool und 3D Modellierung ca. 12:00 Uhr Mittagspause Im Anschluss Abstimmung und weiteres Vorgehen
Verbundpartnertreffen	15.11.2019, Berlin	Teilnehmende: HFT, BSU, DV Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung e.V., Littenstr. 10, 10179 Berlin; Programm: 11:00 Uhr: Begrüßung und Einführung 11:15 Uhr: TOP 1 – Status Quo – Bericht 12:00 Uhr: World Café Thementisch: Vernetzte Energieberatungsangebote, Kommunale Handlungsspielräume für die Wärmewende, Möglichkeiten durch Digitalisierung 13:00 Uhr Mittagspause 13:30 Uhr: TOP 3 – Projektorganisation 2020: Abstimmung von Themen, Terminen und Meilensteinen 14:30 Uhr: TOP 4 – sonstiges 15:00 Uhr: Ende der Sitzung

Projekttreffen	21.11.2019, Aachen	Abstimmungsgespräche mit lokalen Akteuren und Kommunalverwaltung zur Umsetzung der Sanierungsfahrpläne; Interview Fragenkatalog stawag AG
Projekttreffen	27.11.2019, Ludwigsburg	Abstimmungsgespräche mit lokalen Akteuren und Kommunalverwaltung zur Umsetzung der Sanierungsfahrpläne
Sustainable Investors Summit & Green Finance Forum (Euro Finance Week)	2019 Frankfurt	Konferenz fachlicher, transdisziplinärer Austausch zum Thema Sustainable Innovation, innov. Geschäftsmodelle, Sustainable Finance/Investments
Verbundpartnertreffen	20.01.2020, Berlin	Teilnehmende: HFT, BSU, DV, Altbau+, Stadt Ludwigsburg Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung e.V., Littenstr. 10, 10179 Berlin; Programm: 11:00 Uhr: Begrüßung und Einführung 11:10 Uhr: Übersicht zum Status Quo 12:00 Uhr: Projektorganisation 2020: Organisation, Meilensteine, Berichte, Datenplattform 13:00 Uhr Mittagspause 14:00 Uhr: Vorbereitung Fachsymposium Eschweiler 15:00 Uhr: Ausblick auf Aktivitäten in den Kommunen 2020
Projekttreffen	11.02.2020, Ludwigsburg	<p>Was? Wir machen einen Thermografie-Spaziergang durch Schlösslesfeld, um Wärmeverluste an Gebäuden aufzuspüren. Soll Ihr Haus oder Ihre Wohnung dabei sein? Dann melden Sie sich an unter: energiewender@ludwigsburg.de.</p> <p>Wo? Treffpunkt vor der Stadtteilbibliothek Schlösslesfeld, Brahmweg 30 (Schlösslesfeldschule), 71640 Ludwigsburg</p> 
8. Projektleitertreffen ENERGIEWENDEBAUEN	14./15.05.2020 (online)	Teilnahme
Verbundpartnertreffen + kommunaler Austausch	17.06.2020, Web-Meeting via Webex	<p>Agenda:</p> <p>Part 1: Verbundpartnertreffen</p> <p>10:00 Uhr: Begrüßung und Einführung 10:05 Uhr: Zwischenergebnisse und Aktivitäten der Teilprojekte in 2020 11:00 Uhr: Kommunen – Aktivitäten im ersten Halbjahr 2020 11:30 Uhr Sonstiges / Diskussion 12:00 Uhr: Ende des Verbundpartnertreffens und Mittagspause</p> <p>Part 2: Kommunaler Austausch zu Auswirkungen der Corona-Pandemie auf das Sanierungsmanagement und die Energieberatung</p> <p>13:00 Uhr: Begrüßung und Einführung 13:05 Uhr: Berichte aus den Kommunen 14:00 Uhr: Vertiefte Diskussion zu ausgewählten Themen 15:30 Uhr Ende des Austauschs</p>
Projekttreffen	07.09.2020, Stuttgart	Vorstellung des Projekts bei der Stabsstelle Klimaschutz der Landeshauptstadt Stuttgart.
Workshop	14.10.2020,	Teilnehmende: Bezirksamt Neukölln (Stadtplanungsamt), BIG Städtebau GmbH, BPIE, Deutsches Institut für

	Online-Pra-xisaustausch	Urbanistik, energienker projects GmbH, Gemeinde Leck, Gemeinde Ostbevern, IB-SH, Investitionsbank Schleswig-Holstein, InnovationCity Management, Landeshauptstadt Kiel, Landeshauptstadt München, Landeshauptstadt München, Landeshauptstadt Stuttgart, Münchner Gesellschaft für Stadterneuerung mbH, Nassauische Heimstätte GmbH, Stadt Brühl, Stadt Flensburg, Stadt Frankfurt a.M., Energiereferat, Stadt Heidelberg, Stadt Langenhagen, Stadt Mannheim (Energiemanagement), Stadt Münster (Amt für Immobilienmanagement), Stadt Reinbek, Stadt Rheda-Wiedenbrück, Stadt Sankt Augustin, Stadt Schwerte, StadtServiceBetrieb Brühl, Stadtverwaltung Cottbus, Verbandsgemeindeverwaltung Herrstein-Rhaunen, Wissenschaftsstadt Darmstadt (Stadtplanungsamt)
2020 - EnergieWendeBauen 7. 05./06.11.2020 Projektleitertreffen		Projektvorstellung und Erfahrungsaustausch
Workshop	12.11.2020, Stuttgart	Innovation Challenge: Bootcamp: Diskussion der Tools
<p style="text-align: center;"> Bootcamp - Innovation Challenge 12.11.20</p> 		
Projekttreffen	20.11.2020, Ludwigsburg	Abstimmungsgespräche mit lokalen Akteuren und Kommunalverwaltung zur Umsetzung der Sanierungsfahrpläne
DENEFF Jahreskonferenz	24.11.2020, Berlin	Teilnahme an der DENEFF Jahreskonferenz
2020 - EnergieWendeBauen 7. 05./06.11.2020 Projektleitertreffen		Projektvorstellung und Erfahrungsaustausch
Projekttreffen	19.01.2021, Web-Meeting via Webex	Expertenkreis: Verbundpartnertreffen; Agenda: 13:00 Uhr: Begrüßung und Einführung 13:05 Uhr: Zwischenergebnissen und Stand der Teilprojekte 14:00 Uhr: Bericht aus den Kommunen und geplante Aktivitäten 14:30 Uhr Ausblick, Projektorganisation, Weitere Diskussion 16:00 Uhr: Ende des Verbundpartnertreffens
Projekttreffen	15.07.2021, Stuttgart	Abstimmungsgespräche mit Projektpartnern zur Umsetzung der Tools
Präsentation und Diskussion 3%-Plus-Projekt mit ING und KfW (online)	02.09.2021	Präsentation und Diskussion

10. Projektleitungstreffen ENERGIEWENDEBAUEN	23./24.11.2021 (online)	Teilnahme
11. Projektleitungstreffen ENERGIEWENDEBAUEN	28.04.2022 (Online)	Teilnahme
Projektlunch	11.05.2022, Aachen	Teilnehmende: Verbundpartner; Agenda: Aktueller Stand CrowdSourcing-Tool Geplante Weiterentwicklung und Nutzerprofile Mögliche Betreibermodelle zur Verstetigung Geplante Formate in der Region Aachen
Interviewtermin zu digitalen Geschäftsmodellen im Rahmen der Begleitforschung EWB	26.07.2022 (online)	Interview
Projekttreffen	12.09.2022, Berlin	Interner Projektabschluss: Expertenkreis und Verbundpartnertreffen
ENERGIEWENDEBAUEN-Konferenz	10.11.2022	Eigener Impulsbeitrag zum Thema Digitale Geschäftsmodelle, Diskussion

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Bedarf der Erweiterung des AP 4 im 3%-Plus-Projekt?

Das Verbundvorhaben Drei Prozent Projekt hat einen Beitrag zur Erhöhung der energetischen Sanierungsrate im Gebäudebestand und damit zu den Klimazielen von Bund und Ländern geleistet. [2] Das Verbundforschungsprojekt wurde vom DV koordiniert und gemeinsam mit der BSU und der HFT durchgeführt. Als Demonstratoren waren zudem die Städte Ludwigsburg, Aachen und Mühlthal bei Darmstadt eingebunden. Das Projekt wurde im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ (Bekanntmachung vom 08.12.2014) durchgeführt und vom BMWK gefördert. [3]

In 3 Teilvorhaben wurden praxisnah mit Modellkommunen energieeffiziente Sanierungsfahrpläne für eine geplante 10 - 20 Jahre schrittweise Umsetzung für diversifizierte kommunale Quartiere bis ins Jahr 2050 erarbeitet. Die Mobilisierung der unerschlossenen Energieeffizienzpotentiale von drei Modellkommunen war dabei das Ziel. Die HFT hat hierbei ein innovatives Instrument für die operative Methodik für Kommunen entwickelt, um energieeffiziente Sanierungsfahrpläne für Bestandsquartiere zu erstellen:

Diese basieren auf einer Analyse der Potenziale und Hemmnisse in den Quartieren um Prioritäten hinsichtlich eines hohen Sanierungsbedarfs einerseits, hoher Sanierungspotenziale andererseits und der spezifischen Widerstände und Hemmnisse zu identifizieren und quantifizierbar zu machen. Die Analyse der unterschiedlichen Eigentümerzielgruppen und vorhandener Hemmnisse aus technischer, finanzieller, soziodemographischer, psychologischer und kommunativer Sicht sowie die Erarbeitung von operativen Lösungsvorschlägen sind wesentliche Schritte, um bestehende Energieeffizienzpotentiale mobilisieren zu können. Die Methodik wurde transdisziplinär mit den Modellkommunen entwickelt, getestet und optimiert.

Das Projekt hat dem internationalen Vorhaben Annex 63 „Implementation of Energy Strategies in Communities“ zugearbeitet. Der energieeffiziente Sanierungsfahrplan soll zu einem kommunalen (Standard) Instrument (weiter-)entwickelt werden, um die Klimawende zu beschleunigen.

Auswirkungen der COVID-19 Pandemie und die Auswirkungen auf das Projekt

Leider war es aufgrund von Covid-19-Beschränkungen im Berichtszeitraum weithin nicht möglich, größere Präsenzworkshops und ähnliche Veranstaltungen im ursprünglich angestrebten Umfang zu veranstalten bzw. zu besuchen. Der dadurch entstandene Zeitverzug konnte leider nicht vollständig aufgeholt werden. In 2021/2022 wurde jeweils ein Workshop in jeder Region durchgeführt. Im September 2022 hat ein Abschlussworkshop in Aachen stattgefunden. Der Austausch und der Kontakt mit möglichen

Potentialstudien wurden dadurch erschwert, jedoch konnte der Prozess schnell in eine digitale Form überführt werden.

Erhöhung der Sanierungsrate in Wohneigentümergemeinschaften (WEG)

In Deutschland stellt die Gruppe der Wohnungseigentümergemeinschaften die zweitgrößte Eigentümergruppe dar. Sie umfasst 9 Millionen Wohnungen mit 1,8 Millionen Mehrfamilienhäusern. Die Sanierungsrate liegt in dieser Gruppe jedoch 40% unter dem Durchschnitt. Dies liegt zumeist an der unterschiedlichen Interessenlage der Eigentümer:innen in solch einer WEG. Durch die WEG-Reform (Wohnungseigentümergesetz) zum 1.12.2020 erfolgte eine Vereinfachung, was die Umsetzung baulicher Veränderungen angeht. Sanierungen können so durch eine zwei Dritteln Mehrheit beschlossen werden und insoweit diese keine Unverhältnismäßigkeit gegenüber Einzelnen darstellt werden auch die damit verbundenen Kosten gleichmäßig aufgeteilt. Nicht-professionelle Eigentümer:innen sind wichtigste Zielgruppe bei Dekarbonisierung der Gebäude.

Ausschlaggebend für eine flächendeckende Umsetzung von energetischen Sanierungen und das Erreichen unserer Klimaziele im Wohngebäudebereich bleiben die Investitionen der Einzel- und Kleineigentümer:innen. Diese besitzen etwa 80 Prozent aller gut 40 Millionen Wohnungen in Deutschland, sowie 16 Millionen Ein- und Zweifamilienhäuser (vgl. Destatis 2022, Diefenbach et al. 2010, Statista 2021). Dabei ist dieser überwiegend kleinteilige Gebäudebestand in den Händen zumeist nicht-professioneller Akteure. Ihre Entscheidungskontexte und Hemmnisse bei Sanierungen müssen mitgedacht und adressiert werden, wenn übergeordnete Ziele, Regulatorik und Förderung nicht ins Leere laufen sollen. Zur Unterstützung dieser Übersetzungsarbeit gibt es diverse potenzielle Hebel, die nach Möglichkeit vor Ort im direkten Umfeld der potenziellen Sanierenden anzusetzen sind: so zum Beispiel Mobilisierung und Information; Energieberatung; Koordinierung und integrierte Planung von Wärmewende, Dekarbonisierung und Städtebau; Qualifizierung und Vernetzung der umsetzenden Akteure bei Sanierungsprozessen.

3% plus-Projekt erforscht mit lokalen Partnern Tools, Methoden und Strukturen zur Mobilisierung

Diese Hebel zur besseren Mobilisierung von nicht-professionellen Eigentümer:innen haben der Deutsche Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung e. V. (DV), die Beratungs- und Service-Gesellschaft Umwelt mbH (B.&S.U. mbH) und die Hochschule für Technik Stuttgart (HFT) im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Verbundforschungsprojekt „3% plus – Umsetzung des energieeffizienten Sanierungsfahrplans für kommunale Quartiere“ untersucht. Im Zentrum standen Kapazitäts- und Strukturfragen für gezielte, vorwiegend quartiersorientierte Mobilisierung, Beratung und Begleitung der Umsetzung energetischer Modernisierungen. Besonderen Schwung kann hier eine aktive und koordinierende Kommune bringen. Daher arbeiteten die Verbundpartner eng mit den kommunalen Praxispartnern der Stadt Ludwigsburg sowie des Vereins altbau plus e. V. aus Aachen zusammen. In vier Modellquartieren in Ludwigsburg-Schlösslesfeld, Eschweiler, Roetgen und Aachen-Brand wurden sogenannte „energieeffiziente Sanierungsfahrpläne für kommunale Quartiere“ (SFQ) mit vielfältigen Mobilisierungsmaßnahmen umgesetzt. Darüber hinaus wurden unterstützende digitale Tools für die Gebäude- sowie die Quartiersebene, Finanzierungsmodelle sowie Ansätze zur Etablierung von Sanierungsnetzwerken mit lokalen umsetzenden Akteuren aus Planung, Finanzierung und Handwerk mit den Praxispartnern erprobt. All dies soll zu einer Steigerung der jährlichen Sanierungsrate bei den Wohngebäuden im Bestand beitragen. Das 3% plus-Projekt knüpft dabei an das Vorhaben „Drei Prozent Projekt – Energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere“ an (siehe Grafik).

Aktive Kommune und das Quartier als Handlungsebene bei der energetischen Sanierung

Der Abschlussbericht fasst Erkenntnisse aus den fast vier Jahren Forschungsarbeit zusammen und fokussiert dabei drei Teilbereiche. Dabei wird zunächst eine kommunale, planerische Perspektive eingenommen und die quartiersbezogenen Mobilisierungsansätze mithilfe der SFQ erläutert. Dabei wird

auf Praxisbeispiele aus den Modellquartieren zurückgegriffen. Zusätzlich wird reflektiert, wie der kleinteilige Mobilisierungsansatz im Rahmen der SFQ in Fläche gebracht werden kann, welche Fördermöglichkeiten hier bestehen beziehungsweise welche ausgeweitet werden sollten.

Im besonderen Fokus steht dabei das Quartier als Planungs- und Handlungsebene für die Kommune. Denn in den Quartieren überschneiden sich Strategie- und Umsetzungsebene. Auf dieser räumlichen Maßstabsebene lassen sich die zur Treibhausgasneutralität notwendigen integrierten, sektorenübergreifenden und technologieoffenen Herangehensweisen konzipieren und realisieren. Diese bieten zusätzliche Potenziale, die einzelgebäudebezogen nicht gehoben werden können, sind aber weniger komplex als auf gesamtstädtischer Ebene. Die Quartiersebene verfügt über zahlreiche Synergieeffekte, die zielgerichtete Maßnahmen – sowohl auf der Verbrauchs- als auch auf der Versorgungsseite – ermöglichen. Außerdem bietet sie einen größeren Spielraum bei der Kombination von Maßnahmen zur Primärenergieeffizienz bei der Energieversorgung sowie Endenergieeinsparung. Bei der energetischen Sanierung ergeben sich Schnittstellen zu anderen Infraukturbereichen wie Mobilität, (Ab)Wasser, Abfall, Informations- und Kommunikationstechnologie und Freiraumgestaltung. Dies kann außerdem von Vorteil sein, um Klimaschutzmaßnahmen für Bürger:innen und Kommunen attraktiver zu gestalten und direkter zu kommunizieren.

Beratungsstrukturen und Sanierungsnetzwerke unterstützen

Das enorme Tempo bei den energischen Sanierungen, welches unsere Klimaziele erfordern, muss nicht nur von Eigentümer:innen durch Investitionen und von den Kommunen durch Planung und Mobilisierung mitgegangen werden. An der Schnittstelle zwischen Eigentümer:innen und übergeordneter Energie-, Wärme- und städtebaulicher Planung agieren vor allem die umsetzenden Akteure der Energiewende: zum Beispiel Energieberater:innen, Handwerker:innen, Planer:innen und Architekt:innen, Finanzinstitute, Energieversorger. Sie müssen bei dynamischen Rahmenbedingungen und aktuell bei Personal- und Materialknappheit, die Eigentümer:innen passgenau zu komplexen Sanierungsprozessen beraten und diese umsetzen. Die Eigentümer:innen wiederum haben über den Sanierungsprozess hinweg voraussichtlich mit diversen Gewerken zu tun. Kapitel 3 beschreibt, wie fragmentierte Beratungs- und Umsetzungsstrukturen die Sanierungsaktivitäten hemmen können und vor allem wie die Kommune und umsetzende Akteure dem mit Beratungsketten und Sanierungsnetzwerken entgegenwirken können.

Unterstützende Tools für die verschiedenen Ebenen des Sanierungsprozess

Um Wärme- und Energiebedarfe beziehungsweise potentielle monetäre und CO₂-Ersparnisse abzuschätzen oder um Kommunikations- oder Informationsschnittstellen zu verbessern: Innovative digitale Tools energetische Sanierungsprozesse optimieren und vereinfachen. Gerade für nicht-professionelle Eigentümer:innen und Investoren können solche unterstützenden Werkzeuge sehr hilfreich sein. Aber auch auf einer übergeordneten Quartiersebene können sie bei der Planung und Koordination unterstützen, indem Sie helfen, mit komplexen Daten und Akteurskonstellationen umzugehen. Kapitel 4 stellt beispielhaft zwei im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten und erprobten digitalen Tools vor. Beschrieben werden das sogenannte WEG-Tool, welches für Wohnungseigentümergemeinschaften entwickelt wurden sowie das Crowdsourcing-Tool, mit welchem energetische Zustände und Sanierungsszenarien von Gebäuden simuliert werden können.

Flaschenhals bei kleinteiliger Mobilisierung und Umsetzung auflösen

Das 3%-Plus-Projekt hat gezeigt, dass für die erwünschte Sanierungs dynamik bei aktuell technologischen, wirtschaftlichen sowie regulatorischen Unsicherheiten die Anstrengungen für die Mobilisierung, Beratung und Begleitung von Eigentümer:innen unverzichtbar ist. Es hat Ansätze gezeigt und erprobt, um dies umzusetzen und um übergeordnete Weichenstellungen auch in die breite Praxis zu übersetzen. Dies muss vor Ort in den Kommunen und auch mit individuellen Herangehensweisen in den Quartieren erfolgen, die durch differenzierte soziodemographische und -ökonomische Eigentümer:innen- und Bewohner:innenstrukturen sowie unterschiedliche Bautypologien und Siedlungsstrukturen gekennzeichnet sind. Diese Broschüre fasst die Erkenntnisse hierzu zusammen und formuliert abschließend die wichtigsten „Lessons Learned“ der Projektpartner.

3 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Im vorangegangenen Drei Prozent Projekt wurden kommunale Sanierungsfahrpläne modellhaft entwickelt, mit denen durch die Kombination von Einzelmaßnahmen sowie durch Komplettsanierungen eine durchschnittliche jährliche (Voll)-Sanierungsquote von 3 Prozent des Gebäudebestands erreicht werden kann. Die Ergebnisse aus dem 3%-Projekt sind die fundamentale Basis für die Weiterentwicklung der Tools und Methode.

3.1 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Die verwendete Fachliteratur und Informationsdienste sind im Literaturverzeichnis am Ende des Dokuments zusammengefasst.

3.2 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Es sind keine Schutzrechte bekannt, die in diesem Projekt berücksichtigt hätten werden müssen. Für die Simulationsstudien wurden die maßgeblich von der HFT entwickelten Tools INSEL und SimStadt verwendet.

3.2.1 INSEL

INSEL ist eine Simulationssoftware zur Programmierung von komplexen Gebäude- und Energiesystemen mit einer Programmiersprache in Blockdiagrammen. INSEL wurde in kooperativen Forschungsprojekten von der HFT entwickelt. Im Jahr 2020 wurde INSEL zum Download als Freeware verfügbar. Die einfache grafische Programmiersprache ersetzt hierbei eine sonst eher komplexe textbasierte Programmierung. [5]

3.2.2 SimStadt

SimStadt ist der Name einer urbanen Simulationsumgebung und dem gleichnamigen Projekt an der HFT. Die SimStadt Software ist das Ergebnis des bereits 2015 abgeschlossenen Projekts (SimStadt). SimStadt wurde in der Version 0.10.0-SNAPSHOT (refactor, rev. c1f5170, 20200706) verwendet.

SimStadt ist in seiner jetzigen Ausbaustufe in der Lage, Daten der realen städtebaulichen Situation und eines Planungszustandes zu verwalten, z.B. für Energieanalysen von Gebäuden, Stadtquartieren, ganzer Städte und sogar Regionen. Die Anwendungsszenarien reichen hier von Simulationen des Heizwärmebedarfs über Photovoltaik Potenzialstudien bis hin zur Simulation von Gebäudesanierungs- und erneuerbaren Energieversorgungsszenarien. Damit bietet diese Simulationsumgebung eine wesentliche Unterstützung für Stadtplaner und für die Definition und Koordinierung einer Stadt mit niedrigem Kohlendioxidausstoß. [4]

3.2.3 CesiumJS

CesiumJS ist eine Open-Source-JavaScript-Bibliothek zur Erstellung von benutzerfreundlichen 3D Karten. Die Bibliothek wird verwendet um interaktive Webanwendungen für die gemeinsame Nutzung dynamischer Geodaten zu erstellen. CesiumJS basiert auf offenen Formaten und ist für robuste Interoperabilität und Skalierung für große Datensätze ausgelegt. In dem Projekt wird es verwendet um 3D Ansichten von den 3D Gebäudedaten zu erstellen und diese mit den Simulationsdaten zu verknüpfen. [6]

4 Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse

4.1 CrowdSourcing-Tool zur Analyse der Umsetzungsbereitschaft bei Privateigentümern (AP 4.1)

Mit dem CrowdSourcing-Tool (CS-Tool) wurde ein nutzerfreundliches Verfahren entwickelt, um Gebäude Eigentümer:innen schnell und einfach Zugang zu Informationen potentieller Sanierungsmaßnahmen zu ihrem Gebäude zu bekommen. Durch eine integrative Betrachtung kann das Tool barrierefrei und unverbindlich das Sanierungspotential berechnen.

Das Crowdsourcing-Tool ermöglicht, reale städtebauliche Daten auf Gebäudeebene mit Daten von Planungszuständen zu verwalten und vergleichen. Das CS-Tool ermöglicht somit einen schnellen Überblick über den energetischen Zu-stand des kommunalen Gebäudebestands zu bekommen.

Mit einem angereicherten Datensatz können Kommunen bspw. Quartiere, Straßenzüge, Wohnblocks o. ä. identifizieren, in denen mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit hohe Energieeffizienzpotenziale erschließbar sind. Die Ergebnisse für einzelne Gebäude sollten je nach Datenbasis jedoch zunächst mit entsprechender Ungenauigkeit betrachtet werden: je mehr Gebäude insgesamt betrachtet werden, desto genauer wird das durchschnittliche Ergebnis im Einzelnen. Wenn keine Daten aus dem WEG-Tool übernommen werden, sind die hinterlegten Standard-Daten mindestens die Lage, Kubatur und Ausrichtung, oft auch mit Baujahr.

Auch wenn das Tool ohne die Angabe spezifischer Gebäudedaten Simulationen durchführen kann, besteht dennoch die Möglichkeit vertiefende Angaben zu machen (falls Sanierungen, Heizsystem o.ä. bekannt sind). So können die Simulationsergebnisse weiter detailliert werden. Für das Tätigen dieser Eingaben müssen die Kommunen Gebäudeeigentümer, Energieberater, Handwerker etc. aktivieren, da diese Daten der Kommune in der Regel nicht bekannt sind.

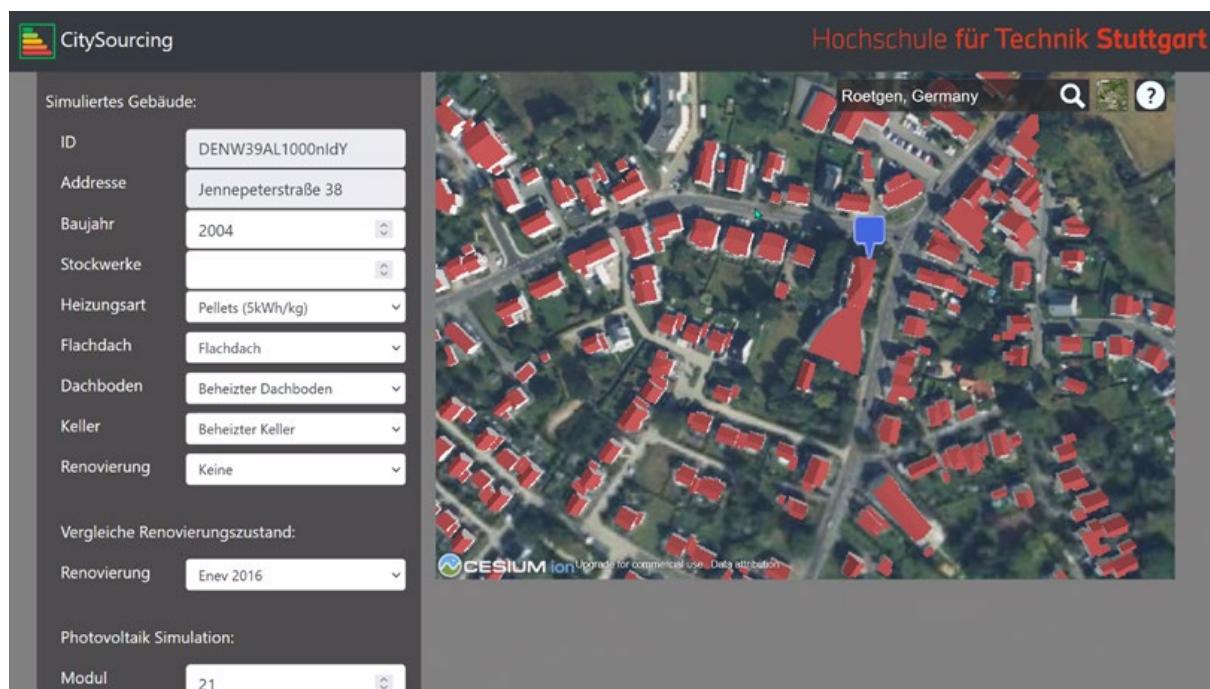


Abbildung 3: Grafische Oberfläche des CrowdSourcing-Tools

Das CS-Tool simuliert hierfür auf Basis von 3D-Gebäudemodellen den monatlichen und stündlichen Heizwärme- (Monatsbilanz-Verfahren nach DIN V 18599) und Strombedarf (statistische Referenzdaten für Einzelgebäude) sowie das PV Potenzial. Durch die holistischen und zuverlässigen Arbeitsabläufe können sowohl der energetische Zustand als auch mögliche Gebäudesanierungs- und erneuerbaren

Energieversorgungsszenarien (anhand Nutzer-definierter Kriterien, EnEV/GEG) sehr detailliert analysiert werden.

Die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse ist abhängig von den ergänzenden Eingabedaten (u.a. beheizte Gebäude Teile, getätigte Sanierungen, Anlagentechnik). Für das Gebäude wird nach der Web-basierten Simulation der spezifische Heiz- und Kühlenergiebedarf sowie das errechnete PV Potential ausgegeben. Die hinterlegte Gebäudekubatur (inkl. Neigungswinkel und Ausrichtung des Dachs) sowie der Verschattungsberechnung (inkl. solarer Einträge) über das 3D-Modell erhöhen die Genauigkeit des Ergebnisses.

Die Simulation erfolgt dann in den mehreren Schritten: Durch Nutzerinteraktion wird eine Anfrage vom Visualisierungsclient (basierend auf Cesium-Framework) an die CrowdSourcing Web Application gesendet. Abgefragt werden die ID des zu simulierenden Gebäudes sowie weitere (optionale) Attribute, die vom Nutzenden aber in weiteren Schritten auch noch detailliert werden können. Die eingegebenen Daten werden zur nochmaligen Verwendung im Visualisierungsclient angezeigt.

Falls vorher schon eine Simulation ausgeführt wurde, so werden die damals eingegebenen Daten zur nochmaligen Verwendung im Visualisierungsclient vorgeschlagen. Das vereinfacht wiederholtes ausprobieren von Szenarien ohne repetitive die Anzahl der Stockwerke einzugeben.

Mit der Simulationsanfrage wird zuerst das einzelne Gebäude auf das Quartier zurückgeführt das zur Simulation benötigt wird. Außerdem werden die aktualisierten optionalen Attribute zurück in die Datenbank gespeichert für eine spätere Verwendung. Dann erfolgt der eigentliche Simulationsaufruf für die SimStadt API [4], die die Geometrie und Attribute nimmt und eine Simulation durchführt. Die Ergebnisse werden zur Darstellung nochmal gefiltert, damit nur Informationen des angefragten Gebäudes zur Visualisierung weitergegeben werden.

Zur Visualisierung werden die Informationen in Diagramme und Zahlenwerten zusammengefasst und dargestellt.

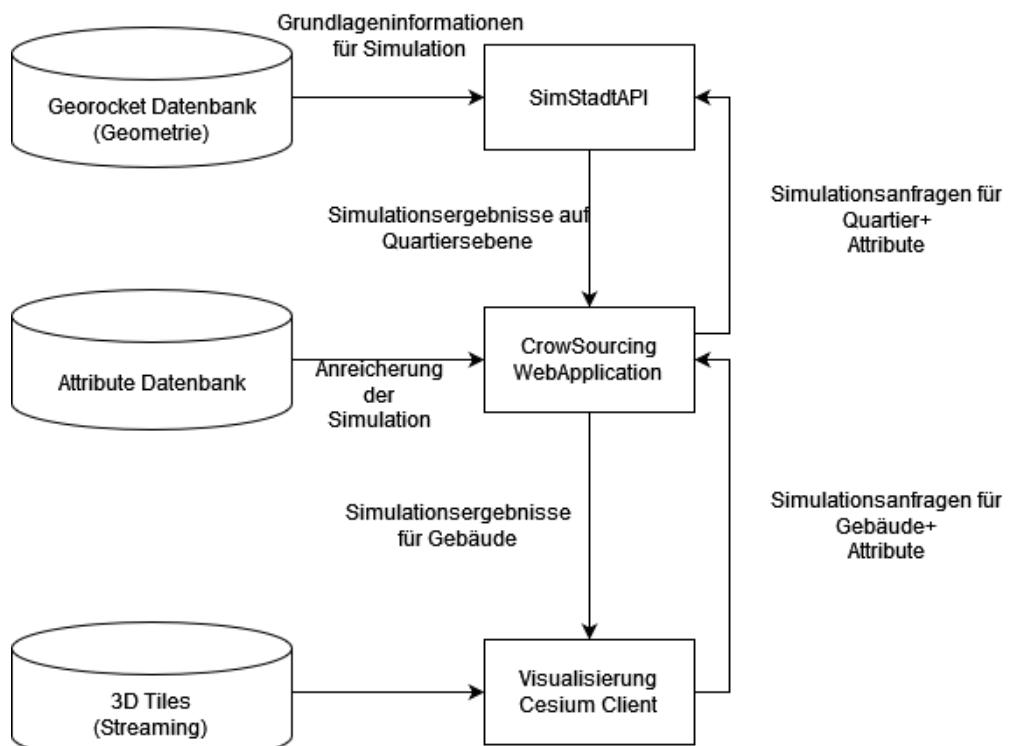


Abbildung 4: Informationsfluss im CS-Tool

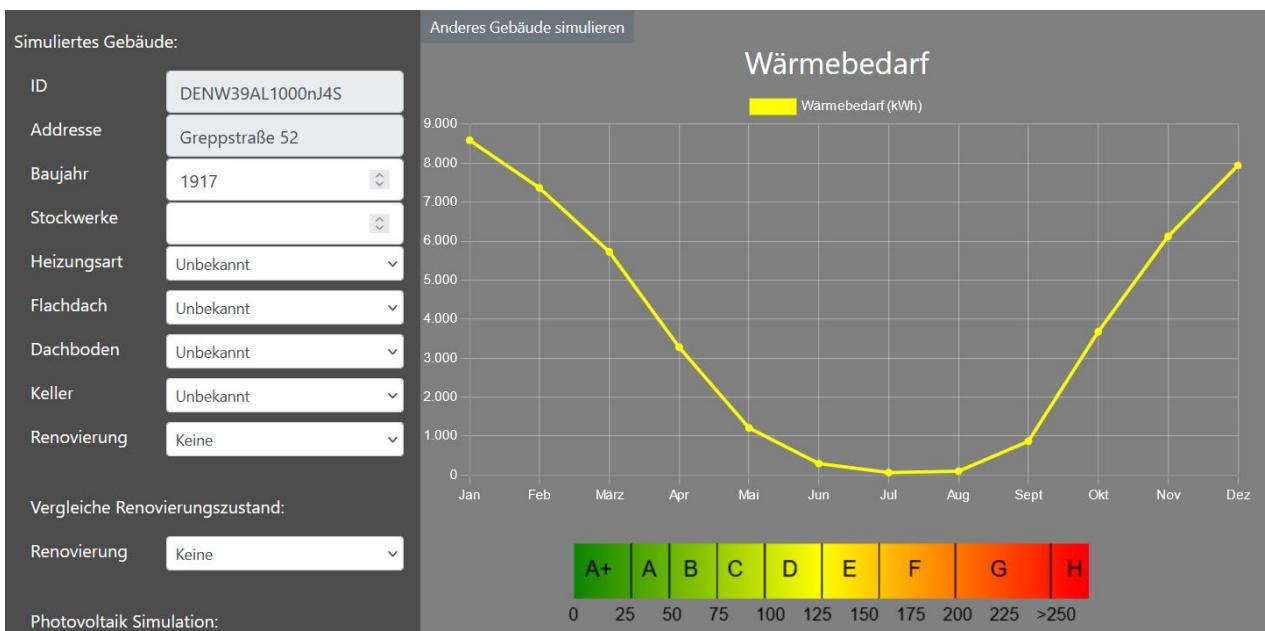


Abbildung 5: <http://193.196.138.36/dashboard.html> - Monatliches PV Potential- und Kostenabschätzung eines Einfamilienhauses, Monatlicher Verlauf des Wärme- und Kühlbedarfs eines Einfamilienhauses.

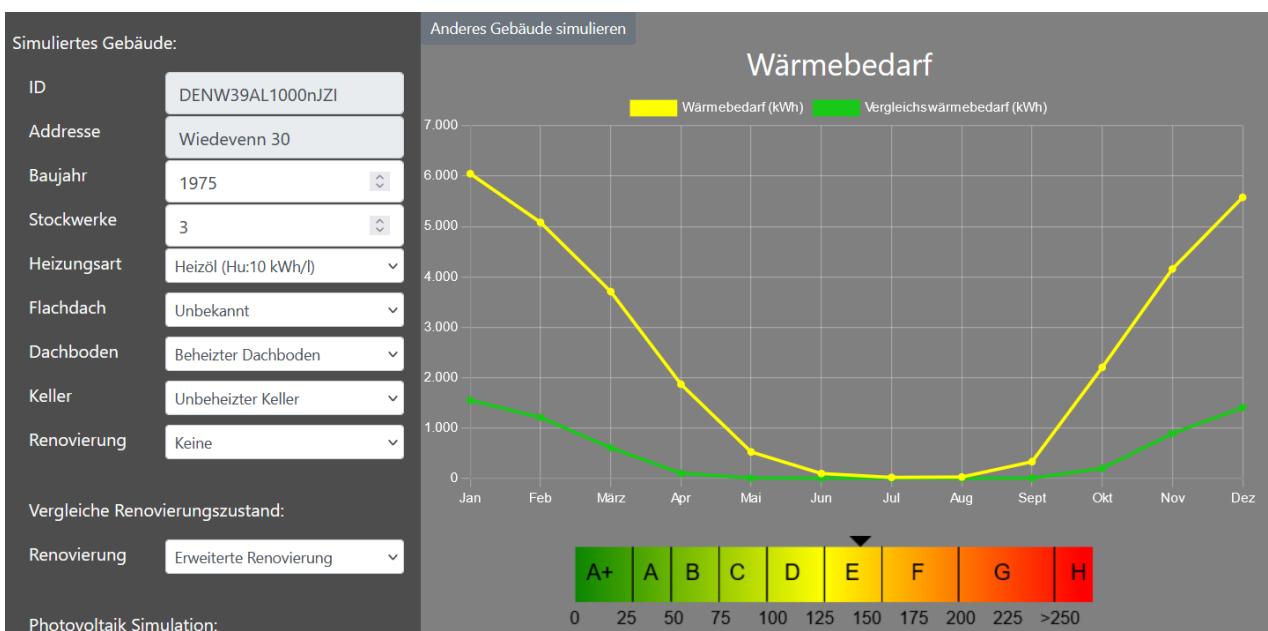


Abbildung 6: Vergleich des Wärmebedarfs für eine Sanierungsmaßnahme

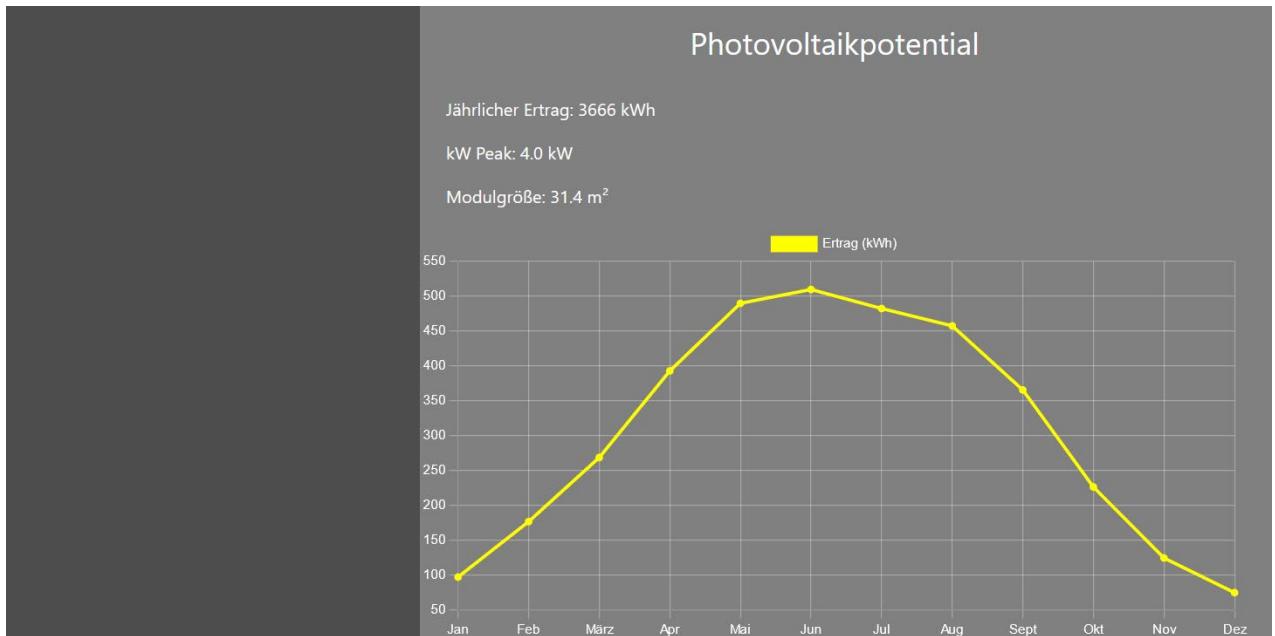


Abbildung 7: Darstellung der Photovoltaikpotentialsimulation

Im nächsten Schritt können Vergleichsrechnungen des energetischen Einsparpotentials mit verschiedenen Sanierungsvarianten durchgeführt werden:

- keine
- mittlere Renovierung
- Erweiterte Renovierung
- EnEV 2016
- Fassade / Dach / Kellerdecke / Fenster nach EnEV 2016

Wie die Building Physics Library für die Berechnung in SimStadt definiert ist, können Sie in der SimStadt Dokumentation unter folgendem Link nachlesen:

<http://simstadt.hft-stuttgart.de/related-software/building-physics-library/>

Die Sanierungsmaßnahmen werden abhängig des Baujahrs simuliert und es werden verschiedene Materialien für Wände, Dächer und Fenster in der Simulation eingesetzt. Die simulierten Materialien sind in der Simulationsplattform SimStadt konfigurierbar.

Das Crowdsourcing-Tool kann Daten zu Einzelgebäuden liefern, die von den Eigentümern eingegeben werden. Mit diesen gesammelten Daten kann dann auch ein ganzes Quartier simuliert und hinsichtlich des Wärme- und Strombedarfs sowie die Effizienzpotentiale durch energetische Sanierung analysiert werden.

Als weitere Möglichkeit der Verbesserung des Prinzips wurde an einem Hackathon ein Prototyp zur Bereitstellung von gebäudescharfen Steckbriefen zu Sanierungsmöglichkeiten entwickelt. Diese Steckbriefe zielen auch darauf ab die Hürde zur Beratung durch Handwerker oder Energieberater zu verringern. Es gibt den Eigentümern einen unverbindlichen Kostenvoranschlag zur Einordnung der Amortisationszeit und Größe des Unterfangens.

Die Umsetzungsbereitschaft der Nutzer kann damit gesteigert werden, da jeder Nutzer sich schnell ein Überblick schaffen kann wie viel Einsparung eine Sanierungsmaßnahme erreichen kann. Mit dieser Information kann ein Nutzer sich zu dieser Maßnahme entscheiden, wenn er der Ansicht ist, dass sich die Maßnahme lohnt.

Mithilfe von SimStadt kann ein Nahwärmenetz simuliert werden, jedoch lagen keine Pläne eines Nahwärmenetzes vor und konnten deshalb nicht simuliert werden. Für die Anschlussbereitschaft der Bewohner an ein Nahwärmenetz wurde die Stadt Ludwigsburg befragt.

Mieterstrommodelle wurden zu Beginn des Antrags als sehr wichtig in Betracht gezogen. Es stellte sich jedoch heraus, dass es kaum Resonanz zu den Strommodellen gab und daher wurde dieser Teil nicht weiter in Betracht gezogen.

Aus diesen Daten sollte ein Stimmungsbild zu bestimmten Energie- und versorgungstechnischen Themen entstehen. Es gab dazu Veranstaltungen in Ludwigsburg, jedoch war die Resonanz, dass dafür kein Interesse besteht und es auch keine Rückmeldung gab. Daher wurde die Erstellung des Stimmungsbilds nicht weiterverfolgt.

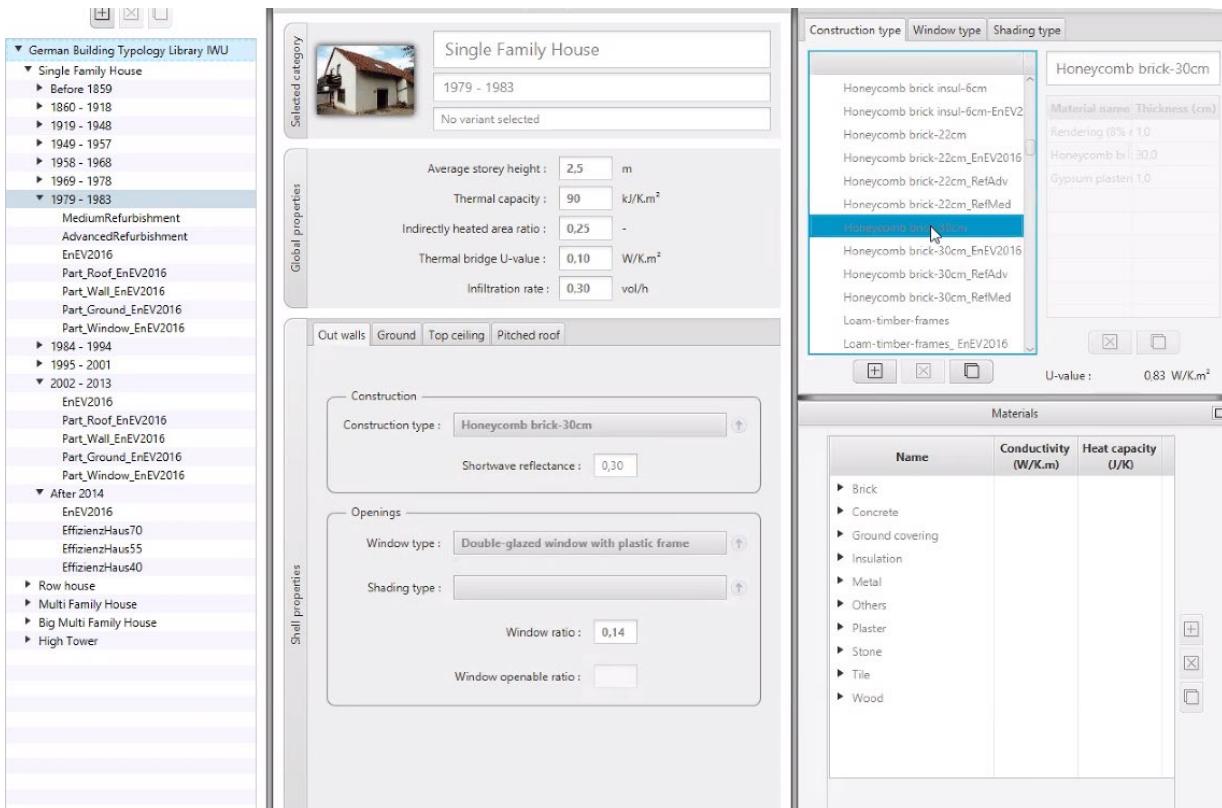


Abbildung 8: Screenshot SimStadt / BuildingPhysicsLibraryEditor, Gebäudetypologie

4.2 BuildingScout-Portal zur Analyse von Umsetzungsvarianten bei Einzelgebäuden und kleineren Gebäudegruppen (AP4.2)

In WEGs (Wohnungseigentümergemeinschaften) besteht die Besonderheit, dass nicht eine Partei alleine über die Umsetzung energetischer Sanierungsmaßnahmen entscheiden kann. Solche Maßnahmen müssen in der Regel mit der Verwaltung abgestimmt und gemeinschaftlich beschlossen werden. Im Verbundvorhaben: „Drei Prozent Projekt – energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere 2050“ (Laufzeit: 01.08.2015 – 31.12.2018) wurde identifiziert, dass durch die schwierige Konstellation in WEG seltener energetische Sanierungen durchgeführt werden und daher häufig ein besonders hohes Energieeinsparpotenzial vorliegt. Eines der größten Hemmnisse hierbei ist die mangelnde Kenntnis zum Gebäudezustand sowie die Erhebung von energetischen Effizienz- und Sanierungsmaßnahmen. Oft liegt innerhalb von Wohnungseigentümergemeinschaften ein unterschiedlicher Kenntnisstand zum Gebäudezustand vor, aber auch inkohärente Überzeugungen zu energetischen Sanierungsmaßnahmen können herausfordern. Um als Gesprächsgrundlage ein gemeinsames Verständnis zwischen allen Beteiligten zu schaffen setzt das WEG-Tool an dieser Stelle an: im Zusammenspiel können Gebäudeverwaltung und Hausgemeinschaft gemeinsam relevante Gebäudeparameter in das WEG-Tool eingeben, um direkt Angaben zur Gebäudeeffizienz berechnen und anzeigen zu lassen.

Die Entwicklung des Tools wurde an einen externen Partner vergeben, der über die nötige Expertise verfügte, um eine Webseite mit den gewünschten Features zu entwickeln. Für die Vergabe des Projekts wurde deshalb eine Ausschreibung erstellt. Von den erhaltenen Angeboten wurden zwei in die nähere Auswahl genommen. Es wurde ein Anforderungskatalog erstellt, den die Firmen zu erfüllen haben. Die Anforderungen sind dabei sowohl funktional als auch nicht funktional und auch optionale Anforderungen wurden erstellt, die die Firmen erfüllen können aber nicht müssen.

Mit den Firmen fanden Präsentationstermine statt, anhand derer von den Mitarbeiter:innen der HFT eine Bewertung nach vorher festgelegten Kriterien erstellt wurde. Am Ende wurde der Firma Axcorn [7] der Zuschlag erteilt. Das Projekt wurde mit regelmäßigen Terminen begleitet damit die Entwicklung den Ansprüchen der Aufgabe gerecht wird.

Das Tool sieht folgendermaßen aus:

The screenshot shows the WEG-Tool interface with three main sections: 'Ihr Effizienz' (Your Efficiency), 'Ihr Gebäude' (Your Building), and 'Ihre Wohnseinheiten' (Your Residential Units).

- Ihr Effizienz:** Displays energy efficiency levels for heating demand, facade insulation, roof insulation, and emissions from heating. It includes a bar chart for heating demand and a note about potential improvements for facade insulation.
- Ihr Gebäude:** Lists building details such as address, year of construction, floor count, and various systems like heating and water supply. It also lists residential units and their characteristics.
- Ihre Wohnseinheiten:** Shows unit details like room count, floor area, and wall thickness. A note indicates no data is available for some units.

Abbildung 9: Benutzeroberfläche WEG-Tool

Gebäude anlegen

Zunächst legt die Verwaltung das Gebäude im System an: Eine individuelle Kennung für das Objekt sowie die Gebäudebezeichnung werden vergeben und die Adresse eingetragen. Dadurch wird eine automatisierte Übertragung der Gebäudedaten in das Crowdsourcing-Tool ermöglicht.

Gebäudedaten eingeben

Die für die Berechnung notwendigen Gebäudedaten werden im nächsten Schritt eingegeben:

- Allgemein: Baujahr, Denkmalschutz, Anzahl der Stockwerke, Wohnfläche sowie der Energieeffizienz gemäß Energieausweis
- Heizung: Heizsystem, Wärmebedarf, Angaben zu solarer Nutzung

Fassade und Dach: Angaben zur Baustruktur, Fassadendämmung (Material und Materialstärke) sowie zur Verschattung

Gebäude anlegen

Stammdaten

Sie müssen eine Kennung wählen. Nehmen Sie zum Beispiel die ersten Buchstaben der Adresse oder wählen Sie eine beliebige Kombination. 4 bis 5 Zeichen sind empfohlen. Bitte beachten Sie, dass diese Kennung nicht mehr geändert werden kann.

Kennung	Gebäudebezeichnung
Straße	
Postleitzahl	Stadt
Hausnummer	

Gebäudedaten eingeben

Allgemein **Heizung** **Fassade** **Dach** **Keller**

Gebäudefacts

Baujahr
1880

Ist das Gebäude denkmalgeschützt?
 Denkmalschutz liegt vor

Stockwerke
4

Geben Sie die Anzahl der Vollgeschosse ein
0

Wohnfläche (m²) gesamt
0

Energieeffizienz
Energieeffizienz (kWh/m²)
130

Sie können den Wert aus dem Energieausweis entnehmen.

Zusätzliche Kommentare

Tragen Sie weitere Informationen zum Gebäude ein.

Wohneinheit anlegen

Wohneinheit

Bezeichnung

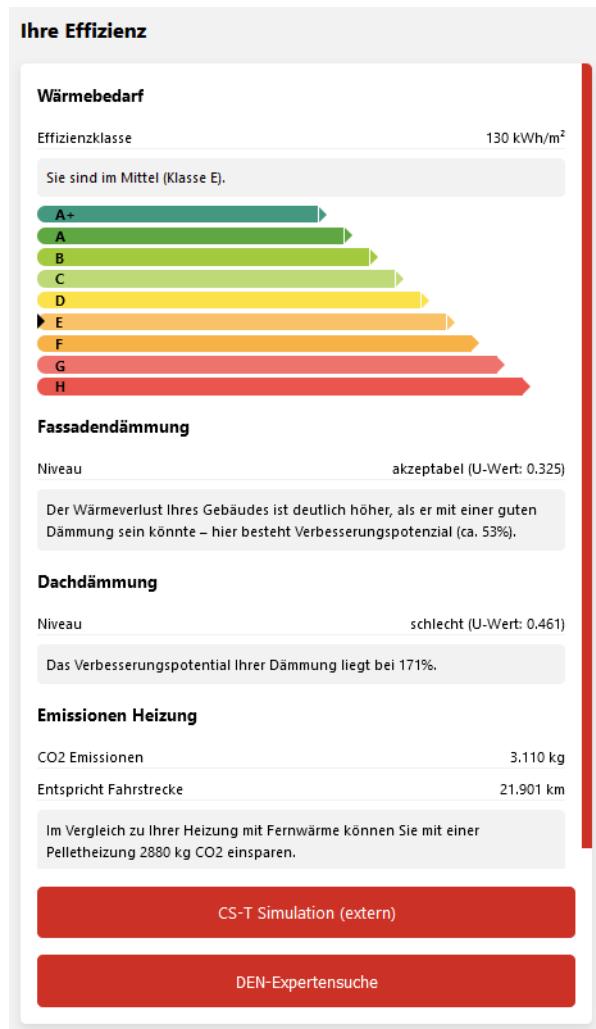
Zugangsdaten

Legen Sie die Zugangsdaten für die entsprechende Wohneinheit an.

Benutzername
hts

Die Gebäudekennung wird dem Nutzernamen angefügt.

Passwort



Schnittstelle des WEG-Tool zum CS-Tool (AP4.1)

Die Besonderheit des von der HFT entwickelten Verfahrens ist neben der Datenerhebung und ersten Auswertungen jedoch das Crowdsourcing und die damit verbundene Weiterverarbeitung und Berechnung von energetischen Sanierungsfahrplänen für die kommunale Verwaltung.

Durch die Betätigung des Buttons „CS-T Simulation (extern)“ werden die Geodaten des Objekts sowie weitere hinterlegte Gebäudeinformationen (Anzahl der Stockwerke, beheizte Wohnfläche etc.) an das CS-Tool übergeben und dem spezifischen Objekt im 3D-Gebäudemodell des CS-Tool zugewiesen. Durch die kontinuierliche Anreicherung der Datenbasis kann mit der Zeit somit ein immer genaueres Abbild des energetischen Zustands des Gebäudebestands und damit auch von Sanierungspotentialen auf kommunaler Ebene erstellt werden.

4.3 AP4.3 – Datenintegration für die Erfolgskontrolle bei der Umsetzung energetischer Maßnahmen

Dem energetischen Sanierungsprozess geht eine umfassende Beratung voraus, in welcher der Bestand analysiert wird, um auf dieser Basis einen wirtschaftlich und technisch tragfähigen Sanierungsplan zu entwerfen. Hierauf folgt die Detailplanungs- und Angebotsphase, an die sich die Umsetzung der baulichen Maßnahmen anschließt, gefolgt von der Betriebsführung sowie der Beratung zur Betriebsführung, die eine Art Nutzerhandbuch für die Handhabung des sanierten Gebäudes darstellt. Konzeptionierung, Planung und Umsetzung steht die operative Energieeinsparung gegenüber. Ein Monitoring, d.h. die Erfassung von Verbrauchsdaten und der Vergleich mit errechneten Werten, wird jedoch in den seltensten Fällen durchgeführt. Allerdings kann gerade dies helfen, Mängel bei der technischen und baulichen Umsetzung sowie der Betriebsführung aufzuzeigen. Im Projekt 3% Plus wurde daher ein energetisches Monitoring von umgesetzten Sanierungsmaßnahmen in einem Gebäudebestand, vorzugsweise einer WEG, angestrebt. Hierfür wurde durch eine Vielzahl von Werbeaktionen in den Fokusquartieren versucht, sanierungswillige Gebäudebesitzer:innen von den Vorteilen des Monitoring zu überzeugen. Allerdings blieben alle Aktionen erfolglos, was sicherlich v.a. auch an den über einen Großteil des Projekts herrschenden Kontaktbeschränkungen lag. Obschon ein Monitoring nicht umgesetzt werden konnte, konnten dennoch wichtige Ergebnisse im AP erzielt werden.

Gesucht wird ein Wohngebäude, dass kürzlich saniert wurde und Sanierungsverfahren und energetische Werte bekannt sind

Anforderungen einer für das Arbeitmarkt geeigneten Immobilie:

- die bereits saniert oder in absehbare Zeit wird
- Größenordnung: Einfamilienhaus, Reihenhaus oder Mehrfamilienhaus
- es muss ein virtuelles Monitoring der gesamten Immobilie bestehen bzw. möglich sein:
 - Energieverbrauch (Wärme): vor und nach der Sanierung
 - Durchgeführte Sanierungsmaßnahmen: Entweder welcher Standard (z.B. EnEV16) oder welche konkreten Maßnahmen (z.B. Fensteraustausch, 14/20cm Wand/Dachdämmung, ...)
- die Möglichkeit der Veröffentlichung von anonymisierten Projektergebnissen sollte möglich sein

4.3.1 Grundlagen Intelligentes Messsystem (iMSys)

Zukünftig werden zunehmend volatilere Strom- und Wärmeerzeugungsquellen, dominiert durch Wind und Photovoltaik, Verwendung finden. Um diese Dynamik im Stromnetz auszugleichen, werden zum einen Speichertechnologien benötigt, zum anderen ein intelligentes Nachfragermanagement. Aus diesem Grund gibt es viele Bestrebungen zur Etablierung eines Smart-Meter-Gateways (SMGW), allgemein auch bekannt als Intelligentes Messsystem (iMSys). Dies stellt ein Gerät zur Kommunikation mit Energiezählern dar, den sogenannten Smart Metern. Mit diesen lässt sich der Strombezug von Verbraucher:Innen in einen zeitlichen Kontext fassen, was u.a. ermöglicht, Kunden zeitlich variable Strompreise anzubieten, die auf das fluktuiierende Stromdargebot reagieren. Somit lässt sich das Stromnetz zu Spitzenzeiten teilweise entlasten, da bei Überproduktion von erneuerbaren Energien im Stromnetz der Strom günstiger zur Verfügung steht.

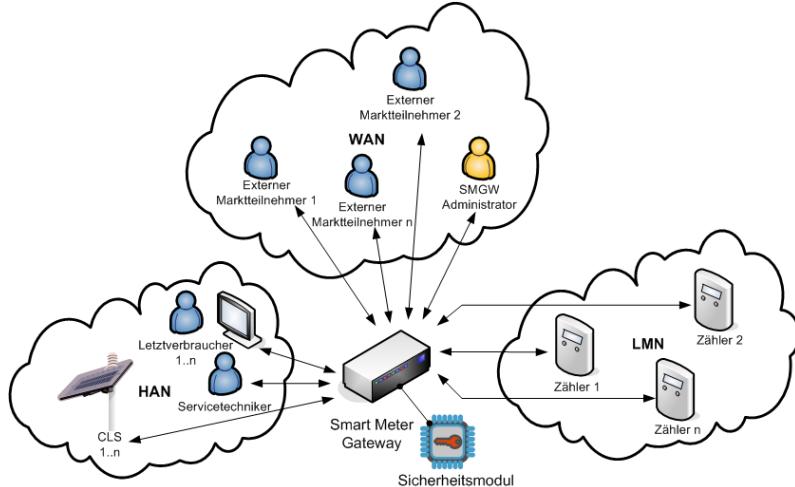


Abbildung 10: Schema von Smart Meter Gateway-Systemen

Tarifbedingungen

Mit dem iMSys besteht die Möglichkeit, Erzeuger und Verbraucher intelligent miteinander zu verknüpfen. Die übertragbaren Realzeitmessdaten ermöglichen die Überwachung von Knotenpunkten sowie eine Regelung. Hierfür stehen unterschiedliche Optionen zur Verfügung, die auf jeweilige Anwendungsfälle angewendet werden können.

Tabelle 1: Darstellung aller Anwendungsfälle nach Testkonzept zu BSI TR-03109-TS-1

Anwendungsfall	Auslöser im Regelwerk
TAF 1 Datensparsame Tarife	Internes Ereignis: Zeitpunkt
TAF 2 Zeitvariable Tarife	
TAF 7 Zählerstandsgangmessung	
TAF 8 Erfassung von Extremwerten	
TAF 3 Lastvariable Tarife	Internes Ereignis: Grenzwert
TAF 4 Verbrauchsvariable Tarife	
TAF 12 Prepaid Tarif (informativ)	
TAF 5 Ereignisvariable Tarife	Internes oder externes Ereignis
TAF 10 Abruf von Netzzustandsdaten	
TAF 6 Ablesung von Messwerten im Bedarfsfall	Externes Ereignis
TAF 9 Abruf der Ist-Einspeisung	
TAF 11 Steuerung von unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen und Erzeugungsanlagen (informativ)	
TAF 13 Bereitstellung von Messwertsätzen zur Visualisierung für den Letzterverbraucher über die WAN-Schnittstelle (informativ)	

Diese Optionen umfassen 13 sogenannte Tarifanwendungsfälle (TAF) die nach dem Zusatzpapier „Testkonzept zu BSI TR-03109-TS-1“ normiert sind (vgl. Tabelle 1: Überblick der TAF und stellt die Ereignisabhängigkeit dar). Damit können Tarifierungen in Abhängigkeit von Zeitpunkt, Grenzwerte, Netzzustand sowie ggfs. individuellen Ereignissen umgesetzt werden.

Probleme / Herausforderungen

Das intelligente Messsystem wurde in einigen Pilotprojekten erfolgreich getestet, wie z.B. in dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projektes „Verteilnetz 2020“. In diesem Forschungsvorhaben kam das von PPC entwickelte iMSys zum Einsatz, um das Konzept der intelligenten Regelung durch Spitzenlasten erneuerbarer Energien zu untersuchen [7]. Ursprünglich war deutschlandweit ein Rollout von Smart Metern vorgesehen, wenn mindestens drei Hersteller ein zertifiziertes

Gerät auf dem Markt bringen. Danach wären die Messstellenbetreiber gemäß §30 Messstellenbetriebsgesetz dazu verpflichtet gewesen, Haushalte mit einem Stromverbrauch von mehr als 6 MWh pro Jahr auszustatten. Anfang 2020 konnten drei unabhängige Hersteller die Zertifizierung nach den BSI (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik) nachweisen und der Rollout sollte starten; da die Zertifizierung des BSI jedoch nicht mit der allgemeinen Datenschutznormierung vereinbar war, wurde die Ausbaupflicht durch den Eilbeschluss des Oberverwaltungsgerichts Münster am 3. März 2021 gestoppt. Das bedeutet, dass die Messstellenbetreiber aktuell trotz Zertifizierung nicht zum Ausbau verpflichtet sind. Diese Sachlage hatte auch Auswirkungen auf das avisierte Monitoring eines sanierten Gebäudebestandes, da Gebäude mit entsprechender Messstelleneinrichtung, die z.B. ein einfaches Fernmonitoring erlaubten, im Projektzeitraum nicht zur Verfügung standen. [8]

4.3.2 Kaskadiertes Monitoringkonzept für Sanierungsgebäude

Das Monitoring von Gebäuden stellt oft eine individuelle Lösung dar. Daraus ergibt sich die Frage, wie man diesen Prozess trotz dieser Individualität idealerweise so gestalten kann, dass dieser übertragbar auf andere Liegenschaften ist. Aus dieser Frage heraus wurde mittels eines Bottom-Up-Modells ein Monitoringkonzept entwickelt. Dieses geht auf die Technik des Gebäudes ein, berücksichtigt aber auch die Bedürfnisse der BewohnerInnen.

Dieses kaskadierte Monitoringkonzept besteht aus drei Stufen. Jede Stufe stellt eine Erweiterung dar, welche stetig mehr Daten und damit aber auch mehr Rückschlüsse auf die Gebäudeart, deren Verbrauch und die Gebäudenutzung zulässt.

Stufe 1	Erfassung der Verbrauchswerte an der Zählerinfrastruktur mittels digitaler Schnittstellentechnologie in einer Auflösung von 15 Minuten.
Stufe 2	Erfassung und Überwachung der Heiz- und Lüftungstechnik durch das Überprüfen der Raum-, Vorlauf- und Rücklauftemperatur und des Massenstroms.
Stufe 3	Erfassung des Nutzverhaltens in Bezug auf Anwesenheit, Lüftungsverhalten und heiztechnischer Nachregelung.

Stufe 1 stellt die Erfassung der Endenergie durch die Zählerinfrastruktur dar. Moderne Zähler (sogenannte Smart Meter) bieten via Schnittstelle die Auslesung der Daten an. Bei einer Sanierung müssten solche Infrastrukturen strom- und wärmeseitig installiert werden.

Stufe 2 beschreibt die Ergänzung des Monitoringsystems zur Überwachung von RLT-Anlagen (raumlufttechnische Anlagen) und Heizungssystemen. Hierbei geht es speziell um die Effizienz und den Betrieb der jeweiligen Anlagen. Dies umfasst beispielsweise und insbesondere auch die Vorlauf- und Rücklauftemperatur der Heizungsanlagen in Bezug auf die Raumtemperatur und der Außentemperatur. Außerdem lassen sich Fahrpläne für Speicher und Heizungsanlagen aus den Daten ableiten.

Stufe 3 stellt eine weitere Detaillierungsstufe im Monitoring dar, wobei das Nutzerverhalten miterfasst werden soll. So kann mit Anwesenheitsprofilen und dem Nachweis über das individuelle Lüftungsverhalten der Einflussfaktor der Nutzenden erfasst werden. Eine falsche Betriebsführung von sanierten Gebäuden kann zu erhöhten Energiebedarfen führen.

Die Hardware sowie die Software für die Umsetzung des Monitorings soll auf offene Standards zurückgreifen. Für diesen Zweck wurde eine Geräteliste angefertigt, die mögliche anwendbare Sensorik sowie Aktorik zusammenfasst. Dies erfolgte ebenfalls für die zu verwendende Software.

Die Hardware umfasst damit drei Gerätetypen. Diese sind beschrieben durch Hardware für die Zählerkommunikation, Sensorik für die Anlagenüberwachung und Aktorik für die Steuerung. Die Geräteliste gibt einen kurzen Überblick über die Nutzung, den Typen sowie die Kosten und den Installationsaufwand:

Protokoll	Produktnname	Aufgabe	Energieversorgung	Kosten	Aufwand	Handbuch
LoRaWAN	MClimate Vicki - LoRaWAN	Heizkörperthermostat	Batterie	ca. 75€	Mittel	Link

Protokoll	Produktname	Aufgabe	Energieversorgung	Kosten	Aufwand	Handbuch
LoRaWAN	KLAX 2.0	Stromzähler auslesen	Batterie	ca. 150€	Gering	Link
WM-Bus	Energycam 2.0 - WM-Bus	Analoge Zähler auslesen	Batterie	ca. 300€	Hoch	Link
WM-Bus / LoRaWAN	Lobaro Wireless M-Bus Bridge V2 (nicht mehr erhältlich -> V3)	Bridge zur Weiterleitung per LoRaWAN	Batterie	ca. 250€	Hoch	Link
WM-Bus / LoRaWAN	Wireless M-Bus Range Extender	Bridge zur Weiterleitung per LoRaWAN	Batterie	ca. 200€	Hoch	Link
LoRaWAN	Elvaco CMi4140 Kommunikationskarte	WMZ auslesen	Batterie	ca. 130€	Mittel	Link
LoRaWAN	Elvaco CMi4160 Kommunikationskarte	WMZ auslesen	Batterie	ca. 130€	Mittel	Link

Die für das Monitoring geplante Software umfasst nur Open-Source-Anwendungen, die kostenfrei zur Verfügung stehen. Das Konzept für den Datenserver wurde weitestgehend entwickelt, jedoch erfolgte aus o.g. Gründen leider keine Umsetzung vor Ort; das Konzept umfasst einen Linux-Ubuntu-Server, welcher über eine Datenbank verfügt, in der die gemessenen Daten gespeichert werden. Die Daten werden auf dem Server durch mehrere Skripte auf ihre Validität geprüft und anschließend bereinigt gespeichert. Diese Daten werden weiterhin mittels eines Frontend durch unterschiedliche Diagramme für die jeweiligen Gebäude und in dem damit verbundenen Kontext dargestellt:

Protokoll	Produktname	Sensor	Energieversorgung	Kosten	Aufwand	Handbuch
LoRaWAN	Dragino LHT65 Temperatursensor	Anlegefühler Temperatur	Batterie	ca. 35€	Gering	Link
LoRaWAN	DRAGINO LHT65N Temperatursensor	Anlegefühler Temperatur	Batterie	ca. 35€	Gering	Link
LoRaWAN	DRAGINO LDS02 Türsensor	Fenster-/Türkontakt	Batterie	ca. 20€	Gering	Link
LoRaWAN	DRAGINO LSN50-V2-D22 Temperatursensor	Anlegefühler Temperatur	Batterie	ca. 65€	Gering	Link

Die verwendete Software beschreibt unter anderem das Open Source-LoRa-Netzwerk TTN („The Things Network“) welches erlaubt, Gateways und Sensoren mit einer virtuellen Umgebung zu verknüpfen mit dem Ziel, Daten zu sammeln, zu übertragen und temporär zwischenzuspeichern. Die eintreffenden Daten werden jedoch nicht gespeichert, sondern direkt via MQTT (Kommunikationsprotokoll) an den HFT-Server übertragen. Dieser speichert die Daten zunächst in einer zeitreihenbasierten Datenbank, die durch die OS-Software InfluxDB umgesetzt werden könnte. Die Validierung und Überprüfung der Daten erfolgen anschließend über eine Python-Implikation durch ein Skript, welches die Daten unter anderem auf Fehlstellen überprüft. Für die anschließende Visualisierung wird die OS-Software Grafana verwendet. Diese bietet die Möglichkeit an, unterschiedliche Diagramme zu visualisieren und via Webserver verfügbar zu machen. Durch die Zuweisung von Rechten und die Partizipation der Bewohner:innen bestünde zudem die Möglichkeit, die Daten für Dritte mit eingeschränkten Möglichkeiten zugänglich zu machen.

Des Weiteren können die Daten via REST API, welche durch InfluxDB oder Grafana unterstützt wird, auch für weitere Dienstleistungen zugänglich gemacht werden können. So ist eine statistische Analyse der Daten mit Machine-Learning-Tools denkbar.

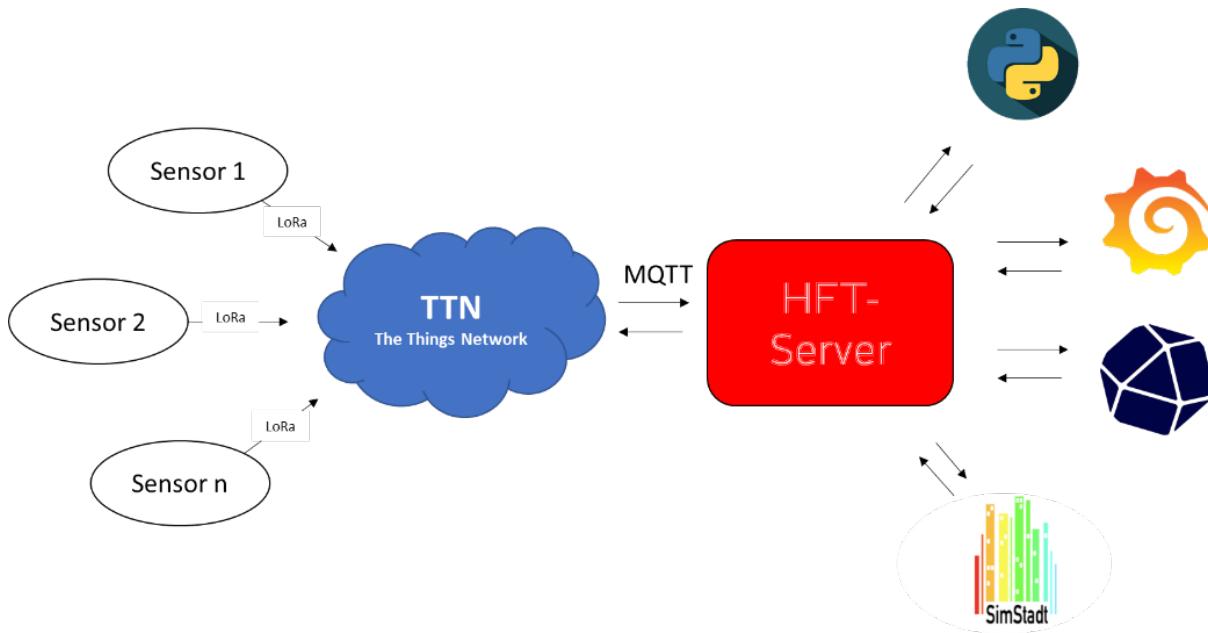


Abbildung 11: Mögliche Schnittstelle für den Workflow

Um wie im Antrag zudem die Simulation des Wärmebedarfs mit dem Wärmeverbrauch zu koppeln, wird das an der HFT seit 2012 in kontinuierlicher Weiterentwicklung befindliche Tools SimStadt im Hintergrund ausgeführt (vgl. Abbildung 11). Die stündlichen Simulationsdaten aus dem Tool sowie Tages-, Monats- und jahresbilanzierte Werte können so mit potentiellen Messdaten verglichen werden, was mögliche Abweichungen ersichtlich macht.

4.3.3 Netzdienliches Verhalten, Tarifmodelle und dynamische Strommarktpreise

Im Rahmen von 3%-Plus wäre durch ein Monitoring und den damit verbundenen Daten „erwerb“ zum Heizungsverhalten und zu Wärmebedarfen sowie Transparenz zum Haushaltsstrombedarf eine Anwendung der TAF (Tarifanwendungsfälle) möglich gewesen. Sogenannte „externe Marktteilnehmer“, wie beispielsweise die Stadtwerke, haben durch die Administration, die in der Regel durch den Messstellenbetreiber läuft, die Möglichkeit auf das iMSys zuzugreifen. Die Steuerung wie etwa die Abregelung von PV-Anlagen oder die Reduktion der maximalen Leistung von E-Ladesäulen ist somit möglich.

Die Unternehmen **aWATTar** [9], **rabot.charge** [10] und **Tibber** [11] sind Anbieter von dynamischen Strompreisen, führen dieses Geschäftsmodell zum Teil mittels iMSys durch und sind damit als externe Marktteilnehmer aktiv. Nun ist durch diese Technologie nicht nur die Überwachung des Strompreises möglich, über den CLS-Kanal des iMSys sind externe Marktteilnehmer nach TR-03109 auch in der Lage regulatorisch aktiv zu werden, wie bspw. beim Beladen von elektrischen Fahrzeugen.

4.3.4 Effizienzsteigerungen durch Monitoring

Das Monitoring des energetischen Verbrauchs zur Effizienzsteigerung ist nicht nur im Gebäudebestand sinnvoll, sondern vor allem auch im Neubau sowie im Sanierungsbereich. Ein Monitoring kann dabei helfen, falsch eingestellte Energieinfrastrukturen zeitnah zu identifizieren und Kosten sowie umwelttechnische Faktoren zu reduzieren. Dabei sollte ein Monitoring in der Regel alle Ebenen der energetischen Einflussebene berücksichtigen, um tatsächlich das gesamte Energieeinsparpotential auszunutzen. Hierzu gehört die Überwachung der Infrastruktur sowie das Nutzerverhalten.

Nach einer Aussage von Ingenieur.de werden 80% der installierten Heizungen in Deutschland nicht effizient betrieben [12]. Ein Monitoring dieser Anlagen sowie das des Energieverbrauchs könnte Bewohner:innen darauf rechtzeitig hinweisen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ein Monitoringsystem mit Aktorik zu versehen, sodass dieses eigenständig reagieren kann. Dies ist insofern interessant, als dass Entscheidungen und Optimierungen unmittelbar mit den Monitoringdaten automatisiert ausgeführt werden. Heizungssysteme können so effizienter und nutzbasiert betrieben werden. Dies erfolgt, in dem eine anonyme Raumnutzung erfasst wird. Aus dieser Nutzung wird ein Nutzungs fahrplan generiert, welcher für das System ausschlaggebend ist, was die Beheizung angeht. Durch die manuelle Intervention, das heißt das manuelle Nachregeln, bei gefühlter zu kalter Raumtemperatur, erfolgt außerdem eine Anpassung in der Steuerung. Anbieter für bestehende Heizungssystem sind hier bspw. das StartUp **vilisto** [13] aus Hamburg, dass angibt durch seinen intelligenten Thermostatkopf bis zu 32% der Heizkosten zu reduzieren oder das Unternehmen **Raumgold** [14] aus München, welches ebenfalls 30% Heizkostenreduktion durch ihr System verspricht.

4.4 AP4.4 – (De)zentrale Stromspeicherszenarien

Dezentrale Stromspeicher ermöglichen eine höhere Eigenversorgung durch die Speicherung von überschüssigem Strom und können die Netzstabilisierung unterstützen. Ein zentrales Stromspeicherszenario bietet darüber hinaus weitere Vorteile gegenüber dezentralen Einzellösungen. Durch zentrales und prädiktives Energiemanagement kann die Gesamteffizienz weiter gesteigert werden, weshalb dieses Szenario in der Studie fokussiert wird.

Um die Lastanalyse mit der Betrachtung der Speicher im Versorgungssystem zu ermöglichen wurde ein PV-Stromspeichermodell in INSEL entwickelt [5]. Zentrale und dezentrale Stromspeicherszenarien wurden für verschiedene Arten von Stadtquartieren untersucht, wofür im Rahmen des Projekts Grundlagen eines Stromspeichermodells durch eine Bachelorarbeit erarbeitet wurden. Für diesen Abschlussbericht wurden zudem Textpassagen der Bachelorarbeit in angepasster Form verwendet. [15]

4.4.1 Untersuchungsgebiet Schlosslesfeld

Als Untersuchungsgebiet wurde Schlosslesfeld, ein Teilort von Ludwigsburg, gewählt. Der Stadtteil beherbergt ca. 15.000 Einwohner auf einer Fläche von 2,9 km². [16]



Abbildung 12: 3D-CityGML Modell für Schlosslesfeld (Ludwigsburg) mit 1533 Gebäuden

In Schlosslesfeld liegt die Baualtersklasse von knapp 50% aller Gebäude zwischen den Jahren 1960 – 1969. Etwa 25% der Gebäude wurden 1950–1959 erbaut, weitere 10% im Zeitraum 1970–1979. Während knapp 10% der Gebäude zwischen 1901 und 1949 errichtet wurde, sind lediglich ca. 5% nach 1980 entstanden.

Schlösslesfeld besteht aus einer heterogenen Gebäudetypologie von Ein- und Zweifamilien-, Reihenhäusern und kleinen Mehrfamilienhäusern und Zeilenbebauungen sowie zwei Siedlungen mit größeren Mehrfamilienhäusern. 94% der Gebäude sind im Besitz von privaten Eigentümern (65% Hauseigentümer, 29% Wohnungseigentümer), der Rest von Wohnbauunternehmen der Stadt Ludwigsburg (Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH). [17]

Die Energieverbräuche bezogen auf die Wohnfläche lagen durchschnittlich bei ca. 150 kWh/(m²*a) und je nach Baualtersklasse zwischen 60 und 400 kWh/(m²*a) und damit etwas über dem bundesweiten Durchschnitt von knapp 130 kWh/(m²*a). [18] [20]

Der mit SimStadt nach DIN V 18599 [19] simulierte Energiebedarf liegt bei 135 kWh/(m²*a) und nach Baualtersklasse gestaffelt zwischen 60 und 230 kWh/(m²*a). Die Differenz zu den gemessenen Werten liegt bei ca. 10% und wird als plausible Abweichung durch Wettereinfluss und Nutzerverhalten interpretiert sowie durch die Tatsache, dass der exakte Sanierungsstand der Gebäude in SimStadt nicht bekannt ist.

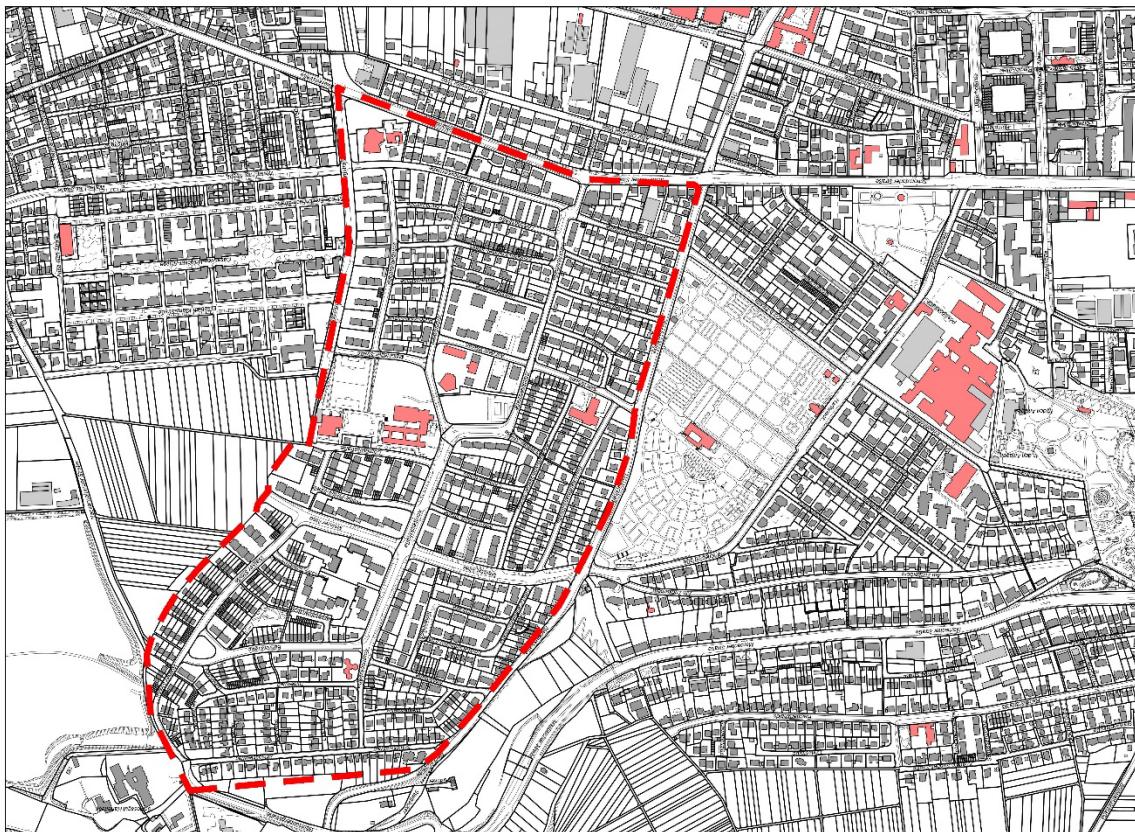


Abbildung 13: Sanierungsfahrplan Schlösslesfeld 2050; Quelle: Ludwigsburg [21]

4.4.2 Technische Grundlagen

PV-Batteriespeicher unterscheiden sich in Batterietechnologie und in der Art ihrer Einbindung. Der in PV-Modulen erzeugte Gleichstrom muss vor Nutzung oder Einspeisung ins Netz von einem Wechselrichter in Wechselstrom transformiert werden; je nach Aufbau des Systems sind hierbei unterschiedliche Strom-/Wechselrichter nötig. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen der Wechselstromkopplung (AC-Kopplung) und der Gleichstromkopplung (DC-Kopplung). Beide Topologien haben Vor- und Nachteile, die je nach Anwendungsfall über die Auslegung des Systemdesigns entscheiden (vgl. Abbildung 14): [22][23][24]

AC-Kopplung: die Batterie ist mit der PV-Anlage (PV-Generator und dem Wechselrichter) über einen Batterie-Wechselrichter und Batterieladeregler angeschlossen. Mit diesem Batteriemanagementsystem (BMS) kann der Ladezustand der Batterie optimal geregelt werden, um so einen effizienteren Betrieb

und eine längere Lebensdauer zu ermöglichen. Durch zusätzliche Wechselrichtermehrkosten lassen sich hierbei Batterie und PV-Anlage freier dimensionieren und die Nachrüstung gestaltet sich einfacher. Je nach Bauart liegt der Wirkungsgrad gängiger Wechselrichter bei 95...98%.

DC-Kopplung: Bei einer Gleichstromkopplung ist kein Wechselrichter nötig, die Batterie wird vor dem Wechselrichter der PV-Anlage installiert, die PV-Module laden die Batterie direkt mit Gleichstrom. Voraussetzung ist, dass der Spannungsbereich des Batteriespeichers und des PV-Wechselrichters auf ähnlichem Niveau liegt, da sonst ein zusätzlicher Umwandler nötig wird. Durch die niedrigeren Kosten und die tendenziell höhere Effizienz werden Gleichstromkopplungen häufiger bei Neuinstallationen mit hohem Bedarf an Flexibilität bei der Dimensionierung angewendet.

Bei der Verteilung der Systemtopologie in den KfW-geförderten PV-Batteriespeichern dominieren zunehmend die AC-gekoppelten Systeme. Die Anzahl an gleich- und wechselstromgekoppelten Systemen war zuletzt ausgeglichen, aber zum Jahresende 2017 überwiegen die AC-gekoppelten PV-Speicher mit einem Anteil von 57%. Je nach Präferenz und individuellem Anwendungsfall kann die passende Topologie gewählt werden, die die jeweils aufgezeigten Vor- und Nachteile mit sich bringen.

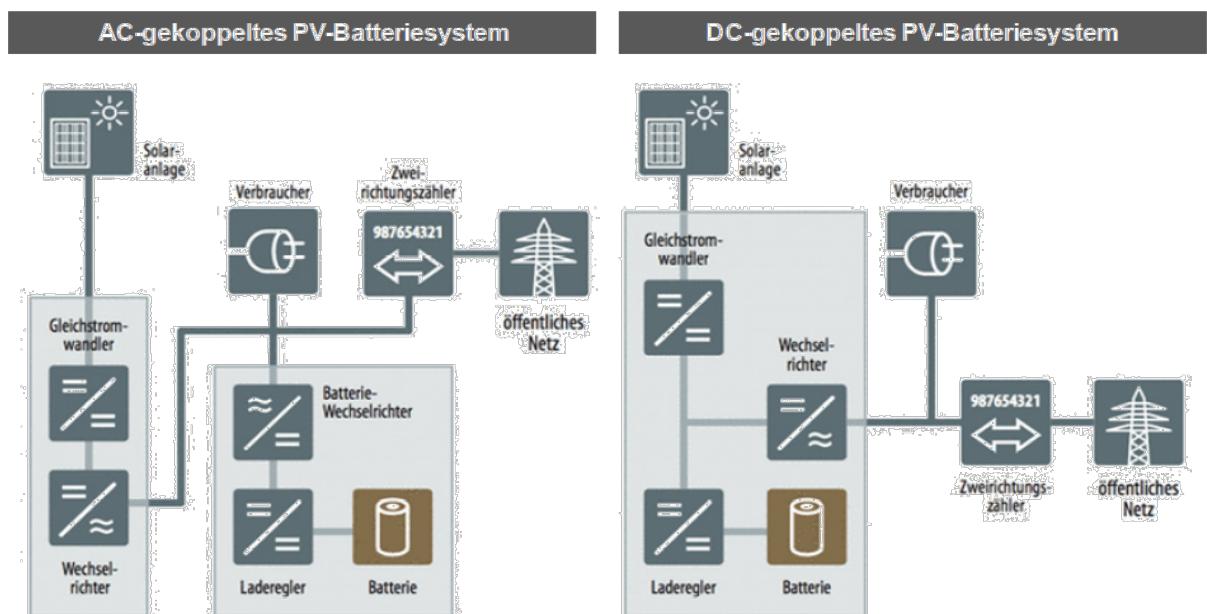


Abbildung 14: Vereinfachte Darstellung eines AC-gekoppeltes PV-Speichersystem (links) und DC-gekoppeltes PV-Speichersystem (rechts) [25]

Bei der Verteilung der Systemtopologie in den KfW-geförderten PV-Batteriespeichern dominieren AC-gekoppelte Systeme. Die Anzahl an gleich- und wechselstromgekoppelten Systemen war zuletzt ausgeglichen, zum Jahresende 2017 überwogen die AC-gekoppelten PV Speicher mit einem Anteil von 57% [26]. Je nach Präferenz und individuellem Anwendungsfall kann die passende Topologie gewählt werden, die die jeweils aufgezeigten Vor- und Nachteile mit sich bringen.

Um alle Möglichkeiten der Batteriekopplung zu nennen, muss auch die Generatorkopplung erwähnt werden. Diese Art der Kopplung findet nur selten Anwendung, da generatorgekoppelte Systeme in Serie oder parallel an der Gleichstromseite des PV Wechselrichters angeschlossen werden. Dies kann zu einer Beeinflussung der PV Anlage führen und stellt regelungstechnisch eine Herausforderung dar.

Wechselrichter

Der Wechselrichter ist als System aus Leistungselektronik und Regelungstechnik zu verstehen, dass neben dem eigentlichen Wechselrichter auch Filter, einen Trafo, Überwachungselemente und weitere Komponenten beinhaltet [27]. Er wird je nach Kopplungsart in zweifacher Ausführung benötigt. Bei der Wechselstromkopplung wird die Batterie über einen separaten Batteriewechselrichter angeschlossen,

da sie nicht über den Wechselrichter der PV-Anlage „mitläuft“. Der Batteriewechselrichter im Speicher- system muss je nach Batteriegröße und Einsatzzweck dimensioniert werden, sodass die maximale Be- und Entladeleistung pro Stunde passend festgelegt wird. Der Wechselrichter im PV-Speichersystem sorgt für die Umwandlung des erzeugten PV-Stroms, sodass dieser in der Batterie gespeichert werden kann oder dem Haushalt beziehungsweise dem Stromnetz zur Verfügung steht.

Wird der Solarspeicher zur Deckung des eigenen Haushaltsstrombedarfs installiert (häufigster Anwendungsfall im privaten Bereich [28]), sollte die Größe des Wechselrichters deutlich unter der nutzbaren Speicherkapazität gewählt werden, da sonst der Wechselrichter durch die höhere Nennleistung in einem geringeren Wirkungsgradbereich betrieben wird. Nur wenn große Ladeleistungen benötigt werden, die zum Beispiel bei einem Elektroauto oder der Bereitstellung von Systemleistungen für das Stromnetz auftreten, kann eine großzügige Auslegung des Batterie-Wechselrichters sinnvoll sein. Auch erhöht eine größere Wechselrichterleistung die Anschaffungskosten des Gesamtsystems, wodurch die Wirtschaftlichkeit der Anlage geschmälert wird. [29]

Das Verhältnis aus der Nennleistung des Batteriesystems zur nutzbaren Speicherkapazität (s. Abbildung 15) hat sich in den letzten Jahren verringert. Für Ende 2018 wurde ermittelt, dass circa 930 MWh Batteriekapazität und 415 MW Wechselrichterleistung in Deutschland verbaut wurden. Das ergibt ein Verhältnis von 0,446 kW/kWh, welches im späteren Verlauf der Arbeit als Bemessungsgrundlage zur Dimensionierung des Batterie-Wechselrichters verwendet wird.

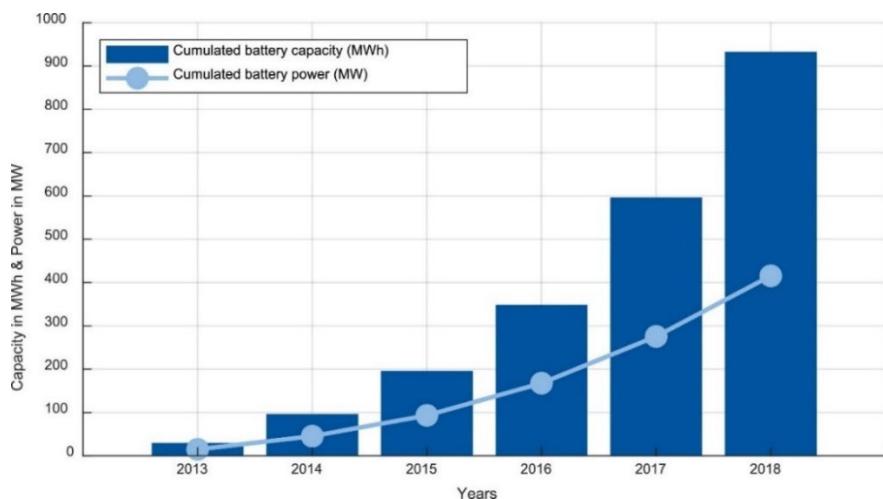


Abbildung 15: Die Entwicklung der kumulierten Batteriekapazität und Batterie-Wechselrichterleistung von privaten Speichersystemen in Deutschland [30]

Batteriespeicher und ihre Vorteile

Eine Photovoltaikanlage ermöglicht eine direkte und lokale Deckung des Strombedarfs durch Sonnen- einstrahlung. Der produzierte Strom kann im Wohnbau meist nur anteilig selbst genutzt werden, da die Produktion und der Bedarf meist nicht zeitgleich stattfinden (vgl. Abbildung 17). Überschüssiger PV- Strom kann dann entweder ins Netz eingespeist oder geeignet gespeichert werden. Strompreis und Einspeisevergütung sind entscheidende Größen für die Betriebsweise der PV-Anlage. [31] Mit Solar- speichern oder bidirektionalen Elektroautos kann eine Lastverschiebung in die Abend- und Nachtstun- den insbesondere bei drastischen Energiepreisseigerungen ein wirtschaftliches Betriebsmodell darstellen. [24] Die Erhöhung des Eigenverbrauchs ist durch die Entwicklung des Strompreises und der sinkenden Einspeisevergütung in den letzten Jahren stetig attraktiver geworden (s. Abbildung 16). [33]

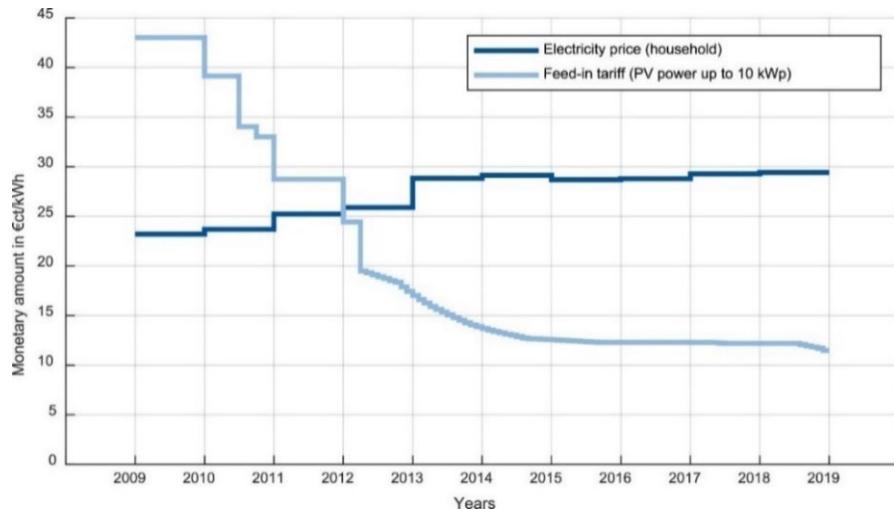


Abbildung 16: Entwicklung der Einspeisevergütung (PV-Anlagen bis zu 10 kWp) und des mittleren Haushalts-Strompreises [30]

Der Haushaltsstrompreis in Deutschland lag im Jahr 2020 bei durchschnittlich 31,4 Cent pro Kilowattstunde, und setzt sich zusammen aus 52,5% Steuern, Abgaben und Umlagen. [32] Darunter fällt auch die Umlage des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG-Umlage) mit 6,76 ct/kWh, die die Einspeisevergütung der PV-Anlagen finanziert. Die steigende Tendenz des Strompreises der letzten Jahre hat sich auch in den Folgejahren bestätigt und hält sich durch die anhaltenden Krisen auf einem Rekordhoch.

Der Nutzen eines PV-Batteriespeichers wird anhand des jährlichen Stromverbrauchs und des PV-Potenzials des Gebäudes bewertet. Die Höhe und der Verlauf der PV-Stromproduktion sind von der Tageszeit und dem Jahresverlauf abhängig und sind ausschlaggebend für die Auslegung eines Speicher-systems. Da alle Parameter spezifisch sind und in Haushalten stark variieren können, wird eine allgemeine Aussage zur optimalen Größenauslegung des PV-Speichers nicht empfohlen. Dennoch lassen sich die Tendenzen der Energieflüsse und deren zeitliche Verteilung unter definierten Rahmenbedingungen im Simulationsmodell prognostiziert werden. Die energetischen Bewertungsgrößen Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad beziffern diese Nutzung der erzeugten PV-Energie und deren Deckungsanteil am Strombedarf. Damit wird ein Vergleich mit anderen Systemkonfigurationen und Rahmenbedingungen ermöglicht.

Betriebsstrategien für PV-Speichersysteme

Mit einer optimierten Betriebsstrategie (Lade- und Entladevorgänge) wird der Eigenverbrauch erhöht. Mit dieser Betriebsstrategie sind viele Betreiber jedoch zeitgleich mit dem Batterieladevorgang fertig, was zu einer Überlastung der Stromnetze führen kann und kein netzdienliches Betriebsverhalten ist (vgl. Abbildung 17, vgl. auch [24]). Um die Netzstabilität zu sichern, wird durch das EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) eine Wirkleistungsbegrenzung bei der Netzeinspeisung seit 2012 vorgeschrieben, sofern nicht am Einspeisemanagement teilgenommen wird. [34] Ein Abregelungsverlust ist dann überschüssige Energie, die durch die Einspeisebegrenzung verloren geht. Verluste durch die 70%-Abrege lung von jährlich ca. 4,5% der jährlichen PV-Stromerzeugung sind nach EEG zu erwarten. [35]

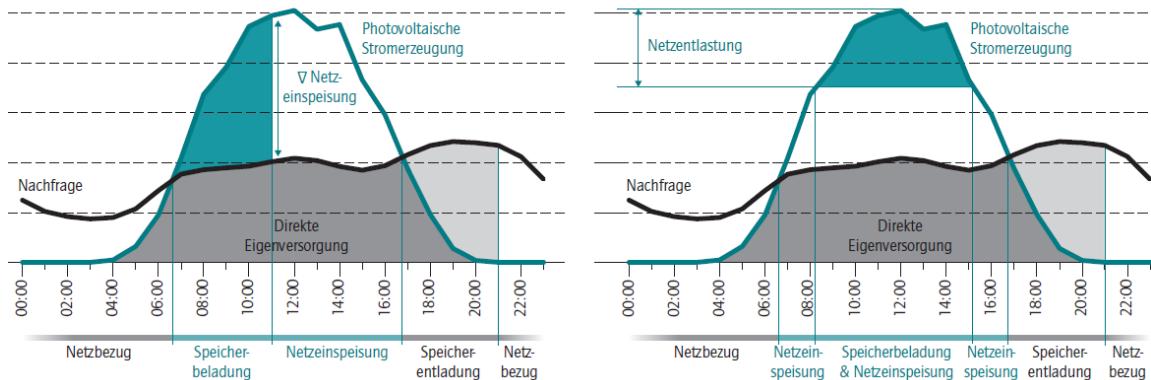


Abbildung 17: Illustrativer Tagesverlauf von Nachfrage und Stromerzeugung bei eigenverbrauchsoptimiertem und netzentlastendem Speicherbetrieb [36]

Abregelungsverluste haben zudem Einfluss auf die Effizienz und den Ertrag und hängen auch von der Betriebsführungsstrategie. Durch die stark steigende Anzahl an erneuerbaren Erzeugungsanlagen ist die netzdienliche Betriebsführung dieser Systeme ein wichtiger Aspekt. Die größten Potenziale in der Netzentlastung können hierbei durch eine dynamische Einspeisebegrenzung erreicht werden.

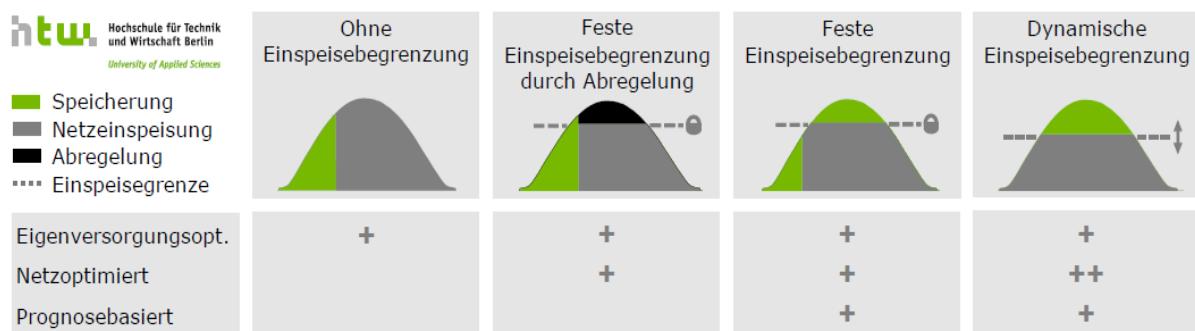


Abbildung 18: Charakteristik verschiedener Betriebsstrategien für PV-Speichersysteme – jedoch noch ohne Berücksichtigung der steigenden Zahl an E-Fahrzeugen mit deutlich größerem Speicher.

Quelle: HTW Berlin [38]

Es gibt Ladestrategien zur Netzentlastung ohne Prognose („delayed charging“) [37], prognosebasierten Ladestrategien und netzgeführten Konzepten. Eine genauere Prognose kann bspw. eine dynamisch-optimierte Einspeisebegrenzung ermöglichen. Dabei wird die Einspeiseleistung gering gehalten und die Batterie wird gleichzeitig vollgeladen. Dies erfolgt durch einen kontinuierlichen Optimierungsalgorithmus mit 15-minütigen Iterationen (s. Abbildung 19).

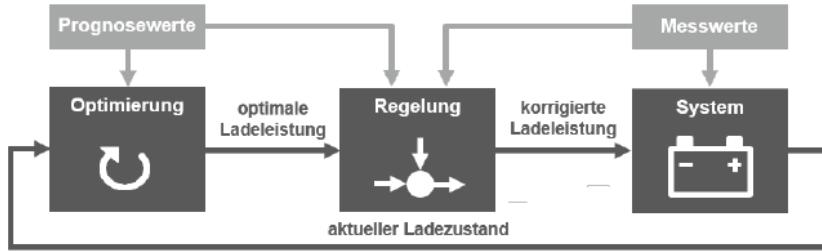


Abbildung 19: Schematische Darstellung des Optimierungs-Algorithmus der dynamischen Einspeisebegrenzung [24]

Energetische Bewertungsgrößen von Batteriespeichermodellen

Eine wichtige energetische Größe ist der Eigenverbrauchsanteil, der nicht in das Stromnetz eingespeist wird. Die Berechnung des Eigenverbrauchsanteils E_Q ergibt sich aus dem Verhältnis von direkt verbrauchtem Strom (E_{DV}) und in die Batterie geladenem Strom (E_{BL}) zur gesamten PV-Erzeugung (E_{PV} , E_{NE} ist die Netzeinspeisung) [39]:

$$EQ = \frac{E_{DV} + E_{BL}}{E_{PV}} = \frac{E_{PV} - E_{NE}}{E_{PV}} \quad (1)$$

Der Autarkiegrad (Deckungsanteil) AQ bestimmt den Anteil direkt verbrauchten PV-Stroms (E_{DV}) und der aus der Batterie entladenen Strommenge (E_{BE}) an der Deckung des Strombedarfs (E_{VB} , E_{NB} ist der Netzbezug):

$$AQ = \frac{E_{DV} + E_{BE}}{E_{VB}} = \frac{E_{VB} - E_{NB}}{E_{VB}} \quad (2)$$

Der überschüssige PV-Strom (Netzeinspeisung) P_{NE} hängt vom Eigenverbrauchsanteil ab. Von der PV-Leistung wird die Leistung des Direktverbrauchs und der Batterieladung subtrahiert:

$$P_{NE} = P_{PV} - P_{DV} - P_{BL} \quad (3)$$

Die Netzeinspeisung ist auf eine bestimmte Nennleistung der PV-Anlage begrenzt, daher kommt es durch die Abregelung der Einspeisung zu Verlusten. Diese Abregelungsverluste V kann man mit folgender Formel berechnen:

$$V = \frac{E_{PV} - E_{DV} - E_{BL} - E_{NE}}{E_{PV}} \quad (4)$$

Marktüberblick und Entwicklung in Deutschland

Der Stromspeichermarkt in Deutschland wächst mit steigender Tendenz. Schon im August 2018 wurde die Zahl von 100.000 installierten PV Speichersystemen überschritten (mit einer Summe von fast einer Gigawattstunde). Ca. jede zweite neue PV Anlage (PVA) unter 30 kW_p wird mit einem Batteriespeicher installiert. Diese Entwicklung ist zum einen auf Förderprogramme (Marktanreizprogrammen der KfW-Bank, Förderprogrammen der Länder) zurückzuführen, zum anderen spielen steigende Energiepreise und die Versorgungssicherheit eine übergeordnete Rolle bei der Attraktivität von PV-Speichern. [40] Die Verringerungen der KfW-Förderungen bei steigender installierter Speicherzahl lässt darauf schließen, dass sich ein stabiler Speichermarkt ohne finanzielle Unterstützung bilden konnte und Batteriespeicher für Endkunden wirtschaftlich geworden sind. Das Programm „Erneuerbare Energien - Speicher“ der KfW-Bank wurde zum 31.12.2018 eingestellt.

Die geografische Verteilung der PV-Speicher zeigt sich abhängig von der lokalen Einstrahlung, wie in Abbildung 20 zu sehen ist. Solarstromspeicher finden insbesondere in Baden-Württemberg und Bayern sowie in Nordrhein-Westfalen Anwendung. Auch die Förderprogramme der Länder haben Auswirkungen auf installierte Speicher (Bayern: Förderprogramm „10.000-Häuser-Programm“). [26]

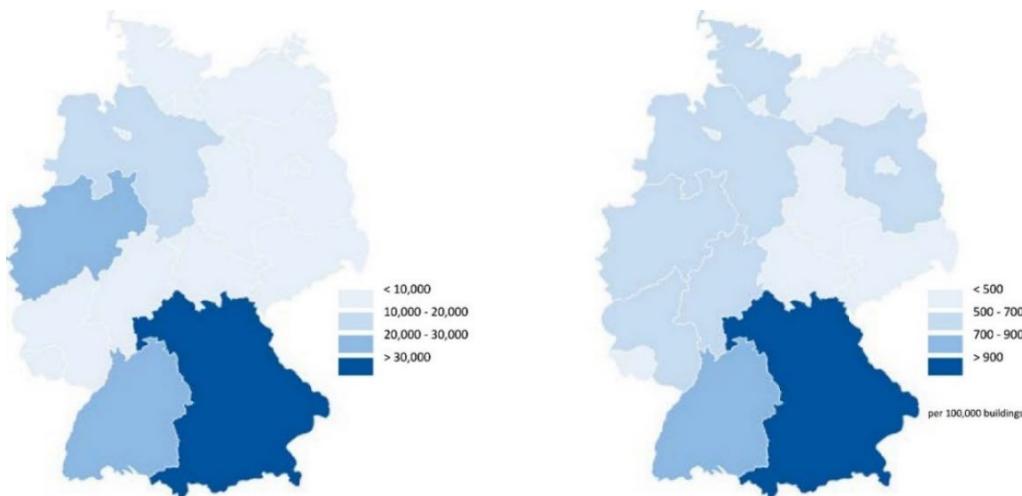


Abbildung 20: Links: Verteilung Solarstromspeicher in D absolut, rechts: relativ pro 100.000 Haushalte [41]

Wirtschaftliche Bewertungsgrößen

Das Erreichen der Wirtschaftlichkeit versteht sich als Grundprinzip des ökonomischen Handelns, weshalb der langfristige Erfolg von Investition in Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bewertet wird. Es gibt eine Vielzahl von Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die sich in ihrer Reichweite, Organisationsstruktur und Dimensionalität unterscheiden.

Klassische Investitionsrechenverfahren werden in statische Verfahren (Kostenvergleichsrechnung, Gewinnvergleichsrechnung, Rentabilitätsvergleichsrechnung, Amortisationsvergleichsrechnung) und dynamische Verfahren (Kapitalwertmethode, Annuitätenmethode, Interne Zinsfußmethode, Sonstige Verzinsungsmethoden) unterteilt. Bei dynamischen Verfahren wird der Zeitpunkt im Investitionsprozess mittels Diskontierung berücksichtigt, an dem die Ein- und Auszahlungen anfallen. Statische Verfahren betrachten lediglich die Höhe der Kosten und Erträge eines bestimmten Intervalls. Durch die fehlende Zeitabhängigkeit ist der dynamischen Betrachtung Vorzug zu geben. Bei dynamischen Verfahren wird der Zeitwert des Geldes berücksichtigt. [42]

In dieser Studie wird die Kapitalwertmethode (Nettobarwertmethode) angewendet. Die Summe aller Barwerte bildet den Kapitalwert, der die Investitionsentscheidung vergleichbar macht. Die Investitionsmaßnahme ist wirtschaftlich, wenn der Kapitalwert größer gleich null ist. [43] [44]

$$KW_0 = -C_0 + \sum_{t=1}^{t_{ref}} \left((E_t - A_t) * \frac{1}{(1+i)^t} \right) \pm T_X * \frac{1}{(1+i)^{t_{ref}}} \quad (5)$$

- KW_0 : Kapitalwert oder Nettobarwert
- C_0 : Investition zum Beginn der Unternehmung ($t=0$)
- t_{ref} : Betrachtungszeitraum (meistens in Jahren)
- E_t : Einzahlungen zum Zeitpunkt t
- A_t : Auszahlungen zum Zeitpunkt t
- i : Kalkulationszinssatz (in Prozent)
- T_X : Restwert, der am Ende der Laufzeit anfällt (als Einzahlung (+) oder Auszahlung (-))

- Die Summe des Nettoarwert (NBW) wird für verschiedene Kostenpunkte getrennt berechnet:

1. **NBW_X**: Investitionskosten für das Gesamtsystem,
2. **NBW_{B,X}**: laufenden betrieblichen Kosten,
3. **NBW_{NB}**: Kosten für den Strombezug vom Netz,
4. **NBW_{NE}**: Vergütung für die Netzeinspeisung.
5. **NBW_{sum}**: Der Nettoarwert für das gesamte Speichersystem ist die Summe aller vorher berechneten Barwerte.
6. **SGK**: Stromgestehungskosten zum bewertenden Vergleich

$$NBW_X = C_{0,X} + \frac{C_{n*l_X,X}}{(1+i)^{n*l_X}} - \frac{T_X}{(1+i)^{t_{ref}}} \quad (6)$$

- $C_{0,X}$: Anschaffungskosten
- $C_{l_X,X}$: Austauschkosten nach Komponenten-Lebensdauer (l_X)
- T_X : Restwert wird linear nach Betrachtungszeitraum (t_{ref}) über Nutzungsdauer abgeschrieben
- i : Zinssatz. [45]

$$NBW_{B,X} = C_{0,X} * p_X * \frac{(1+i)^{t_{ref}} - 1}{(1+i)^{t_{ref}} * i} \quad (7)$$

- p_X : Betriebskosten für Instandhaltung und Wartung (p.a.) sind proportional zu Investitionskosten und werden über einen konstant bleibenden Faktor (p_X) und dem zugrundeliegenden Diskontierungssatz bemessen.

$$NBW_{NB} = E_{NB} * c_{m,el} * \frac{(1+i)^{t_{ref}} - 1}{(1+i)^{t_{ref}} * i} \quad (8)$$

$$\text{mit } c_{m,el} = c_{0,el} * (1+i_{el})^{\frac{t_{ref}}{2}} \quad (9)$$

- $c_{m,el}$: Die über die Jahre anfallenden Kosten für den Strombezug vom Netz werden mit einem gemittelten Strompreis über die gesamte Nutzungsdauer berechnet. Dieser mittlere Strompreis ergibt sich aus
- i_{el} : der jährlichen Preissteigerung und
- $c_{0,el}$: dem aktuellen Strompreis zum Zeitpunkt der Investition.
- E_{NB} : Netzbezogene Energie: Theoretisch schwankt der Stromverbrauch und damit die jährlich vom Stromnetz bezogene Energie (E_{NB}), in dieser Studie wird der Strombezug als konstant angenommen.

$$NBW_{NE} = - \left(E_{NE} * c_{NE} * \frac{(1+i)^{t_{ref}} - 1}{(1+i)^{t_{ref}} * i} \right) \quad (10)$$

- c_{NE} : Die Einspeisevergütung wird über 20 Jahre festgesetzt.

$$NBW_{sum} = \sum NBW_X + NBW_{B,X} + NBW_{NB} + NBW_{NE} \quad (11)$$

$$SGK = \frac{NBW_{sum}}{E_{VB} * t_{ref}} \quad (12)$$

- E_{VB} : kumulierter Strombedarf über den Betrachtungszeitraum [45]

4.4.3 Prämisse für die Simulation von Batteriespeichern

Spezifische Systemkosten wirken sich maßgeblich auf die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Batteriespeichern aus und können je nach Quelle und Jahr stark variieren. In Tabelle 2 sind die Annahmen für die vorliegende Studie zusammengefasst.

Tabelle 2: Kostenannahmen für die Simulationsstudie

Parameter	Wert	Quelle/Anmerkung
Strompreis [ct/kWh]	31,37	[32] S.7
Strompreissteigerung [%/a]	2	[32] S.7
Mittlere Strombezugskosten [ct/kWh]	38,24	[32] S.7
Kalkulationszins [%]	1,53	[32] S.7
Einspeisevergütung [ct/kWh] (<= 10 kW _p und 10 - 40 kW _p)	9,17 8,91	[32] S.7
Durchschnittlicher Gesamtpreis für Batteriespeicher [€/kWh] (< 6 kWh und < 12 kWh)	1.356 977	[32] und eigene Preisentwicklung
Kapazitätsabhängiger Preis [€/kWh] (< 6 kWh und < 12 kWh)	1.178 843	Siehe Zinssatz
Leistungsabhängiger Preis Batterie-Wechselrichter [€/kW]	400	[32] S.7
Installationskosten pauschal [€]	500	[32] S.7
Lebensdauer Batteriespeicher [a]	20	[32] S.7
Durchschnittlicher Komplettpreis PV-Anlage [€/kW _p]	1.200	[32] S.7
Lebensdauer PVA [a]	25	[32] S.7
Anteil Betriebskosten PVA an Anschaffungskosten [%/a]	1,5	[32] S.7

Strompreis und Strompreisentwicklung

Wie sich der Strompreis in den nächsten Jahren verhält, entscheidet maßgeblich über die Wirtschaftlichkeit eines Batteriespeichers. Ziel des Speichers ist es, weniger Strom für den Haushaltsbedarf vom Stromnetz beziehen zu müssen, da der Strompreis schon im Jahr 2020 mit durchschnittlich 31,4 ct/kWh [32] erheblich angestiegen ist. Bis und insbesondere 2022 wird diese Situation verschärft, da der Ukrainekrieg und der damit einhergehende Gasmangel sich auf die Stromproduktion insbesondere bei kaltem Wetter auswirkt (durch das Merit-Order-Prinzip). Als Folge steigt sich sowohl der Börsenstrompreis als auch seine Volatilität.

Es ist von einer steigenden Rentabilität des Batteriespeichers auszugehen, wobei die Strompreisentwicklung in Deutschland mittel- und langfristig nur schwer prognostizierbar ist. Für einen Betrachtungszeitraum des Speichers von 20 Jahren wurde zum Zeitpunkt des Projekts eine konstanten jährlichen Strompreissteigerung von 2% pro Jahr angenommen. Um die Strompreissteigerung in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu berücksichtigen, wurden die mittleren Strombezugskosten über die Nutzungsdauer von 20 Jahren herangezogen, was dem mit einem Strompreis von 31,4 ct/kWh und einer konstanten Steigerung von 2% pro Jahr einen Wert von 38,2 ct/kWh ergibt [24]. Uhrig et al. zeigen in Abbildung 21 Strompreisentwicklungsfade bis ins Jahr 2050 auf, die bis zum Jahr 2040 eine Strompreiserhöhung auf über 50 ct/kWh prognostizieren.

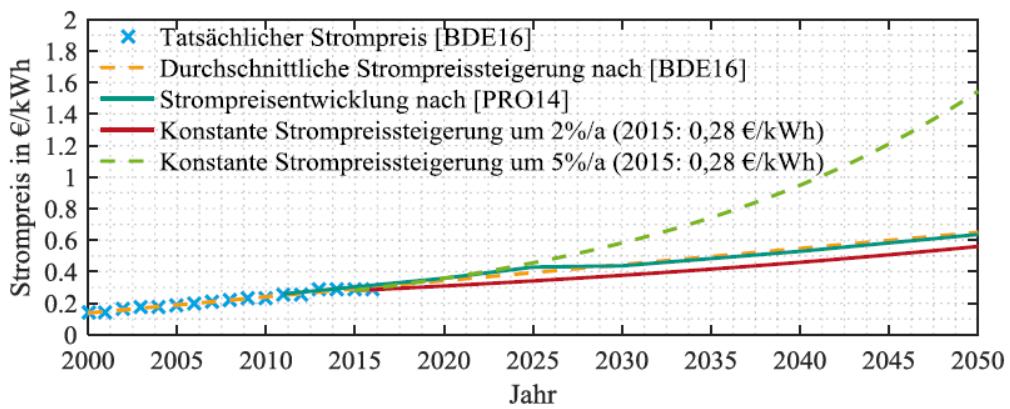


Abbildung 21: Strompreisentwicklungspfade bis 2050 [29]

Zum Projektende hin wurden die volatilen und durch die Krise stark steigenden Strompreise durch die Strompreisbremse von der Bundesregierung gedeckelt [46]:



Abbildung 22: Zuschuss zu Strom- und Gaspreisen. Quelle: Die Bundesregierung

Zinssatz

In der Ertragsrechnung ist der Kalkulationszins für die Abzinsung von Einzahlungen und Auszahlungen auf den Investitionszeitpunkt t_0 Eingangsparameter. In der Zukunft liegende Zahlungen werden bei höherem Zinssatz deutlich stärker abgewertet. Der kalkulatorische Zinssatz entspricht „bei Investitionen im Privatbereich (...) dem Bankzinssatz für Darlehen mit einer Laufzeit von 10 Jahren“. [47]

Die KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) unterstützt als Förderbank die Nutzung von erneuerbaren Energien. Durch das Förderprogramm 270 - Erneuerbare Energien "Standard", kann für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ein geringer Zinssatz angenommen werden; für eine Laufzeit und Zinsbindung von 20 Jahren ergibt sich ein Effektivzins von 1,53%. [48]

Einspeisevergütung

Die Einspeisevergütung fördert bestimmte Arten der erneuerbaren Energieerzeugung mit einer preislich festgesetzten und garantierten Abnahme des selbst erzeugten Stroms. Die Vergütung wird über einen Zeitraum von 20 Jahren festgesetzt und ist abhängig von Art und Größe der Anlage und dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme. Für den Monat Juni 2020 bei einer Anlagengröße bis zu 10 kW_p PV-Leistung beträgt die Einspeisevergütung 9,17 ct/kWh. Für den Bereich von 10 - 40 kW_p sinkt die Vergütungszahlung auf 8,91 ct/kWh. [33]

Dimensionierung des Batteriespeichers

Zur Bestimmung der optimalen Speichergröße gibt es eine Bandbreite an wissenschaftlichen Publikationen und Modellansätze. Überwiegend wird hierbei ein System aus PV-Anlage und Batteriespeicher mittels gängiger Simulationssoftware wie MATLAB oder TRNSYS modelliert. In den meisten Fällen wird ein spezifisches Gebäude zur optimalen Batteriespeicherauslegung verwendet. [39] [45] [49] In den meisten Fällen kann die Speichergröße als Optimum angesehen werden, wenn der Speicher den betriebswirtschaftlich größten Vorteil für den Betreiber bringt, für die Ermittlung des spezifischen Optimums sind Parameterstudien dienlich. Ein Solarspeicher soll den ansteigenden Strombezugskosten entgegenwirken. Der betriebswirtschaftlichen Speicherauslegung liegt immer eine Erhöhung des Eigenverbrauchs und die Entwicklungen im Strompreis und der Einspeisevergütung zugrunde. [24]

In dieser Studie wurden folgende Prämissen bei der Auslegung der Speicher gewählt:

- 1 kWh nutzbare Speicherkapazität pro kW_p installierte PV-Nennleistung [50] [51]
- Wechselrichterleistung pro Nutzbare Speicherkapazität = 0,446 kW/kWh [15]

Kosten des Batteriespeichers

Investitionskosten für Batteriespeicher mit Lithium-Ionen-Technologie sind in den letzten Jahren erheblich gesunken, was v.a. auf prozessuale Verbesserungen und Skaleneffekte zurückzuführen ist. Der durchschnittliche Endkundenpreis für ein Gesamtsystem ist im Zeitraum von 2013 bis 2018 um ca. 50% gesunken. Da bei der Datenerhebung von Figgeler et al. sowohl AC- als auch DC-gekoppelte Systeme berücksichtigt wurden, sind bei der Leistungselektronik auch die Kosten für den Wechselrichter enthalten (DC: PV-Wechselrichter, AC: Batterie-Wechselrichter). Für ein Heimspeichersystem mit mittlerer Größe und nutzbarer Kapazität von 6...12 kWh ergibt sich ein durchschnittlicher kapazitätsbezogener Endkundenpreis von 1.150 €/kWh. Je größer die Batterie, desto niedriger sind die spezifischen Kosten. [26]

In einer Studie der RWTH Aachen und des Forschungszentrums Jülich wurden Speicherdaten von verschiedenen öffentlichen Einrichtungen ausgewertet, um die Entwicklungen am Batteriespeichermarkt zu analysieren. Auf dieser Basis wurde eine logarithmische Trendfunktion ermittelt, mit der die Batteriekosten für das Jahr 2020 berechnet wurden. Hier ergibt sich für einen Heimspeicher der mittleren Größe ein Preis von 977€ pro kWh nutzbare Speicherkapazität und für eine Größe kleiner 6 kWh ein Preis von 1.356 €/kWh (siehe Abbildung 23).

- Endverbraucherpreis pro kWh (6-12 kWh) = - 633,5 * ln(x) + 2.294,5 = 977 €/kWh
- Endverbraucherpreis pro kWh (<6 kWh) = - 471 * ln(x) + 2335,5 = 1.356 €/kWh

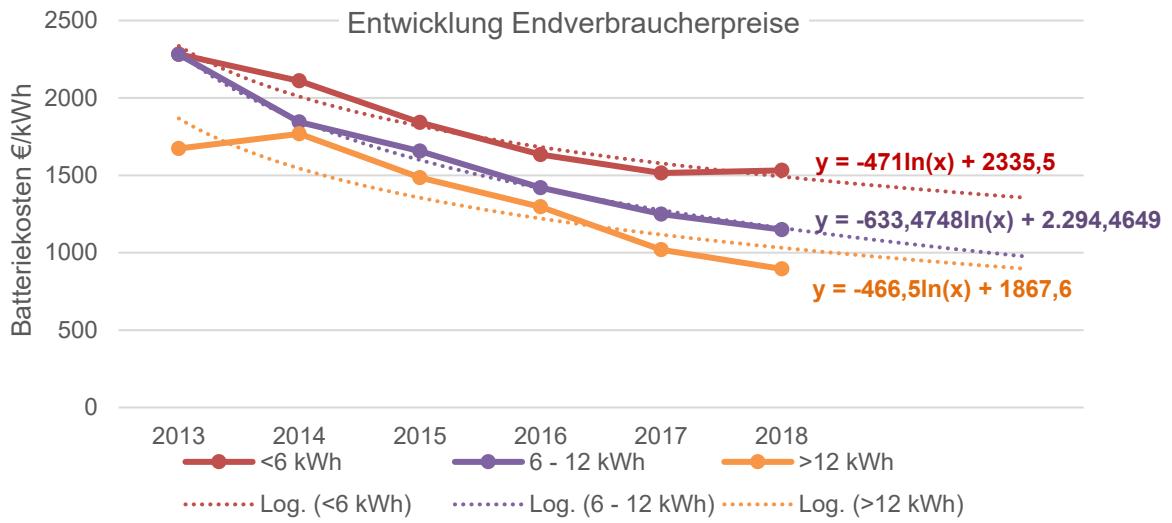


Abbildung 23: Tatsächlicher Verlauf und Trendlinie der Preisentwicklungen für Heimspeicher inkl. Leistungselektronik und MwSt. (Darstellung nach [30])

Batterie-Wechselrichter

Hersteller	Serie	Bezeichnung	AC-Nennleistung [kW]	photovoltaik4all.de	mg-solar-shop.de	solar-pur.de	photovoltaik-shop.com	wechselrichter-online.de	Preis pro kW
SMA	Sunny Boy Storage		2,5	2,5	1.029 €	1.000 €	1.000 €	1.039 €	1.097 €
			3,7	3,7	1.598 €	1.680 €	1.599 €	1.662 €	1.755 €
			5,0	5,0	1.829 €	1.904 €	1.830 €	1.883 €	1.989 €
			6,0	6,0	2.079 €	2.128 €	2.080 €	-	2.223 €
Fronius	Primo Gen 24 Plus (Hybrid)		3,0	3,0	-	1.698 €	1.766 €	-	577 €
			3,6	3,6	-	1.771 €	1.836 €	-	501 €
			4,0	4,0	-	1.826 €	1.897 €	-	465 €
			4,6	4,6	-	1.970 €	2.044 €	-	436 €
			5,0	5,0	-	2.061 €	2.142 €	-	420 €
			6,0	6,0	-	2.289 €	2.373 €	-	388 €
Kostal	PLENTICORE plus (Hybrid)	Symo Gen 24 Plus (Hybrid)	6,0	6,0	2.479	2.600 €	2.636 €	-	429 €
			8,0	8,0	2.929	2.993 €	3.035 €	-	373 €
			10,0	10,0	3.059	3.126 €	3.171 €	-	312 €
			4,2	4,2	1.229 €	1.254 €	1.255 €	1.254 €	297 €
			5,5	5,5	1.369 €	1.402 €	1.403 €	1.404 €	398 €
			7,0	7,0	1.695 €	1.757 €	1.758 €	1.760 €	1.746 €
			8,5	8,5	1.869 €	1.938 €	1.939 €	1.941 €	1.923 €
			10,0	10,0	2.029 €	2.100 €	2.101 €	2.103 €	2.080 €
		PIKO MP PLUS (Hybrid)	1,5	1,5	699 €	-	672 €	666 €	665 €
			2,0	2,0	770 €	-	739 €	733 €	731 €
			2,5	2,5	840 €	-	806 €	800 €	796 €
			3,0	3,0	910 €	-	874 €	867 €	865 €
			3,6	3,7	993 €	-	954 €	946 €	942 €
			4,6	4,6	1.189 €	-	1.154 €	1.145 €	1.146 €
								Gesamt	362 €
								<= 5kW	392 €
								> 5kW	310 €

Abbildung 24: Kosten für Batteriewechselrichter, Webshop-Recherche; Stand: 12.05.2020

In Abbildung 23 sind durchschnittliche Gesamtpreise inkl. Leistungselektronik des Systems erfasst. Unter Leistungselektronik fallen auch Investitionskosten für den Batterie-Wechselrichter bei der Gleichstromkopplung.

Da für das Batteriemodell die Kosten getrennt betrachtet werden müssen, werden aus dem Gesamtpreis die Kosten für den Wechselrichter herausgerechnet. Hierfür wurden Preise von fünf gängigen Wechselrichter-Modellen von vier verschiedenen Webshops miteinander verglichen. Es wurden in Leistungsbereichen gestaffelte Durchschnittspreise gebildete: In dieser Arbeit finden nur Batterie-Wechselrichter unter 5 kW Anwendung, für die sich ein Preis von 392 €/kW ergibt (vgl. Abbildung 24). In dieser Studie wurde mit einem mittleren Preis von 400 € pro Kilowatt Wechselrichterleistung im Größenbereich kleiner 5 kW gerechnet. Die Varianz zeigt die European Association for Storage of Energy (EASE) mit einem Bereich von 150 – 1.000 €/kW. [52]

Für eine nutzbaren Speicherkapazität kleiner 6 kWh ergeben sich Kosten von 1.178 €/kWh und für Kapazitäten im Bereich von 6 - 12 kWh von 843 €/kWh.

$$\text{Kapazitätsbereich } < 6 \text{ kWh: } 1.356\text{€} - (400\text{€} * 0,446) = 1.178 \text{ €/kWh}$$

$$\text{Kapazitätsbereich } 6-12 \text{ kWh: } 977\text{€} - (400\text{€} * 0,446) = 843 \text{ €/kWh}$$

Installationskosten

Installationskosten des Batteriespeichers unterscheiden sich nach Neuinstallation oder Austausch einer bereits vorhandenen Komponente. Für den Einbau und Anschluss wurde ein einmaliger Pauschalbetrag von 500 € angenommen. [25]

Lebensdauer und Instandhaltung

Wenn eine Komponentenlebensdauer den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren unterschreitet, wird diese ausgetauscht, Instandhaltungskosten sind entsprechend berücksichtigt. Der Zeitpunkt für den Austausch des Batteriespeichers ergibt sich aus der vom Hersteller angegebenen Zyklen-Lebensdauer und der vom Batteriemodell geschätzten jährlichen Zyklenzahl. Die Batterie-Lebensdauer ist bei aktuellen Speichermodellen mit einer Zyklenzahl bis zu 10.000 Vollladezyklen auf 20 Jahre ausgelegt [53]. Mit Angaben von jährlich bis zu 250 Zyklen sind Batterien für deutlich höhere Zyklenzahlen ausgelegt, als innerhalb von 20 Jahren erreicht werden. Somit ist kein Austausch der Systemkomponenten über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren notwendig. [54]

Betriebskosten

Da der Betrieb des Batteriespeichers nahezu wartungsfrei verläuft, kann der Speicher bei der Wartung und Inspektion der PV-Anlage mitberücksichtigt werden. Es werden keine zusätzlichen Betriebskosten für die Batterie berücksichtigt. [27]

PV-Anlage

Durch die wachsende Nachfrage sind die Investitionskosten für Photovoltaiktechnologien in den letzten 10 Jahren stark gesunken. In den Kosten der PV-Anlage sind Kosten für PV-Module, Wechselrichter, Montage und weitere Serviceleistungen enthalten. Im Juni 2020 lagen die PV-Kosten bei durchschnittlich 1.200 € pro kWp installierter Leistung. [57]

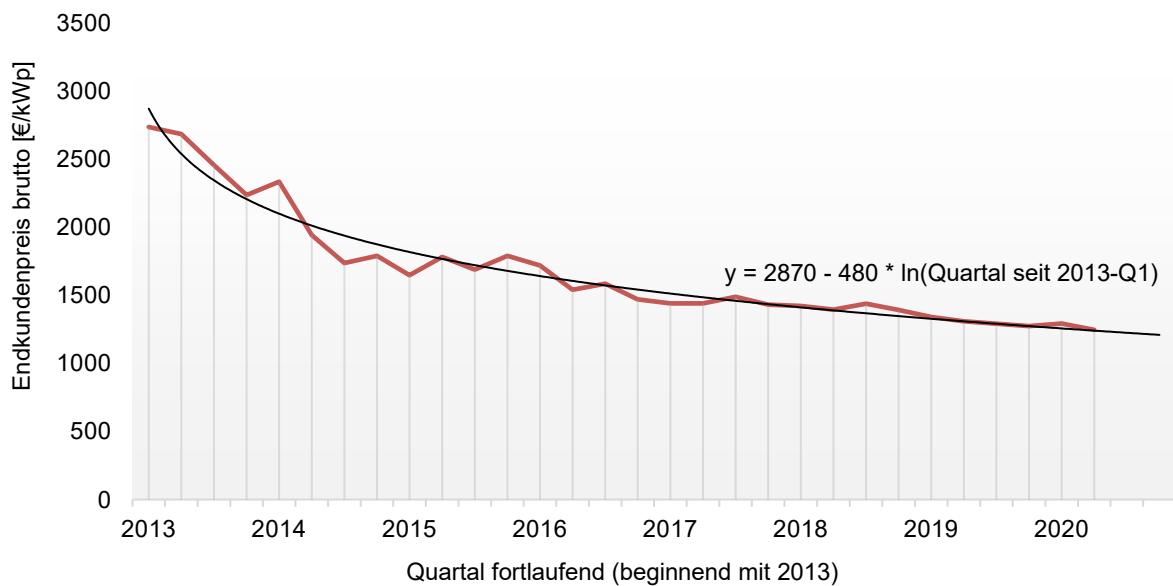


Abbildung 25: Endkundenpreis für eine schlüsselfertige PV-Anlage (eigene Darstellung, Quelle: photovoltaik-angebotsvergleich.de, Stand Juni 2020)

Das Institut für Agrarökonomie der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft bestätigt diese Kosten in einer Prognose der „höchsten tragbaren Anschaffungskosten“ im Zeitraum von 2023 bis 2024 unter Berücksichtigung des EEG 2023 für schlüsselfertige PV-Anlagen (mit Volleinspeisung). [58] [59]

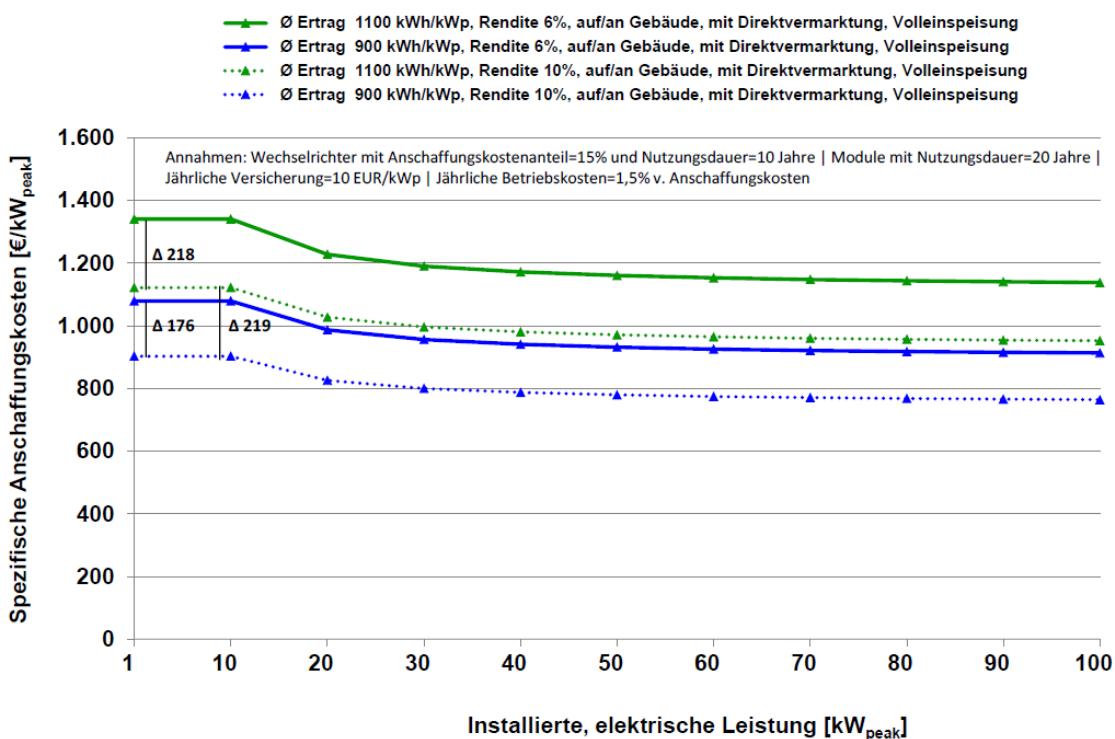


Abbildung 26: Spezifische PV-Anlagenkosten (Quelle: Institut für Agrarökonomie der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft) [60]

Betriebskosten und Nutzungsdauer

Für PV-Anlagen fallen Wartung- und Instandhaltungskosten an, die auf Basis langjähriger Erfahrungswerte mit 1,5% der Investitionskosten p.a. angenommen wird. Es wird von einer Nutzungsdauer der PV-Module von 25 Jahren ausgegangen, weshalb nach dem gewählten Betrachtungszeitraum der Restwert der PV-Anlage berücksichtigt wird. [27] [49] [61]

4.4.4 Entwicklung eines PV-Speichermodells

In dieser Studie wurden technisch und wirtschaftlich sinnvolle Dimensionierungen von Batteriespeichersystemen für eine definierte Photovoltaikgeneratorleistung untersucht. Die richtige Dimensionierung sollte aufgrund des lokalen PV-Potentials und Strombedarfs des Kunden immer individuell erfolgen. Eine wichtigste Einflussgröße ist die Gleichzeitigkeit von PV-Stromproduktion und des tatsächlichen (Haushalts-)Strombedarfs. Der Haushaltsstrombedarf unterscheidet sich stark nach Tages- und Jahreszeit, technischer Ausstattung und Nutzerverhalten. Bspw. steigt mit einer Wärmepumpe im Winter der Strombedarf, mit einer Klimaanlage der im Sommer. Hinzu kommen Elektroautos, die meist in den Abend- und Nachtstunden zuhause geladen werden. Dies führt zu jahreszeitabhangigen Schwankungen des Strombedarfs. Jahres- und tageszeitliche Unterschiede können den Strombedarf so maßgeblich beeinflussen, dass dieser individuell und zeitabhängig berücksichtigt werden sollte. In vielen Fällen gilt die Speichergröße als Optimum, die betriebswirtschaftlich den größten Vorteil für den Betreiber bringt. Ein Solarspeicher soll den ansteigenden Strombezugskosten entgegenwirken und als Kapitalanlage dienen. Die Kosten für das System sollen daher so effektiv wie möglich wirken. Der Eigenverbrauchsanteil ist daher eine wichtige Betrachtungsgröße und setzt sich anteilig zusammen aus Direktverbrauch und PV-Batterieladung. [24] [27]

Das PV-Batteriespeicher Modell in INSEL

In der grafischen Programmierumgebung INSEL ist der Blockinput rot dargestellt, von dem aus maximal eine Beziehung, dargestellt als blaue Linien, zu einem anderen Block bestehen kann. Blockoutputs sind blau dargestellt und können beliebig viele Blöcke angeschlossen werden. Die Blöcke sind auf insel.eu mathematisch dokumentiert. [5]

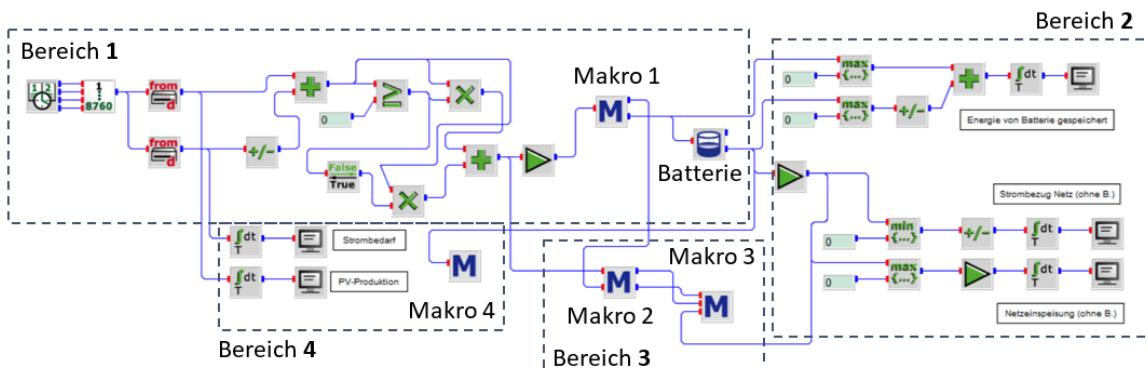


Abbildung 27: Ansicht: PV-Batteriespeicher Modell in INSEL

In INSEL wird der Speicher mit dem BUCKET-Block abgebildet. BUCKET kumuliert sein Eingangssignal innerhalb bestimmter Grenzen. Ein Eingangssignal wird bis zu einem bestimmten Grenzwert kumuliert. PV-Stromproduktion fließt als positive Ladeleistung ein und lädt den Speicher, der Haushaltsstrombedarf entlädt den Speicher und fließt als negative Ladeleistung ein. Ein Output ist der zeitabhängige Füllstand (eng. State-of-Charge - SOC). Der Haushaltsstrom verwendet priorisiert PV-Strom. Wetterdaten und der Haushaltsstrombedarf werden aus externen Daten in stündlicher Auflösung eingelesen. Im Modell wird von einer AC-gekoppelten Systemtopologie ausgegangen, bei der ein zusätzlicher Batterie-Wechselrichter verwendet wird. Dies wird in Makro 1 „Begrenzung der Be- und Entladeleistung“ abgebildet. Stromüberschüsse, die weder genutzt noch gespeichert werden können werden in das Stromnetz eingespeist. Hier gibt es keine Wirkungsgradverluste vom Batteriewechselrichter, jedoch die vom PV-Wechselrichter. Makro 2 vergleicht dabei den stündlichen PV-Ertrag und das Lastprofil mit der konstanten Beladeleistungsbegrenzung. Eine logische Funktion kontrolliert dabei, ob die Leistungsbegrenzung überschritten wird. Die Energiemenge, die die Begrenzung des Wechselrichters überschreitet dient als Tauschgröße mit dem Netz. Die PV-Stromeinspeisung ist auf 70% der installierten PV-Generatorleistung begrenzt, sofern nicht am Einspeisemanagement teilgenommen wird. Makro 3 regelt die Abregelungsverluste. Zusätzlich wird die Anzahl der Batterie-Vollladezyklen als vollständiges Beladen und Entladen der Batterie in Makro 4 gezählt, um die Zyklisierung der Batterie zu untersuchen.

Ein- und Ausgangsparameter.

Die wesentlichen Inputs in dieser Studie waren das standortabhängige und anlagenspezifische Profil der PV-Produktion in [kWh], die installierte PV-Leistung in [kW_P], Lastprofile des Stromverbrauchs in [kWh], die nutzbare Speicherkapazität in [kWh] sowie die Batterie-Wechselrichter-Leistung in [kW bzw. kW/kWh]. Die Gebäudedaten mit PV-Potential wurden für verschiedene Ein- und Mehrfamiliengebäude in SimStadt berechnet, da reale Daten aufgrund der oben beschriebenen Sanierungshemmisse nicht gesammelt werden konnten. So können zum Beispiel der Heizwärmebedarf oder auch der hier benötigte Strombedarf prognostiziert werden. Eine genauere Beschreibung ist im Kapitel *Integration in SimStadt* zu finden.

Die optimale Dimensionierung ist Ziel der Studie und richtet sich zunächst an der installierten Leistung des PV-Generators und dem Stromlastprofil des Gebäudes. Eine überdimensionierte Batterie wird über Nacht nicht vollständig entladen, weshalb am nächsten Tag eine geringere Speicherleistung zur Verfügung steht. Ein Batteriespeicher ist in Verbindung mit einer PV-Anlage überdimensioniert, wenn die nutzbare Speicherkapazität deutlich über dem durchschnittlichen täglichen Stromverbrauch des Haushalts liegt. Eine unterdimensionierte Batterie deckt hingegen nur geringe Teile des Strombedarfs. Der Batterie-Wechselrichter muss also in Abhängigkeit zur nutzbaren Speichergröße dimensioniert werden.

Die Wandlungspfade für den Be- und Entladevorgang der Batterie unterscheiden sich nur minimal (Durchschnittswerte AC-Kopplung: BAT2AC = 93,62%, AC2BAT = 93,49%), weshalb im Modell ein Wirkungsgrad von 93,5% für beide Vorgänge angenommen wird. Der Wechselrichter der PV-Anlage mit seinem PV2AC-Wandlungspfad muss vor der Einspeisung ins Stromnetz stattfinden und wurde mit dem durchschnittlichen PV-Wirkungsgrad (96,16%) von DC-gekoppelten Systemen mit einem Wert von 96% angenommen. Die Wandlungsverluste der Batterie selbst werden im Modell vernachlässigt. Dies ist dem Aufbau des BUCKET-Blocks geschuldet. Der Batterie-Wirkungsgrad kann einen Wert von über 98% erreichen, weshalb eine Nicht-Berücksichtigung nicht besonders stark ins Gewicht fällt. [24][39]

Tabelle 3: Simulationsergebnis für ein exemplarisches Einfamilienhaus mit 3 kWh nutzbarer Speicherkapazität, 3 kWp installierter PV-Leistung und 3.238 kWh Strombedarf pro Jahr

Ergebnisgröße	Werte EFH	Berechnung
Installierte PV-Leistung [kWp]	3	
PV-Produktion [kWh]	2.946	SimStadt + INSEL
Spezifischer PV-Ertrag [kWh pro kWp]	982	PV-Ertrag / Nominale Leistung
Stromverbrauch [kWh]	3.238	SimStadt
Nutzbare Speicherkapazität [kWh]	3	
Batterie-Wechselrichterleistung [kW]	1,34 = 3 x 0,446	Nutz. Speicherkapazität x Verhältnis Batterie-Wechselrichter zur nutz. Speicherkapazität
Energie von Batterie gespeichert [kWh]	753	
Anzahl Vollzyklen	143	
Strombezug vom Netz [kWh]	1.224 = 1.198 + 26	Strombezug vom Netz (ohne Energie aus Begrenzung Ladeleistung) + Verluste Begrenzung Entladeleistung
Netzeinspeisung mit Einspeisebegrenzung [kWh]	916 = 459 + 457	Netzeinspeisung mit Einspeisebegrenzung (nur Energie während Begrenzung Ladeleistung) + (weitere Energie, wenn Ladebegrenzung nicht erreicht)
Netzeinspeisung ohne Einspeisebegrenzung [kWh]	918 = 810 + (113 * 0,96)	Netzeinspeisung (ohne Energie aus Begrenzung Ladeleistung) + (Verluste Begrenzung Beladeleistung x 0,96) → da PV-Wechselrichter-Wirkungsgrad noch nicht berücksichtigt
Verlust durch Abregelung [kWh]	2 = 918 - 916	Netzeinspeisung ohne Einspeisebegrenzung – Netzeinspeisung mit Einspeisebegrenzung
Eigenverbrauchsanteil EQ [%]	68,8 % = EQ = (2.946 – 918) / 2.946	(PV-Produktion – Netzeinspeisung ohne Einspeisebegrenzung) / PV-Produktion
Autarkiegrad AQ [%]	62,2 % = AQ = (3.238 – 1.224) / 3.238	(Stromverbrauch - Strombezug vom Netz) / Stromverbrauch

Optimale Speicherkapazität durch Parametervariation

Mit einer Parameterstudie wird das Optimum der Systemauslegung nach Stromgestehungskosten aus nutzbarer Batteriekapazität und Wechselrichterleistung für ein Einfamilienhaus näherungsweise mit der Nettobarwermethode bestimmt. Die Parametervariation wird mit einem Python Skript automatisch ausgeführt. Für jede Variation werden mit Ausführung des Skripts das Batteriemodell in INSEL (ohne grafische Oberfläche) geladen und die Parameter Batteriekapazität und Wechselrichternominalleistung variiert. Abbildung 28 zeigt einen Screenshot vom Skript mit den globalen Variablen und dem variiierenden Wertebereich.

```
path = "C:/Users/brein/Desktop/Bachelorarbeit/Simulation/Sensitivitaetsanalyse"
file = open(path + "/results.csv", "w")
file.truncate()
writer = csv.writer(file, delimiter=';', lineterminator="\n")
writer.writerow(["Building Number", "Chargefactor [-]", "Capacity [kWh]", "Strombedarf [kWh]"])
file.close()

building = 0

for first in range(45, 50, 5):
    fortran = ("(" + str(first) + "X,F5.3" + ")") → Gebäudeauswahl
    if first == 0:
        fortran = "(F5.3)"
    print(fortran)

for Chargefactor in range(1, 11, 1): → Batterie-Wechselrichterleistung
    Chargefactor = Chargefactor/10
    for Capacity in range(50, 1005, 5): → Speicherkapazität
        Capacity = Capacity/100
```

Abbildung 28: Ausschnitt aus dem Python-Skript, welches das Batteriemodell in INSEL durchläuft

Optimale SpeichergröÙe für ein Einfamilienhaus und ein Mehrfamilienhaus

Um das optimale Verhältnis von Stromverbrauch zu PV-Leistung unterschiedlicher Gebäudetypologien zu identifizieren, wurden exemplarisch ein Einfamilienhaus (EFH) und ein Mehrfamilienhaus (MFH) mit spezifischen Lastprofilen in SimStadt simuliert, die sich sowohl im Strombedarf, als auch im PV-Dachpotential maßgeblich unterscheiden. Für das MFH ergibt sich geringeres spezifisches PV-Potential aufgrund geringerer „Pro-Kopf-Dachfläche“.

- Das **EFH** hat eine installierte PV-Leistung von 5 kW_p mit einem jährlichen PV-Ertrag von rund 5.000 kWh und einen Strombedarf von rund 4.000 kWh.
 - Das **MFH** hat eine installierte PV-Leistung von 11 kW_p mit einem jährlichen PV-Ertrag von rund 10.000 kWh. Sechs Haushalte haben einen Strombedarf von rund 15.500 kWh/a.

Für die Parametervariationen wurde für die Batteriekapazität ein Bereich von 0,5 – 10 kWh mit Inkrementen von 0,05 kWh angesetzt. Dazu wurde für den C-Koeffizient ein Bereich von 0,1 – 1C ange- setzt. Es bedeutet, dass die Batterie-Wechselrichterleistung zwischen 0,05 und 10kW variieren kann.

Tabelle 4 sind die Simulationsergebnisse der Parameterstudie jeweils für das Optimum des EFH und MFH dargestellt.

Für das EFH ergibt sich im Optimum eine nutzbare Speicherkapazität von 2,50 kWh mit einer Wechselrichterleistung von 1,0 kW mit einem Verhältnis aus Speicherkapazität und Strombedarf von 0,64 kWh/MWh und einem Autarkiegrad von ca. 60%. Das MFH hat ein Optimum bei einer Kapazität von 7,8 kWh und einer Leistung von 3,9 kW, im Verhältnis bei 0,51 kWh/MWh, der Autarkiegrad liegt bei etwa 50%.

Tabelle 4: Ergebnisse der Simulation: Speicher-Optimum für EFH und MFH

	Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus
Anzahl Haushalte [-]	1	6
Stromverbrauch [kWh]	3.901	15.435
Installierte PV-Leistung [kWp]	5	11
PV-Produktion [kWh]	4.941	9.935
Optimale Speicherkapazität [kWh]	2,50	7,80
Optimale Batterie-Wechselrichterleistung [kW] und [kW/kWh]	1,00	3,90
	0,4	0,5
Energie von Batterie gespeichert [kWh]	729	1.694
Strombezug vom Netz [kWh]	1.517	7.676
Netzeinspeisung [kWh]	2.519	2.093
Verlust durch Abregelung [kWh]	57	6
Anzahl Vollzyklen [-]	219	161
Eigenverbrauchsanteil [%]	47,87 %	78,88 %
Autarkiegrad [%]	61,13 %	50,27 %
NBW _X Investitionskosten [€]	8.958	19.498
NBW _{B,X} Betriebskosten [€]	1.541	3.389
NBW _{NB} Strombezug [€]	9.927	50.245
NBW _{NE} Netzeinspeisung [€]	3.954	-3.192
NBW Summe [€]	16.472	69.941
SGK [€/kWh]	0,2111	0,2266

Durch den kontinuierlich hohen Strombedarf des MFH wird der größte Teil der erzeugten PV-Energie selbst verbraucht und nicht in das Stromnetz eingespeist. Der Eigenverbrauchsanteil am PV-Strom liegt bei 79%, die Netzeinspeisung ist geringer als beim EFH.

Umso größer die PV-Anlage und der Batteriespeicher, desto höher sind auch die (spezifischen) Investitions- und Betriebskosten. Die Strombezugskosten für Strom aus dem Netz haben jedoch den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung, da diese im Mittel über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren mit 38,24 ct/kWh angesetzt wurden. Für das MFH liegen die SGK im Optimum um ca. 0,02 €/kWh mit 0,23 €/kWh über denen des EFH mit 0,21 €/kWh.

Dies wurde den Stromgestehungskosten der beiden Varianten, jeweils mit PV-Anlage ohne Speicher und mit reinem Netzbezug gegenübergestellt. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung werden die durch die reduzierte Anlagentechnik entfallenen Kosten entsprechend berücksichtigt. Für den reinen Netzbezug werden mittlere SGK für einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren angesetzt und auf den Investitionszeitpunkt diskontiert, da keine Anschaffungskosten anfallen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Vergleich der wichtigsten Parameter der drei Systemkonfigurationen

EFH	PV-Batteriespeicher	PV-Anlage ohne Speicher	Netzbezug
Installierte PV-Leistung	5 kW _p	5 kW _p	0 kW _p
Speicherkapazität	2,50 kWh	0 kWh	0 kWh
PV-Produktion	4.941 kWh	4.941 kWh	0 kWh
Stromverbrauch	3.901 kWh	3.901 kWh	3.901 kWh
Netzeinspeisung	2.519 kWh	3.178 kWh	0 kWh
Strombezug vom Netz	1.517 kWh	2.273 kWh	3.901 kWh
Eigenverbrauchsanteil	47,87 %	35,64 %	0 %
Autarkiegrad	61,13 %	41,75 %	0 %
NBW _{SUM}	16.472 €	16.542 €	25.536 €
SGK	0,2111 €/kWh	0,2120 €/kWh	0,3273 €/kWh
MFH	PV-Batteriespeicher	PV-Anlage ohne Speicher	Netzbezug
installierte PV-Leistung	11 kW _p	11 kW _p	0 kW _p
Speicherkapazität	7,8 kWh	0 kWh	0 kWh
PV-Produktion	9.935 kWh	9.935 kWh	0 kWh
Stromverbrauch	15.435 kWh	15.435 kWh	15.435 kWh
Netzeinspeisung	2.093 kWh	3.788 kWh	0 kWh
Strombezug vom Netz	7.676 kWh	9.446 kWh	15.435 kWh
Eigenverbrauchsanteil	78,88 %	61,87 %	0 %
Autarkiegrad	50,27 %	38,80 %	0 %
NBW _{SUM}	69.941 €	70.698 €	101.037 €
SGK	0,2266 €/kWh	0,2290 €/kWh	0,3273 €/kWh

Der Vergleich der drei Systemkonfigurationen zeigt, dass sowohl beim Einfamilienhaus als auch beim Mehrfamilienhaus die Variante mit PV-Anlage und Batteriespeicher die wirtschaftlichste Variante ist.

Da der Netzbezug durch die hohen mittleren Strombezugskosten ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist, fällt die Variante mit ausschließlichem Netzbezug mit einem Abstand von ca. 0,10 €/kWh ab. Die Summe des Nettoarbarwerts beim PV-Batteriespeicher liegt immer etwas unter dem der Variante mit PV ohne Speicher. Beim EFH mit Batteriespeicher liegt der Autarkiegrad um 34% und der Eigenverbrauchsanteil um 46% höher, als bei der ohne Speicherung. Beim MFH mit Batteriespeicher steigt durch geringeren Netzbezug der Autarkiegrad um 30%. Unter Berücksichtigung der Prämisen der Modellbetrachtung kann ein Batteriespeicher grundsätzlich eine sinnvolle Ergänzung zur Photovoltaik-Anlage zur Reduktion des Strombedarfs auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erachtet werden.

Sensitivitätsanalyse

Da die Marktentwicklung von vielen Faktoren abhängt und volatil ist, wurde eine Sensitivitätsanalyse für die wesentlichsten Parameter durchgeführt, die um einen Faktor von +33% und -33% verändert wurden. Ausgehend von ihrem Startwert (vgl. Tabelle 2) wird die Auswirkung der Parameteränderung auf den Nettobarwert betrachtet. [49]

Die Photovoltaikanlage ist mit 1.200 €/kW_p der teuerste Kostenpunkt in der Wirtschaftlichkeitsberechnung, da sie gründetechnisch mit einer installierten Leistung von 5 kW_p deutlich über der nutzbaren Speicherkapazität der Batterie liegt und somit stark ins Gewicht fällt. Eine weitere Kostensenkung in der Anschaffung auf 800 €/kW_p hätte eine Verringerung des Nettobarwerts von 15,6% zur Folge. Als zweitstärkster Einflussfaktor hängt der NBW von der Einspeisevergütung ab. Diese fließt als Ertrag (negativer Wert) in die Gesamtkosten des Systems ein und verringert den Nettobarwert.

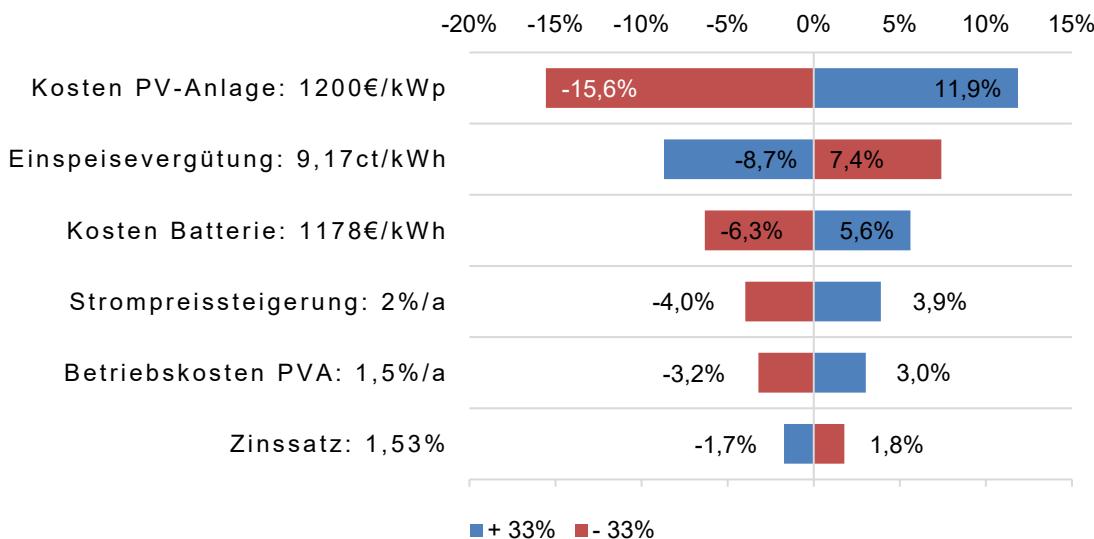


Abbildung 29: Sensitivitätsanalyse der wichtigsten Parameter beim Einfamilienhaus: Änderung im Nettobarwert [%]

Eine um 30% verringerte Vergütung auf 6,1 ct/kWh führt zu einem 7,4% höheren Nettobarwert (17.790 €), der analog die SGK erhöht, was bedeutet. Mit 1.178 €/kWh trägt besonders bei größeren Haushalten und Batteriespeichergrößen der kapazitätsbezogene Preis zu einem hohen NBW bei. Auch wenn der Batteriespeicher für das Einfamilienhaus nur eine Größe von 2,5 kWh aufweist, führt eine Verringerung um -33% zu einem 6,3% geringeren NBW des Gesamtsystems, was die Stromgestehungskosten auf 0,20 €/kWh reduziert. Neben den bereits genannten Parametern verändern auch die Strompreissteigerung und die Betriebskosten den Nettobarwert um mehrere Prozentpunkte. Den geringsten Einfluss weist der verwendete Zinssatz auf, der durch die KfW-Förderung eher gering ausfällt. Generell kann daher von einem höheren Zins ausgegangen werden, was wiederum eine stärkere Änderung im NBW zur Folge hätte.

Die Preisentwicklung der nutzbaren Speicherkapazität ist mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Da für die Auslegung des Speichers die Batteriekosten entscheidend ist, wurde dieser Parameter für das EFH in Abbildung 30 dargestellt. Im Balkendiagramm wird die Änderung des NBW und der SGK für eine Erhöhung und Verringerung der kapazitätsbedingten Batteriekosten um 33% sowie 50% abgebildet, da für den Stromspeicher noch deutliche Preissenkungen prognostiziert werden. Der NBW und die SGK sinken bei halbierten Kosten für den Batteriespeicher von 16.472 € auf 15.000 € sowie von 21,1 ct/kWh auf 19,2 ct/kWh. [29]

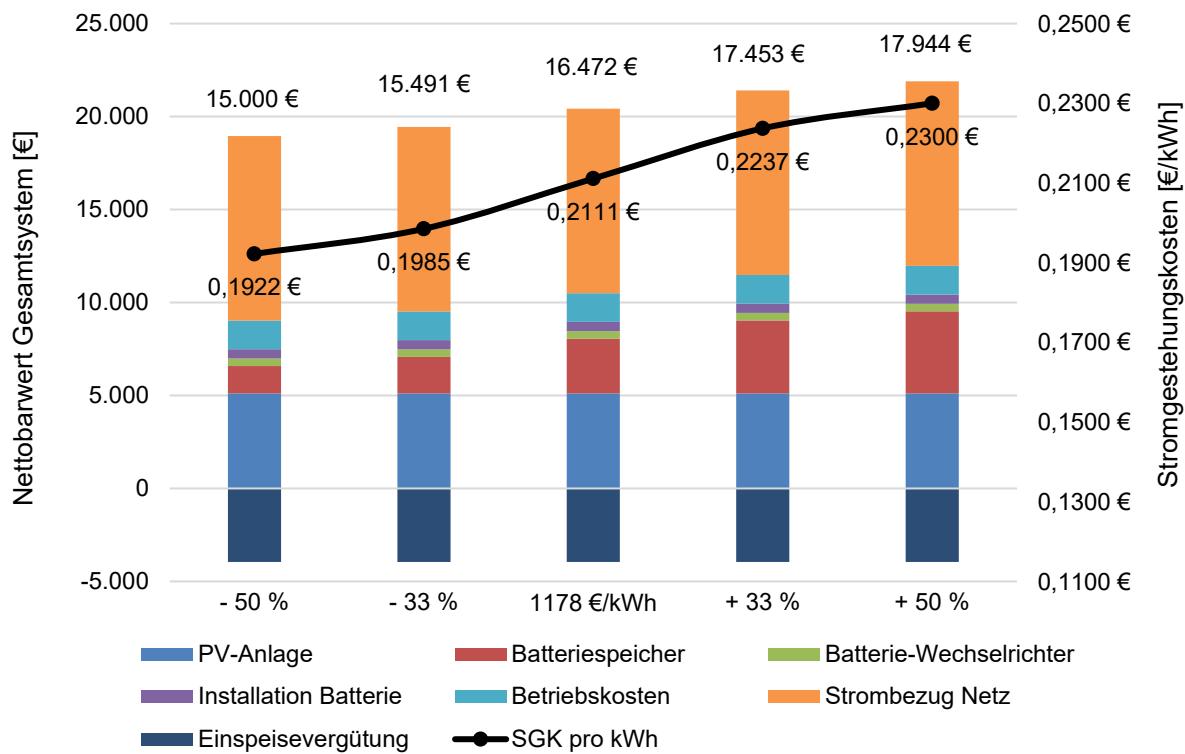


Abbildung 30: EFH mit 2,8 kWh Speicher: Änderung im NBW und SGK durch Anpassung der kapazitätsbezogenen Batteriekosten

Optimale Speicherkapazität: Ausblick 2025

Da die gewählten Parameter zur Ermittlung der optimalen Speicherkapazität vom Zeitpunkt der Investition und Inbetriebnahme des Systems abhängen, wird für ein EFH die optimale Speicherkapazität für das Jahr 2025 betrachtet, wofür Strompreis, Einspeisevergütung, kapazitätsbezogener Preis des Batteriespeichers, Investitionskosten PV-Anlage und die Lebensdauer der Batterie angepasst wurden.

Ausgehend von einem Haushaltsstrompreises aus dem Jahr 2020 mit einer konstanten Preissteigerung von 2% ergibt sich für das Jahr 2025 ein Strompreis von 0,35 €/kWh [62]. Im März 2023 liegt der Neukundenpreisen von Stromanbietern zwischen 0,35 und 0,37 €/kWh [63]. Deshalb wurde für dieses Szenario keine PV-Strom-Förderung berücksichtigt. Für das EFH wird mit der logarithmischen Trendlinienfunktion ein neuer kapazitätsbezogener Preis ermittelt. Der Endkundenpreis für den gesamten Batteriespeicher inklusive Leistungselektronik und Mehrwertsteuer beläuft sich für den Leistungsbereich < 6 kWh Speicherkapazität auf 1.127 €/kWh. Ohne Leistungselektronik und Wechselrichter ergibt sich ein spezifischer Kapazitätspreis von 949 €/kWh für das Jahr 2025.

$$\text{Kapazitätsbereich kleiner 6 kWh: } 1.127\text{€} - (400\text{€} * 0,446) = 949 \text{ €/kWh}$$

Für die PV-Anlage ist ebenfalls mit einer Kostenreduktion zu rechnen, gemäß der Trendlinie in Abbildung 25, werden für 2025 Kosten für die schlüsselfertige PV-Anlage von 1.004 €/kWp angesetzt.

$$\text{Kosten PVA pro kW}_p = -478,8 * \ln(x) + 2867,8 = 1004 \text{ €/kW}_p$$

Ebenfalls wird die Lebensdauer und damit der Betrachtungszeitraum des Batteriespeichers von 20 auf 25 Jahre angehoben, da von einer Technologieverbesserung in der Zyklenfestigkeit ausgegangen wird – für neue Lithium-Ionen-Batterien werden heute schon bis zu 10.000 Be- und Entladezyklen garantiert [53], welche in Deutschland bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren eher selten erreicht werden [54]. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 für die optimale Speichergröße für das Jahr 2025 gegenübergestellt.

Für das Zukunftsszenario errechnet sich für das EFH ein Speicheroptimum von 4,25 kWh nutzbarer Speicherkapazität mit einer Leistung des Batterie-Wechselrichters von 1,275 kW. Durch den geringeren kapazitätsbezogenen Preis und die fehlende Einspeisevergütung stellt sich eine größere Batteriekapazität als wirtschaftlichstes Ergebnis dar. Resultierend steigern sich der Eigenverbrauchsanteil sowie der Autarkiegrad, als beim System mit 2,5 kWh Speicherkapazität.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der jetzigen und prognostizierten Parameter mit optimaler Speichergröße

Parameter (EFH)	2020	2025
Strompreis	0,3137 €/kWh	0,3464 €/kWh
Einspeisevergütung	0,0917 €/kWh	0,0 €/kWh
Preis Batteriekapazität	1.178 €/kWh	949 €/kWh
Anschaffungskosten PVA	1.200 €/kW _p	1.004 €/kW _p
Lebensdauer Batterie	20 a	25 a
Optimale Speicherkapazität	2,50 kWh	4,25 kWh
Optimale Speicher-Leistung	1,00 kW (0,4 kW/kWh)	1,275 kW (0,3 kW/kWh)
Eigenverbrauchsanteil	47,87 %	53,59 %
Autarkiegrad	61,13 %	68,65 %
NBW_{SUM}	16.472 €	18.806 €
SGK	0,2111 €/kWh	0,2410 €/kWh

Durch die längere Lebensdauer des Batteriespeichers entsteht nach einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ein Restwert, der die Investitionskosten für die Anschaffung reduziert. Dennoch ist unter den gegebenen Bedingungen die fehlende Einspeisevergütung ein entscheidender Faktor, da trotz besseren energetischen Werten die Wirtschaftlichkeit eines zusätzlichen PV-Batteriespeichers im Detail untersucht werden sollte.

Integration in SimStadt

Die gewonnenen Erkenntnisse haben den Weg zu einer Integration von Batteriespeicher-Systemen in die Simulationsumgebung SimStadt geebnet. Aktuell können Potenzialstudien für Photovoltaik gekoppelt mit PV-Speicherszenarien erstellt werden. SimStadt bestimmt für die betrachten Gebäude das Potenzial an PV-Leistung und PV-Produktion anhand des Gebäudestandorts, der Gebäudeausrichtung sowie Dachneigung und -fläche. [55][56]

SimStadt betrachtet jedes Gebäude einzeln, führt im Hintergrund das Programm INSEL aus hierin eine Simulation mit Parametervariation durch. Als Ergebnisgröße lässt sich das theoretische Speicherpotenzial ganzer Stadtquartiere errechnen. Der Workflow ist jedoch noch nicht veröffentlicht, da neben der technischen Integration noch insbesondere die Validität überprüft werden muss. Dies war aufgrund der mangelnden Datenlage im Projekt bislang nicht möglich. Geeignete Kriterien zur Auswahl an Speichergröße und Wirtschaftlichkeitsparameter müssen weiterhin spezifisch und im Detail definiert werden.

4.4.5 Simulationsstudie Schlösslesfeld

SimStadt – Berechnung eines zentralen PV-Batteriespeicherszenarios für Schlösslesfeld

Mit dem im vorherigen Kapitel beschriebenen PV-Batteriespeichermodell in INSEL wird nun gekoppelt mit SimStadt ein zentrales PV-Batteriespeicherszenario für Schlösslesfeld berechnet und analysiert.

Als Basis wird der stündliche PV-Ertrag und das Stromlastprofil für jedes Gebäude in SimStadt auf der Grundlage des 3D-CityGML-Modells für das Quartier (oder für einzelne Gebäude) berechnet. Die Batterie wird entsprechend des PV-Potentials der Dächer des Betrachtungsraum dimensioniert. Das PV-Batteriespeichermodell berechnet zeitlich abhängig in stündlichem Intervall die Kapazität der Batterie, eventuelle Strombezüge aus dem Netz sowie die potentielle Stromeinspeisung in das Netz.

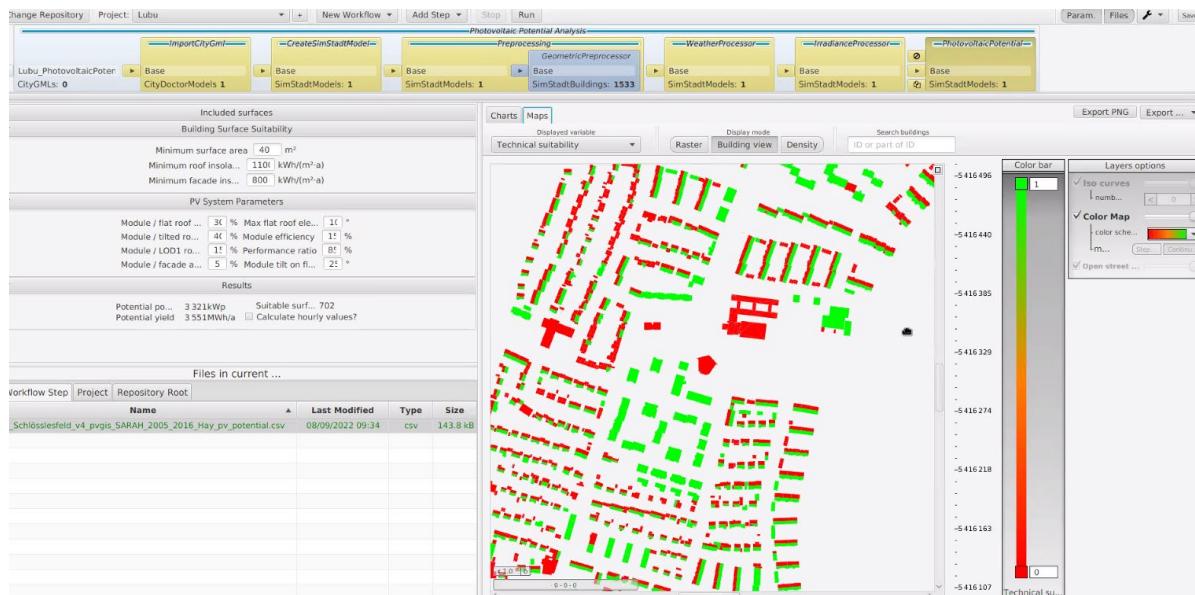


Abbildung 31: SimStadt: Screenshot der grafischen Nutzeroberfläche

Für die Berechnung und Analyse dieses Szenarios wurde ein „zentrales“ Batterieszenario entsprechend des Gesamt-PV-Potentials aller Dächern im Quartier dimensioniert. Es wird davon ausgegangen, dass das lokale Netz keine Überlastungsphase hat und der erzeugte PV-Strom in allen Gebäuden durch das Netz in den (virtuellen) zentralen Batteriespeicher übertragen werden kann.

Tabelle 7: Grundlagen Lastmanagement

Daten und Einheit	Ermittlungsmethode für Wohngebäude	Ermittlungsmethode für Nicht-Wohngebäude
Stündlicher PV-Ertrag [kWh/h]	SimStadt auf Basis den 3D City-GML Daten. Für die zentrale Versorgung wurden die PV Erträge von allen Gebäuden im Stadtquartier kumuliert.	wie bei Wohngebäuden
Nominelle PV-Leistung [kW _p]	SimStadt auf Basis von 3D City-GML-Daten. Für die zentrale Versorgung wurden die PV-Nominalleistungen von allen Gebäuden im Stadtquartier kumuliert.	wie bei Wohngebäuden
Stündliche Strom Lastprofil [kWh/h]	SimStadt auf Basis der 3D City-GML-Daten und der errechneten Anzahl der Haushalte.	Basis: - Statistische Werte für jährlichen Strombedarf [kWh/(m ² *a)] - Beheizte Fläche der Gebäude aus SimStadt (m ²) - synthetische Lastprofile des BDEW- G0 (Mittelwert von Gewerbe)

Das zentrale Szenario wurde getrennt für Wohn- und Nichtwohngebäude berechnet, da das Stromlastprofil von Nichtwohngebäuden auf der Basis statistischer Werte und Standardlastprofile berechnet wurde, während die Lastprofile von Wohngebäuden auf Basis der Anzahl der Haushalte mit einem Workflow individuell für jedes Gebäude in SimStadt berechnet werden.

Für Wohngebäude wurde der mittlere Jahresstrombedarf mit dem *LoadProfileGenerator* Workflow in SimStadt berechnet [64][65][66]. Dieser liegt bei 43 kWh/(m²·a).

Tabelle 8: Statistische Kennwerte für den Jahresstrombedarf für Nicht-Wohngebäude

Gebäude Funktion	kWh/m ²	Quelle
Büro und Administration	51,5	[50]
Bildung	17,8	[50]
Sporthallen	22	VDI 3807-2
Parkplätze (Beleuchtung und Klimatisierung)	11,5	[50]
Veranstaltungssaal	21	VDI 3807-2
Gastronomie	331	[69]
Industrie (Herstellungsbetriebe)	45,8	[50]

Betriebsstrategie des PV-Stromspeichers

Die PV-Anlagen sind auf den Dächern im Stadtquartier installiert. Der erzeugte PV-Strom deckt prioritätär den Eigenverbrauch der jeweiligen Gebäude, überschüssiger PV-Strom wird über das Verteilnetz in einer zentralen Batterie gespeichert. Bei vollem Ladezustand der Batterie werden PV-Stromüberschüsse in das öffentliche Stromnetz eingespeist (EEG-Einspeisebegrenzung auf 70% kumuliert auf alle Dächer berücksichtigt). Weitere PV-Stromüberschüsse gehen als Abregelungsverlust verloren.

Lastmanagement in LB-Schlösslesfeld

Das Lastmanagement (*Englisch: DSM - Demand Side Management*) spielt eine wichtige Rolle, um den Wandel der Energieversorgung und damit einhergehend der Versorgungsstrukturen zu ermöglichen. Unter Lastmanagement versteht man das gezielte Einflussnehmen auf die Intensität und den zeitlichen Verlauf der Stromnachfrage. Der Einsatz von PV-Stromspeichern kann hier unterstützen, die Stromlast zu verschieben und die Stärke der Stromnachfrage zu glätten (vgl. Abbildung 18).

Die Umsetzung dieser Strategien erfordert bei den jeweiligen Anlagen ein Smart-Meter sowie ein intelligentes Messsystem (iMsys), um die Kommunikation zwischen der Erzeugeranlage und dem Verteilnetzbetreiber zu ermöglichen. Dies ermöglicht die Differenzierung von selbst verbrauchtem, eingespeichertem oder eingespeistem Strom und die daraus resultierende Entwicklung eines Geschäftsmodells.

Strombedarf von Schlösslesfeld

In Schlösslesfeld liegt der überwiegende Strombedarf mit etwa 90% bei den Wohngebäuden, was sich auch durch die Verteilung der beheizten Fläche widerspiegelt. Der Stromanteil von Nichtwohngebäuden liegt bei ca. 10%.

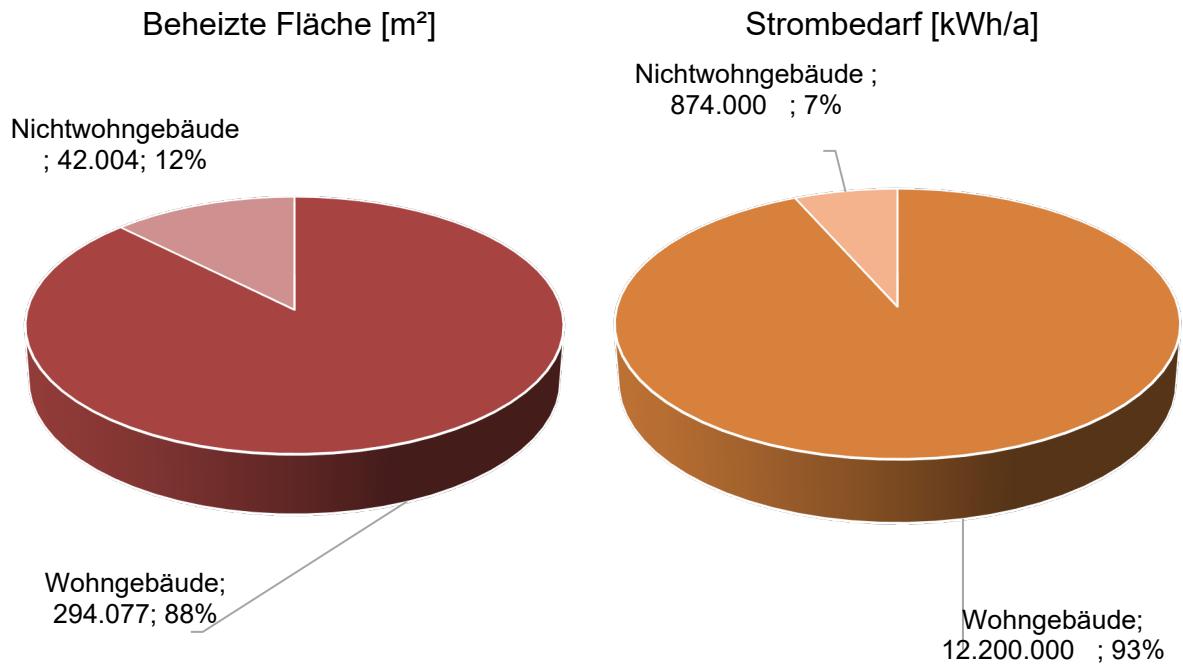


Abbildung 32: Links: Verteilung der beheizten und unbeheizten Flächen für verschiedene Nutzungsarten in Schlösslesfeld basierend auf 3D-CityGML- und ALKIS-Daten [in m²], rechts: Verteilung des Strombedarfs in [kWh/a] für Wohn- und Nichtwohngebäude.

Die Verteilung des in SimStadt berechneten Strombedarfs für Nichtwohngebäude nach Sektoren zeigt, dass der höchste Strombedarf in Schlösslesfeld bei Bürogebäuden, der Gastronomie und Bildungseinrichtungen liegt. Aber auch unbeheizte Flächen wie Garagen zeichnen sich aufgrund eines hohen Flächenanteils durch einen hohen relativen Strombedarf aus (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: Strombedarf Nichtwohngebäude nach Sektoren

	Beheizte Fläche [m ²]	Strombedarf [kWh/a]
Gastronomie	291	96.189
Lager	363	7.621
Industrie	606	27.741
Büro und Verwaltung	2.426	124.913
Sport	3.107	68.350
Eventlocation	6.018	126.384
Bildung	13.802	245.668
Unbeheizt (Garagen, etc.)	15.393	177.017

PV-Aufdachpotential in LB-Schlösslesfeld

Das Photovoltaikpotenzial für Schlösslesfeld wurde mit SimStadt berechnet. Die monatliche globale horizontale Bestrahlungsstärke und Umgebungstemperatur wird für die Simulation aus der PVGIS-Online-Datenbank bezogen (PVGIS Version: v5.1, SARAH-DB, 2005 -> 2016) [70]. Die PVGIS-Daten stammen aus Satellitenmessungen, die mit bodengestützten Wetterstationen kalibriert und validiert wurden (siehe PVGIS-Datenquellen und Berechnungsmethoden [71]). Die Messungen sind aktueller als die in der IN-

SEL-Datenbank hinterlegten. Europa-Daten sind in der PVGIS-SARAH-Datenbank verfügbar, mit Messungen zwischen 2005 und 2016 [72]. Die Verschattung wurde mit dem SRA Algorithmus berücksichtigt. Die aktuelle in SimStadt verwendete API-Version ist v5.1.

LOD1-Gebäude (Level of Detail 1, Modellierung der Gebäude als Blockmodell mit Flachdach) wurden integriert, da Schlosslesfeld durch seine Baualterstypologie viele Flachdächer aufweist (z.B. die Schlosslesfeldschule). Für Flachdächer wurde in der Simulation ein PV-Dachpotential für LOD1 Gebäude von 30% angenommen.

Die Simulation ergab für Wohngebäude ein Photovoltaikpotenzial von ungefähr 3.000 kW_p mit einem rechnerisch möglichen Ertrag von 3.300 MWh/a. Für Nichtwohngebäude wurde analog ein Photovoltaikpotenzial von etwa 500 kW_p mit einem möglichen Ertrag von 600 MWh/a errechnet.



Abbildung 33: SimStadt - Grafische Ausgabe der Simulation: links PV-Dachpotentials (grün: rentabel); rechts: Gebäudefunktion (Hellblau: Wohngebäude, andere Farben: Nichtwohngebäude)

PV-Batterieszenario für Wohngebäude

Anhand der Jahressdauerlinie kann die Auslegung einer zentralen PV-Batterie mit nutzbarer Kapazität von 2,5 MWh, einer Wechselrichterleistung von 1,1 MW und einer PV-Anlagenleistung von 2,5 MWp erfolgen (vgl. Abbildung 34).

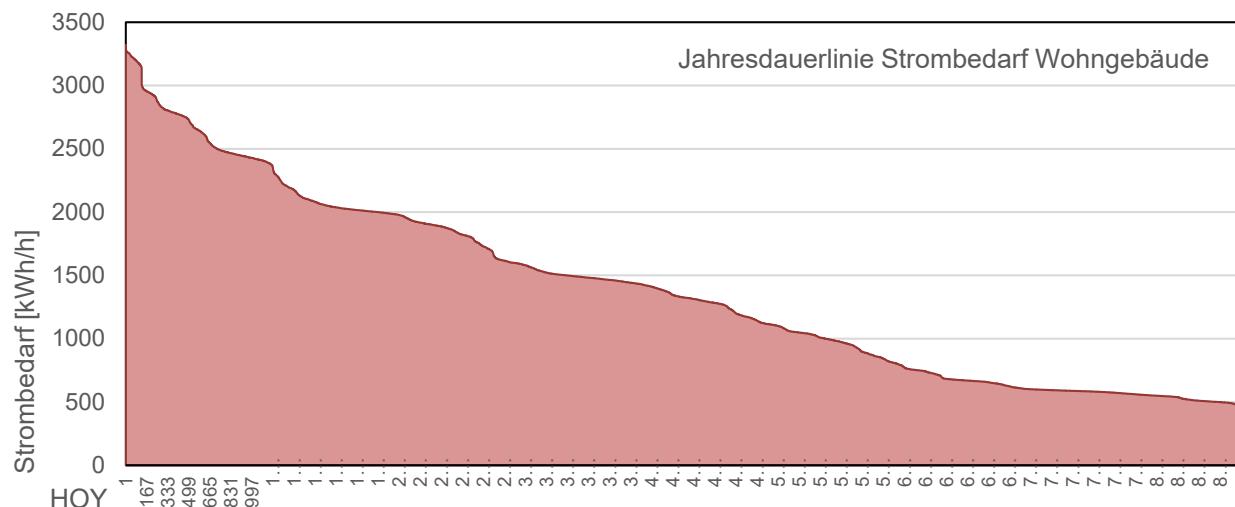


Abbildung 34: Jahressdauerlinie für die Stromlast von Wohngebäuden in Schlösslesfeld

Der Einsatz dieses Systems kann bei Wohngebäuden in Schlösslesfeld an Werktagen zu einer Glättung des Strombedarfs von ca. 25% in der Übergangszeit und von ca. 45% im Sommer führen. Rechnerisch entspricht das einer Reduzierung des Netzbezugs um ca. 4,4 GWh pro Jahr für Wohngebäude. (vgl. Abbildung 35)

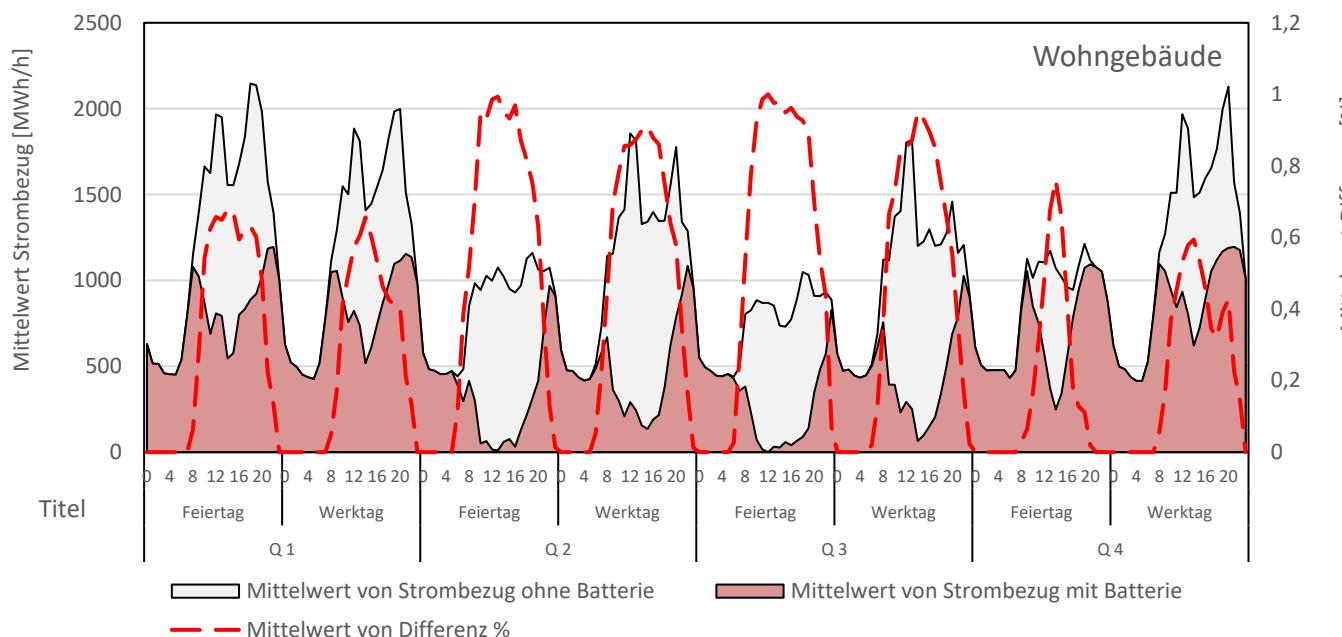


Abbildung 35: Potenzial für die Stromversorgungsglättung durch den Einsatz der PV Batterie. Beispiel für Wohngebäude in Schlösslesfeld. (eigene Darstellung)

PV-Batterieszenario für Nichtwohngebäude

Für Nichtwohngebäude wurde eine PV-Batterie mit 656 kWh nutzbarer Kapazität mit einem Wechselrichter mit 292 kW Nennleistung und einer PV-Anlagenleistung von 656 kW_P dimensioniert. Mit dieser Systemauslegung kann ein Großteil des Strombedarfs durch den Einsatz einer PV-Batterie gedeckt werden. Für bewölkte Werkstage in der Übergangszeit können etwa 40 % des Stromverbrauchs geglättet werden, im Sommer werktags sogar bis zu ca. 90 %. Dies entspricht für Nichtwohngebäude einer Reduktion des Netzbezugs von ca. 0,6 GWh pro Jahr (vgl. Abbildung 36).

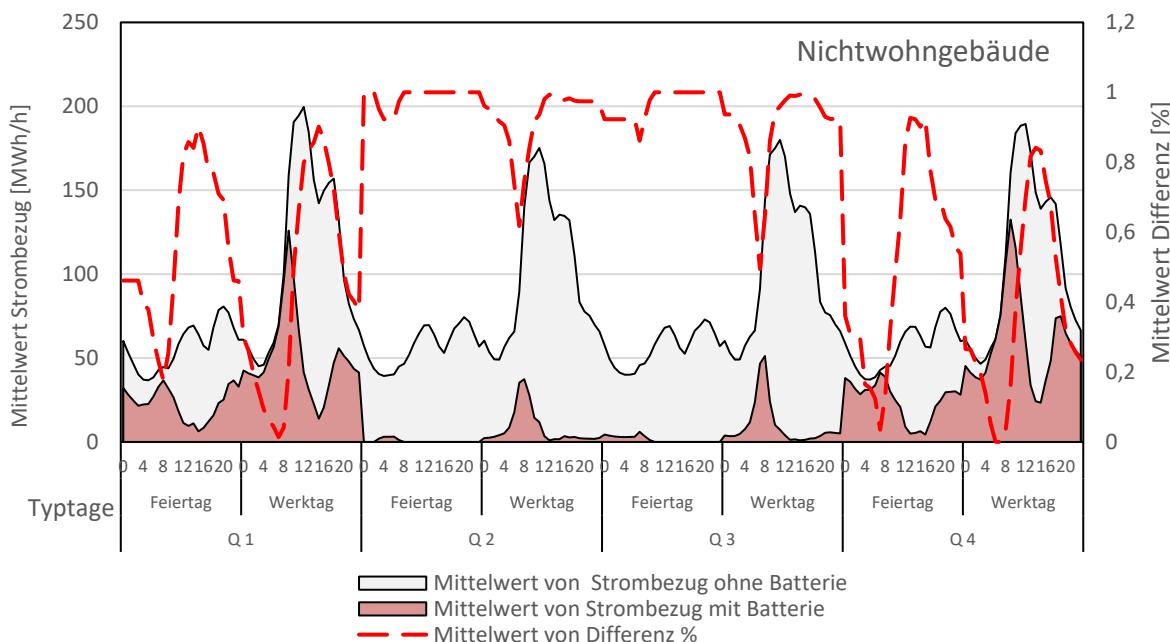


Abbildung 36: Stromversorgungsglättungspotential durch PV-Batterie. Nichtwohngebäude in Schlosslesfeld.

Rechnerisch konnten Autarkiegrade für den Strombedarf von etwa 30% für Wohngebäude nachgewiesen werden, für Nichtwohngebäuden steigen diese auf ca. 70%.

Ergebnis Wohngebäude

Durch Zusammenschluss von mehreren Einheiten bei der Anschaffung eines zentralen Batteriespeichers sinken die spezifischen Investitionskosten für die Batterie für den einzelnen Nutzer gegenüber individuellen Batterielösungen: Je größer die Batterie, desto günstiger die spezifischen Kosten pro Kilowattstunde.

Die Gesamtkosten werden durch Stromgestehungskosten (SGK) vergleichbar gemacht und können mit dem Strompreis von reinem Netzbezug verglichen werden. Als Stromgestehungskosten werden die durchschnittlichen Kosten der Stromerzeugung verstanden, die je Kilowattstunde Strom durch das PV-Batteriesystem anfallen. Alle Investitions- und Betriebskosten sowie Erträge über die gesamte Nutzungsdauer des Systems werden hierbei berücksichtigt. Es wurde die Nettoarbarwertmethode angewendet, mit der aus der Summe aller Ein- und Auszahlungen über den Betrachtungszeitraum unter Berücksichtigung der Diskontierung die Wirtschaftlichkeit berechnet werden kann. Die Unsicherheit hierbei ist vor allem der volatile Strompreis, der durch unkalkulierbare Ereignisse stark beeinflusst werden kann.

In dieser Studie wurde ein System mit Lithium-Ionen-Batterie betrachtet, da die Weiterentwicklung dieser Technologie vielversprechend ist und über die letzten Jahre sowohl die Herstellungskosten gesenkt, als auch die Lebensdauer und Effizienz erhöht hat. Alle Parameter für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden in Tabelle 10 näher erläutert.

Es wurden Stromgestehungskosten von ca. 0,25 €/kWh für Wohngebäude ermittelt, für Nichtwohngebäude ergeben sich durch einen geringeren Strompreis (ca. 0,21 €/kWh) Stromgestehungskosten von

0,12 €/kWh. Die Investitions- und Wartungskosten für das Gesamtsystem unter Berücksichtigung des individuellen Einbaus kann folglich größer dimensioniert und beauftragt werden. Die spezifischen Kosten für Nutzende sinken.

Tabelle 10: Übersicht verwendeter Parameter für Wirtschaftlichkeitsberechnung der Wohngebäude

Parameter	Stand 2020-21	Kommentare / Quelle
Zins [%]	1,53%	Für eine Laufzeit und Zinsbindung von 20 Jahren ergibt sich ein Effektivzins von 1,53%, welcher nur aufgrund der staatlichen Förderung günstig angeboten werden kann. [40][48]
Strompreis Haushalt pro kWh [€]	0,3137 €	[32], S. 7
Strompreisseigerung [%/a]	2,0%	[39], S. 8, [29], S. 88
mittlerer Strompreis [€/kWh] über Nutzungsdauer	0,3824 €	[24], S. 45
Einspeisevergütung [€/kWh]	0,0792 €	Umsetzungsstrategie: keine zentrale Einspeisung, sondern pro Gebäude. Der Durchschnittswert der installierten PV Anlagen in Schlosslesfeld liegt bei 3,4 kW. (Vergütung für PV Anlagen unter 10 kW im März 2021).
Kapazitätsbezogene Kosten der Batterie [€/kWh]	895- 310*0,446 =757 €	Je größer die Batterie, desto günstiger fallen die Kosten je Kilowattstunde aus, weshalb bei Batteriespeichern mit einer Größe über 12 kWh der Durchschnittspreis bei nur 895 €/kWh (2018) und 977 €/kWh (2020) liegt. (1.356 €/kWh bei Speichern kleiner 6 kWh – 2020), Vergleiche Abbildung 23.
Leistungsbezogene Kosten Wechselrichter [€/kW]	310 €	Auf Basis einer Marktrecherche lässt sich ein mittlerer Preis von 310 € pro Kilowatt Wechselrichterleistung für den Größenbereich größer 5 kW annehmen.
Installationskosten Batterie [€]	500 €	Für den Einbau und Anschluss kann ein einmaliger Pauschalbetrag anfallen. [25], S. 13
Anteil an leistungsbezogene Kosten für Ersatz Wechselrichter [%]	0%	Der Austausch der Systemkomponenten ist über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren nicht notwendig.
Anteil Betriebskosten an Anfangsinvestition [%/a]	0,0%	Betrieb des Batteriespeichers fast wartungsfrei läuft, kann der Speicher bei der Wartung und Inspektion der PV Anlage mitberücksichtigt werden.
Kapazitätsbezogene Kosten PV Anlage [€/kWp]	1.200 €	
Anteil Betriebskosten an Anfangsinvestition - PVA [%/a]	1,5%	[27], S. 128
Lebensdauer Batterie [a]	20	[27], S. 13
Lebensdauer Batterie-Wechselrichter [a]	20	
Lebensdauer PV Anlage [a]	25	[49], S. 16
Betrachtungszeitraum [a]	20	

4.4.6 Einordnung und Ausblick

Ein zentrales PV-Batteriespeichersystem gekoppelt mit dezentralen Photovoltaikanlagen zeigt sich für Wohn- und Nichtwohngebäude in einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren wirtschaftlich rentabel unter der Annahme, dass die entstehenden Stromflüsse zum Speicher durch das bestehende Verteilnetz geleistet werden können. Allerdings kann die Einspeisung des PV-Stroms in Spitzenstunden begrenzt werden, wenn das Netz nicht genügend Kapazität hat.

In dieser Studie wurden die Standardlastprofile des VDEW für Nicht-Wohngebäude verwendet. Diese Lastprofile gehen auf eine Verbrauchsstudie des VDEW aus den 1980er Jahren zurück. Für eine realistischere Analyse wäre es empfehlenswert, die tatsächlichen Lastprofile der Gebäude zu verwenden. Dies wird durch die Implementierung einer Monitoring-Strategie ermöglicht.

Diskussion Batteriespeichergröße

Schon kleine Speichersysteme können den Eigenverbrauch und die Autarkie erheblich steigern, wobei diese Steigerung mit zunehmender Batteriekapazität zurückgeht. Je größer der Batteriespeicher, desto höher fällt der Deckungsanteil der produzierten PV-Energie am Stromverbrauch aus und umso weniger Strom muss vom Netz bezogen werden. Zu große Speicher hingegen, die den Haushaltsstrombedarf übersteigen, werden über Nacht nicht vollständig entladen, weshalb am nächsten Tag eine geringere Speicherkapazität zur Verfügung steht.

In Abbildung 37 wird die Zunahme des Autarkiegrads bei steigender Speicherkapazität bis zu einer Deckelung bei etwa 75% ersichtlich. Hier ist der Anteil der in der Batterie gespeicherten PV-Energie (Batterieladung) an der Deckung des Stromverbrauchs berücksichtigt. Für das EFH lässt sich ab einer nutzbaren Speicherkapazität von 5 kWh der Autarkiegrad nur noch geringfügig steigern. Dies zeigt, dass bereits kleine Speichersysteme einen erheblichen Effekt auf den Eigenverbrauch haben können und angesichts sinkender Investitionskosten wirtschaftlich attraktiver werden. Die Speicherkapazität einer Batterie sollte unter den angenommenen Rahmenbedingungen nicht größer als der Strombedarf des Gebäudes dimensioniert werden, idealerweise mit einem betriebswirtschaftlich günstigen Verhältnis von 0,5...0,8 kWh nutzbarer Speicherkapazität pro MWh Stromverbrauch.

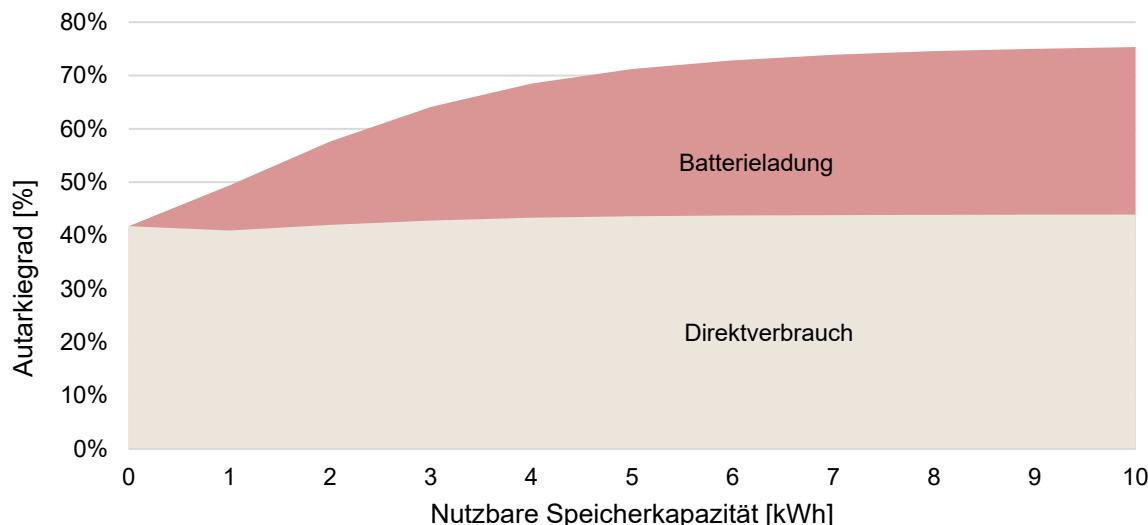


Abbildung 37: Änderung im Autarkiegrad bei zunehmender Speicherkapazität (Einfamilienhaus mit 3,9 MWh Stromverbrauch und 4,9 MWh PV-Produktion pro Jahr, 2,5 kWh Speicherkapazität, 1,0 kW Wechselrichterleistung) (Eigene Darstellung)

Bei der Dimensionierung des Batteriespeichers bestimmt die Leistung des Batterie-Wechselrichters die maximal mögliche Energiemenge, die stündlich be- und entladen werden kann. Das EFH kann mit einer Wechselrichterleistung von 0,4 kW/kWh eine maximale Be- und Entladeleistung von 1 kW bereitstellen.

Eine Erhöhung der Wechselrichterleistung begünstigt den Eigenverbrauch aufgrund des zügigeren La-deprozesses und da so der Strombezug und die Netzeinspeisung geringer ausfallen. Die Eigenverbrauchserhöhung ist allerdings eher gering und sollte im Einzelfall den Mehrkosten der Investitionen gegenübergestellt werden. Eine höhere Wechselrichterleistung lohnt sich dann, wenn Verbraucher mit hoher Ladeleistung oder Systemdienstleistungen bereitgestellt werden müssen. Bei Nichtauslastung einer großen Wechselrichterdimensionierung wird der Batterie-Wechselrichter in geringeren Wirkungsgradbereichen betrieben und die daraus resultierenden Mehrkosten verringern die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems. Generell sind kleinere Batterie-Wechselrichter in Leistungsbereichen von 0,3 - 0,5 kW/kWh nutzbare Speicherkapazität zu bevorzugen. [29]

Diskussion Speichergröße und Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit und damit die optimale Größe von PV-Speichern für EFH und MFH hängt maßgeblich von den Kosten der PV-Anlage und des Batteriespeichers ab. Die spezifischen leistungs- und kapazitätsbezogenen Preise werden für größere Systeme jedoch geringer. Ein ganzheitlicher Quartiersansatz birgt daher unter gewissen Voraussetzungen wirtschaftliche Vorteile:

- Eine PV-Anlage trägt mit ihren Investitionskosten wesentlich zum Nettobarwert des PV-Speicher-Gesamtsystems bei. Durch höhere PV-Stromproduktion kann der Eigenverbrauch gesteigert und teurer Netzbezug reduziert werden. Eine spezifische Betrachtung ist jedoch nötig, um zu entscheiden, ob die Einsparungen beim Netzbezug die gestiegenen Investitionskosten ausgleichen.
- Ein größerer Batteriespeicher erhöht (analog zur PV-Anlage) den Eigenverbrauch. Ein verringelter Netzbezug steht Einnahmen der Einspeisevergütung gegenüber, weshalb die kapazitätsbezogenen Batteriekosten und der Strompreis sensible Parameter darstellen. Der Nettobarwert steigt mit den zunehmenden Investitionskosten von höherer Speicherkapazität und Wechselrichterleistung. Tendenziell sind Speicher mit geringeren Kapazitäten unter den berücksichtigten Rahmenbedingungen eine wirtschaftliche Lösung (vgl. Abbildung 38)

Abhängigkeit Nettobarwert (EFH)

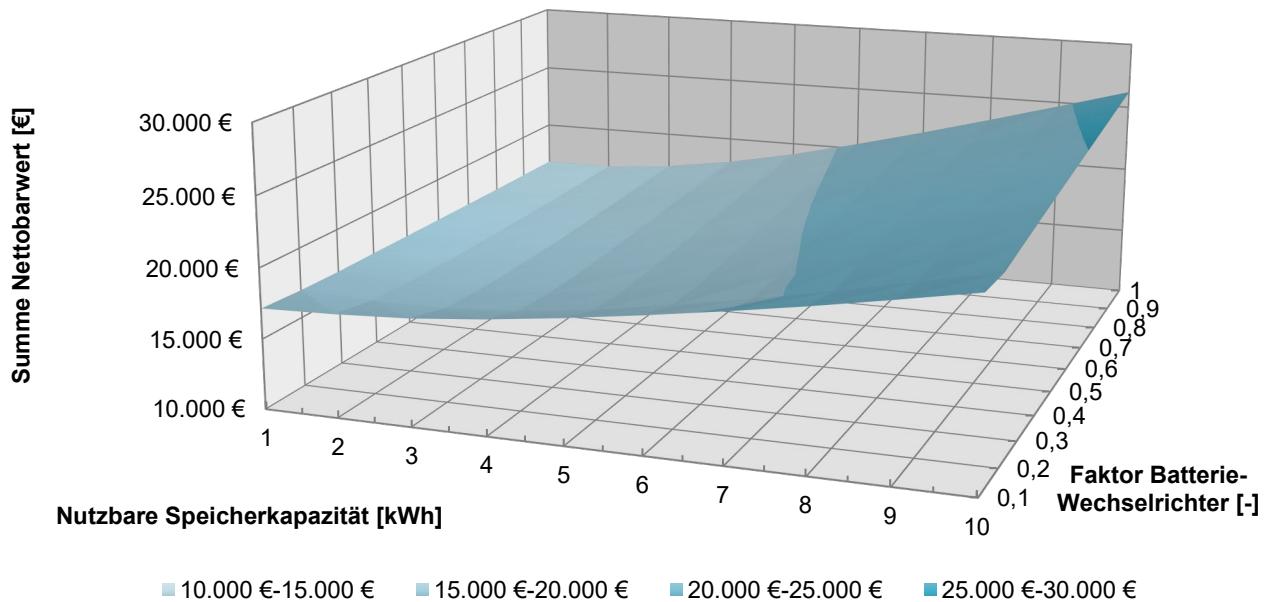


Abbildung 38: Änderung des Nettobarwerts mit zunehmender Speicherkapazität und Wechselrichterleistung (Einfamilienhaus mit 3,9 MWh Stromverbrauch und 4,9 MWh PV-Produktion)

Analogien in der Literatur

Mit dem PV-Speichermodell konnte mittels Parametervariation und anschließender Betrachtung der Outputgrößen die optimale Speichergröße für einen gegebenen Anwendungsfall ermittelt werden. Die

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über den Nettoarwert hat zudem gezeigt, dass sich die Investition in einen Batteriespeicher lohnen kann: mit der richtigen Speichergröße besteht ein Kostenvorteil gegenüber der PV-Anlage ohne Speichermöglichkeit. Hierbei sind kleinere Batteriespeicher zu wählen, die wesentlich unter der Höhe des Stromverbrauchs des Gebäudes liegen. Zu beachten ist, dass die zeitlichen Gegebenheiten und Einflussgrößen der Ertragsrechnung wesentlich über den Ausgang der Wirtschaftlichkeit bestimmen, was die Sensitivitätsanalyse gezeigt hat.

Zur Einordnung dieser Ergebnisse werden die bereits vorhandenen Erkenntnisse aus der Literatur herangezogen. In „Sizing of residential PV battery systems“ (2013) [39] wurde dargelegt, dass PV-Speichersysteme auf lange Sicht nicht nur profitabel sind, sondern auch die wirtschaftlichste Option darstellen. Durch die sinkende Einspeisevergütung kommt der Erhöhung des Eigenverbrauchs eine wichtige Rolle zu, welche mit kleinerer Systemauslegung zu erreichen ist.

Für Batteriespeicher in Haushalten konnte in „Aspekte zur Integration stationärer und mobiler Batteriespeicher in die Verteilnetze“ (2017) [29] unter optimistischen Bedingungen eine Wirtschaftlichkeit nachgewiesen werden. Eine geringere Strompreissteigerung und eine kürzere Lebensdauer der Systemkomponenten führen besonders zu einer negativen Änderung in der Wirtschaftlichkeit. Um höhere Erträge zu erzielen, müssen Batteriespeicher mit einer geringeren nutzbaren Speicherkapazität und niedriger Wechselrichterleistung gewählt werden.

Nach Weniger et al. (2015) [24] sind die Investitionskosten für die Anschaffung einer PV-Anlage und des Batteriespeichers der entscheidende Einflussfaktor bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Die Strombezugskosten sinken bei geringeren Systempreisen für das gewählte Szenario. Es ist deutlich zu sehen, dass sich kleinere PV-Leistungen und geringere nutzbare Speicherkapazitäten auf die gesamten Stromkosten positiv auswirken. Kleinere Batteriespeicher können über die Einspeisevergütung mitfinanziert werden, auch wenn die spezifischen Kapazitätskosten höher liegen.

Aussagekraft der Ergebnisse

Das vorgestellte PV-Speichermodell kann naturgemäß nur näherungsweise das physikalische Ein- und Ausgangsverhalten eines Batteriespeichers abbilden. Auch ist die zeitliche Auflösung auf stündliche Werte führt zu Begrenzungen, was zu weiteren Modellunsicherheiten führen kann. Dennoch kann das Batteriespeichermodell die Energieflüsse und deren zeitliche Verteilung unter definierten Rahmenbedingungen modellhaft gut abbilden. Durch logische Funktionen und Bedingungen können Wirkungsgrade und Leistungsbegrenzungen berücksichtigt werden, die näherungsweise dem physikalischen Verhalten des Vorbilds entsprechen. Der allgemeine Batteriewirkungsgrad BAT und dessen Standby-Verluste konnten im Modell nicht berücksichtigt werden. Dies ist dem Aufbau des Modells und dem INSEL-Block „Eimer“ geschuldet, der zur Modellierung der Batterie im Modell verwendet wurde. Auch die Selbstentladung der Batterie mit 2% pro Monat wurde vernachlässigt.

Die Testdaten zum Stromverbrauch des Haushalts und dessen PV-Produktion stammen aus der Simulationsumgebung SimStadt, die auf Basis von Gebäude- und Stadtmodellen verschiedene Potenzialanalysen und Simulationsszenarien für unterschiedliche energetische Betrachtungsgrößen berechnet. Aufgrund der genannten Gründe konnten für die Validierung des Simulationsmodells leider keine realen Werte verwendet werden, daher wurde eine auf validierten Annahmen basierende Prognose durchgeführt. In der Realität können sich hier definierte Prämissen Annahmen oder andere Kenngrößen jedoch von den realen Gegebenheiten unterscheiden.

Zusätzlichen sind in der Praxis Störungen oder Produktfehler denkbar, die zum Beispiel die Lebensdauer einer Komponente verringern. Das Modell bildet immer einen Idealzustand ab, der Unregelmäßigkeiten nicht berücksichtigt. Die Verlässlichkeit und Aussagekraft der Ergebnisse sind daher mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Für die Modellergebnisse wird eine Schwankung von 10 bis 15% im positiven und negativen Wertebereich geschätzt: dies sind Diskrepanzen, die typischerweise auch zwischen in SimStadt modellierten Bedarfs- und realen Verbrauchsdaten erreicht werden. Nichtsdestotrotz hat der Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit mit der Literatur gezeigt, dass sich die Werte in einem realistischen Rahmen bewegen und durchaus anwendbar sind.

4.5 AP4.5 – Betreiber- und Finanzierungsmodelle für die Energiewende (Produkt- und Geschäftsmodellentwicklung, Finanzierungslösungen)

4.5.1 Einleitung

Die privaten oder gewerblichen Eigentümer:innen wurden als wichtigste Zielgruppe bei der Dekarbonisierung des Gebäudebestandes identifiziert. Ausschlaggebend für eine flächendeckende Umsetzung von energetischen Sanierungen und das Erreichen der Klimaziele im Wohngebäudebereich bleiben die Investitionen der Einzel- und Kleineigentümer:innen. Laut Gebäudereport 2022 der dena gibt es ca. 19 Millionen Wohngebäude in Deutschland. Von diesen sind ca. 3 Millionen Mehrfamilienhäuser. Der Großteil – 16 Millionen – sind jedoch Ein- und Zweifamilienhäuser [73]. Laut Statista [74] waren 2018 (neue Zensusdaten erst im November 2023 erwartet) sind knapp 50% (46,5%) des gesamten Wohngebäudebestands in Besitz von Privatpersonen sowie zusätzlich über 20% in den Händen von Wohnungseigentümergemeinschaften (WEGs), die erfahrungsgemäß auch geprägt durch Privatpersonen als Eigentümer:innen sind. Entsprechend beläuft sich dieser überwiegend kleinteilige Gebäudebestand auf über 80% und ist in den Händen zumeist gewerblicher Akteure. Ihre Entscheidungskontexte und Hemmnisse bei Sanierungen müssen mitgedacht und adressiert werden, wenn übergeordnete Ziele, gesetzliche Rahmenbedingungen und Förderungen nicht ins Leere laufen sollen. Zur Unterstützung dieser Übersetzungsarbeit gibt es diverse potenzielle Hebel, die nach Möglichkeit vor Ort im direkten Umfeld der potenziellen Sanierenden anzusetzen sind: so zum Beispiel Mobilisierung und Information; Energieberatung; Koordinierung und integrierte Planung von Wärmewende, Dekarbonisierung und Städtebau; Qualifizierung und Vernetzung der umsetzenden Akteure bei Sanierungsprozessen.

4.5.2 Vorgehensweise & Projektpartner

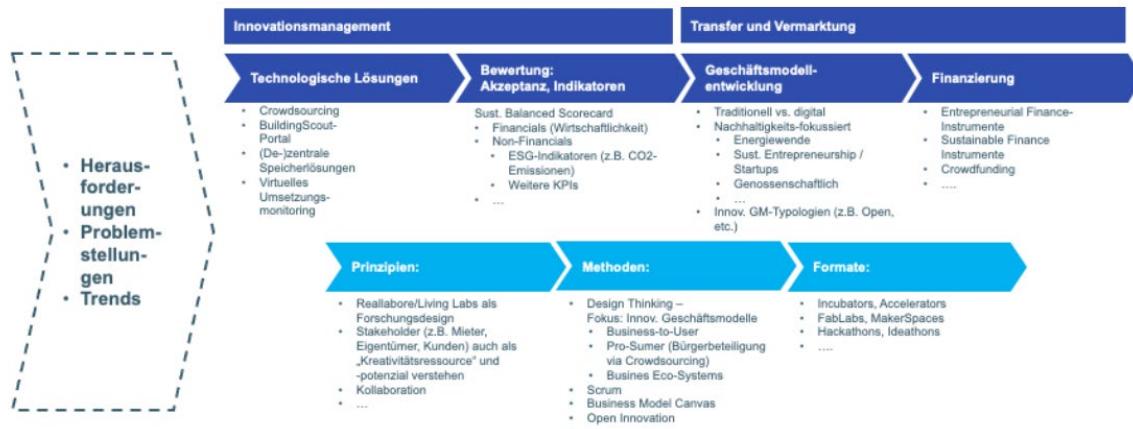
Das Projekt 3ProzentPlus erforscht mit lokalen Partner:innen Tools, Methoden und Strukturen zur Mobilisierung. Im Zuge des Forschungsprojekts werden vier Sanierungsfahrpläne für kommunale Quartiere umgesetzt.

Diese Hebel zur besseren Mobilisierung von gewerblichen Eigentümer:innen haben der Deutsche Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung e. V. (DV), die Beratungs- und Service-Gesellschaft Umwelt mbH (B&SU) und die Hochschule für Technik Stuttgart (HFT) im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Verbundforschungsprojekt „3ProzentPlus – Umsetzung des energieeffizienten Sanierungsfahrplans für kommunale Quartiere“ untersucht. Im Zentrum stand die modellhafte Erprobung des neu entwickelten Instruments „Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere“ in vier Pilotquartieren. Die begleitende Forschung untersuchte Kapazitäts- und Strukturfragen für gezielte, vorwiegend quartiersorientierte Mobilisierung, Beratung und Begleitung der Umsetzung energetischer Modernisierungen. Die Federführung und Steuerung solcher quartiersbezogener Sanierungsfahrpläne für die Erhöhung der Sanierungsrate im Ein- und Zweifamilienhausbereich und den Wohnungseigentümergemeinschaften (WEG) liegen bei den Kommunen. Aktive Kommunalverwaltungen und die sprichwörtlichen „Kümmerer“ vor Ort sind dafür eine wichtige Ressource.

Daher arbeiteten die Verbundpartner:innen eng mit den kommunalen Praxispartner:innen der Stadt Ludwigsburg sowie des Vereins altbau plus e. V. aus Aachen zusammen. In vier Modellquartieren in Ludwigsburg-Schlösslesfeld, Eschweiler-Nothberg, Roetgen und Aachen-Brand wurden energieeffiziente Sanierungsfahrpläne für kommunale Quartiere (SFQ) mit vielfältigen Mobilisierungsmaßnahmen umgesetzt. Darüber hinaus wurden unterstützende digitale Tools für die Gebäude- sowie die Quartiersebene, Finanzierungsmodelle sowie Ansätze zur Etablierung von Sanierungsnetzwerken mit lokalen umsetzenden Akteur:innen aus Planung, Finanzierung und Handwerk mit den Praxispartner:innen erprobt. All dies soll zu einer Steigerung der jährlichen Sanierungsrate bei den Wohngebäuden im Bestand beitragen. Das 3ProzentPlus-Projekt knüpft dabei an das Vorhaben „DreiProzent_Projekt – Energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere“ an.

Der im Projekt erzielte Innovations- und Transferprozess stellt sich wie folgt dar. Mit Hilfe der technologischen Lösungen („Tools“) werden die relevanten Daten erfasst, welche in die Sustainable Balanced

Scorecard (SBSC) einfließen. Durch eine simultane Nachhaltigkeits- und Wirtschaftlichkeitsanalyse Auf der Grundlage der „Tools“ werden Geschäftsmodelle entwickelt und Finanzierungsalternativen aufgezeigt, welche dazu beitragen sollen die energetische Sanierungsquote zu erhöhen. Folgende Abbildung verweist auf die Vorgehensweise (Technologische Lösungen, Bewertung: Akzeptanz, Indikatoren, Geschäftsmodellentwicklung, Finanzierung) und die damit einhergehenden Prinzipien, Methoden und Formate:



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Popovic (2017), Bäumer/Popovic (2016), Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016), Wissenschaftsrat (2015), Wissenschaftlicher Beirat für Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2010-2016); EXIST-Projekt „EMAS-App“; Bauernhansl (2016); Osterwalder/Pigneur (2010); Grösser (2013)

Abbildung 39: Innovations- und Transferprozess im Rahmen des Projekts

Da die Hemmnisse im Zusammenhang mit der energetischen Sanierung von Eigenheimen und Wohnungseigentümergemeinschaften sich negativ auf die Erreichung der Klimaziele auswirken, soll nochmal kurz auf die Hinderungsgründe und die sich daraus ergebenden Antworten eingegangen werden. Anschließend soll gezeigt werden welche „Mittel“ im Projekt entwickelt worden sind, um diese Sanierungshindernisse effektiv abzubauen. Ziel ist es die energetische Sanierungsquote substantiell zu erhöhen um CO₂-Emissionen zu reduzieren, um die für Deutschland und die EU geltenden Klimaziele zu erreichen.

4.5.3 Analyse

4.5.3.1 Hemmnisse bei der energetischen Sanierung und mögliche Ansatzpunkte

Im vorausgehenden Projekt 3% wurden „Treiber“ und „Hemmnisse“ für energetische Sanierungsmaßnahmen bereits eingehend untersucht. Sowohl Treiber als auch Hemmnisse wurden in dieser Untersuchung als Motivation bezeichnet. Ausgangspunkt dieser Untersuchung sind die Eigenschaften einer Situation (z.B. hohe Stromrechnung) bzw. einer Sanierungsmaßnahme (z.B. Kosten für die Installation, Kosteneinsparungen etc.):

Treiber der energetischen Sanierung							
Auslöser	Finanzielle Aspekte	Direkter wahrg. Nutzen	Indirekter wahrg. Nutzen	Verstärkende Faktoren			
Instandhaltung	Werterhalt-/ steigerung	Wohnqualität/-klima	Umweltschutz	Emotionale Bindung			
Altersgerechtes Wohnen	Kosteneinsparung	Optik/ Ästhetik	Energieeinsparung	Umfangreiches Wissen			
Wohnfläche erweitern	Kredite und Förderangebote	Innovative Technologien nutzen	Unabhängigkeit von fossiler Energie	Vertrauenswürdige Firmen			
Einhalten gesetzlicher Regelungen					Positive Meinung Dritter		
			Sichere Planungsperspektive				
Altersspezifische Treiber			Regionale Treiber				
• 60+ Umbau; Ein neues Projekt starten; Versicherung/Bausparvertrag			• Guter Immobilienmarkt Verkaufs-/Vermietungsaussichten; Voraussetzungen zur Wertsteigerung				
• 45-59 Instandhaltung; Nutzerverhalten; Anschlussfinanzierung			• Gutes Angebot an Fachleuten Berater, Handwerker, Architekten				
• 35-45 Mietwohnung zu klein; Erwerb/ Eigentümerwechsel; Bausparvertrag			• Gutes Umfeld „Leuchtturmprojekte“ in der Region; Soziales Umfeld				

Abbildung 40: Zusammenfassung und Klassifizierung der Treiber bei energetischen Sanierungen [76]

Hemmnisse der energetischen Sanierung					
Restriktionen	Fehlende Involviertheit	Konkrete Ängste & Sorgen	Diffuse Ängste & Sorgen	Verstärkende Faktoren	
Finanzielle Restriktionen	Biografie & Lebensphase	Erwartete Unannehmlichkeiten	Anzweifeln der Wirtschaftlichkeit	Mangelhaftes Angebot (Beratung etc.)	
Bauliche Restriktionen	Keine Zeit	Angst vor Bauschäden	Anzweifeln ökologische Auswirkungen	Negative Meinung Dritter	
Behördliche Restriktionen	Mangelndes Interesse	Überforderung & Hilflosigkeit	Misstrauen gegenüber Technologien	Antipathien, Misstrauen ggü. Personen	
	Fehlendes Problembezwusstsein	Informationsüberflutung/-defizite	Angst vor falschen Entscheidungen	Vorurteile, Klischees	
	Fehlerhafte Einschätzung	Angst vor unseriösen Anbietern	Andere ästhetische Präferenzen		
Altersspezifische Hemmnisse			Regionale Hemmnisse		
• 60+ Finanzielle und kräftemäßige Überforderung; Spielraum für andere Anschaffungen/Pläne			• Schlechter Immobilienmarkt Verkaufs-/Vermietungsaussichten; Voraussetzungen zur Wertsteigerung		
• 45-59 Leben ist anstrengend genug; Schlechte Erfahrungen mit Handwerkern; Finanzierungsmodell/unwirtschaftlich			• Kein/Schlechtes Angebot an Fachleuten Berater, Handwerker, Architekten		
• 35-45 Finanzierung; Vertrauen; Überforderung			• Schlechtes Umfeld Keine Beispiele von energetisch sanierten Gebäuden in der Region; Soziales Umfeld		
Zusätzliche Hemmnisse bei WEGs: nicht qualifizierte Verwaltungen, heterogene Eigentümerschaft					

Abbildung 41: Zusammenfassung und Klassifizierung der Treiber bei energetischen Sanierungen

Eine aktuelle Umfrage der „Initiative Klimaneutrales Deutschland“ hat Aufschluss darüber gegeben, welche Motivations- und Hinderungsgründe private und gewerbliche Eigentümer:innen für eine energetische Sanierung ihrer Immobilien mehrheitlich benennen:



Abbildung 42: Umfrage Energetische Gebäudesanierung (1) [77]

In einem weiteren Teil der Umfragen wurde versucht herauszufinden welche Anreize sich positiv auf eine energetische Sanierung auswirken könnten:



Abbildung 43: Umfrage Energetische Gebäudesanierung (2)

Bei den Hemmnissen gab die Mehrzahl der Befragten an, dass ihr Haus in einem guten Zustand sei und nicht saniert werden müsse, gefolgt von der Abneigung sich für die energetische Sanierung zu verschulden. Bei den Argumenten, die zu einer energetischen Sanierung motivieren könnten benannte die Mehrzahl der Befragten eine gezielte „Staatliche Förderung“, gefolgt von einer „unkomplizierten Umsetzung“ und dem Wunsch nach einer „schnellen Amortisation“ der Investitionskosten.

Umfrage lässt zudem darauf schließen, dass bei den gewerblichen Eigentümer:innen kein oder ein nur mangelhaftes Wissen hinsichtlich des energetischen Zustands ihrer Immobilie besteht. Um gezielt Anreize zu schaffen muss also einerseits aufgezeigt werden, wo CO₂- und monetäre Einsparpotenziale

liegen bzw. wie diese zu realisieren sind und wie gezielt ausgewählte Finanzierungs- und Fördermaßnahmen dazu beitragen können energetische Sanierungsprojekte erfolgreich umzusetzen.

Erkenntnisse aus den Umfragen:

- Es besteht bei den gewerblichen Eigentümer:innen kein oder ein nur ein mangelhaftes Wissen hinsichtlich den Vorteilen einer energetischen Sanierung (CO₂- und monetäre Einsparpotenziale).
- Durch gezielte Finanzierungs- und Förderanreize könnten zusätzlich Anreize geschaffen werden, um die energetische Sanierungsquote zu verbessern.

Seitens der von der EU-Taxonomie-Verordnung vorgegebenen ESG-Anforderungen, gelten die folgenden Regeln für „Sanierungen“ und „Einzelmaßnahmen“, damit diese als Taxonomie-konform zu klassifizieren sind:

- **Sanierung und grundlegende Renovierung:**

Sanierungen müssen eine Energieersparnis von mind. 30% erreichen oder im Einklang stehen mit der nationalen Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie, dieses entspricht in Deutschland dem Gebäudeenergiegesetz;

- **Spezifische Einzelmaßnahmen**

Unter diese Taxonomie-konforme Maßnahmen fallen laut Verordnung Photovoltaikanlagen, Windräder, Verbesserung der Außendämmung oder Ladestationen für Elektrofahrzeuge.[78]

Die nachfolgende Tabelle soll aufzeigen, welche Hemmnisse in der Umfrage benannt wurden und welche Förder- und Finanzierungsinstrumentarien dazu beitragen können diese gezielt abzubauen:

Tabelle 11: Gebäude im Privatbesitz

Gebäude im Privatbesitz		
Hemmnisse	Förderinstrumente	Markseitige Finanzierungsinstrumente
Ich möchte keinen Kredit für die energetische Sanierung aufnehmen	<ul style="list-style-type: none"> • Steuerliche Abschreibung nach Einkommensteuer-gesetz (EStG) <p>Maßnahmen, die den Sanierungszielen entsprechen, gemäß Einkommensteuergesetz (EStG) erhöht steuerlich abschreiben. Bei selbst genutztem Eigentum können 90 % der Investitionskosten über eine Laufzeit von zehn Jahren steuerlich geltend gemacht werden (§ 10f EStG). Bei vermietetem Eigentum können 100 % der Investitionskosten über eine Laufzeit von zwölf Jahren steuerlich geltend gemacht werden (§ 7h EStG). Die Höhe der Steuerersparnis für die privaten Eigentümer hängt sowohl von der Höhe der anerkannten Sanierungskosten als auch vom persönlichen Steuersatz ab. [79]</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> • Zuschüsse für Sanierungen bei Einzelmaßnahmen (BAFA): • Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) mit folgenden Zuschüssen gefördert: <p>Gebäudehülle: (bspw. Außenwände, Dachflächen, der Austausch von Türen und Fenstern): → 20%</p> <p>Anlagentechnik: (bspw. Einbau und Austausch oder Optimierung raumluft-technischer Anlagen): → 20%</p> <p>Erneuerbare Energien für Heizzungen: (bspw. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, Hybridheizungen oder Solar-thermienanlagen): → 20 bis 45%</p> <p>Maßnahmen zur Heizungsoptimierung: (bspw. hydraulischer Abgleich oder Austausch von Heizungspumpen) → 20%</p> <p>Bei Wohngebäuden liegt die Höchstgrenze förderfähiger Kosten bei max. 60.000 Euro pro Wohneinheit.</p> <p>Bei Beantragung von Einzelmaßnahmen beim BAFA ist die Fachplanung und Baubegleitung ebenfalls förderfähig. Einzelne Sanierungsmaßnahmen, die nach einem zuvor erstellten individuellen Sanierungs-fahrplan (iSFP) für eine Vollsanierung umgesetzt werden konnten, erhalten zusätzlich eine Förderung in Höhe von 5 Prozent. [80]</p> <p>KfW-Förderung (Zuschuss-Variante) Gefördert werden 10% der Sanierungskosten, max. 5.000 Euro pro Wohneinheit. Wichtig ist: die Förderung muss vor Beginn der Sanierung beantragt werden und es muss ein Energieberater hinzugezogen werden</p>	
--	---	--

	sein. Nur dieser darf die Förderung beantragen. [81]	
Ich habe keinen Überblick über mögliche staatliche Fördermöglichkeiten oder andere Finanzierungsmöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) • KfW-Förderung (Zuschussvariante) • BAFA-Förderung • Förderung für Wärmedämmung[82] 	<ul style="list-style-type: none"> • Bausparmodelle Ansparmodelle Sofort-Finanzierungsmodell • Finanzierung über Darlehen • Verbandsdarlehen/Verbands-kredit • Einzeldarlehen • Rücklagen und Sonderumlagen (in Wohnungseigentümergemeinschaften) • Contracting-Modelle (ESC und ELC) • Mieterstrommodelle • Energiegenossenschaften • Crowdinvesting • Finanzamt • Alle förderfähigen Gewerke /energetischen Sanierungsmaßnahmen von KFW / BAFA • Örtliche Netzbetreiber • Einspeisevergütung für selbst erzeugten Strom (Photovoltaik) • Hauptzollamt • BHKW / Brennstoffzelle
Ich befürchte, dass ich in wenigen Jahren erneut saniieren muss, weil gesetzlichen Vorgaben schärfer geworden sein könnten	<p><u>Austausch- und Nachrüstverpflichtungen</u></p> <p>Es gilt die Plicht bestimmte Heizkessel auszutauschen. Darunter fallen Öl- und Gas-Heizkessel, die älter als 30 Jahre sind und eine übliche Größe haben (4-400 kW Heizleistung). Dies gilt jedoch nicht für Brennwert- und Niedertemperatur-Kessel. Welcher Kesseltyp es ist, kann beim bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger in Erfahrung gebracht werden. Dieser muss regelmäßig eine so genannte „Feuerstättenschau“ vor Ort durchführen.</p> <p>Hinzu kommt die Pflicht Neue Heizungs- und Warmwasserrohre in unbeheizten Räumen zu dämmen.</p>	

	<p>Dämmung der Oberste Geschossdecken zu Zudem besteht die Verpflichtung unbeheizte Dachräume bis Ende 2015 nachträglich zu dämmen sollten diese keinen so genannten "Mindestwärmeschutz" (i.d.R. 4 Zentimeter Wärmedämmung) haben. Bei Holzbalkendecken genügt es, die Hohlräume mit Dämmstoff zu füllen.</p> <p>Zudem gilt die Dämmpflicht für alle zugänglichen obersten Geschossdecken, ob begehbar oder nicht – so zum Beispiel auch für Spitzböden und für nicht ausgebauten Aufenthalts- oder Trockenräume. Alternativ dazu kann auch das darüber liegende Dach mindestens entsprechend gedämmt sein.</p> <p>Von der Pflicht zum Dämmen sind Besitzer ausgenommen, die bereits seit Februar 2002 Besitzer eines Ein- oder Zweifamilienhauses sind. Die Verbraucherzentrale empfiehlt aber trotzdem, diese Verbesserungsmaßnahmen durchzuführen.</p>	
Ich glaube, dass es künftig klimafreundliches Heizöl oder Gas zu bezahlbaren Preisen geben wird und eine Sanierung deshalb unnötig ist	<p>Der international tätige Konzern BayWa AG wirbt z.B. mit einem Premium-Heizöl, welches durch seine hochwertigen Additive effizienter und umweltschonender verbrennen soll als herkömmliches Heizöl. Zusätzlich bemüht sich die BayWa um eine CO₂-Kompensation.[83]</p> <p>Dennoch gibt es kein klimafreundliches Heizöl oder Gas, denn es basiert auf fossilen Rohstoffen und wird daher vom Staat nicht gefördert. So hat z.B. der Staat die Förderung der Flüssiggasheizung weitestgehend eingestellt. Förderfähig ist nur die Optimierung bestehender Anlagen.[84]</p> <p><u>Förderfähig sind:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Solarthermieranlagen • Biomasseanlagen • Effiziente Wärmepumpen-anlagen • Hybridheizungen • „Renewable Ready“ 	

	<ul style="list-style-type: none"> • Gas Brenn-Wertheizungen[85] 	
--	---	--

Tabelle 12: Aussagen und daraus folgende Erkenntnisse

Was für Erkenntnisse ergeben sich aus dieser Analyse?		
Aussage	Erkenntnis	
Ich möchte keinen Kredit für die energetische Sanierung aufnehmen	<p>Staatliche Fördermittel, wie z.B.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Steuerliche Abschreibung (EstG) • Zuschüsse für Sanierungen bei Einzemaßnahmen (BAFA) • Bundesförderung für effiziente Gebäude • KfW-Förderung (Zuschuss-Variante) • L-Banken (Förderkredit regional) <p>bieten Möglichkeiten um energetische Sanierungen vorzunehmen ohne einen Kredit aufnehmen zu müssen.</p>	
Ich habe keinen Überblick über mögliche staatliche Fördermöglichkeiten oder andere Finanzierungsmöglichkeiten	<p>Das Internet bietet zahlreiche Möglichkeiten, um sich über energetische Sanierungen zu informieren, z.B. https://www.effizienzhaus-online.de/foerderung-sanierung/</p> <p>Planen – Kosten kalkulieren und Förderantrag stellen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Sanierungsrechner ▶ FördermittelService Heizung <hr/> <p>Umsetzen – Fachleute finden, Checkliste nutzen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Energieberater und Handwerker finden ▶ Checklisten für die Sanierung <hr/> <p>Gut zu wissen – FAQ zur Sanierung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Fragen und Antworten zu einer Sanierung ▶ Ratgeber Dämmung: vom Dach bis zur Wand ▶ KfW & BAFA: Wer fördert was? 	
	<p>Für ältere Eigentümer:innen, die eine energetische Sanierung anstreben besteht die Möglichkeit einer telefonischen Fördermittelberatung durch die KfW [86].</p> <p>Der Fördermittelcheck ermöglicht es in wenigen Sekunden alle Zuschüsse, Fördermittel und -programme von KfW, BAFA, Bund, Ländern, Kommunen und Stadtwerken zu finden.</p> <p>Ansonsten gibt es weitgehende Finanzierungsmodelle.</p>	
Ich befürchte, dass ich in wenigen Jahren erneut sanieren muss, weil gesetzlichen Vorgaben schärfer geworden sein könnten	<p>Fossile Energieträger wie Öl und Gas werden vom Staat nicht mehr gefördert, da ihre Verbrennung schädliches CO₂ freisetzt.</p> <p>Eine Investition in erneuerbare Energieformen (PV, Wärmepumpe etc.) wird aber auch in den nächsten Jahren noch förderfähig sein.</p>	
Ich glaube, dass es künftig klimafreundliches Heizöl oder Gas zu bezahlbaren Preisen geben wird und eine Sanierung deshalb unnötig ist	Es wird kein klimafreundliches, d.h. CO ₂ -neutrales Heizöl oder Gas geben und dadurch ist eine Sanierung immer sinnvoll.	

Tabelle 13: Kommerziell genutzte Bestandsimmobilien

Kommerziell genutzte Bestandsimmobilien		
Hemmnisse	Förderinstrumente	Marktseitige Finanzierungsinstrumente
Mangel an zuverlässigen technischen Informationen zu einzelnen Bestandsobjekten, die neben dem CO ₂ -Abdruck und dem baulichen Zustand noch weitere ESG-spezifische Kriterien einbeziehen. Herausforderung: Aufbau eines individuellen Portfoliomodells – aufbauend auf einer <ul style="list-style-type: none"> - Ökologischen Perspektive - Soziokulturellen Perspektive - Ökonomische Perspektive [87] 	Flexibles Portfoliomodell (privatwirtschaftlich) Das softwaregestützte Portfoliomangement von AiBATROS® clustert Ihre Objekte mit einem Referenz-Modell zur ESG-Analyse, das unternehmensindividuell anpassbar ist. Im Rahmen der Budgetplanung erfolgt ein Abgleich mit den festgelegten Zielen, indem die CO ₂ -Emissionen und Zielwerte der geplanten Maßnahmenpakete von AiBATROS ® berechnen und in Form von Kurven abgebildet werden.	
Wie kann der Sanierungsstau bei (öffentlichen) Bestandsimmobilien sukzessiv überwunden werden?	<ul style="list-style-type: none"> • Förderdarlehen (KfW) • Förderkredite & Anleihen • Mezzanine-Produkte • ESG-Linked-Bonds bzw. Loans • Transition bzw. Target-Linked-Bonds • Green Loans bzw. Green Bonds • ESG-Linked Schuldschein • Green Schuldschein (GSSD)[88] 	<ul style="list-style-type: none"> • Klassische Instrumente der Projekt- und Infrastrukturfinanzierung • Contracting • Modernisierungsdarlehen • Ratenkredit[89] • Finanzamt Alle förderfähigen Gewerke /energetischen Sanierungsmaßnahmen von KFW / BAFA • Örtliche Netzbetreiber Einspeisevergütung für selbst erzeugten Strom (Photovoltaik) • Hauptzollamt BHKW / Brennstoffzelle [90]

4.5.3.2 Energetische Analyse des Gebäudebestandes mit Hilfe digitaler Tools

Die Analysephase hat sich zudem damit befasst digitale Hilfsmittel („Tools“) zu entwickeln, um Gebäude einer energetischen Untersuchung unterziehen zu können.

Eine konsistente Datenbasis ist unumgänglich, sollen Kommunen und Fachplaner die Sanierungs- und Effizienzmaßnahmen effizient unterstützen und vorantreiben können. Die entwickelten digitalen Tools ermöglichen es diese Daten zu erfassen, zu analysieren und Schlussfolgerungen daraus zu ziehen.

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurden von der HFT Stuttgart im Rahmen des Projekts zwei Tools entwickelt, deren Aufgaben zunächst darin bestanden Daten über den kommunalen Gebäudebestand zu erheben. Dies geschah niederschwellig und individuell durch Eigentümer, Betreiber und

Energieversorgungsunternehmen (EVU) mit Hilfe des „Einzelgebäude- bzw. WEG-Tools“. Eine komplexere technische Analyse, die auch eine ökologische und auch ökonomische Bewertung ermöglichte konnte durch das sog. CrowdSourcing-Tool („CS-Tool“) erreicht werden. Durch das CS-Tool wurde es ermöglicht verschiedene Sanierungsszenarien Daten zu erfassen, technisch zu analysieren und ökologisch sowie ökonomisch zu aufzubereiten und so bewertbar zu machen.

Wie vom Projektziel gefordert konnte ein nutzerfreundliches Verfahren entwickelt werden, welches es ermöglicht Daten von Gebäuden zur energetischen Sanierung zu erheben. Eine grafische Darstellung des energetischen Bedarfs (Strom, Wärme, Kälte) sollte zur Veranschaulichung dienen. Auf dieser Grundlage konnte die Berechnung von verschiedenen Sanierungsszenarien hinsichtlich ihrer ökonomischen und ökologischen Leistung erfolgen. Besonderes Augenmerk wurde auf eine intuitive Bedienung und vereinfachte Darstellung der Ergebnisse gelegt, so dass insbesondere Fachplaner:innen, Energieberater:innen, Quartiersmanager:innen, Gebäudeeigentümer:innen sowie der Finanzsektor einen schnellen Zugang zu allen relevanten Informationen hinsichtlich der energetischen Bewertung und Planung von Gebäuden und Quartieren bekommen sollten. Ein weiteres wichtiges Ziel bestand in der Umsetzungsbereitschaft von Gebäudeeigentümer:innen im Allgemeinen. Ein iterativer Prozess sollte dabei sicherstellen, dass die ein hohes Maß an Nutzerfreundlichkeit erzielt werden konnte. Hierbei wurde auf die Praxiserprobung durch verschiedene Nutzergruppe großen Wert gelegt, um das Tool so optimieren zu können. Die Tools können im Anschluss an das Projekt von den erwähnten Nutzergruppen direkt verwendet werden. Eine auf den Nutzer zugeschnittene (Online-)Dokumentation ersetzt dabei aufwendige Schulungen. [91]

Funktionalitäten der Tools & potenzielle Nutzer

Das **CrowdSourcing Tool** und das **WEG Tool** weisen folgende **Funktionalitäten** und **Nutzergruppen** auf:

Tabelle 14: Crowdsourcing Tool und seine potenziellen Nutzer

CrowdSourcing Tool (CS Tool) (Quartiersebene)	Potenzielle Nutzergruppen
<ul style="list-style-type: none"> • Anreicherung von Gebäudedaten in Quartieren um Datenpunkte, die nicht aus der Gebäudegeometrie ersichtlich sind, wie beispielsweise der Sanierungsstand • Dreidimensionale, webbasierte Darstellung von Gebäuden und Quartieren durch eine Überlagerung von 3D-Gebäudemodell und Open Street Maps • Berechnung Heizwärmebedarf nach dem Monatsbilanz-Verfahren nach DIN V 18599 auf Basis der Gebäudegeometrie und des Baujahres und idealerweise weiterer Datenpunkte • Berechnung Warmwasser- und Strombedarf (statistische Referenzdaten für Einzelgebäude) • Berechnung Solarstrahlung auf Gebäudefassade und Dachfläche (mit der Möglichkeit, Verschattungen mit zu betrachten) und damit • Berechnung der PV- und Solarenergiepotenziale • Berechnung von CO₂-Ausstoß und Primärenergiebedarf sowie Emissions-/Kosten-einsparung durch energetische Sanierungen • Wärmeleitplanung: Optimierte Trassenführung und Dimensionierung von Nah-/Fernwärmennetzen für Quartiere 	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Entscheidungsträger:innen • Landratsämter • Stadtwerke und Stadtplaner:innen • Ingenieur-/Planungsbüros • Energieberater:innen

- Simulation von Sanierungsszenarien, anhand nutzerdefinierter Kriterien (EnEV/GEG)

Tabelle 15: WEG Tool und seine potenziellen Nutzer

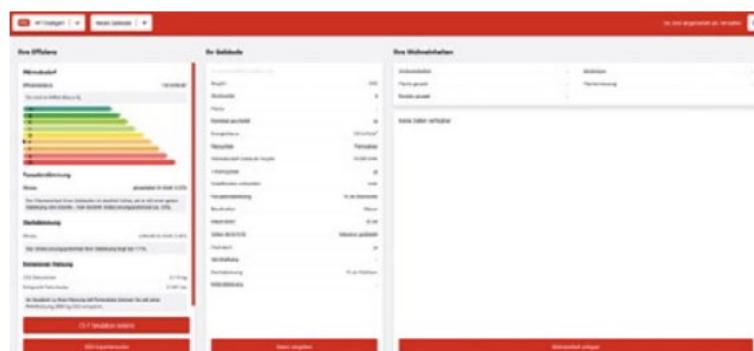
WEG Tool (Einzelgebäude)	Potenzielle Nutzergruppen
<ul style="list-style-type: none"> • Allgemein: Baujahr, Denkmalschutz, Anzahl der Stockwerke, Wohnfläche, Energieeffizienz (Energieausweis) • Heizung: Heizsystem, Wärmebedarf, Angaben zu solarer Nutzung • Fassade und Dach: Angaben zur Baustruktur, Fassadendämmung (Material und Materialstärke), Verschattung 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigentümer:innen von Einzelgebäuden bzw. in WEG • Verwaltung • Energieberater:innen • Bank-/Finanzberater:innen

Für die zukunftsweisende energetisch-optimierte Quartiersentwicklung müssen energetische Aspekte bereits in der frühen Planung einbezogen und abgestimmt werden (bspw. bei der Bauleit- und Flächennutzungsplanung). Die Tools dienen relevanten Akteuren zur Analyse von Gebäudezustand und Sanierungspotential ohne planungsrelevantes Fachwissen oder spezieller Expertise. Diese sind kommunale Gebietskörperschaften, Energieversorgungsunternehmen oder Projektentwickler:innen sowie Wohnungseigentümergemeinschaften (WEGs) die als eine der primären Anwendungsgruppe identifiziert sind.

Tool für die Einzelgebäude (WEG-Tool)

In WEGs (Wohnungseigentümergemeinschaften) besteht die Besonderheit, dass nicht eine Partei alleine über die Umsetzung energetischer Sanierungsmaßnahmen entscheiden kann. Solche Maßnahmen müssen in der Regel mit der Verwaltung abgestimmt und gemeinschaftlich beschlossen werden. Im Verbundvorhaben: „Drei Prozent Projekt – energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere 2050“ (Laufzeit: 01.08.2015 – 31.12.2018) wurde identifiziert, dass durch die schwierige Konstellation in WEG seltener energetische Sanierungen durchgeführt werden und daher häufig ein besonders hohes Energieeinsparpotenzial vorliegt. Eines der größten Hemmnisse hierbei ist die mangelnde Kenntnis zum Gebäudezustand sowie die Erhebung von energetischen Effizienz- und Sanierungsmaßnahmen. Oft liegt innerhalb von Wohnungseigentümergemeinschaften ein unterschiedlicher Kenntnisstand zum Gebäudezustand vor, aber auch inkohärente Überzeugungen zu energetischen Sanierungsmaßnahmen können herausfordern. Um als Gesprächsgrundlage ein gemeinsames Verständnis zwischen allen Beteiligten zu schaffen setzt das WEG-Tool an dieser Stelle an: im Zusammenspiel können Gebäudeverwaltung und Hausgemeinschaft gemeinsam relevante Gebäudeparameter in das WEG-Tool eingeben, um direkt Angaben zur Gebäudeeffizienz berechnen und anzeigen zu lassen. [92]

Anwendung Einzelgebäude – bzw. WEG-Tool



Zunächst legt die Verwaltung das Gebäude im System an: Eine individuelle Kennung für das Objekt sowie die Gebäudebezeichnung werden vergeben und die Adresse eingetragen. Dadurch wird eine automatisierte Übertragung der Gebäudedaten in das Crowdsourcing-Tool ermöglicht.



Die für die Berechnung notwendigen Gebäudedaten werden im nächsten Schritt eingegeben:

- Allgemein: Baujahr, Denkmalschutz, Anzahl der Stockwerke, Wohnfläche sowie der Energieeffizienz gemäß Energieausweis
- Heizung: Heizsystem, Wärmebedarf, Angaben zu solarer Nutzung
- Fassade und Dach: Angaben zur Baustuktur, Fassadendämmung (Material und Materialstärke) sowie zur Verschaltung



In einer WEG kann für die unterschiedlichen Wohnungseigentümer:innen jeweils ein eigener Account angelegt werden. Die Eigentümer können dann für die Wohneinheiten spezifische Daten ergänzen (Zustand der Fenster, Funktionsfähigkeit der Heizkörper etc.).



Ihre Effizienz:

Aus diesen Angaben ergibt sich dann das Gesamtbild zum energetischen Gesamtzustand Ihres Gebäudes. Durch hinterlegte Algorithmen wird dieser auf einer einfachen Skala (angelehnt an den Energieausweis) bewertet. Daraus abgeleitet wird aufgezeigt, welche Sanierungsmaßnahmen für das entsprechende Gebäude sinnvoll sein könnten. So wird eine gemeinsame und die notwendige Wissensbasis für Maßnahmenpakete und mögliche Entscheidungsfindungen innerhalb der WEG geschaffen:



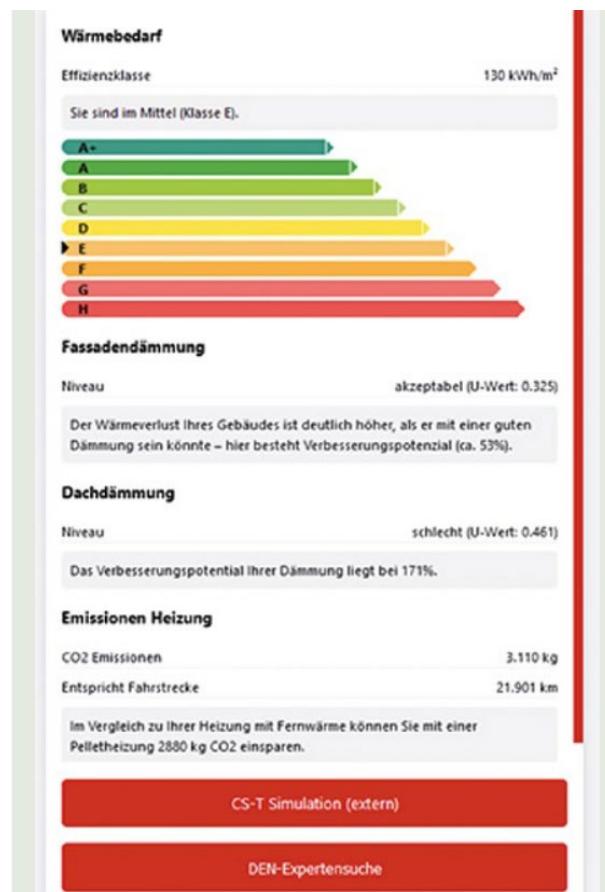


Abbildung 44: Anwendung WEG-Tool

Vorteile des Einzelgebäude- bzw. WEG-Tools

Das Projekt will nicht zuletzt durch eine hohen Bürgerbeteiligung erreichen, dass sich gerade bei gewerblichen Eigentümer:innen der Kenntnisstand über eine effiziente Energienutzung verbessert. Generell stehen dabei die Einsparung bzw. Vermeidung von CO₂-Emissionen im Vordergrund. Ein höheres Wissensniveau soll dazu beitragen Hemmnisse im Bereich der energetischen Gebäudesanierung abzubauen. Das Einzelgebäude- bzw. WEG-Tool ermöglicht somit einen niederschwelligen Einstieg zur Analyse unterschiedlicher Sanierungsalternativen und trägt damit zu einem verbesserten Kenntnisstand im Bereich der energetischen Gebäudesanierung bei.

„CrowdSourcing“: Schnittstelle des WEG-Tool zum CS-Tool

Die Besonderheit des von der HFT entwickelten Verfahrens ist neben der Datenerhebung und ersten Auswertungen jedoch das CrowdSourcing und die damit verbundene Weiterverarbeitung und Berechnung von energetischen Sanierungsfahrplänen für die kommunale Verwaltung. Durch die Betätigung des Buttons „CS-T Simulation (extern)“ werden die Geodaten des Objekts sowie weitere hinterlegte Gebäudeinformationen (Anzahl der Stockwerke, beheizte Wohnfläche etc.) an das CS-Tool übergeben und dem spezifischen Objekt im 3D-Gebäudemodell des CS-Tool zugewiesen. Durch die kontinuierliche Anreicherung der Datenbasis kann mit der Zeit somit ein immer genaueres Abbild des energetischen Zustands des Gebäudebestands und damit auch von Sanierungspotentialen auf kommunaler Ebene erstellt werden.

Anwendung CrowdSourcing-Tool (CS-Tool)

Das Crowdsourcing-Tool (CS-Tool) ermöglicht, reale städtebauliche Daten auf Gebäudeebene mit Daten von Planungszuständen zu verwalten und zu vergleichen. Das CS-Tool ermöglicht somit einen schnellen Überblick über den energetischen Zustand des kommunalen Gebäudebestands. Mit einem

angereichertem Datensatz können Kommunen bspw. Quartiere, Straßenzüge, Wohnblocks o. ä. identifizieren, in denen mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit hohe Energieeffizienzpotenziale erschließbar sind. Die Ergebnisse für einzelne Gebäude sollten je nach Datenbasis jedoch zunächst mit entsprechender Ungenauigkeit betrachtet werden: je mehr Gebäude insgesamt betrachtet werden, desto genauer wird das durchschnittliche Ergebnis im Einzelnen. Wenn keine Daten aus dem WEG-Tool übernommen werden, sind die hinterlegten Standard-Daten mindestens die Lage, Kubatur und Ausrichtung, oft auch mit Baujahr.

Auch wenn das Tool ohne die Angabe spezifischer Gebäudedaten Simulationen durchführen kann, besteht dennoch die Möglichkeit vertiefende Angaben zu machen (falls Sanierungen, Heizsystem o. ä. bekannt sind). So können die Simulationsergebnisse weiter detailliert und validiert werden. Für das Tägigen dieser Eingaben müssen die Kommunen Gebäudeeigentümer, Energieberater, Handwerker etc. aktivieren, da diese Daten der Kommune in der Regel nicht bekannt sind.

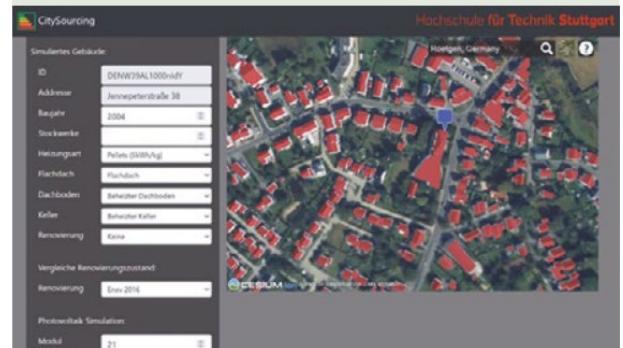


Abbildung 45: Anwendung CrowdSourcing-Tool

Vorteile des CrowdSourcing-Tools

Mit dem CS-Tool gelingt die Anreicherung von Gebäudedaten in Quartieren, welche nicht aus der Gebäudegeometrie ersichtlich sind. Des CS-Tool ermöglicht das „Reinzoomen auf Quartierebene“ und auf Basis dieses Ergebnisses kann dann auf das einzelne Gebäude geschaut werden. Dies ist z.B. der Sanierungsstand sowie die Berechnung von PV- und Solarenergiepotenziale oder die Berechnung des CO₂-Ausstoßes, sowie Kosteneinsparungen im Zusammenhang mit energetischen Sanierungsmaßnahmen.

Eine Schnittstelle zwischen dem Einzelgebäude- bzw. WEG-Tool und dem CrowdSourcing-Tool ermöglicht es Daten vom Einzelgebäude auf die Quartierebene „hochzuziehen“.

4.5.3.3 Monatliches PV-Potenzial und Kostenabschätzung eines Einfamilienhauses, Monatlicher Verlauf des Wärme- und Kühlbedarfs eines Einfamilienhauses



<http://193.196.138.36/dashboard.html>

Abbildung 46: „Dashboard“ Monatliches PV-Potenzial

Das CS-Tool simuliert hierfür auf Basis von 3D-Gebäudemodellen den monatlichen und stündlichen Heizwärme- (Monatsbilanz-Verfahren nach DIN V 18599) und Strombedarf (statistische Referenzdaten für Einzelgebäude) sowie das PV-Potenzial. Durch die holistischen und zuverlässigen Arbeitsabläufe können sowohl der energetische Zustand als auch mögliche Gebäudesanierungs- und erneuerbaren Energieversorgungsszenarien (anhand nutzerdefinierter Kriterien, EnEV/GEG) sehr detailliert analysiert werden. Die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse ist abhängig von den ergänzenden Eingabedaten

(u. a. beheizte Gebäudeteile, getätigte Sanierungen, Anlagentechnik). Für das Gebäude wird nach der webbasierten Simulation der spezifische Heiz- und Kühlenergiebedarf sowie das errechnete PV-Potential ausgegeben. Die hinterlegte Gebäudekubatur (inkl. Neigungswinkel und Ausrichtung des Dachs) sowie der Verschattungsberechnung (inkl. solarer Einträge) über das 3D-Modell erhöhen die Genauigkeit des Ergebnisses.

Im nächsten Schritt können Vergleichsrechnungen des energetischen Einsparpotentials mit verschiedenen Sanierungsvarianten durchgeführt werden:

- keine
- mittlere Renovierung
- erweiterte Renovierung
- EnEV 2016
- Fassade/Dach/Kellerdecke/Fenster nach EnEV 2016

Sowohl das WEG- als auch das CS-Tool basieren auf der Simulationsumgebung SimStadt. Wie die Building Physics Library für die Berechnung in SimStadt definiert ist, können Sie in der SimStadt-Dokumentation unter folgendem Link nachlesen: <http://simstadt.hft-stuttgart.de/related-software/building-physics-library/>

Die Sanierungsmaßnahmen werden abhängig vom Baujahr simuliert und es fließen verschiedene Materialien für Wände, Dächer und Fenster in die Simulation ein. Die simulierten Materialien sind in der Simulationsplattform SimStadt konfigurierbar.

Das CS-Tool kann Daten zu Einzelgebäuden liefern, die von den Eigentümern eingegeben werden. Mit diesen gesammelten Daten kann dann auch ein ganzes Quartier simuliert werden. Hinsichtlich des Wärme- und Strombedarfs können auch die Effizienzpotentiale durch energetische Sanierung analysiert werden.

4.5.3.4 Alternative zu CS- und WEG-Tool auf EU-Ebene: Die DEEP-Plattform (EU)

Auf europäischer Ebene ist aus der EEFIG (Energy Efficiency Financial Institution Group) die DEEP (De-risking Energy Efficiency Platform) Datenbank hervorgegangen. Ziel ist es Finanzinstitutionen bei energieeffizienten Investment-Entscheidungen zu unterstützen. DEEP ist eine open-source Datenbank für energieeffiziente Investment-Entscheidungen, welche es ermöglicht Investitionen miteinander zu vergleichen („benchmarking“) und dadurch besser bewertbar zu machen. Es sind sowohl Daten für den Sektor Industrie als auch für den Gebäudesektor vorhanden.

Die Datenbank der Deep-Plattform basiert auf anonymisierten historischen Daten zu Geographie, Energieeffizienz-Maßnahmen, Überprüfungsstatus, Industry / Gebäudetyp und Investitionskosten etc. Sie kann sowohl von Finanzinstitutionen als auch von privaten Eigentümer:innen genutzt werden. Für letztere bietet die Plattform weitreichende Informationen hinsichtlich Amortisationszeit einer energetischen Sanierung, CO₂-Vermeidungskosten und Finanzierungsalternativen, da Finanzinstitutionen wie z.B. Banken, ebenfalls die Möglichkeit haben ihr Angebot in dieser Datenbank „hochzuladen“ und es so einem größeren Kundenkreis bekanntzumachen.[93] Damit verfolgt die DEEP-Plattform im Grunde die gleiche Intention wie die im Projekt erstellten Tools. Sie schließt eine Informationslücke, die für professionell wie auch für nicht gewerbliche Eigentümer:innen, die eine energetische Sanierung planen, sehr relevant sein kann und daher dazu beitragen kann die Sanierungsquote zu erhöhen. Gleichzeitig stellt sie auch für Investoren eine Informationsquelle dar, die dazu beiträgt, das mit einer Investition verbundene Risiko besser einschätzen zu können. Dies kann wiederum dazu führen, dass die Investitionen im Bereich der energetischen Sanierung steigen, was sich ebenfalls positiv auf die Sanierungsquote auswirken kann.

Während Investitionskosten meist einigermaßen gut abschätzbar sind, bestehen häufig erhebliche Unsicherheiten bei der Berechnung von Energiekosten. Insbesondere bei der Einsparung von Erdöl oder Erdgas ist es kaum möglich die Preisentwicklung über die gesamte Amortisationszeit zuverlässig zu prognostizieren, selbst dann nicht, wenn die eingesparte Energiemenge gut bekannt ist. Aus diesem Grund ist bei der Planung einer Maßnahme oft nicht einmal sicher, ob die CO₂-Vermeidungskosten am

Ende positiv oder negativ sein werden. Relativ hohe CO₂-Vermeidungskosten ergeben sich beispielsweise bei manchen Arten der Stromerzeugung (z.B. Photovoltaik oder Geothermie) (bei einer volkswirtschaftlichen Rechnung).[94] Diese und ähnliche Entwicklungen lassen sich mit Hilfe der DEEP-Plattform gut darstellen – eine entsprechend große Datenbasis vorausgesetzt:

Zeige Diagramme - Gebäude

		Land	Deutschland
Art der Maßnahme	Maßnahmen an der Gebäudehülle		
Gebäudetyp	Mehrfamilienhäuser 1-4 Geschosse		
Überprüfung	Unbekannt		
Diskontierungssatz für Vermeidungskosten	5%		
Bericht	Amortisation pro Maßnahme	Vermeidungskosten pro Maßnahme	Amortisation pro Gebäudetyp
Vermeidungskosten pro Gebäudetyp			

Abbildung 47: DEEP-Plattform Gebäude [95]

Ähnlich wie beim Crowdsourcing-Tool sollen auf der DEEP-Plattform auch Daten geteilt werden, so dass das Wissen wächst und einem großen Nutzerkreis zur Verfügung stellt. Somit schließt die DEEP-Plattform Wissenslücken, was dazu beitragen kann die Sanierungsquote europaweit zu erhöhen.

Definition von Nachhaltigkeit im Kontext von Geschäftsmodellen

1997 formulierte die EU mit ihrem Vertrag von Amsterdam explizit drei Säulen der Nachhaltigkeit. Danach umfasst der Nachhaltigkeitsbegriff nicht nur das Naturerbe, sondern auch wirtschaftliche Errungenschaften, sowie soziale und gesellschaftliche Leistungen, so z.B. die demokratischen Strukturen und eine gerechte Einkommensverteilung. Nach dem „Drei-Säulen-Modell“ (model of three columns) sind Wirtschaft, Ökologie und Soziales gleichrangige und gleich zu gewichtende Teile – und zwar sowohl auf gesamtwirtschaftlicher und politischer Ebene, als auch auf globaler und unternehmerischer Ebene. [96]

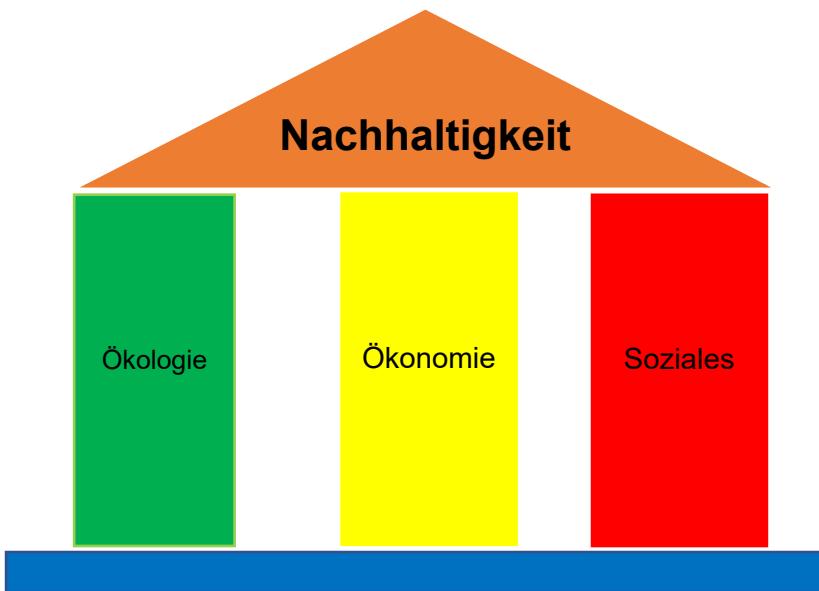


Abbildung 48: Das „Drei-Säulen-Modell“ [97] (Eigene Darstellung in Anlehnung an Kropp 2019)

Ökologische Nachhaltigkeit: Die Umsetzung der ökologischen Nachhaltigkeit verlangt die maßvolle Nutzung unserer natürlichen Lebensgrundlagen. Ziel ist es deren Fortbestand dauerhaft zu sichern. Ökonomisch ausgedrückt bedeutet dies: Von den Zinsen leben und das Naturkapital unangetastet lassen. Im Fokus stehen hier Themen wie Umweltschutz, Ressourcenschonung, und Erhaltung der Artenvielfalt. [98]

Soziale Nachhaltigkeit: In ihrem Zentrum steht die Frage was ein gutes Leben ist. Hier geht es primär um die Frage, wie weltweiter Wohlstand und Frieden aktuell und langfristig zu erreichen sind. Zentrale Themen sind dabei die Armutsbekämpfung oder der demografische Wandel. Mit dem World Happiness Index (HPI) wird beispielsweise versucht das subjektive Wohlbefinden verschiedener Nationen zu erfassen. Die ökonomische Situation wird hierbei auch durch „weiche“ Faktoren, wie z.B. soziale Unterstützung, und die Freiheit, eigene Entscheidungen zu treffen, ergänzt.

Ökonomische Nachhaltigkeit: Die ökonomische Nachhaltigkeit basiert auf Wirtschaftssystemen, die innerhalb ökologischer Grenzen langfristig bestehen können. Wirtschaftssysteme, die auf ein permanentes unbegrenztes Wachstum ausgerichtet sind können daher in einer endlichen – auf begrenzten Ressourcen basierenden – Welt nicht langfristig bestehen. Eine nachhaltige Wirtschaftsweise ist daher niemals auf die Ausbeutung von Ressourcen angelegt, noch auf das Anhäufen von Schulden. Generell geht es darum nachfolgenden Generationen keine irreparablen Schäden zu hinterlassen.

Während die Säule „Wirtschaft“ allgemein als notwendige Voraussetzung eines erfolgreichen Geschäftsmodells anerkannt ist und daher bei den am Markt etablierten Geschäftsmodellen als gegeben betrachtet werden kann, werden die beiden anderen Säulen „Ökologie“ und „Soziales“ hingegen nicht selten der Wirtschaftlichkeit hintenangestellt. Daher sollen die gängigen Geschäftsmodellarten hinsichtlich dieser beiden Bereiche eingehend analysiert werden. In diesem Zusammenhang ist allgemein festzustellen, dass Geschäftsmodellarten auf unterschiedliche Art und Weise betrieben werden können. Es kann somit nur die Grundcharakteristik eines Geschäftsmodells bewertet werden wobei festzuhalten ist, dass auch eine grundsätzlich nachhaltige Geschäftsmodellart auf nicht nachhaltige Art und Weise betrieben werden kann. Zu beachten ist zum einen, zu welchem Zweck das Modell betrieben wird, und zum anderen wie es hierbei angewendet bzw. ausgelegt wird.

Der europäische Green Deal beinhaltet einen Aktionsplan, welcher eine effizientere Ressourcennutzung vorsieht. Dies beinhaltet den Übergang zu einer sauberen und kreislauforientierten Wirtschaft. Ein wichti-

tiger Bestandteil ist auch die Wiederherstellung der Biodiversität sowie die Bekämpfung der Umweltverschmutzung. Der Aktionsplan zeigt auf welche Investitionen erforderlich sind, wie diese zu finanzieren sind und wie ein gerechter und inklusiver Übergang gelingen kann. [99]

Bereits im März 2018 wurde von der EU-Kommission der Aktionsplan zur Finanzierung nachhaltigen Wachstums vorgelegt. Dieser zielt darauf ab: [100]

- 1.) die Kapitalflüsse auf nachhaltige Investitionen umzulenken. Ziel ist es ein nachhaltiges und integratives Wachstum zu erreichen,
- 2.) finanzielle Risiken, die sich aus dem Klimawandel, der Ressourcenknappheit, der
- 3.) Umweltzerstörung und sozialen Problemen ergeben, zu bewältigen und die
- 4.) Transparenz und Langfristigkeit der Finanz- und Wirtschaftstätigkeit zu fördern

Der EU-Aktionsplan besteht aus 10 Maßnahmen:

- 5.) Einführung eines EU-Klassifikationssystem für nachhaltige Tätigkeiten
- 6.) Normen und Kennzeichen für umweltfreundliche Finanzprodukte
- 7.) Förderung von Investitionen in nachhaltige Projekte
- 8.) Berücksichtigung der Nachhaltigkeit in der Finanzberatung
- 9.) Entwicklung von Nachhaltigkeitsbenchmarks
- 10.) Bessere Berücksichtigung der Nachhaltigkeit in Ratings und Marktanalysen
- 11.) Pflichten institutioneller Anleger und Vermögensverwalter
- 12.) Stärkung der Vorschriften zur Offenlegung von Nachhaltigkeitsinformationen und zur Rechnungslegung
- 13.) Förderung einer nachhaltigen Unternehmensführung und Abbau von kurzfristigem Denken auf den Kapitalmärkten

Dieser Aktionsplan soll bewirken, dass gezielt Investitionen in nachhaltige Aktivitäten fließen. Gleichzeitig soll die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft gesteigert werden. Nach einer Schätzung der EU-Kommission muss Europa einen jährlichen Investitionsrückstand von fast 180 Mrd. Euro aufholen um die EU-Klimaziele bis 2030 zu verwirklichen. Zur Umsetzung des EU-Aktionsplans hat die EU-Kommission am 24. Mai 2018 Vorschläge für drei EU-Verordnungen vorgelegt:

- Begründung von Offenlegungspflichten für institutionelle Anleger, inwieweit ihre Investitionen an Nachhaltigkeitszielen ausgerichtet sind (disclosure requirements related to sustainable investment and sustainability risks)
- Entwicklung von low carbon benchmarks (Referenzwerte für geringe CO₂-Emissionen)
- Mit der Taxonomie erfolgt die Schaffung eines EU-weit einheitlichen Klassifikationssystems für nachhaltige wirtschaftliche Tätigkeit

Zur Definition von ökologischer Nachhaltigkeit im Kontext von Geschäftsmodellen wird die bereits in Kapitel „Einfluss von Sanierung auf den Immobilienwert - Rolle der EU Taxonomie“ beschriebene EU-Taxonomie-Verordnung herangezogen. Diese definiert sechs relevante Umweltziele: Klimaschutz, Anpassung an den Klimawandel, Nachhaltiger Einsatz und Gebrauch von Wasser oder Meeressressourcen, Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft, Vorbeugung oder Kontrolle von Umweltverschmutzungen und Schutz und Wiederherstellung von Biodiversität und Ökosystemen [101].



Abbildung 49: EU Taxonomie Umweltziele [102]

In der öffentlichen Wahrnehmung ist das Thema Klimaschutz mittlerweile sehr präsent, die anderen Bereiche werden aber durch Inkrafttreten der Taxonomie Verordnung zunehmend an Bedeutung gewinnen. Gemäß der Verordnung als Taxonomie-konform anzusehen ist eine Investition dann, wenn sie zu einem der sechs Ziele einen signifikanten Beitrag leistet und gleichzeitig die fünf anderen nicht negativ beeinflusst (Do-No-Sigificant-Harm/DNSH).

Da die einzelnen Umweltziele noch nicht alle genauer definiert sind bzw. zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieses AP's bekannt waren, wurden die sechs Ziele zu drei konkreteren Bewertungskriterien heruntergebrochen:

1. Vermeidung/Verringerung des CO₂-Ausstoßes
2. Einsparung von Ressourcen
3. Schutz der Biodiversität

Neben den oben dargestellten sechs Umweltzielen ist auch die Veröffentlichung einer sozial-Taxonomie angekündigt [103]. Da hierzu jedoch zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieses AP's keine genaueren Inhalte bekannt waren wurden zwei eigene Kriterien definiert:

1. **Ermöglichen von sozialer Teilhabe:** Ein Geschäftsmodell soll immer dann als besonders nachhaltig eingestuft werden, wenn es die Möglichkeit der sozialen Teilhabe bietet d. h. es ist für Kunden und Mitarbeiter möglich sich aktiv einzubringen und mitzugestalten.
2. **Verhinderung der (globalen) Ungleichverteilung:** Ein soziales Geschäftsmodell verhindert, dass die erwirtschafteten Gewinne zentralisiert ausgeschüttet werden, sondern lässt möglichst viele Menschen vom Unternehmenserfolg profitieren.

Themen wie bspw. Kinderarbeit sind auch wichtig aber in diesem Zusammenhang nicht bewertbar.

4.5.3.5 Modellierung der Sanierungsmaßnahmen – die Methodik der Sustainability Balanced Scorecard (SBSC)

Die Sustainable Balanced Scorecard (SBSC) ist eine Weiterentwicklung der Balanced Scorecard. Sie wurde in diesem Projekt auf die energetische Gebäudesanierung angewendet um die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen methodisch darstellen zu können und um die aus den Tools resultierenden Kennzahlen zu erfassen und zu strukturieren. In dieser Form können die gewonnenen Kennzahlen als Entscheidungsgrundlage dienen. [104]

In ihrer Grundkonzeption umfasst die Balanced Scorecard (BSC) vier Dimensionen. Diese dienen dazu die Leistung der unternehmerischen Aktivitäten zu erfassen. Diese umfassen Finanzen, Kunden, Mitar-

beiter und Prozesse. Jede Perspektive enthält eine Zusammenstellung der dazugehörigen strategischen Ziele, sowie daraus abgeleitete Messgrößen und Zielwerte. Zur strategischen Zielerreichung ist es notwendig konkrete Aktionen zu fixieren. Das BSC-Konzept beinhaltet zudem den Aufbau von Ursache-Wirkungsketten. Durch die BSC oder SBSC wird es möglich Unternehmensstrategien logisch zu strukturieren und umfassend darzustellen. Dies hat den Vorteil, dass die zumeist nicht offen gelegten impliziten Annahmen des Managements transparent werden:

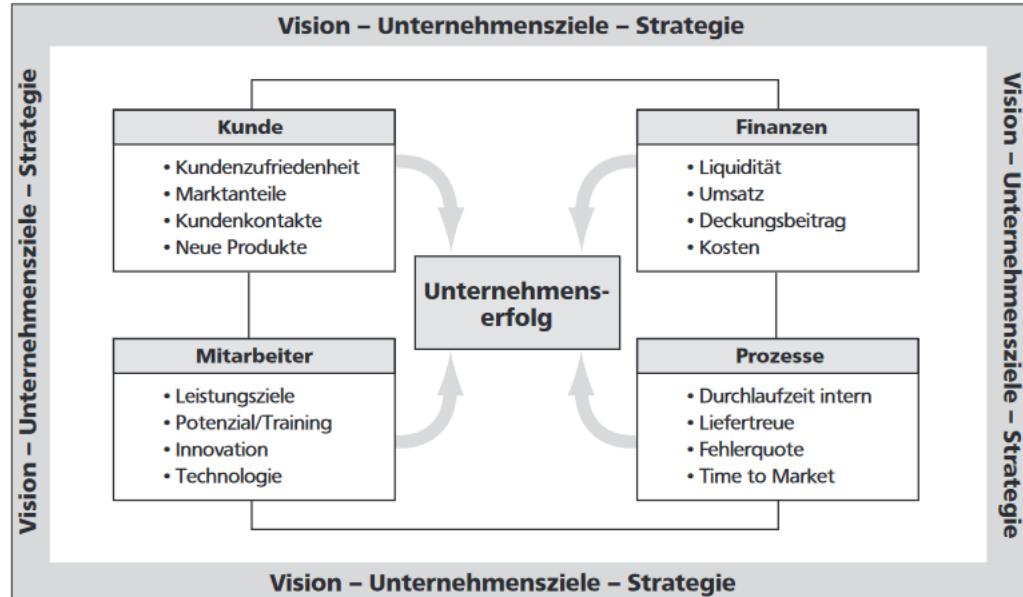


Abbildung 50: Grundkonzept der Balanced Scorecard (nach Kaplan und Norton) [105]

Durch die Sustainable Balanced Scorecard (SBSC) lassen sich ökologische und soziale Aspekte auf Ebene des Gesamtunternehmens oder der strategischen Geschäftseinheit erkennen und auf dieser Grundlage können Aktionen im Bereich Nachhaltigkeit geplant werden. Entscheidend für die Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele ist die strategische Relevanz dieses Aspektes für den wirtschaftlichen Erfolg des Unternehmens.

Die SBSC versucht alle drei Säulen des Nachhaltigkeitskonzepts – Ökonomie, Ökologie und Soziales – in eine erfolgreiche Strategie umzusetzen. Sie dient damit dem Zweck die Unternehmensleistung in allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen zu verbessern, so dass dadurch starke unternehmerische Nachhaltigkeitsbeiträge erreicht werden können. Die SBSC fungiert damit als die grundlegende Basis für das integrierte Management, denn sie versucht nicht nur den „Ausgleich“ („balanced“) herzustellen, sondern und zielt auch auf die Inklusion von Kausalbeziehungen ab: [106]

- **Balanced:** bedeutet, dass auch nicht-monetäre und weiche Erfolgsfaktoren berücksichtigt werden. Hierbei findet Berücksichtigung, dass Umwelt- und Sozialaspekte häufig qualitativ sind und über nicht-marktliche Mechanismen auf Unternehmen einwirken.
- **Kausalbeziehung:** Umwelt- und Sozialaspekte werden über Ursache-Wirkungsketten auf den langfristigen Unternehmenserfolg ausgerichtet. Somit werden sie vollständig in das allgemeine Managementsystem integriert.“

Die Anwendung der SBSC auf die Thematik der energetischen Gebäudesanierung

Im Folgenden wird die Sustainable Balanced Scorecard (SBSC) auf die Gebäudesanierung bezogen:

Einflussfaktoren

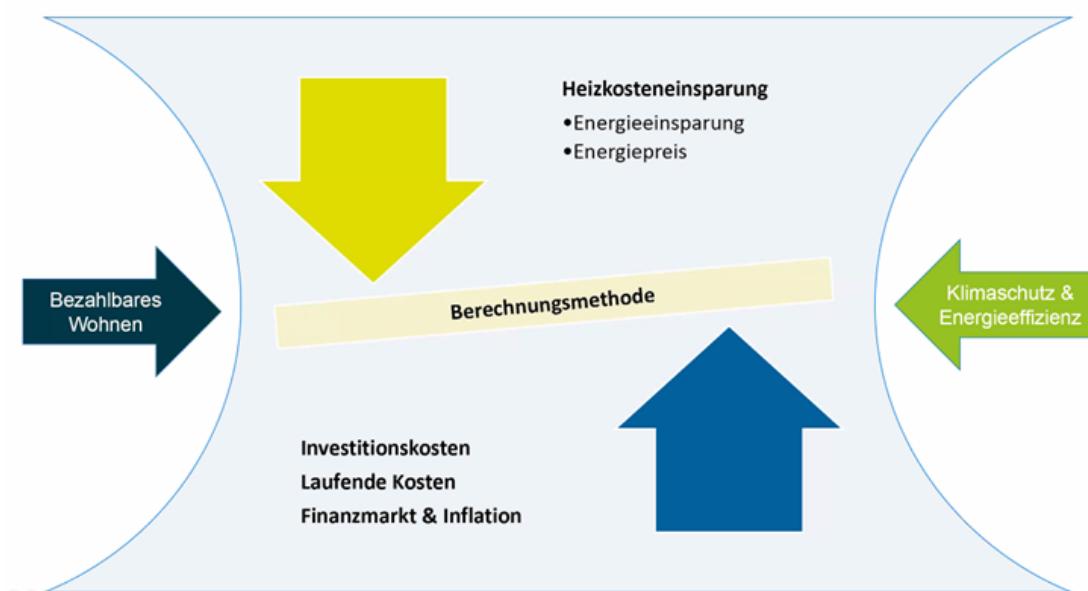


Abbildung 51: Einflussfaktoren energetische Sanierung

Die mit der SBSC verbundene Zielsetzung bestand darin alle messbaren ökonomischen und ökologischen Faktoren (Key Performance Indicators) – KPI's). Dadurch wird die Entscheidung fundiert, die sich für oder gegen eine energetische Sanierung ausspricht. Auf die SBSC aufbauend wurde ein Excel-Tool erstellt, in dem all diese KPI's enthalten sind und zueinander in Beziehung gesetzt werden. Ziel ist es ein umfassende Informationsbasis zu schaffen, die als Entscheidungsgrundlage fungiert. Die Daten, die im WEG- und CS-Tool gesammelt wurden gehen in die SBSC ein und ergeben dort ein „Gesamtbild“.

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dem SBSC-Tool:

3 Wert/Kaufpreis	200.000 €	nur Gebäude ohne Grundstück
4 Alter/Baujahr	1985	ungefähres Baujahr
5 Lage/Regio		hierüber Grundstückswert ermitteln - evtl. Datenbank mit Werten nach PLZ o.ä. hinterlegen
6		
7		
8 Grundfläche	100 m ²	
9 Stockwerke (Vollgeschosse)	2	
10 Geschoss Höhe		
11 Beheizter Dachboden	Normal	2,5
12 Dachform	Ja	1,5
13 Keller	Normales Spitzdach	
14 Beheizter Keller	Nein	
15		Braucht es auch teilweise?
16		
17 Größe/Anzahl der Fenster	Energetischer Zustand der Immobilie	Wenn hier viele Dinge zu machen sind eher Komplettsanierung sinnvoll (KfW Standard)
18 Alter der Fenster	Normal	
19 Außenwände	älter als 20 Jahre	Voreinstellungen auf Basis der gesetzlichen Vorschriften um Zeitpunkt des Baus integrieren?
20 Oberste Geschosdecke	Ungedämmt	
21 Kellerdecke	Ungedämmt	
22 Dach	Ungedämmt	

Abbildung 52: Ausschnitt aus der Excel-basierten SBSC-Tool

Hierbei wurden sowohl Vorarbeiten aus anderen Forschungsprojekten (EnSign [107]) als auch verschiedene existierende Tools (CO₂ Online Sanierungsrechner [108], BMWK Sanierungsrechner [109], KfW [110], eco2nomy [111] etc.) berücksichtigt. Von großer Wichtigkeit wäre es Fördermöglichkeiten und Zuschüsse in das SBSC-Tool zu integrieren und die Forschung in diesem Bereich voranzutreiben.

In Anlehnung an Jain et al. (2010) [112] soll anhand der Anwendung einer Green-IT-BSC gezeigt werden wie sich die Leistung bzw. der Erfolg von Green-IT-Initiativen (hier: der CS- und WEG-Tools) bewerten lässt. Dabei gilt es folgende Perspektiven zu betrachten:

Tabelle 16: Gegenüberstellung der unterschiedlichen Analysetools [113]

Perspektive	Fragestellung	Leistung bzw. Nutzen CS-Tool	Leistung bzw. Nutzen WEG-Tool	Leistung bzw. Nutzen SBSC-Tool
Ökologische Nachhaltigkeits-perspektive	Wie können Green-IT-Maßnahmen die Nachhaltigkeits-strategie von Kommunen optimal unterstützen? Wie können Informations-systeme eingesetzt werden, um die Umwelt-auswirkungen un-saniertener Einzelge-bäude bzw. Quar-tiere darzustellen?	Daten sammeln Berechnung: <ul style="list-style-type: none">• Heizwärmebedarf,• Warmwasser,• Strombedarf,• Solarstrahlung• PV- und Solar-energiepotenziale• CO₂-Austoß und Primärenergie-be-darf• Emissions- und Kosteneinsparung durch energeti sche Sanierung Wärmeleitplanung Simulation von Sanierungs-szenarien	Daten sammeln Eingabe relevanter <ul style="list-style-type: none">• Gebäude-parameter Berechnung/Anzeige <ul style="list-style-type: none">• Gebäude-effizienz	Ermittlung von Nach-haltigkeitskennzahlen (KPIs)
Interne Prozess-perspektive	Inwiefern helfen Tools bei der Ermittlung und Über-wachung des öko-logischen Fußab-drucks (Einzelge-bäude, Quartiere)?	<ul style="list-style-type: none">• Ermittlung CO₂-Fußdruck für Einzelgebäude und Quartiere		Informations-bereit-stellung, z.B. Nachhal-tigkeitkennzahlen (KPIs)
Innovations- und Lernperspektive	Wie können private Eigentümer:innen über energetische Sanierungs-maß-nahmen informiert und zu deren Um-setzung motiviert werden?	Einsatz der Tools in Kommu-nen <ul style="list-style-type: none">• Info-veranstaltun-gen• Direktansprache	Einsatz der Tools in Kommu-nen <ul style="list-style-type: none">• Infoveran-staltungen• Direkt-an-sprache	
Kundenperspek-tive	Wie können not-wendige Maßnah-men gegenüber privaten Eigentümer:innen kommu-niziert werden?	Einsatz der Tools in Kommu-nen Kommunen beschäftigen Klimamanager bzw. Ener-gieberater als „Kümmerer“	Einsatz der Tools in Kommu-nen Kommunen beschäfti-gen Klimamanager bzw. Energieberater als „Kümmerer“	
Finanzperspek-tive	Wie sollen die Tools betrieben werden?	<ul style="list-style-type: none">• Crowd-sourc-ing (bezah-len mit Da-ten)• Lizenzgeschäft• Freemium• Open Source	<ul style="list-style-type: none">• Crowd-sourc-ing (bezah-len mit Da-ten)• Lizenz-ge-schäft• Freemium• Open Source	Informations-bereitstellung ökono-mische Kennzahlen

Dabei finden die folgenden Key Performance Indicators (KPIs) im Bereich ökonomische und ökologi-sche Nachhaltigkeit Beachtung:

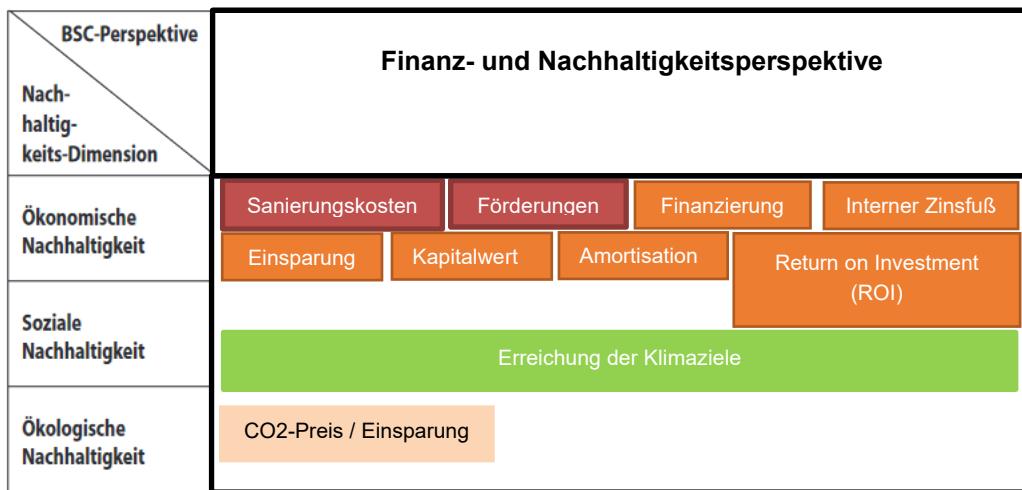


Abbildung 53: Anwendung der SBSC auf die Thematik der energetischen Gebäudesanierung

Nachfolgende Abbildung verdeutlicht, dass in das SBSC-Tool die Daten aus dem CrowdSourcing-Tool, dem WEG-Tool und die Finanzierungsalternativen für Sanierungsmaßnahmen einfließen:

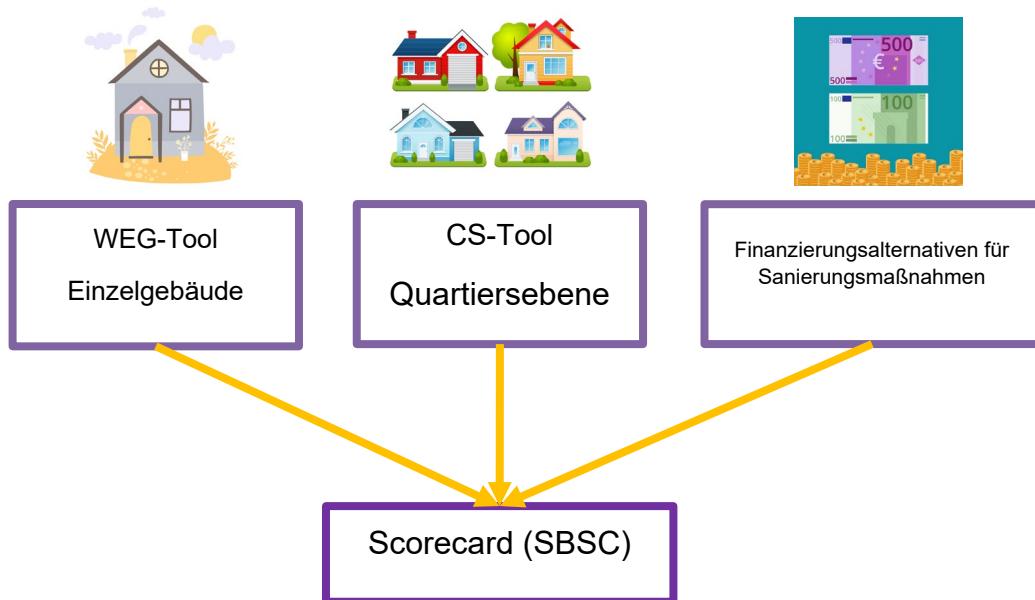


Abbildung 54: Die Sustainable Balanced Scorecard (SBSC) und ihre „Datenzuflüsse“

In der nachfolgenden Abbildung sind die „Tools“ und ihre jeweiligen Funktionalitäten nochmals zusammengefasst:

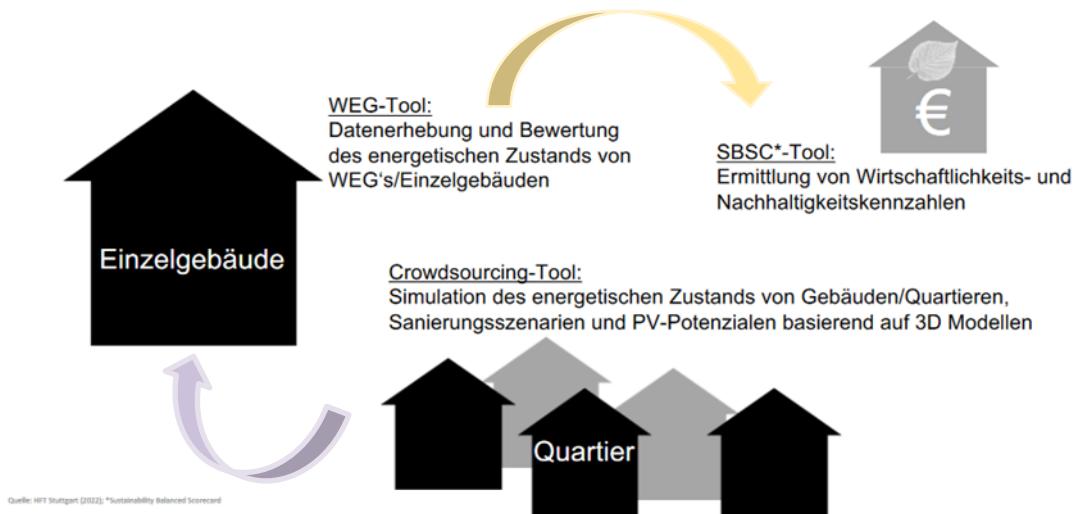


Abbildung 55: Innovative Tools und ihre Anwendungsmöglichkeiten [114]

Indem die SBSC (und das dazugehörige SBSC-Tool) Key Performance Indicators (KPIs) im Bereich Ökonomie (Finanzierungsalternativen, Einsparungen, Sanierungskosten etc.) und Nachhaltigkeit (CO₂-Preis, CO₂-Einsparung etc.) erfasst und zueinander in Beziehung setzt, bildet sie das Fundament einer „Wissensbasis“, die aufgrund des Erkenntnisgewinns zum Abbau von Sanierungshemmnnissen beitragen kann. Sie kumuliert die gesammelten Daten und setzt sie zueinander in Beziehung, so dass daraus wiederum Schlüsse gezogen werden können. So z.B. darüber wie hoch die monetären Einsparungen sind, die mit einer energetischen Sanierung einhergehen. Weiterhin lassen sich auf dieser Grundlage innovative Geschäfts- und Finanzierungsmodelle errichten, die ebenfalls dazu beitragen können Sanierungshemmisse effektiv zu reduzierten. Diese zwei Punkte sollen im nächsten Abschnitt ausführlicher beleuchtet werden.

Abbau von Sanierungshemmnnissen

Durch eine gezielte Datenerfassung

Innovative Geschäfts- und Finanzierungsmodelle sollen zur Mobilisierung beitragen, indem sie Sanierungshemmisse reduzieren und entsprechende Treiber verstärken. Konkret soll dies auch mit digitalen Tools, wie z.B. dem CS-Tool, erreicht werden. Diese Tools werden in den Beratungsprozess miteingebunden und durch ökonomische und ökologische KPIs ergänzt. Dadurch kann die Vorteilhaftigkeit energetischer Sanierungsprozesse aufgezeigt werden und diese kann durch entsprechende – ebenfalls anreizorientierte – Finanzierungsinstrumente und -alternativen, sowie Förderinstrumente ergänzt werden.

Aus dem Projekt 3ProzentPlus sind im Verbundvorhaben funktionsfähige digitale Tools entstanden, welche entlang des Sanierungsprozesses verfügbar gemacht und erprobt worden sind. Auf Quartierebene wurde v.a. das sog. CS-Tool mit der Simulationsumgebung SimStadt insbesondere für kommunale Planer verwendet. Damit konnte der Energiebedarf im unsanierten Zustand (anhand von 3D-Gebäudeinformationen, dem Baujahr und gebäudespezifische Eigenschaften aus der Tabula-Datenbank) berechnet werden. Stehen weitere Informationen seitens der Eigentümer:innen zur Verfügung kann der Ist-Wärmebedarf genauer simuliert und verglichen werden. Es besteht dann die Möglichkeit Sanierungsszenarien zu berechnen und den Einfluss auf Energieverbrauch und die entstehenden (monatlichen) Einsparungen zu ermitteln. Zudem ist es möglich weitere Energiepotenziale, wie z.B. PV oder Solarthermie-Aufdach-Anlagen zu simulieren.

Mit dem CS-Tool besteht damit eine digitale Möglichkeit um Sanierungspotenziale zu simulieren, zu veranschaulichen und monetäre Einsparungen für die jeweiligen Eigentümer:innen offenzulegen. Damit bietet das CS-Tool die Möglichkeit Hemmisse im Zusammenhang mit energetischen Sanierungen abzubauen und stellt damit einen wichtigen Baustein dar um die Energiewende auf kommunaler Ebene

voranzutreiben. Die im CS-Tool erfassen und aufbereiteten Daten werden in die SBSC übernommen, wo sie als Beratungsinstrument eingesetzt wird.

4.5.3.6 Regulatorische Grundlagen in der SBSC – auf Ebene der EU und nationaler Ebene

Für die energetische Sanierung von Bestandsgebäuden definiert die EU-Taxonomie zwei unabhängige Kriterien, die jeweils als Schwellenwerte herangezogen werden können. Einerseits dann, wenn sie eine größere Renovierung im Sinne der EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD-Richtlinie) darstellt. Andererseits, wenn sie zu einer Reduzierung des Primärenergiebedarfs um mind. 30% führt, für die der Nachweis durch einen Energieausweis sowie ein vorausgegangenes Energieaudit notwendig ist.

Der Immobilienwert wird künftig auch durch die EU-Taxonomie Verordnung beeinflusst werden. Sie definiert welchen Wert Immobilien aufgrund ihres energetischen Sanierungszustandes im Hinblick auf Veräußerungen oder Vermietungen zukommt. Bei der EU-Taxonomie handelt es sich um ein Klassifizierungssystem, welche die Nachhaltigkeit einer wirtschaftlichen Aktivität feststellt. Grundsätzlich sollen Unternehmen und Finanzinstitutionen dazu angehalten werden „grüne Investitionsentscheidungen“ zu treffen.

Regulatorische Grundlagen auf der EU-Ebene: EU-Taxonomie

Die zuvor schon erwähnte EU-Taxonomie bzw. EU-Taxonomie Verordnung ist im Juli 2020 in Kraft getreten. Als Bestandteil des Europäische Green Deals enthält sie als Regelwerk der EU-Kommission die Standards für nachhaltiges Wirtschaften. Ein wichtiger Baustein des „Green Deal“ ist der EU-Aktionsplan „Sustainable Finance“ und die darin enthaltene EU-Taxonomie als Klassifizierungssystem für nachhaltige Wirtschaftsaktivitäten. [115]

Die EU-Taxonomie Verordnung soll dazu beitragen alle ökologischen Wirtschaftstätigkeiten innerhalb der EU allgemeingültig zu definieren und zu klassifizieren. Investoren erlangen so Zugang zu Wissen, welches es ihnen ermöglicht anhand des nachhaltigen Beitrags des Unternehmens zutreffend einzuschätzen ob sie in dieses investieren möchten. Der EU-Kommission ist es mit der Taxonomie erstmals gelungen nicht nur ein gemeinsames Verständnis von Nachhaltigkeit zu schaffen, sondern darüber hinaus auch klare Regeln und Rahmenbedingungen für nachhaltiges Wirtschaften zu definieren. [116]

Die Taxonomie soll dabei mehrere Funktionen gleichzeitig erfüllen:

- Die Investitionen in Nachhaltigkeit sollen gesteigert werden
- Investoren sollen zukünftig besser abgesichert sein
- Auf dem Weg zu einem nachhaltigeren Wirtschaftssystem sollen Unternehmen besser unterstützt werden.
- Privatanleger sollen vor Greenwashing besser geschützt werden.
- Zudem soll die Taxonomie dazu beitragen die Fragmentierung des Marktes abzumildern.

Sie ist auf vier Felder angesetzt:

- Aus dem verbindlichen Rahmen, welche die EU-Taxonomie als nachhaltiges Wirtschaften definiert, ergeben sich konkrete Anforderungen an Unternehmen, Banken und Kapitalmarktprodukte.
- Auf Basis dieser Verordnung können Gesetze und Verordnungen, die ebenfalls auf nachhaltiges Wirtschaften abzielen, in naher Zukunft subsequent verabschiedet werden.
- Die Taxonomie verpflichtet Unternehmen dazu ihr zukünftiges Handeln nach dieser Verordnung auszurichten und offenzulegen.
- Taxonomie-Erwägungen auch bei Finanzierungen eine wichtigere Rolle spielen. So sieht die Taxonomie z.B. vor, dass größere Finanzinstitute dazu verpflichtet werden offenzulegen, welche Unternehmen in diesem Rahmen eine Finanzierung erhalten.

Die EU-Taxonomie (sagt wie das für unterschiedliche Branchen gelingen kann) steht für Europas erklärt Ziel bis 2050 klimaneutral zu werden. Der Beschluss des Green Deals soll hierfür die Weichen stellen. Beim „Green Deal“ geht es um die umfangreiche und zügige Einsparung von Treibhausgasen.

Ziel ist es die globale Erderwärmung einzudämmen. [118] Um das übergeordnete Ziel des Green Deals - Europa bis 2050 klimaneutral zu machen – zu erreichen, soll die Kreislaufwirtschaft eine zentrale Rolle spielen. Auch wenn die Investitionssummen hoch sind und einige Klimaschutzmaßnahmen bereits erfolgreich umgesetzt worden oder in Planung sind, können die Pariser Klimaziele nur erreicht werden wenn auch die Privatwirtschaft ihren Beitrag dazu leistet. Ziel der EU-Taxonomie Verordnung ist es zu erreichen, dass mehr Förderungen und langfristige Investitionen in nachhaltige Projekte fließen und das Thema „Nachhaltigkeit“ gleichzeitig als Bestandteil des Risikomanagements etabliert wird. Dies sind die Voraussetzungen dafür, dass ganz Europa einen großen Schritt in die Richtung einer erfolgreichen Energiewende machen kann. [119]

Teil dieser Energiewende sind auch Wohn-, Geschäfts- und Fabrikgebäude, welche in der Regel eine sehr schlechte Energiebilanz haben. In Deutschland sind es immerhin rund 35%, welche vor allem auf schlechte Isolierung zurückgeht. Ein hoher Wärmebedarf führt wiederum zu einer erhöhten Emission von klimaschädlichem CO₂. Dies liegt primär an konventionellen Heizsystemen, die mit fossilen Brennstoffen wie Öl, Gas und teils sogar noch Kohle betrieben werden. Gebäude verursachen jährlich 36% der Emissionen und die Europäische Kommission will das nicht mehr tolerieren. [116]

Der EU-Plan sieht deshalb vor, dass Wohngebäude im Privatbesitz bis spätestens zum Jahr 2030 die Mindeststandards für die Energieeffizienzklasse F erreicht haben müssen, bis 2033 sogar jene der Klasse E. Dies bedeutet konkret: Dreifachverglasung, vernünftige Wärmedämmung von Dächern und Wänden, effizientere und gegebenenfalls auch grünere Heizungssysteme. [120]

Dem steht entgegen, dass viele Immobilieneigentümer:innen über viele Jahre mit einem sehr niedrigen Investitionsniveau gut gefahren sind. Aus diesem Grund stagniert die Sanierungsquote bei 1%. Wenn nun durch die Verpflichtung der EU höhere Sanierungskosten anfallen, stellt sich schnell die Frage, ob sich diese Kosten für die Eigentümer:innen überhaupt amortisieren bzw. ob und wie sie sich finanzieren lassen. [121]

Technische Evaluierungskriterien der EU-Taxonomie

Als zentraler legislativer Baustein zur Umsetzung des Aktionsplans der Europäischen Kommission im Rahmen des „Green Deals“ ist die Taxonomie für nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten im EU-Recht (Verordnung (EU) 2020/852 verankert. Hierin finden sich Bestimmungen über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der VO (EU) 2019/2088 (Taxonomie-Verordnung). Ziel der Taxonomie Verordnung ist es verbindlich festgelegen, ab wann eine Wirtschaftstätigkeit als nachhaltig gilt. Durch die Entwicklung eines einheitlichen Begriffsverständnisses soll der Gefahr eines „Green Washing“ entgegengewirkt werden.

Nach der Taxonomie Verordnung kann eine Wirtschaftstätigkeit dann als ökologisch nachhaltig bezeichnet werden, wenn sie einen wesentlichen Beitrag zur Verwirklichung eines oder mehrerer Umweltziele leistet, dabei nicht zu einer erheblichen Beeinträchtigung eines oder mehrerer Umweltziele beiträgt und unter Einhaltung eines festgelegten Mindestschutzes ausgeübt wird. Hinzukommt, dass die Wirtschaftstätigkeit auch technischen Bewertungskriterien zu entsprechen hat. Konkretisiert werden diese Voraussetzungen durch sogenannte delegierte Rechtsakte in Form Regulatorischer Technischer Standards. So beinhalten die technischen Bewertungskriterien des obengenannten Rechtsakts konkrete Vorgaben u.a. für Neubauten und die Renovierung von Gebäuden sowie den Gebäudebestand:

Klimaschutz-Taxonomie – Technische Evaluierungskriterien für Gebäudesektor*



- Zusätzlich Erfüllung der „Do no significant harm“-Kriterien
- Hohes Ambitionsniveau: „Dunkelgrüne“ Taxonomie
- Praktische Fragen insbes. in Bezug auf Ermittlung der Daten

*Gem. Annex I Delegierter Rechtsakt v. 21.04.2021

Abbildung 56: Klimaschutz-Taxonomie – Technische Evaluierungskriterien für Gebäudesektor [124]

Unter (1) Neubau ist festgelegt, dass Neubauten nur dann als Taxonomie-konform gelten, wenn der Primärenergiebedarf mindestens 10% unter den nationalen Werten des Niedrigstenergiegebäudestandards liegt. Relevant sind für Deutschland insoweit die Werte des zum 1. November 2020 in Kraft getretenen Gebäudeenergiegesetzes. Ebenfalls maßgeblich für Renovierungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen ist das Gebäudeenergiegesetz. Alternativ kann eine Renovierungs- bzw. Sanierungsmaßnahme auch dann als Taxonomie-konform angesehen werden, wenn sichergestellt ist, dass sie zu einer Reduzierung des Primärenergiebedarfs von mindestens 30 % führt. [125]

Es ist davon auszugehen, dass nicht Taxonomie-konforme Immobilien mittel- bis langfristig weniger stark im Markt nachgefragt werden. Gegebenenfalls werden sie auch weniger einfach mit Fremdkapital finanziert werden. Dies hat voraussichtlich massive Folgen für die Weiterentwicklung derartiger Immobilien, da sie für bestimmte Marktteilnehmer wieder attraktiv werden.

Möglicherweise werden durch den verstärkten politischen Druck die beschriebenen Hemmnisse abgeschwächt und es steigt die Motivation von Eigenheimbesitzer:innen ihre Immobilien energetisch zu sanieren. Damit wäre mit der Taxonomie Verordnung ein politischer Anreiz geschaffen, um das hier definierte Projektziel „3 %-Plus“ zu erreichen. Die Taxonomie Verordnung führt aber mitunter auch zum Problem der „Stranded Assets“.

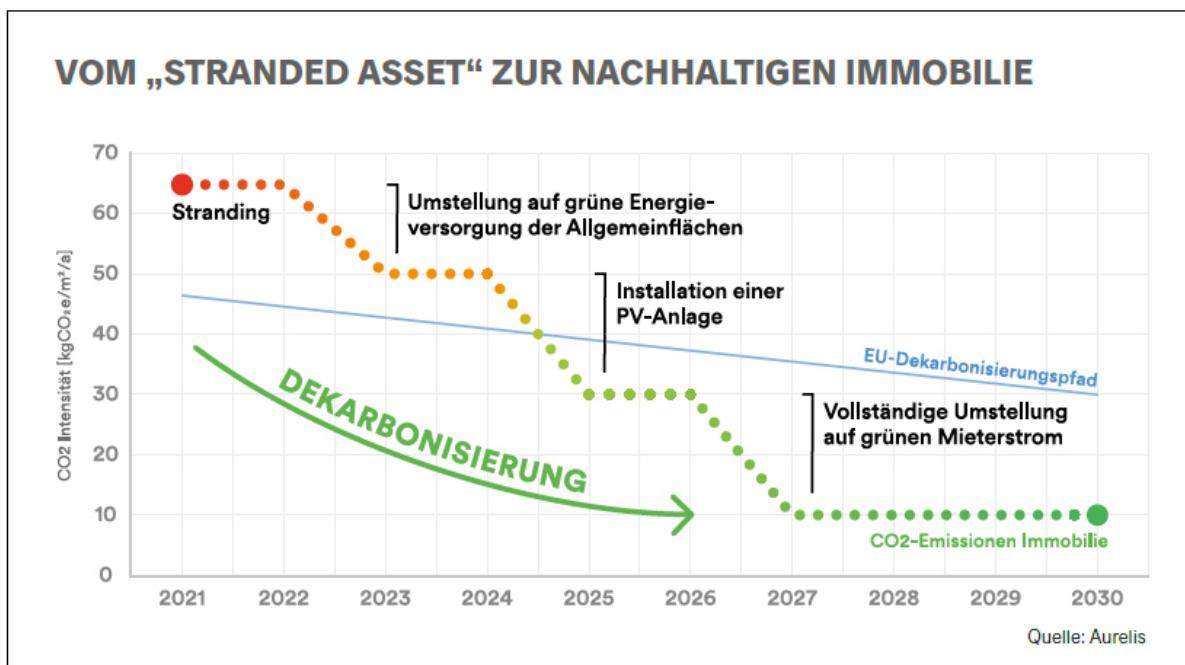
Das Problem der „Stranded Assets“

Die hohen Anforderungen seitens der EU und die bisher niedrige Sanierungsquote führt zwangsläufig zum Problem der „Stranded Assets“ und damit erhöht sich der Druck auf die Eigentümer:innen von Immobilien zeitnah in energetische Sanierungsmaßnahmen zu investieren oder in Kauf zu nehmen, dass ihre Immobilien in naher Zukunft nicht mehr vermietet oder veräußert werden können. Das Konzept der „Stranded Assets“ ist nicht neu. Es wurde primär von Wirtschaftsprüfern benutzt, um Vermögenswerte zu beschreiben, welche aufgrund von ökonomischen oder sozialen Veränderungen nicht länger denselben Wert haben. [126]

Wie bereits im Zusammenhang mit den technischen Evaluierungskriterien erläutert ist in diesem Zusammenhang die von der EU veröffentlichte Taxonomie [127] relevant. Diese unterscheidet Immobilien entsprechend ihrer energetischen „Performance“ in nachhaltig und nicht nachhaltig [128]. Banken müssen bei der Kreditvergabe den Anteil an Krediten, die für nachhaltige Zwecke vergeben werden ausweisen, wodurch die Kreditvergabe für den Erwerb nachhaltiger bzw. energieeffiziente Gebäude für diese

attraktiver ist. Dies wiederum könnte künftig mit günstigeren Zinssätzen für die Kreditnehmer belohnt werden bzw. langfristig dazu führen, dass Banken für Immobilien in energetisch schlechtem Zustand keine Kredite mehr vergeben (dürfen), woraufhin die Nachfrage zurückginge und der Wert solcher Gebäude sänke. Die von der EU veröffentlichte Taxonomie hat zudem auch Auswirkungen auf den Mietmarkt, indem sie Anreize für die Vermieter schaffen möchte ihre Gebäude energetisch zu sanieren. Am 15. Dezember 2021 hat die EU-Kommission ihre Überarbeitung für die EU-Gebäuderichtlinie EPBD vorgelegt. Darin ist festgelegt, dass Gebäude mit Energieeffizienzklasse G ab 2030 nicht mehr vermietet werden [129].

Einige Länder der EU haben den Druck bereits erhöht. Unabhängig von der EU-Taxonomie tritt in den Niederlanden bereits im Januar 2023 ein Vermietungsverbot für Gewerbeimmobilien, die die Energieeffizienzklasse C (Energieverbrauch <225kWh pro qm und Jahr – entspricht Klasse G in Deutschland) nicht erfüllen, in Kraft[130]. Die Zielsetzung besteht nach der Auffassung von Dr. Joachim Wieland (CEO, Aurelis Real Estate GmbH, daher darin die „Stranded Assets“ zur „nachhaltigen Immobilie“ zu entwickeln: [131]



Fast vollständige Dekarbonisierung durch Umstellung des Energiebezugs

Abbildung 57: Vom „Stranded Asset“ zur nachhaltigen Immobilie

Die folgende Meinung eines Bewertungsunternehmens gibt eine Einschätzung dahingehend wie sich die Thematik der „Stranded Assets“ in den nächsten Jahren entwickeln könnte. Brigitte Adam, Managing Partner des Bewerters ENA Experts warnt vor Hysterie, da sie nicht die Auffassung teilt alte Gebäude seien nichts mehr wert. In Anbetracht der neuen Richtlinie müsse jedoch die Bewertung von Immobilien geprüft werden. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach der Zukunftsfähigkeit und der Länge der wirtschaftlichen Restnutzungsdauer. Obwohl sich die Restnutzungsdauer noch nicht in konkrete Zahlen fassen lasse, gebe es heute schon Stranded Assets als Anlageprodukt am Markt, welche Renditen aus der Sanierung generieren. Adam glaubt nicht, dass viele Häuser abgerissen werden, sondern eher an deren sukzessiver Sanierung. [132] Bezuglich der EU Taxonomie wurden bislang keine Aussagen, Zielbewertungen oder ähnliches in die SBSC integriert, da das ganze Feld noch mit recht vielen Unsicherheiten behaftet ist und somit keine langfristig verlässlichen Ergebnisse ausgegeben werden können.

Zertifizierungssystem für nachhaltige Gebäude: Das DGNB-Zertifizierungssystem

Um die praktische Anwendbarkeit, die Messbarkeit und damit die Vergleichbarkeit von nachhaltigem Bauen zu realisieren hat die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB) ein eigenes Zertifizierungssystem entwickelt. Obwohl es noch andere Zertifizierungssysteme gibt haben wir uns aus den folgenden Gründen für dieses Zertifizierungssystem entschieden.

Nach der ersten Anwendung am Markt 2009 wurde das DGNB-Zertifizierungssystem kontinuierlich weiterentwickelt und gilt heute nicht nur als das Fortschrittlichste, sondern ist international auch anerkannt als „Global Benchmark for Sustainability“. In unterschiedlichen Varianten ist das Zertifizierungssystem für Gebäude, Quartiere und Innenräume verfügbar. Weiterhin kann es als Planungs- und Optimierungstool eingesetzt werden, wo es allen am Bau Beteiligten bei der Umsetzung einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsqualität unterstützt.

Das DGNB System basiert auf drei wesentlichen Punkten, die es von anderen am Markt verfügbaren Zertifizierungssystemen unterscheidet: [133]

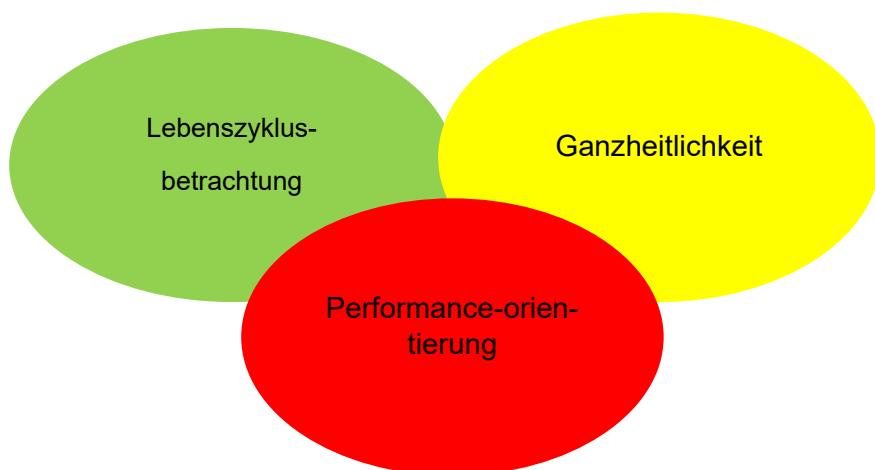


Abbildung 58: Die DNA des DGNB Systems [134] (Eigene Darstellung in Anlehnung an DGNB System)

Die Zertifizierung ermöglicht es den gesamten Lebenszyklus eines Projekts zu betrachten und dadurch wird die gesamte Leistung eines Projekts bewertbar. Das DGNB System fußt auf den drei zentralen Nachhaltigkeitsbereichen:

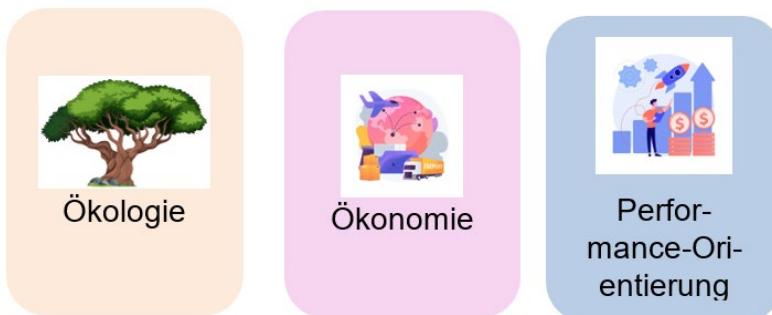


Abbildung 59: Die drei zentralen Nachhaltigkeitsbereiche [135] (Eigene Darstellung, Anlehnung an DGNB)

Diese drei Bereiche der Nachhaltigkeit fließen zu gleichen Teilen in die Bewertung ein. Dabei bewertet das DGNB System zunächst den Standort sowie die technische und prozessuale Qualität. Die Qualität der „Performance“ wird durch Zertifizierungskriterien transparent gemacht. Es ist individuell abgestimmt auf die jeweiligen Nutzer und auch auf den Gebäudetyp – so umfasst es z.B. Neubau, Bestand als auch die Sanierung. Wie bereits erwähnt wird es durch das DGNB System möglich den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes abzubilden. Die Tatsache, dass jedes Gebäude – von der Planung bis zum Rückbau – verschiedene Phasen durchläuft und mit unterschiedlichen Anforderungen und Voraussetzungen verknüpft ist, wird dabei genau beachtet:

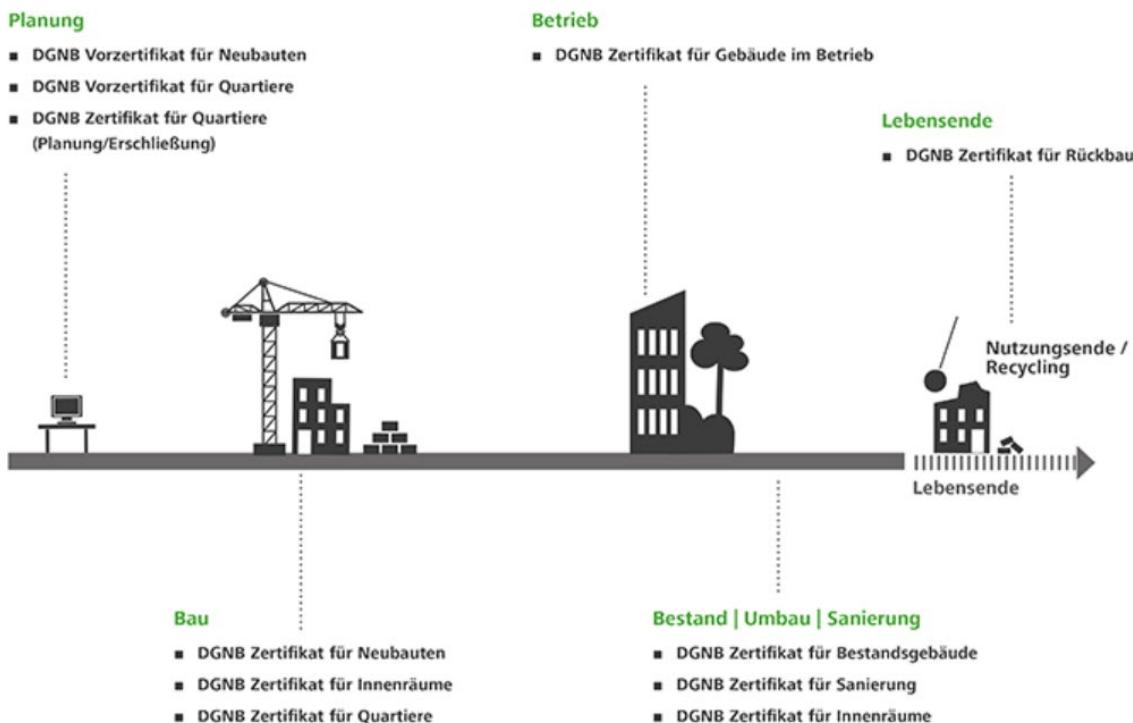


Abbildung 60: Lebenszyklusbetrachtung [136]

Zudem verfügt der DGNB über eine Auszeichnungslogik in den vier Stufen Platin, Gold, Silber und Bronze:

**VON PLATIN BIS BRONZE:
DIE AUSZEICHNUNGSLOGIK DER DGNB**

	PLATIN	GOLD	SILBER	BRONZE*
Gesamterfüllungsgrad	ab 80%	ab 65%	ab 50%	ab 35%
Mindesterfüllungsgrad	65%	50%	35%	— %

* Diese Auszeichnung gilt nur für das Bestandszertifikat bzw. für das Zertifikat „Gebäude Betrieb“.

Abbildung 61: Die Auszeichnungslogik der DGNB

4.5.3.7 Definition messbarer ökonomischer Faktoren im Kontext der Gebäudesanierung

Im Kontext der Wirtschaftlichkeit wurden folgende relevante Faktoren der SBSC identifiziert:

- Kosten der Sanierung,
- Verfügbare Förderungen, die die Kosten reduzieren,
- Finanzierungsmöglichkeiten,
- Einsparung von Energiekosten,
- Vermeidung von CO₂,
- Bepreisung und Einfluss von Sanierung auf den Immobilienwert.

Einige dieser Faktoren unterliegen nicht oder nur schwer vorhersehbaren Preisentwicklungen. In diesen Fällen wurde vorab festgelegt, dass im Zweifel konservative Annahmen getroffen werden, um die Wirtschaftlichkeit nicht zu gut zu bewerten und auf diese Weise angreifbar zu sein.

Kosten der Sanierung – Abgrenzung Instandhaltung und Sanierung

Für die Ermittlung der Kosten einer energetischen Gebäudesanierung und deren Wirtschaftlichkeit ist es daher sinnvoll, diese Instandhaltungskosten, die ohnehin anfallen, von den spezifischen Kosten für Maßnahmen zur energetischen Aufwertung des Gebäudes abzugrenzen. Zur Instandhaltung zählen alle Maßnahmen, die notwendig dazu beitragen den gebrauchsfähigen Zustand der Immobilien aufrechtzuhalten oder wiederherzustellen. Bei einer Heizungsanlage, die nicht mehr voll funktionsfähig ist und Ersatzteile benötigt, handelt es sich um eine Instandhaltung. Bei der Sanierung - im Gegensatz zur Instandhaltung – werden Gebäudeteile neu gebaut oder installiert. Bei Sanierungsmaßnahmen handelt es sich also um Maßnahmen, die auf eine nachhaltige Verbesserung der Wohnverhältnisse abzielen und damit auch zu einer Aufwertung des Gebäudes führen, jedoch nicht absolut notwendig sind. Unter diese Art von Maßnahmen fällt auch die energetische Sanierung. [137]

Wird bspw. eine defekte alte Ölheizung durch eine Wärmepumpe ersetzt, ist es nicht sinnvoll den vollen Preis der Wärmepumpe inkl. Installation anzusetzen, da die Heizung in jedem Fall ohnehin hätte ausgetauscht werden müssen. Natürlich hätte dieser Austausch aber auch gegen eine, in der Anschaffung kostengünstigere Heizungsalternative passieren können. Sinnvoll ist daher die geteilte Betrachtung der Kosten für die Wärmepumpe aufgeteilt in den Kostenanteil, der dem Anschaffungspreis der naheliegendsten (und häufig günstigeren) Heizungsanlage (Instandhaltungskosten) und den Mehrpreis, den die Wärmepumpe gegenüber dieser Anlage kostet (Sanierungskosten).

Insbesondere die Eigentümer:innen von Immobilien müssen regelmäßig Geld investieren, alleine schon um die Immobilie instand zu halten und das Bewohnen langfristig zu ermöglichen. Während für Instandhaltungen ausschließlich der Vermieter zuständig ist können nach einem BGG-Urteil (BGB § 559, Abs. 1) seit dem 1. Januar 2019 Modernisierungskosten und damit auch von Kosten für eine energetische Sanierung bis zu acht Prozent (vorher 11 Prozent) auf den Mieter entfallen. Diese werden dann dauerhaft auf die Jahresmiete aufgeschlagen.

Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über den Kostenrahmen einer Sanierung:

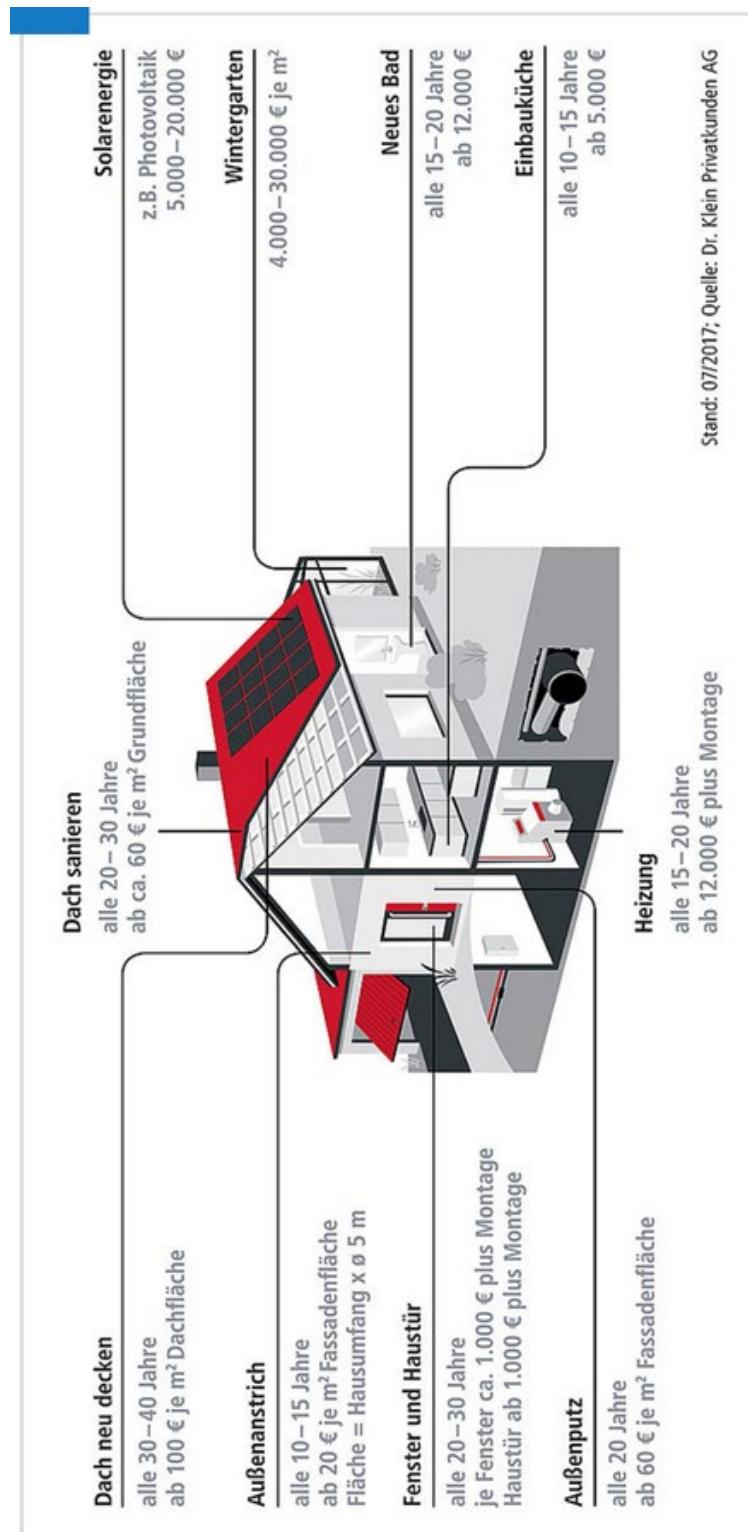


Abbildung 62: Die Kosten einer Sanierung [138]

Mit dem WEG- und dem CS-Tool ist es möglich den Sanierungsbedarf auf der Ebene des Quartiers und des Einzelgebäudes festzustellen. Mit der SBSC lassen sich dann schließlich die Kosten kalkulieren. Abgesehen von dieser Sichtweise kann jedoch auch argumentiert werden, dass letzten Endes immer die gesamte Summe finanziert werden muss. Daher wird im SBSC-Tool mit den gesamten Kosten gerechnet auch wenn ein Teil dieser Kosten genau genommen nicht der Sanierung zugerechnet werden dürfte.

Ein Hemmnis für die zügige energetische Sanierung von Eigenheimen und kommerziell genutzten Immobilien ist jedoch die Stagnation im deutschen Baugewerbe. Laut dem Zentralverband des deutschen Baugewerbes (ZBD) soll der Umsatz im Baugewerbe 2023 real um 7% sinken. Befürchtet werden damit auch Rückgänge im Bereich Infrastruktur, Wohnungsbau oder energetische Sanierung. Die Gründe hierfür sind in den Krisen der letzten Jahre zu sehen. Bereits das Jahr 2021 war geprägt von den Folgen einer Krise. Und obwohl die Nachfrage im Vergleich zu 2020 insgesamt wieder anstieg, waren die Auswirkungen der Corona-Pandemie deutlich spürbar. Zu den bereits verhaltenen Prognosen für 2021 kamen Probleme wie der Baustoffmangel und stark steigende Baustoffpreise. Damals wurde angenommen, dass die Baukonjunktur im darauffolgenden Jahr wieder an Fahrt gewinnen würde und die Krise damit überwunden sein sollte. Doch der von Russland Anfang 2022 gestartete Angriffskrieg gegen die Ukraine führte zu einer Verschärfung der Probleme. Weitere Roh- und Baustoffe – wie Stahl, Bitumen oder Gas, welche bisher aus Russland, Belarus oder der Ukraine bezogen wurden – sind seitdem ebenfalls knapp. Reinhard Quast vom ZDB fordert daher für das Jahr 2023 kluge Investitionsanreize sowie öffentliche Investitionen. [139]

Nachfolgende Abbildung zeigt die Prognose für die Bauwirtschaft 2023:

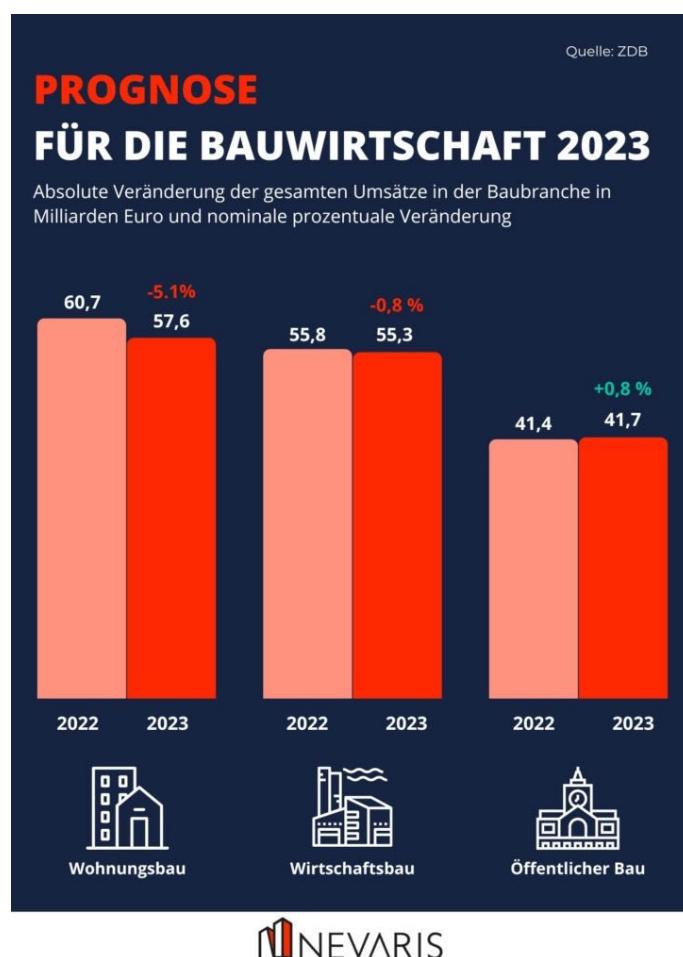


Abbildung 63: Prognose für die Bauwirtschaft 2023

Dies ist ein schon seit längerem bekanntes und sich immer mehr zusätzendes gesamtgesellschaftliches Problem. Als „Brandbeschleuniger“ erwies sich die Corona-Krise, die einen Heimwerker-Boom ausgelöst hatte und damit gleichzeitig die Lieferketten destabilisierte. In der Folge wurden Materialien zunehmend knapper verfügbar und dementsprechend stiegen die Preise. Seit Beginn des Kriegs in der Ukraine und den damit verbundenen Sanktionen gegen Russland, stiegen zudem die Gaspreise und die

Sorge vor einem Versorgungsengpass wird größer. Dies wiederum hat zu einem Anstieg der nachgefragten Energieberatungen und einer Nachfrage nach nicht-fossilen Heizungsanlagen sowie Handwerkerleistungen für deren Installation geführt. Das Handwerk sieht sich 2022 mit den folgenden vielfältigen Herausforderungen konfrontiert.

Laut der Prognose für die Bauwirtschaft 2023, welche einen Rückgang der Umsätze in der Baubranche voraussagt, der verstärkt den Sektor „Wohnungsbau“ betrifft sowie einer Umfrage, welche die Entwicklungen aufzeigt, durch welche die Bauindustrie 2022 und 2023 voraussichtlich beeinflusst wird. Nach der nachfolgenden Umfrage liegt „Nachhaltiges Bauen“ knapp über 25% und die Thematik „Energieeinsparung / Energieeffizienz“ weit unter 25%. Dominiert wird die Umfrage von den Themenfeldern wie z.B. „Fachkräftemangel“, „Materialmangel & Lieferengpässe“, sowie „Erhöhte Materiapreise“:

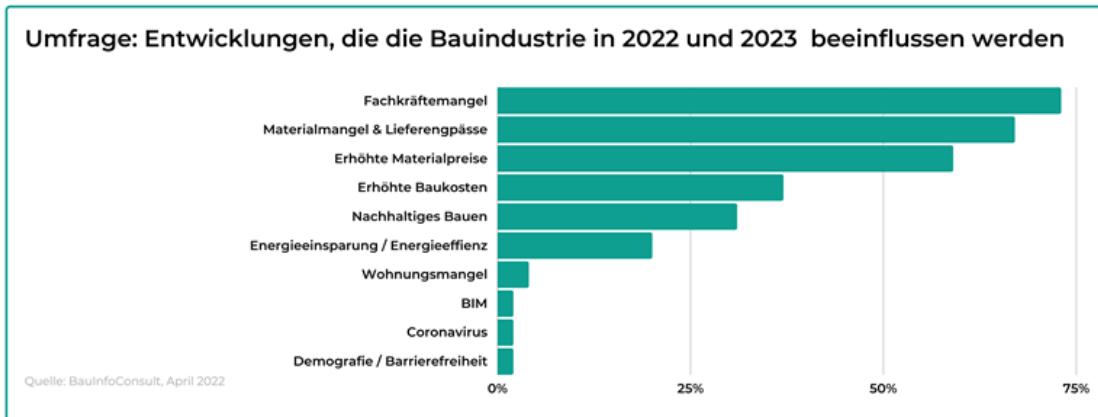


Abbildung 64: Umfrage Bauindustrie [140]

Berechnung der Sanierungskosten mit der SBSC

Für die Berechnung der Kosten der Sanierung wurden verschiedene Durchschnittswerte recherchiert, von denen wiederum der Mittelwert je Maßnahme zur Berechnung verwendet wird. Die verwendeten Datenquellen sind der Energieberater Carsten Herbert [141], CO₂ Online [142], Dr. Klein Immobilienfinanzierung [143] und Effizienzhaus-online [144]. Mit der entsprechenden Schnittstelle, können diese Werte auch in die SBSC mit einfließen:

Mögliche Sanierungsmaßnahmen	Empfohlene Maßnahmen	Auswahl der Maßnahmen				
		Empfehlung	Umsetzungswunsch	ungefähre Kosten	Förderung (BEG)	Verursachtes CO ₂
Dämmung Außenwand	Ja	Ja	Ja	25.901 €	5.180 €	3,6 t
Dämmung oberste Geschosdecke	Nein	Nein	Nein	- €	- €	0,0 t
Dämmung Kellerdecke unterseitig	Nein	Nein	Nein	- €	- €	0,0 t
Dämmung Kellerdecke oberseitig	Ja	Ja	Ja	4.250 €	850 €	1,2 t
Spitzdach inkl. neuer Eindeckung	Ja	Ja	Ja	20.063 €	4.013 €	1,7 t
Flachdach inkl. neuer Eindeckung	Nein	Nein	Nein	- €	- €	0,0 t
Fensteraustausch	Ja	Ja	Ja	15.625 €	3.125 €	5,8 t

Abbildung 65: Berechnung der Sanierungskosten

Umweltbelastung durch die Sanierung

In der Diskussion um energetische Sanierungsmaßnahmen und den hierdurch erzielbaren ökologischen Nutzen werden die durch Produktion und Installation der Anlagen/Bauprodukte verursachte Umweltbelastungen häufig nicht mit einbezogen. Dies wird häufig mit proportional geringer Relevanz begründet. Nach der DHZ (Deutsche Handwerkszeitung) schneidet die sanierte Bestandsimmobilie im Bereich Nachhaltigkeit besser ab. Die Gründe liegen hier im Erhalt der Bausubstanz und in der Verlängerung der Lebensdauer des Gebäudes. Hinzukommt, dass keine weitere Versiegelung von Grünflächen erfolgt. Thomas Billmann, Modernisierungsberater von der Bausparkasse Schwäbisch Hall spricht deshalb von "Recycling, die das Klima entlastet". Der Endenergieverbrauch ließe sich dadurch um bis zu

80 Prozent reduzieren. Wie viel Energie und CO₂ sich genau durch eine Sanierung einsparen lassen, hängt laut Billmann vom Zustand des Gebäudes ab. [145]

Bei der Herstellung eines Bauteils wir die Umweltbelastung wie folgt quantifiziert. Einerseits sind die benötigten Ressourcen und emittierten Schadstoffe weitgehend bekannt. Andererseits pflegt das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) die ÖKOBAUDAT-Datenbank. Darin sind für viele Baustoffe unter anderem die folgende beiden Werte gelistet:

- „**Primärenergieaufwand**: Hierbei geht es um den „nicht erneuerbaren“ Anteil. Dies ist die zur Herstellung eines Produkts benötigte Energie, die beispielsweise aus fossilen Brennstoffen sowie Kernenergie gewonnen wurde.**Treibhaus[gas]potenzial**: Dieser Wert beschreibt die Menge der während der Produktion freigesetzten Treibhausgase uns ist deshalb besonders klimarelevant. Bei nachwachsenden Rohstoffen kann dieser Wert negativ sein. Die ist für den Klimaschutz positiv, weil es bedeutet, dass durch das Wachstum der Ausgangsstoffe mehr CO entzogen wurde, als bei der anschließenden industriellen Verarbeitung zugeführt wurde.“ [146]

Diese Angaben sind für die meisten Baustoffe im *Ubakus* hinterlegt:

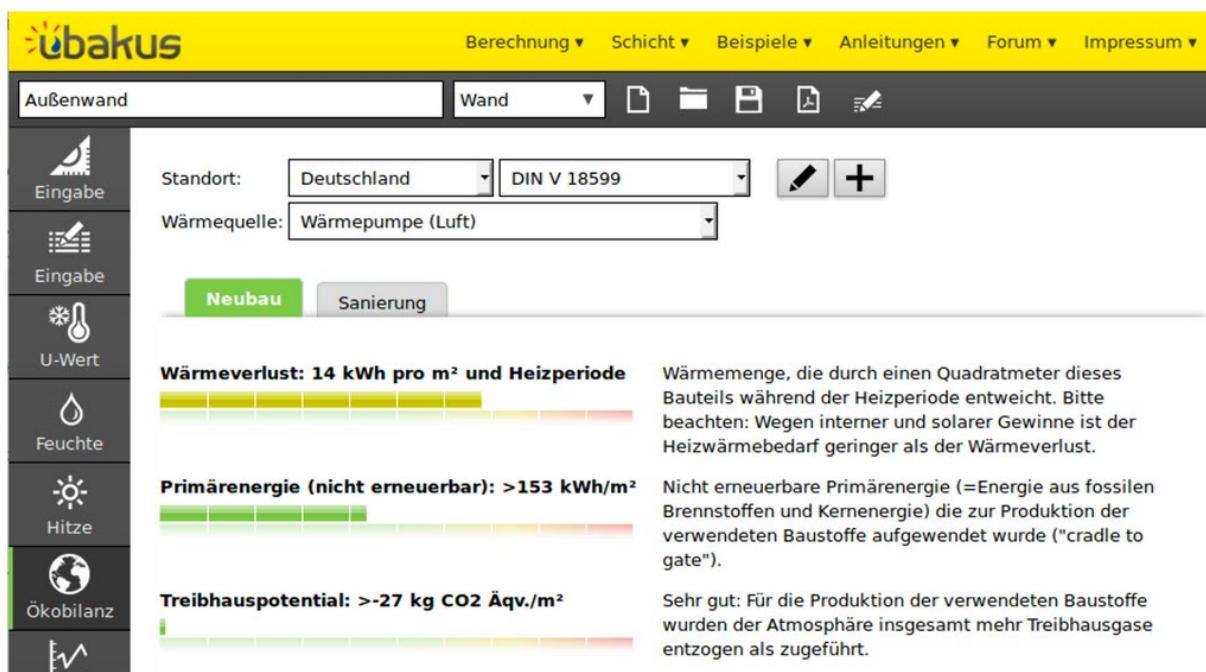


Abbildung 66: Ubakus

In der SBSC kann diese Kennzahl ebenfalls Berücksichtigung finden. Hierdurch kann in der Auswertung neben der wirtschaftlichen auch eine ökologische Amortisationszeit ausgegeben werden, sowie die in Zusammenhang mit der CO₂-Bepreisung anfallenden Kosten. Diese könnte mit der SBSC – im Falle ihrer Weiterentwicklung – ebenfalls geleistet werden.

Vermeidung von Umweltbelastung durch CO₂-Einsparung

Wie auch im ökonomischen Kontext hängt die vermiedene Umweltbelastung (CO₂-Emissionen) direkt von der Menge der eingesparten Energie sowie von der alten und der neuen Heiztechnik ab. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von den CO₂-Vermeidungskosten. Lauf Definition umfassen Vermeidungskosten die Kosten von Treibhausgasen und oder von Schadstoffen jene Kosten, die für die Reduktion einer festgelegten Luftschaadstoffmenge gegenüber einem Referenzsystem anfallen. [147] Grundsätzlich können laut Statista [148] den unterschiedlichen Heizungsarten die folgenden CO₂-Emissionen zugeordnet werden. Bund und Länder haben sich im Dezember 2019 im Vermittlungsverfahren darauf geeinigt den CO₂-Preis ab Januar 2021 auf zunächst 25 Euro/Tonne festzulegen. [149] In der folgenden Tabelle sind die Felder der fossilen Heizungssysteme (Öl, Gas etc.) mit rot unterlegt, die erneuerbaren Referenz-Heizungssysteme sind mit grün unterlegt und die hybriden Heizungssysteme,

wo der Einsatz fossiler Energieträger nicht ausgeschlossen werden kann, sind mit gelb unterlegt. Der Einfachheit halber sollen die CO₂-Vermeidungskosten in der folgenden Beispielrechnung durch einen reinen Vergleich zum Referenzsystem hergeleitet werden. Diese Berechnung könnte auch ins CS-Tool integriert werden und dort könnten auch noch weitere Variablen einbezogen werden, wie z.B. die Investitionskosten:

Das Umweltbundesamt berechnet für die CO₂-Kompensation einen Wert von **30€/tCO₂** [150].

Tabelle 17: Die verschiedenen Heizungsarten und ihre CO₂-Emissionen [151]

Heizungsart	tCO ₂ /kWh	Preis tCO ₂
Öl	0,266	7,98€
Gas	0,201	6,03€
Pellets	0,036	1,08€
Holz	0,027	0,81
Strom	0,732	21.96€
Nah-/Fernwärme	0,280	8,4€

Die CO₂-Vermeidungskosten stellen sich im Vergleich fossiler Energieträger und (Öl) und erneuerbarer Energieträger bezogen auf eine Tonne wie folgt dar:

Tabelle 18: Feststellung der CO₂-Vermeidungskosten [152]

Fossiles Heizsystem	Preis €	Regeneratives Heizsystem	Preis €	Vermeidungskosten €
Öl	7,98€	Pellets	1.08€	6,90€

Bei einem Einfamilienhaus rechnet man mit einem durchschnittlichen **Heizöl-Verbrauch** von 15 Liter Heizöl pro Quadratmeter und Jahr – inklusive Warmwasser. [153] Für ein 160qm großes Einfamilienhaus wären das (160qm x 15l =) 2.400l. Pro Liter beträgt der Heizwert beim Heizöl 9,8 kWh, also (2.400l x 9,8kWh =) 23.520kWh.

Aktuelle Berechnung des Umweltbundesamtes (UBA) zeigen, dass die Erzeugung einer Kilowattstunde aus Öl in Deutschland 266g CO₂ verursacht. [154] Das Einfamilienhaus mit einem Verbrauch von 23.520kWh emittiert damit (23.520kWh x 0,266kgCO₂) **6256,32kgCO₂/Jahr** also **6,2t/Jahr**.

Gegenübergestellt wird mit **Pellets** eine regenerative Energiequelle als Referenzsystem. Man rechnet allgemein, dass im Verbrauch 1 l Heizöl 2 kg Pellets entspricht. [155] Also bei 15 Liter Heizöl wären das 30kg Pellets. Man braucht also 30kg Pellets pro Quadratmeter und Jahr – inklusive Warmwasser. Bei 160qm wären das (160qm x 30kg=) 4.800kg. 1kg Pellets entspricht 4,9 kWh. Das wären also (4.800kg x 4,9 kWh=) 23.520kWh pro Quadratmeter und Jahr. Das Einfamilienhaus emittiert damit (23.520kWh x 0,036kgCO₂) **846,72kgCO₂/Jahr** also **0,846t/Jahr**

Tabelle 19: Feststellung der CO₂-Minderung und der CO₂-Vermeidungskosten [156]

	Einfamilienhaus (160qm) mit Ölheizung	Einfamilienhaus (160qm) mit Pelletheizung	CO ₂ -Minderung / CO ₂ -Vermei- dungs-kosten
CO ₂ -Emission/Jahr:	6,2t	0,85t	5,35t
CO ₂ -Kompensationskos- ten = 30€/t	186€	25,5€	160,5€

Bei einer Pellets-Heizung im Vergleich zu einer Ölheizung werden bezogen auf den oben genannten Beispielfall 5,35t weniger CO₂-Emissionen emittiert. Die CO₂-Vermeidungskosten liegen daher bei 160,50€ im Jahr wenn das Haus mit Pellets anstatt mit Öl beheizt wird.

Die Lenkungswirkung der CO₂-Bepreisung

Eine ambitionierte CO₂-Bepreisung über den Emissionshandel gilt als wichtiger Hebel zum Erreichen der gesetzlichen Klimaziele im Gebäude- und Verkehrsbereich. Die CO₂-Bepreisung trägt zur Wirtschaftlichkeit der Klimaschutzmaßnahmen bei und sichert durch eine verbindliche Emissionsobergrenze die Zielerreichung ab. Im Gebäudesektor ergibt sich eine Minderungslücke von 11 Mio. Tonnen CO₂ zu den Klimazielen 2030. Angenommen, dass alle Einsparungen bei Heizstoffen der Haushalte und des GHD-Sektors dem Gebäudesektor zuzuordnen sind, dürften sich bei einem CO₂-Preis von 60 Euro/Tonne CO₂ im Jahr 2030 Emissionsminderungen von 12,5 Mio. Tonnen CO₂ ergeben. Nach diesen Berechnungen könnten die Ziele im Gebäudesektor 2030 voraussichtlich erreicht werden. Aufgrund den Abgrenzungsschwierigkeiten bei den Sektor-Definitionen und den Prognoseunsicherheiten ist eine definitive Aussage jedoch schwierig. [157]

Seit dem Jahr 2000 zahlen Stromkunden die Ökostromumlage (EEG-Umlage) zusätzlich zu ihrem Strompreis. Mit diesen Einnahmen sollte der Ausbau der erneuerbaren Energien gefördert werden. Im Rahmen der Entlastungspakete der Bundesregierung ist die Umlage zum 1. Juli aber auf null herabgesetzt worden – befristet bis zum 31. Dezember 2022. [158]

Eine Absenkung der EEG-Umlage um 0,625 Cent pro kWh könnte im Jahr 2030 zu einem Strommehrverbrauch von bis zu 10,6 PJ führen, das sind 0,5 Prozent des Bruttostromverbrauchs. Unter der Annahme heutiger Emissionsintensitäten bedeutet dies zusätzliche CO₂-Emissionen in Höhe von 1,4 Millionen Tonnen CO₂. Politische Maßnahmen zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Strom-Mix können jedoch helfen diese unerwünschten Nebenwirkungen abzufedern. [159]

Die nachfolgende Abbildung zeigt die CO₂-Emissionsminderungen durch CO₂-Bepreisung von Kraft- und Heizstoffen und Senkung der EEG-Umlage, 2020 – 2030:

In Millionen Tonnen CO₂

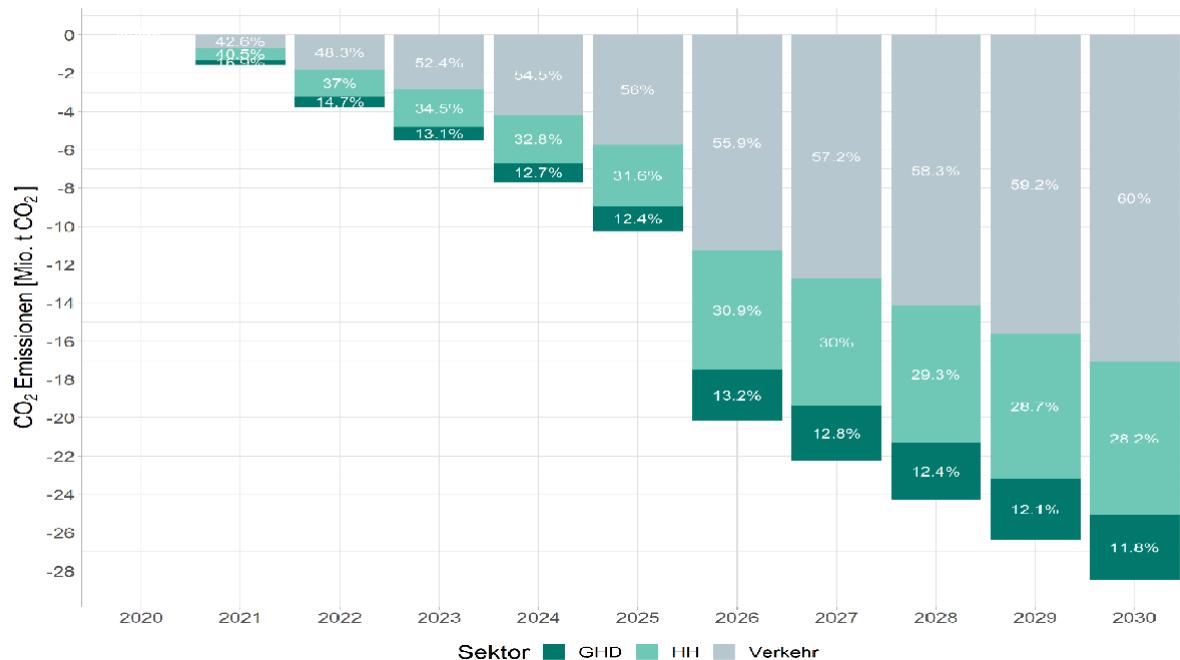


Abbildung 67: CO₂-Emissionsminderungen durch CO₂-Bepreisung von Kraft- und Heizstoffen und Senkung der EEG-Umlage, 2020 – 2030

Gewerbliche Eigentümer können durch eine energetische Sanierung ihrer Immobilien dazu beitragen CO₂ zu vermeiden und auch ihre Energiekosten (Strom, Heizöl, Gas) senken. Eine Möglichkeit bestünde beispielsweise darin, eine Photovoltaik-Anlage zu installieren. Jedoch hängt die genaue Ersparnis von CO₂-Emissionen durch eine PV-Anlage von mehreren Faktoren ab. Einerseits von der Sonneneinstrahlung, aber andererseits auch vom jeweiligen Strommix vor Ort. Generell gilt, dass in Deutschland für die Herstellung einer Kilowattstunde (kWh) Strom aus Kohle- und Gasverstromung und Atomkraftwerken durchschnittlich 800g CO₂ emittiert werden. [163]

Eine durchschnittliche Photovoltaik-Anlage mit 3 KW Leistung, welche 3.000 kWh Haushaltsstrom im Jahr produziert, spart somit jährlich 2.400 kg CO₂ ein. (Da diese nach der Produktion kein CO₂ mehr produziert. Rechnung: 3.000 kWh x 0,8 kg = 2.400 kg).

Die in diesem Projekt entwickelten Tools können daher dazu beitragen aufzuzeigen wo monetäre Einsparpotenziale liegen und wie sich die Freisetzung von klimaschädlichem CO₂ verhindern lässt. Während es das Einzelgebäude bzw. WEG-Tool ermöglicht die CO₂-Einsparung durch eine PV-Anlage oder Wärmepumpe für den jeweiligen Eigentümer klar zu beziffern, kann mit dem CrowdSourcing-Tool die CO₂-Einsparung auf Quartierebene ermittelt werden. Das SBSC-Tool ermöglicht es schließlich, alle Daten zu strukturieren und ökonomisch aufzuarbeiten, um so die beste Handlungsoption für das jeweilige Gebäude oder Quartier ableiten zu können.

4.5.3.8 Relevante Funktionen und Betreibermodelle für digitale Tools & Geschäftsmodelle

Relevante Funktionen

Bevor ein Geschäftsmodell entwickelt werden kann soll zunächst aufgezeigt werden welche Betreibermodelle es für die digitalen Tools gibt. Dazu soll zunächst auf die relevanten Funktionen der digitalen Tools eingegangen werden:

Tabelle 20: Relevante Funktionen für die Entwicklung und das Betreiben digitaler Tools

Entwicklung:	Software/Anwendung/Programm wird entwickelt und programmiert. Dieser Schritt kann von spezialisierten Unternehmen übernommen werden. Die Entwicklung im Projekt war eine Kooperation der Forschungszentren ZGG, zafh.net und ZNWM der HFT Stuttgart.
Betrieb:	Das Betreiben der Software kann grundsätzlich von der Entwicklung unabhängig stattfinden. In der Praxis wird Software aber nicht selten vom gleichen Unternehmen entwickelt und betrieben. Aufgrund fehlender finanzieller Ressourcen ist es für die HFT nicht möglich, die entwickelten Tools über das Projektende hinaus zu betreiben. Daher werden im Folgenden verschiedene Betreibermodelle diskutiert. Möglich wäre bspw. der Betrieb durch eine öffentliche Stelle oder ein kommerzielles Unternehmen (bspw. Start-up).
Administration:	Die Administration kann grundsätzlich vom Betreiber aber auch von anderer Stelle übernommen werden. Hierbei geht es u. a. darum Zugriffsrechte zu verwalten (bspw. Accounts für neue Nutzer anzulegen). Eine sinnvolle Zuteilung dieser Rolle in unterschiedlichen Konstellationen wurde ebenfalls im Projekt durchdacht.
Nutzung:	Software kann für verschiedenste Nutzen und Nutzergruppen bestimmt sein. Grundsätzlich kann die Administration auch direkt vom Nutzer übernommen werden. Die im Projekt entwickelten digitalen Tools befassten sich mit dem Gebiet der energetischen Gebäudesanierung und wurden daher speziell für, in diesem Zusammenhang relevante Akteure (Kommunen, Gebäudeverwaltungen, Eigentümer etc.), entwickelt.

Betreibermodelle

Die im Projekt entwickelten digitalen Tools sollen der Mobilisierung von Energieeffizienzmaßnahmen im Quartier dienen. Wünschenswert ist in diesem Zusammenhang, dass die Tools möglichst langfristig ihren Nutzen entfalten können. Um dies zu ermöglichen, müssen Wartung und Betrieb der Software über das Projektende hinaus gewährleistet werden. Ohne ein entsprechendes Nachfolgeprojekt haben Hochschulen (bzw. generell drittmittefinanzierte Projekte) hierfür in der Regel keine personellen und finanziellen Ressourcen. Um die Wahrscheinlichkeit einer Anwendung in der Praxis zu erhöhen, wurden daher zu den Tools passende Betreiber- und Finanzierungsmodelle analysiert. Erkenntnisse aus verschiedenen Austauschformaten und Praxisworkshops mit Bürgern aus Ludwigsburg, Banken (ING, KfW), Softwareherstellern (eco2nomy, Axcorn, alphazetta) sowie Städten und Kommunen (u.a. Ludwigsburg, Städteregion Aachen) wurden hierbei mit einbezogen.

Die relevantesten Modelle

Crowdsourcing (bezahlen mit Daten): Der Begriff Crowdsourcing setzt sich zusammen aus den Worten Crowd (engl. Menge) und Sourcing (engl. Beschaffen). Der Grundgedanke ist hierbei, dass sich viele Menschen mit kleinen Dateneingaben beteiligen, um so insgesamt eine große Menge an Daten zu sammeln. Im Gegenzug bzw. als Anreiz für die Dateneingabe steht den Nutzern ein kostenloser Service zur Verfügung. Tech-Unternehmen, wie Google oder Facebook, nutzen dieses Modell und verdienen am Verkauf der Daten an Werbetreibende bzw. Nutzen die Daten für die Optimierung des eigenen Angebots. Für die Nutzer ist der jeweilige Service kostenlos. Die Tatsache, dass beide genannten Unternehmen auf diese Weise inzwischen mit zu den größten Unternehmen der Welt zählen, zeigt, dass das System funktioniert, wenn der gebotene Service einen entsprechend hohen Mehrwert bietet, der Hemmnisse wie Datenschutzbedenken o. ä. überkompenziert.

Lizenzgeschäft, Lizenz plus Service: Software, die mittels Lizenzgeschäft betrieben wird, umgeht den einmaligen Kauf. Stattdessen wird eine regelmäßige Zahlung (i. d. R. monatlich oder jährlich) fällig. Softwarehersteller bzw. -betreiber generieren so regelmäßige Einnahmen und Kunden haben immer ein aktuelles Produkt, für das sie nur so lange bezahlen müssen, wie sie es tatsächlich benötigen. Es ist zu beobachten, dass der Trend in vielen Bereichen zu diesem Modell geht – ein bekanntes Beispiel ist Microsoft Office 365. Die weltweit meistgenutzte Bürosoftware ist seit einigen Jahren nicht mehr nur zum einmaligen Kauf, sondern auch als eine Art Abonnement erhältlich. Auch bei Antivirensoftware ist dieses Modell weit verbreitet, da hier die Aktualität von besonders hoher Relevanz ist.

Freemium: Das Kunstwort Freemium setzt sich aus Free (engl. kostenlos) und Premium zusammen. Gemeint ist, dass ein Tool (bzw. bestimmte Funktionen eines Tools) kostenlos genutzt werden können und zusätzlich gibt es eine kostenpflichtige Premium-Version mit entsprechend größerem Funktionsumfang. Das Freemium-Modell ist bei Smartphone-Apps aber auch bei verschiedenen Desktop-Anwendungen verbreitet. Ein Beispiel hierfür ist Adobe – der Reader ist kostenlos, weitere Funktionen können gegen Aufpreis direkt in der Anwendung hinzugekauft/freigeschaltet werden.

Open Source: Auch für den Betrieb mittels Open Source gibt es in der Praxis erfolgreiche Beispiele. Das wohl bekannteste ist hierbei die Wissensplattform Wikipedia, bei der prinzipiell jeder registrierte Nutzer Einträge erstellen und bestehende Einträge aktualisieren kann. Das Prinzip ist gegenseitige Wissensvermittlung und gleichzeitig die gemeinschaftliche Validierung der bestehenden Inhalte. Nicht selten ist Open Source-Software auch als kostenfrei nutzbare Alternative zu bestehenden kostenpflichtigen Angeboten verfügbar. Zu nennen in diesem Zusammenhang wären das Betriebssystem Ubuntu sowie die Bürosoftware Open Office. Grundsätzlich kann bei diesen Anwendungen jeder zur Weiterentwicklung beitragen – durch die freiwillige Entwicklerarbeit ist es aber auch möglich, dass die Nutzung für alle kostenfrei zur Verfügung steht. Wer allerdings die Betreiber unterstützen will, kann auf freiwilliger Basis und nach eigenem Ermessen für die Nutzung bezahlen.

Tabelle 21: Übersicht über die Betreibermodelle

Betreibermodelle	CrowdSourcing-Tool (Quartier)	WEG-Tool (Einzelgebäude)	SBSC-Tool (Finanzierung&Nachhaltigkeit)
Crowdsourcing (bezahlen mit Daten) Google, Facebook	-passend, da Datensammeln das Ziel ist -Nutzung gratis für Eigentümer, Stadt/Kommune betreibt Tool/bezahlt den Betrieb	-passend, da Datensammeln das Ziel ist -Nutzung gratis für Eigentümer, Verwaltung betreibt Tool/bezahlt den Betrieb	-eher ungeeignet, da Datensammeln nicht Zweck des Tools ist
Freemium (kostenlose Basisversion, kostenpflichtige Zusätze) Adobe, Apps	-möglich, bspw. Simulation Ist-Zustand frei, Spezifikationen/ Simulation von Potenzialen kostenpflichtig	-möglich bspw. durch Beschränkung der Anzahl der Wohneinheiten oder Funktionen	-möglich, bspw. Einschränkung der berechenbaren Objekte, Sanierungsoptionen oder ausgegebenen Kennzahlen
Lizenzgeschäft (Bezahlen für die Nutzung) MS Office, Virenschutz	-Stadt/Kommune nutzt Tool gegen Lizenzgebühr, Lizenzgeber übernimmt Wartung und Betrieb	-Verwaltung nutzt Tool gegen Lizenzgebühr, Lizenzgeber übernimmt Wartung und Betrieb	-passend, da so Aktualität (bspw. Veränderung BEG etc.) gewährleistet werden können -gängiges Modell im B2B Bereich
Öffentlicher Betreiber BMW K Sanierungsrechner	-höheres Vertrauen, größere Nutzungswahrscheinlichkeit bei Gebäudeeigentümern -verwendete 3D Gebäudedaten werden auch öffentlich erhoben (LGG in BW)	-eher nicht sinnvoll, da für den Datenaustausch zwischen Verwaltung und Eigentümern gedacht -Stadt/Kommune kann Kosten übernehmen und Verwaltungen zur Nutzung mobilisieren	-könnte zentral durch den Bund oder eine öffentliche Stelle bereitgestellt werden (vgl. KfW Tool)
Open Source (kostenlose Nutzung, freiwillige Mitarbeit/Spende) Wikipedia, Open Office	-möglich aber fraglich, ob Aktualität gewährleistet werden kann -Datenschutz ist zu klären	-möglich aber fraglich, ob Aktualität gewährleistet werden kann -Datenschutz ist zu klären	-eher ungeeignet und unüblich im B2B Bereich

Vom Betreibermodell zum Geschäftsmodell

Beim Betreibermodell kauft der Kunde nicht das Produkt, sondern zahlt lediglich für die Nutzung des Produkts – er kauft also eine erzeugte Leistung. Eine Partei wird sozusagen zum Dienstleister. Der Betreiber sorgt dafür, dass das Produkt einsatzfähig ist und der Kunde genau die Leistung erhält, die er braucht. Es wird daher nur die zur Verfügung gestellte Leistung abgerechnet.[164] Dieser Umstand muss auch im Geschäftsmodell Berücksichtigung finden.

Geschäftsmodellentwicklung

Im Zuge der Entwicklung des Geschäftsmodells sollen die folgenden drei Fragen näher erläutert werden:

- a) Welcher **Wert** bzw. **Nutzen** wird für den Kunden geschaffen (**Value Proposition**)?
- b) Wie, d.h. auf welche **Art und Weise**, wird dieser Wert erschaffen? (**Geschäftsstruktur**)?
- c) Wie wird damit Geld verdient (**Ertragsmodell**)?

Zu a) lässt sich sagen, dass das Wertversprechen beinhaltet, dass der Kunde (hier: Kommunen, gewerbliche Eigentümer:innen) einen Überblick über die Kennzahlen (Key Performance Indicators, KPIs) der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der geplanten energetischen Sanierungsmaßnahme erhält. Diese kann z.B. die Einsparung von Energie betreffen oder eine CO₂-Einsparung bzw. damit einhergehende CO₂-Vermeidungskosten enthalten – also den Betrag, der für die Reduktion einer bestimmten CO₂-Menge gegenüber einer Referenztechnologie anfällt. [165] Die SBSC enthält also nicht nur die monetäre Einsparung, sondern auch die Nachhaltigkeitswirksamkeit der Maßnahme. Die Tools (CS, WEG, SBSC) fungieren damit nicht nur als eine wichtige Informationsquelle und Entscheidungshilfe für energetische Sanierungsmaßnahmen, sondern auch als „Treiber“ für energetische Sanierungsmaßnahmen.

Die im Projekt entwickelten digitalen Tools sollen der Mobilisierung von Energieeffizienzmaßnahmen im Quartier dienen. Wünschenswert ist in diesem Zusammenhang, dass die Tools möglichst langfristig ihren Nutzen entfalten können. Um dies zu ermöglichen, müssen Wartung und Betrieb der Software über das Projektende hinaus gewährleistet werden. Um die damit verbundenen Kosten tragen zu können, ist die kommerzielle Nutzung in irgendeiner Form unumgänglich, denn wie bereits erwähnt haben Hochschulen (bzw. generell drittmittelfinanzierte Projekte) in der Regel keine personellen und finanziellen Ressourcen, die über das Projektende hinausreichen. Diese Fakten müssen sowohl in der Value Proposition als auch im Geschäftsmodell Berücksichtigung finden.

Die a) **Value Proposition** bzw. das Wertangebot erklärt wie dieser Wert (für den Kunden) zustande kommt. In diesem Zusammenhang wird auch auf bestehende „Hemmisse“ („Pains“) und „Treiber“ („Gains“) hingewiesen. Zum Abbau von Hemmissen gehört beispielsweise, dass die Oberfläche der „Tools“ so nutzerfreundlich wie möglich gestaltet wird. Als „Treiber“ können Informationsveranstaltung

gesehen werden oder eine verbesserte Oberfläche der Tools. Im Bereich „Customer Jobs“ geht es darum das Produkt (die „Tools“) aus Kundensicht zu betrachten [161].

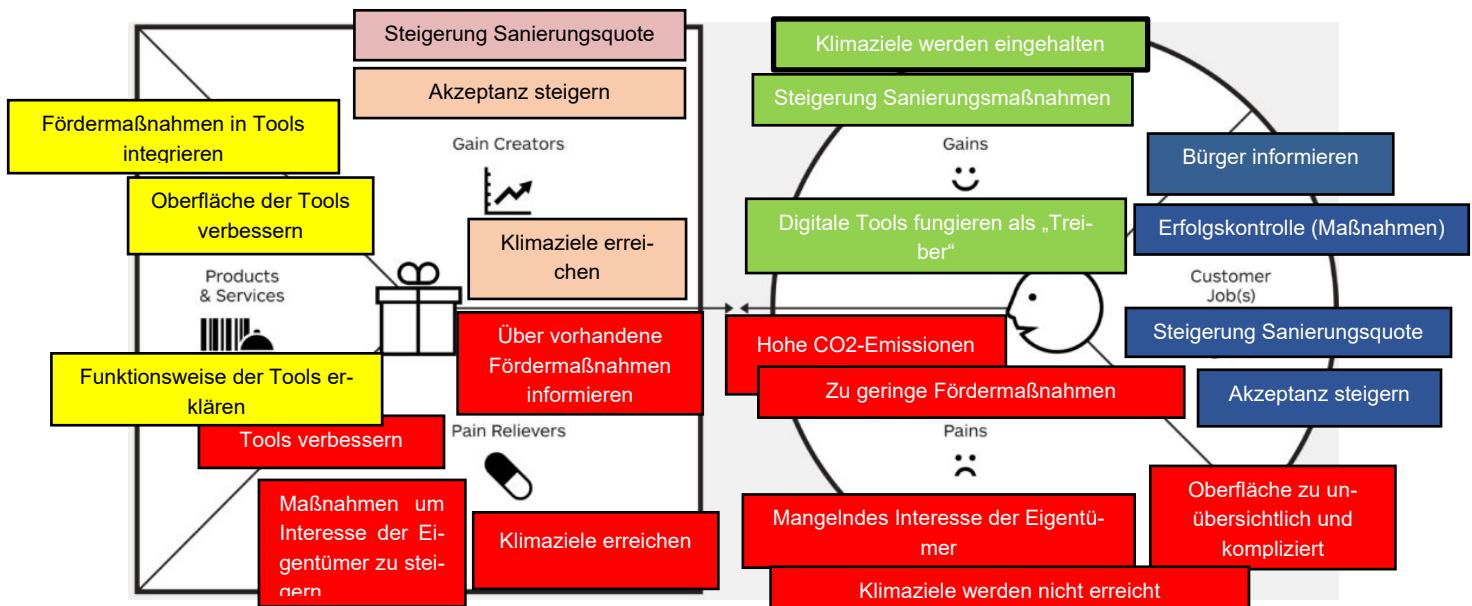


Abbildung 68: Value Proposition (Wertangebot) (Eigene Darstellung basierende auf Strategyzer [165])

Die Punkte **b)** und **c)** sollen im Geschäftsmodell mit Hilfe des Business Model Canvas näher erläutert werden:

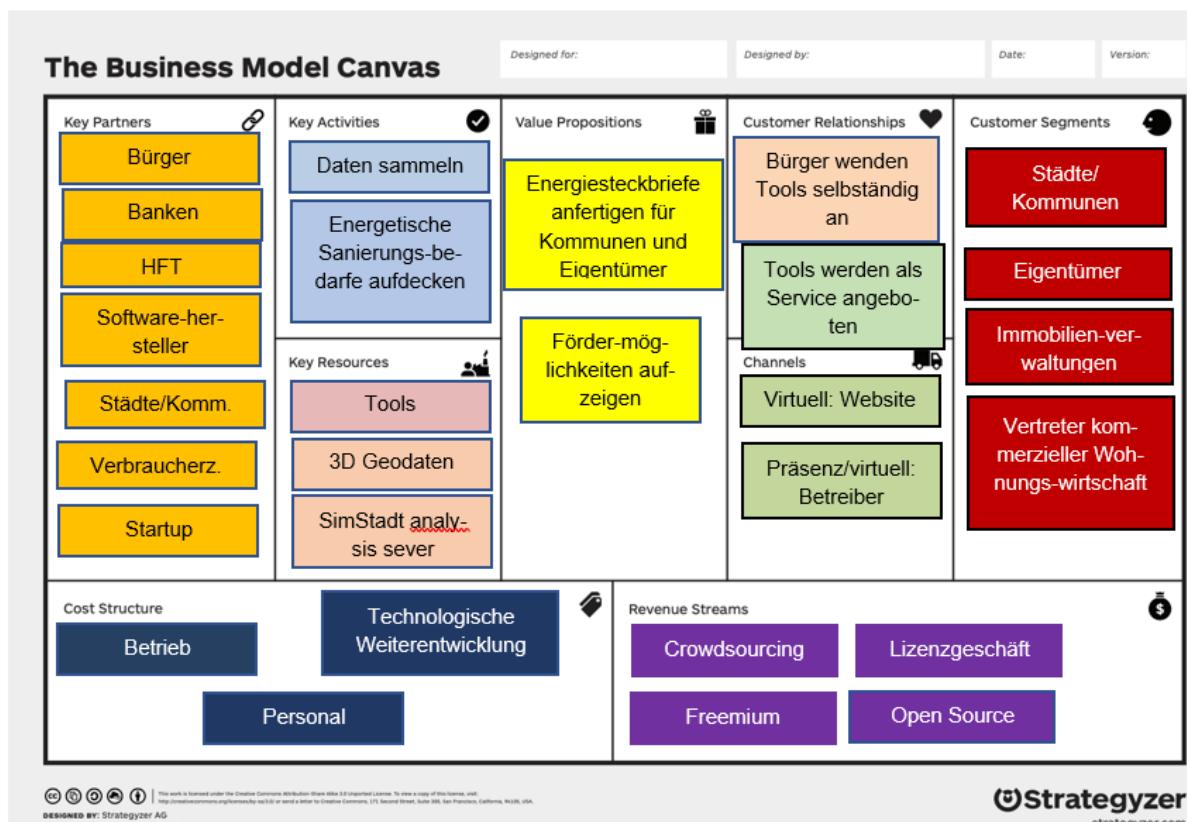


Abbildung 69: Business Model Canvas (Geschäftsmodell) (Eigene Darstellung basierend auf Strategyzer) [168]

Öffentlicher vs. Privater Betreiber

Digitale Tools, die einen positiven Nutzen für die Gesellschaft stiften, können von gewinnorientierten Unternehmen aber auch längerfristig mit öffentlichen Mitteln finanziert werden. In der Regel geschieht dies über eine beauftragte dritte Partei, die sich um Betrieb und Wartung kümmert und hierfür von öffentlicher Stelle bezahlt wird. In einem solchen Modell kann die Toolnutzung kostenfrei angeboten werden, was die Nutzungswahrscheinlichkeit erhöht.

Eignung der beschriebenen Betreibermodelle für die im Projekt entwickelten Tools

Das im Projekt entwickelte **CrowdSourcing-Tool** ist auf das Sammeln von Daten ausgelegt und trägt das Betreibermodell „Crowdsourcing“ im Namen. Es soll Städten und Kommunen dazu dienen, Daten zu Gebäuden und Quartieren einfacher sammeln zu können. Um diese Daten erhalten zu können, müssen Städte und Kommunen das Tool betreiben (lassen) und können dann die eigene Beratungs- bzw. Klimaschutzstrategie danach anpassen. Wenn die Kommune nicht in der Lage ist das Tool selbst zu betreiben bzw. mit dem Betreiben des Tools möglichst wenig Aufwand haben möchte, wäre ein Lizenzgeschäft eine naheliegende Option. Hierfür müsste sich ein Betreiber(-unternehmen) finden, welches dann gegen Gebühr Lizenzen an Kommunen vergibt. Für öffentliche Betreiber spricht das Ergebnis einer entsprechenden Umfrage von albau plus welches zeigt, dass Kommunen als Betreiber ein größeres Vertrauen der Bürger hätten als ein kommerzielles Unternehmen. Die Rolle des Administrators sollte ebenfalls von der Kommune übernommen/vergeben werden. Gebäudeeigentümer könnten das Tool in dieser Variante kostenfrei nutzen, was laut Befragung eine Notwendigkeit für größere Nutzerzahlen wäre. Als Anreiz zur Nutzung erhalten Eigentümer die Simulationsergebnisse und damit Informationen zum eigenen Gebäude kostenlos. Ob dieser Anreiz jedoch groß genug ist, um hohe Nutzerzahlen zu erreichen, kann nur ein Praxistest mit dem fertiggestellten Tool zeigen. Bei Präsentationen in verschiedenen Entwicklungsstadien war ein gewisses Interesse zu vernehmen; zahlreiche Feedbackvorschläge wurden gesammelt und in die Weiterentwicklung mit einbezogen.

Das **Einzelgebäude** bzw. **WEG-Tool** dient ebenfalls dem Sammeln von Gebäudedaten, welche in diesem Fall spezifisch für die Bedürfnisse von Immobilienverwaltungen aufbereitet werden. Grundsätzlich könnte das WEG-Tool nach demselben Prinzip, wie zuvor für das CrowdSourcing-Tool beschrieben wurde, betrieben werden. Hier wäre der Betrachtungsbereich jede WEG für sich, in der wiederum Verwaltung und Wohnungseigentümer gemeinsam die Crowd darstellen. Der Nutzenanreiz bestünde in diesem Fall darin, dass eine Bewertung des energetischen Zustands der eigenen Wohnung sowie des gesamten Gebäudes kostenfrei zur Verfügung gestellt wird. Zu betreiben wäre das Tool in diesem Fall entweder von der Verwaltung (vor allem bei größeren Wohnungsverwaltungen denkbar) oder alternativ von einer öffentlichen Stelle, die das Tool den Verwaltungen zur Verfügung stellt. Die Rolle des Administrators sollte auf jeden Fall bei der Immobilienverwaltung liegen. Zeigt sich eine entsprechende Zahlungsbereitschaft bei Immobilienverwaltungen, ist auch der kommerzielle Betrieb durch ein unabhängiges Unternehmen denkbar. Dieses würde das WEG-Tool Betreiben, Weiterentwickeln und als Lizenzgeschäft oder Freemium-Modell für die Immobilienverwaltungen zur Verfügung stellen. Möglich ist hierbei auch, dass Stadt oder Kommune die Lizenz erwirbt und den Verwaltungen zur Verfügung stellt.

Grundsätzlich können beide Tools auch Open Source bereitgestellt und betrieben werden. Für eine entsprechende Aktualität ermittelten Ergebnisse wäre allerdings eine regelmäßige Anpassung der Hintergrunddaten notwendig. Es ist schwierig abzuschätzen, ob diese Arbeit im erforderlichen Umfang aufgebracht werden würde.

Das Thema des Internen Workshops lautete wie folgt: Gibt es Geschäftsmodell-Typen, die grundsätzlich eher nachhaltig sind bzw. als nachhaltiger bezeichnet werden können als andere?

Nachhaltige Geschäftsmodelle

Nachhaltige Geschäftsmodelle sind nicht absolut nachhaltig, denn auch für sie gilt der Grundsatz der Wirtschaftlichkeit, wenn sie langfristig am Markt überleben möchten. Sie sind lediglich im Vergleich zu

anderen Geschäftsmodellen nachhaltiger. Das bedeutet, dass sie ökonomische, ökologische und soziale Ziele besser erfüllen als andere Geschäftsmodelle. [169] Im Projekt vorliegenden Projekt bestand das Ziel ebenfalls darin das zu entwickelnde Geschäftsmodell auf seine Nachhaltigkeit zu überprüfen. Diese Zielsetzung wird nicht zuletzt auch in der hier entwickelten SBSC Rechnung getragen.

Interner Workshop: Bewertung der Nachhaltigkeit der Geschäftsmodelle

Um die Nachhaltigkeitsbewertung der Geschäftsmodelle im Kontext der Bau-/Energiewende durchzuführen, war ursprünglich ein interaktiver Workshop mit relevanten Stakeholdern aus den betreffenden Bereichen angedacht. Dieser konnte allerdings aufgrund der Covid-19 Kontaktbeschränkungen nicht durchgeführt werden, sodass die Bewertung bei einem HFT-internen Workshop auf Grundlage der zuvor definierten Kriterien durchgeführt wurde. Dieser interne Workshop wurde von Elias Schwemin geplant und durchgeführt.

Als Grundlage diente der „Business Model Navigator“ der Uni St. Gallen (55+ Geschäftsmodelle). Herausgegriffen wurden 20 Geschäftsmodelle, die im Zusammenhang mit Erneuerbaren Energien bzw. der Energie bzw. Wärmewende am Markt zu finden waren:



Abbildung 70: St. Galler Business Model Navigator [170]

Der Begriff „nachhaltig“ wurde von Elias Schwemin so definiert, dass die ökologische und soziale Dimension jeweils gesondert diskutiert wurden. Die Zielsetzung bestand darin die 20 Geschäftsmodelle hinsichtlich ihres Potenzials für „nachhaltige“ Start-ups in den Bereichen Strom (Energiewende), Wärme (Wärmewende) und Sanierung (Gebäudesanierung – also Senkung des Gebäudeenergiebedarfs (Dämmung)) zu diskutieren. Konkrete Ideen bzw. Diskussionspunkte wurden direkt in die Zellen aufgenommen. Außerdem wurde vermerkt, ob es sich nach Mehrheitsmeinung um „nachhaltige“ Geschäftsmodelle handelt: + heißt positiv bzw. (gut) geeignet, - heißt negativ und 0 bedeutet neutral. Da bei dem internen Workshop nur vier Personen anwesend waren gab es teilweise auch ein unentschieden. Ein wichtiger Punkt ist die Anwendung des Geschäftsmodells. Im Workshop wurde versucht die Grundidee des Geschäftsmodells zu bewerten. Diese wird im Business Model Navigator jeweils gut beschrieben (das wurde denn jeweils immer zum Start der Diskussionsrunde zu jedem Modell verlesen). Hätte es ein Nachfolgeprojekt gegeben, hätte dies als Grundlage für eine Weiterentwicklung gedient.

Zu den als vielversprechend eingestuften Modellen wurden zusätzlich Praxisbeispiele aus den Bereichen Strom- oder Gebäudewärme und Gebäudesanierung gesammelt d.h. Unternehmen, die mit den jeweiligen Geschäftsmodellen im entsprechenden Markt aktiv sind.

Der Workshop wurde mit einem Whiteboard durchgeführt. Die Ergebnisse sind auf dem auf dem nachstehenden Foto dargestellt sowie auf in der nachfolgenden Tabelle in digitalisierter Form.

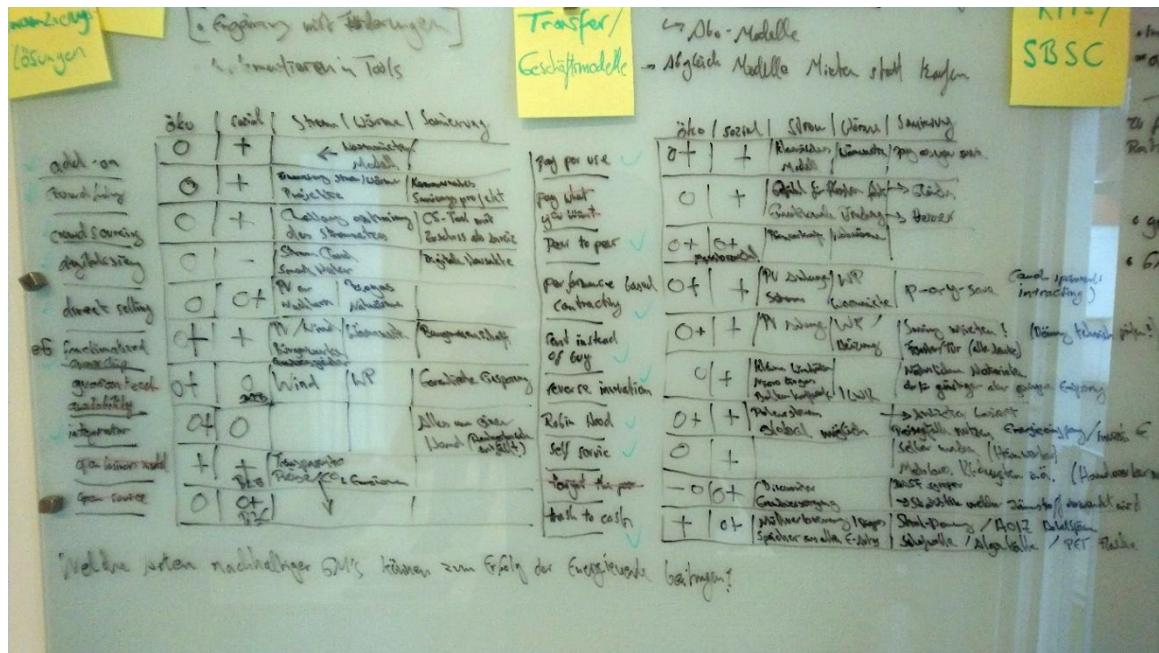


Abbildung 71: Bewertung der Nachhaltigkeit der Geschäftsmodelle im Workshop (Workshop-Ergebnisse / Whiteboard) [171]

Tabelle 22: Bewertung der Nachhaltigkeit der Geschäftsmodelle im Workshop (Digitalisierte Version / Eigene Darstellung) [172]

Name		Ökologisch	Sozial	Strom	Wärme	Sanierung
Add-on	Günstiger Grundpreis, Zusatz teurer	Neutral negativ	Positiv		Warmmieten-Modell	
Crowdfunding	Sammlung vieler kleiner finanzieller Beiträge	Neutral	Positiv	Finanzierung von Projekten		Kommunales Sanierungsprojekt
Crowdsourcing	Sammlung vieler kleinteiliger Daten zu einer Datenbank	Neutral	Positiv	Auslastung des Stromnetzes		CS-Tool
Digitalisierung		Neutral	Negativ	Strom Cloud, Smart meter		Digitale Hausakte
Direct selling	Auslassen von Zwischenhändlern	Neutral	Neutral bis positiv	Quartiers PV	Biogas Nahwärme	
Fractionalized ownership	Gemeinschaftseigentum	Neutral bis positiv	Positiv	PV-Genossenschaft/ Bürgerwerke	Wärmenetz	Baugenossenschaft
Integrator	Integration mehrerer Funktionen in eins	Neutral bis positiv	Neutral			Alles aus einer Hand
Pay per use	Bezahlt wird nur das, was tatsächlich genutzt wird	Neutral bis positiv	Positiv	Klassisches Modell	Gas-/ Wärmenetz	Pay as you save
Peer to peer	Direktverkauf von Privat zu Privat	Neutral bis positiv	Neutral bis positiv	Pionierkraft	Nahwärme	
Performance based contracting		Neutral bis positiv	Positiv	PV Anlage	WP Warmmiete	P-a-y-save
Rent instead of buy	Mieten statt kaufen	Neutral bis positiv	Positiv	PV Anlage	WP / Heizung	Sanierung mieten?
Reverse innovation	Einfache Auslegung einer eigentlich komplexen Technik	Neutral bis positiv	Positiv	Kleine Windräder, Microbiogas, Balkonkraftwerke	KWK	Natürliche Materialien, dafür günstiger aber geringe Einsparung
Robin Hood	Investition (von einem Teil) des Gewinns als Spende	Neutral bis positiv	Positiv	Polarstern		Preisgefälle nutzen Energieeinsparung /€
Self service	Selber machen	Neutral	Positiv			Heimwerker Einfaches Klicksystem
Trash to cash	Upcycling	Positiv	Neutral bis positiv	Müllverbrennung/ Biogas, Speicher aus alten E-Autos		Dämmung aus Stroh/Holz/Altkleider/Schafwolle

In der folgenden Tabelle wurde untersucht welche Modelle sich am besten für die Umsetzung eignen. Hierbei wurde insbesondere auf die Dimensionen „Ökologie“ und „Soziales“ Bezug genommen:

Tabelle 23: Begründung der Bewertungen [173]

Modell	Ökologie	Soziales
Add-on	Risiko von Mehrkonsum durch günstigen Grundpreis	Erschwinglich, bedarfsgerecht
Crowdfunding	Mehrheitsmeinung nicht unbedingt ökologisch sinnvoll	Teilhabe möglich, ermöglicht von Gemeinschaft befürwortete Projekte
Crowdsourcing	Daten sind nützlich für Energiewende, Risiko von hohem Stromverbrauch	Datenschutz problematisch, Teilhaberprinzip
Digitalisierung	Kann Energiewende unterstützen, steigert Energieverbrauch	Befördert Ungleichverteilung, ermöglichte Teilhabe, nicht digital-affine werden abgehängt
Direct selling	Weniger Transportemissionen	Teilhabe, Mehrgewinn für kleine Direktverkäufer, Große können kleine übergehen
Fractionalized ownership	Positiv für Akzeptanz der Energiewende	Beteiligung, gerechte Verteilung von Gewinnen
Integrator	Kann Energiewende voranbringen, mehr Effizienz	Großunternehmen im Vorteil
Pay per use	Weniger Geräte, regt zu Sparsamkeit an, kann zu egl. zu teurem Konsum führen	Teilhabe, bedarfsgerecht
Peer to peer	Keine Verschwendungen von eh da Energie, Motivation zum Anlagenbau bzw. Erzeugung	Für mehr Menschen erschwinglicher, Teilhabe
Performance based	Anreiz für bessere Performance von Anlagen, Anreiz für effiziente Nutzung	Beteiligung möglich
Rent	Infrastruktur und Geräte werden gespart, Mehrnutzung	Beteiligung möglich
Reverse innovation	Weniger Materialverbrauch, geringere Erzeugung	Beteiligung möglich, günstige Preise
Robin Hood	Nutzung von Preisgefälle für höheren Einspareffekt	Umverteilung von Gewinnen
Self service	Gewünschter Effekt fraglich, da Fachgerechte Aufführung nicht gewährleistet ist	Positiv, da günstiger, Gemeinschaftseffekt
Trash to cash	Materialeinsparung	Teilhabe, günstigere Preise

Anwendung nachhaltiger Geschäftsmodelle in der Praxis

Im Bereich Gebäude ist das Modell „Mieten statt Kaufen“ nicht neu – im Gegenteil: Der Kauf einer eigenen Immobilie ist in der Regel die größte Investition im Leben. Es gibt verschiedenen Gründe die grundsätzlich für oder gegen den Erwerb von Eigentum sprechen. Gerade in Deutschland entscheiden sich viele dagegen – Deutschland gilt als Miernation. Hier spielen Themen wie der Wunsch nach mehr Flexibilität (häufigerer Wechsel des Jobs/Wohnorts) und bedarfsgerechtem Wohnen aber auch die Scheu vor Verbindlichkeiten und Verantwortung eine entscheidende Rolle.

Mieten kann hier gleichzeitig ein durchaus großer Problemlöser aus ökologischer Perspektive sein. (Flächenbedarf ist enorm gestiegen, da man das eigene Haus nicht verkaufen will) Kaufen/Verkaufen ist bei

Immobilien immer mit deutlich höherem finanziellem Aufwand verbunden als ein Wechsel des Mietverhältnisses und somit ein Hemmnis. Häuser werden auf den maximalen Flächenbedarf (meist nur für wenige Jahre) ausgelegt und dann einen langen Zeitraum von nur noch 1-2 Personen bewohnt. Nicht zuletzt dieser Umstand führte in den vergangenen Jahren zu einem kontinuierlichen Anstieg der Wohnfläche pro Person in Deutschland, was sozial und ökologisch als problematisch einzustufen ist [174].

Aber auch beim Mieten besteht das Problem, dass häufig alte Mietverträge deutlich günstigere qm-Preise haben und sich der Umzug in eine bedarfsgerechtere Immobilie dann finanziell nicht lohnt.

Ein weiterer relevanter Sachverhalt ist in diesem Zusammenhang das Mieter-Vermieter-Dilemma. Während hohe Heizkosten vom Mieter zu tragen sind, müsste ein Heizungsaustausch vom Vermieter bezahlt werden. Der Anreiz durch den Wechsel auf eine effizientere Anlage Heizkosten zu sparen entfällt auf diese Weise. Gleichzeitig hat der Mieter nur über das Nutzerverhalten einen geringen Einfluss auf die entstehenden Heizkosten. Hier setzt die neue Aufteilung des CO₂-Preises an: Je besser der energetische Standard des Mietobjekts, desto relevanter ist das Nutzerverhalten für die entstehenden Heizkosten, in denen auch der CO₂-Preis inkludiert ist. Daher ist im Falle hoher energetischer Standards auch ein größerer Teil des CO₂-Preises vom Mieter zu tragen – bei Immobilien mit schlechtem Energiestandard ist hingegen ein größerer Teil vom Vermieter zu tragen, um diesen zur energetischen Sanierung zu motivieren.

Warmmietenneutralität (Mietmodell Schweden)

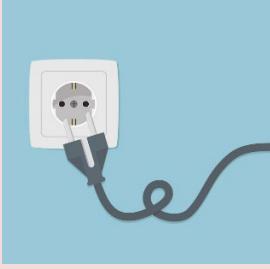
Seit einigen Jahren gewinnen so im Gebäudebereich neben Mietmodellen auch Contracting, pay-per-use und weitere Modelle an Relevanz. All diese Modelle vereint der Vorteil, dass die Kunden nicht die Hürde einer hohen Einmalinvestition haben, bevor sie überhaupt den Nutzen genau kennen. Auch werden den Kunden als lästig empfundene Themen wie Instandhaltung etc. abgenommen und die Modelle sind flexibel und bedarfsgerecht in Ausgestaltung und Umfang. [166]

Neue Marktmodelle in der „sharing energy economy“: „Energy Sharing“

Das Marktmodell des „Energy Sharing“ ermöglicht es den Mitgliedern von Erneuerbare-Energien-Gemeinschaften den gemeinschaftlich erzeugten Strom unter bestimmten Voraussetzungen über das regionale Verteilnetz vergünstigt nutzen. [175]

Allerdings ist der Begriff „Energy Sharing“ als Bestandteil der europäischen Erneuerbare-Energien-Richtlinie [176] in Deutschland noch nicht eindeutig definiert. Zentral sind bei diesem Ansatz die zeitgleiche Nutzung und die räumliche Nähe. Noch zu diskutieren ist die maximale Distanz zwischen Verbraucher:innen und Anlagen.[177] In der Potenzialabschätzung wird zur Gewährleistung der räumlichen Nähe eine maximale Distanz von 25km angenommen. Wird mehr Strom benötigt als selbst erzeugt, bezieht die EE-Gemeinschaft diesen von anderen Elektrizitätsversorgungsunternehmen oder kauft den Reststrom anderweitig zu. [178]

Tabelle 24: Energy Sharing [179] (Eigene Darstellung in Anlehnung an Bürgerwerke)

Energy Sharing	
Inklusives Instrument für breite Partizipation	Anreize für erzeugungsgerechten Verbrauch
 <p>Energy Sharing erlaubt es allen Bürger:innen von Ausbau Erneuerbarer Energien durch verringerte Stromkosten in ihrer Region zu profitieren. Dies ist selbst dann möglich, wenn sie nur über geringe Mittel für eine finanzielle Beteiligung oder kein eigenes geeignetes Dach verfügen.</p>	 <p>Zusammen mit Smart Metern schafft Energy Sharing einen Anreiz für Bürger:innen ihre Wallboxen, Wärmepumpen und Speicher zu Zeiten hoher Wind- und Solarstromerzeugung zu nutzen.</p>

Kalkulationsbeispiel: Energy Sharing

Energy Sharing kann bei den beteiligten Bürger:innen zu einer Einsparung von mehr als 10% ihrer Stromkosten beitragen:

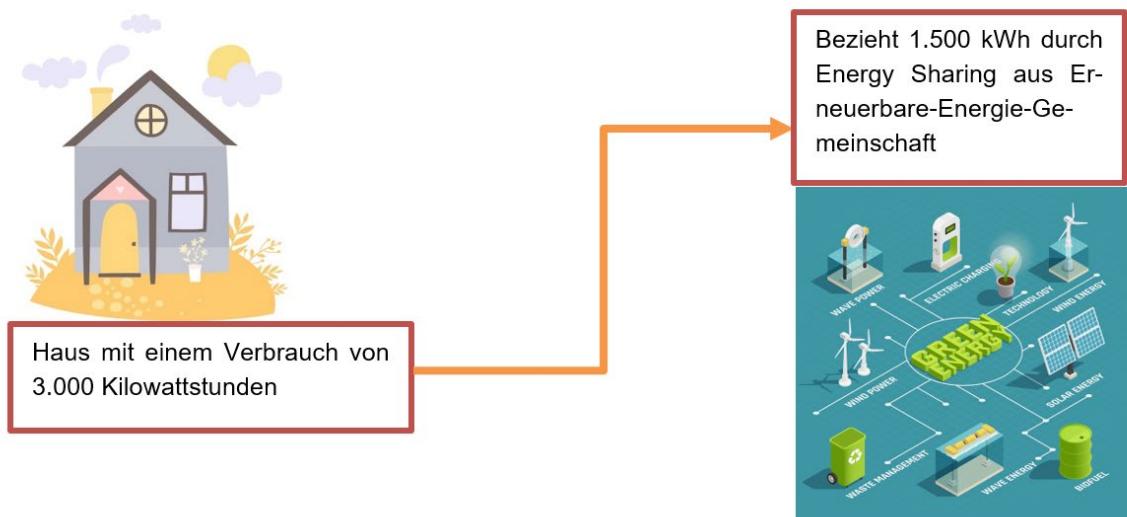


Abbildung 72: Kalkulationsbeispiel Energy Sharing (Eigene Darstellung in Anlehnung an Bürgerwerke)

Angenommene Vergünstigungen: Stromerzeugung

- Keine Stromsteuer (-2,5Ct/kWh) aufgrund – ausgeweiteter – räumlicher Nähe
- Keine netzgebundenen Umlagen, d.h. KWK-Umlage, §19 StromNEV Umlage, Abschaltbare Umlage und Offshore-Netzumlage (-1,09 Ct/kWh)
- Verringerte Netzentgelte für flexible Lasten (im Mittel -3,25kCt/kWh)
- Verringerte Konzessionsabgabe für Sondervertragskunden (im Mittel -1,39 Ct/kWh)

Damit liegt die Einsparung für über Energy Sharing aus regionaler EE-Erzeugung bezogenen Strom bei $1.500 \text{ kWh} \times 7,78 \text{ Ct/kWh} = 116,70 \text{ €}$, was etwa 12% der mittleren Stromkosten (2021) entspricht.[180]

Wärmeerzeugung

Während sich rund um das Thema PV/Stromerzeugung ein ganzer Strauß an verschiedenen Geschäftsmodellen etabliert hat, ist die Situation beim Thema Wärmeerzeugung deutlich überschaubarer. Hier gibt es die Möglichkeiten:

- Heizung leasen
- Contracting (nur die genutzte Energie wird bezahlt) => Gewährleistet effiziente kostengünstige Energieerzeugung
- Heat as a service (kontinuierlich zu erbringender Leistung => Daher eher ungeeignet für Einzelmaßnahmen (Positiv: Servicegeber hat Interesse an En. Effizienz, wenn °C Level gemindert wird)
- Bosch (Blue Movement) vermietet Kühlschränke und Wärmepumpen etc.
- Finanzierung Gebäudesanierung:
- Grundbuchschuld (Hauskäufer übernimmt Schulden oder Sanierung wird mit Energirechnung gemeinsam beglichen (pay as you save) => Wer gibt Sicherheit? (=> Banken?) [173]

4.5.3.9 Finanzierung

Finanzierungsalternativen für private und gewerbliche Eigentümer:innen

Um die Sanierungsquote zu erhöhen werden von Bund, Ländern sowie Städten und Kommunen Fördermöglichkeiten und Zuschüsse bereitgestellt. Aufgrund der Vielzahl an Förderungs- und Finanzierungsmöglichkeiten sollen einige herausgegriffen und erklärt werden. [191]

Förderung und Zuschüsse

Generell gibt es in Deutschland eine Vielzahl von Förderungen und Zuschüssen, die zur Umsetzung energetischer Sanierungsmaßnahmen motivieren sollen, indem sie die Wirtschaftlichkeit solcher Maßnahmen verbessern. Zu unterscheiden ist hierbei zunächst zwischen staatlichen und anderweitigen Mittelgebern, wobei sich die staatlichen Mittelgeber in Bund, Länder sowie Städte und Kommunen unterteilen. Neben den staatlichen Mittelgebern existieren auch Stiftungen, Vereine und Unternehmen, die finanzielle Anreize für energetische Sanierungsmaßnahmen anbieten. Aufgrund der Vielzahl an verfügbaren Förderungen wird im Folgenden nur ein Ausschnitt der durch unterschiedliche Mittelgeber zur Verfügung gestellten Förderungen und Zuschüsse dargestellt.

Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude

Die höchsten Förderbeträge können Antragsteller in der Regel durch den Bund erhalten. Über die bundeseigene Kreditbank für Wiederaufbau (KfW) können Kredite mit Zuschuss bezogen werden (näheres siehe Kapitel Finanzierung der Sanierung – KfW Kredit). Der Zuschuss kann aber auch ohne Kredit in gleicher Höhe über das Bundesamt für Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantragt werden. Gefördert werden im Wohngebäudebereich sowohl Komplettsanierungen auf die verschiedenen KfW-Effizienzhausniveaus aber auch diverse Einzelmaßnahmen (siehe Tabelle). Unterschiedliche Maßnahmen werden hierbei mit unterschiedlichen Fördersätzen bezuschusst, wobei steht die Obergrenze von 60.000€ pro Wohneinheit und Jahr zu beachten ist. Die geförderten Einzelmaßnahmen und die zugehörigen Fördersätze wurden während des Projektzeitraums mehrmals angepasst. Die seit der letzten Änderung aus dem Juli 2022 gültigen Bedingungen, sowie die bis dahin gültige Bedingungen sind in der Tabelle dargestellt:

Tabelle 25: Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude [192] - Förderungen bis 07.2022 / Änderungen ab 08.2022

	bis 07.2022	ab 08.2022
Biomasse (Pelletkessel)	35%	10%
Biomasse Innovationsbonus	40%	25%
Gas-Brennwertkessel	0%	0%
Gas-Brennwertkessel (Renewable Ready)	20%	0%
Luft-Wärmepumpe	35%	25%
Sole-Wärmepumpe (Fläche)	35%	30%
Sole-Wärmepumpe (Tiefe)	35%	30%
Austausch Ölheizung	10%	10%
Austausch Gas (älter 20 Jahre), Nachtspeicher, Kohle		10%
Fenster	20%	15%
Fassade	20%	15%
Bonus Sanierungsfahrplan (iSFP) (ab 08.2022 nur noch Fenster und Fassade)	5%	5%
Obergrenze (pro Wohneinheit)	60.000 €	60.000€
Fachplaner	50%	50%

Im aktuellen Stand der SBSC sind lediglich die Fördermaßnahmen für ausgewählte Einzelmaßnahmen integriert, da dies recht einfach umsetzbar war. Die Sanierung auf sogenannte Effizienzhausniveaus wird stärker gefördert, es ist jedoch nicht möglich auf Grundlage der wenigen erfassten Eingaben Rückschlüsse auf ein evtl. erreichbares Effizienzhausniveau zu ziehen. In der Praxis ist es relevant zu unterscheiden, ob es sich um einen direkten Zuschuss (BAFA) oder einen Tilgungszuschuss (KfW) handelt. In der SBSC wird aber beides an dieser Stelle einbezogen, da dies für die Berechnungslogik im Tool sinnvoller ist.

a. Steuerersparnis

Neben den Förderungen und Zuschüssen gibt es für den Fall, dass selbstbewohntes Eigentum saniert wird, über das Bundesministerium für Finanzen (BMF) [193] die Möglichkeit, 20% der entstandenen Kosten über drei Jahre von der Steuer abzusetzen. Diese Variante setzt ein entsprechend hohes Einkommen voraus, kann im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Fördermöglichkeiten jedoch als unbürokratischer eingestuft werden und ist nicht mit anderen staatlichen Förderprogrammen kombinierbar. Da es nicht möglich ist mit den abgefragten Daten die Voraussetzung der steuerlichen Absetzbarkeit im spezifischen Fall zu überprüfen, wurde diese Variante bislang nicht in die SBSC integriert.

b. Länder

Neben den Bundesmitteln stellen auch einzelne Bundesländer Fördermittel bereit, die alternativ oder ergänzend beantragt werden können. Voraussetzung ist dabei in der Regel, dass sich die betreffende Immobilie im entsprechenden Bundesland befindet. Die weiteren Bedingungen unterscheiden sich jeweils und können bei den jeweiligen Fördermittelgebern wie bspw. der NRW Bank [194] oder dem Land Baden-Württemberg [195] nachgelesen werden. Die auf Länderebene verfügbaren Förderungen wurden bislang nicht in die SBSC integriert.

c. Städte und Kommunen

Auch auf Ebene der Städte und Kommunen sind unterschiedlichste Förderungen verfügbar, die in der Regel für Immobilien in der entsprechenden Region beantragt werden können. Hierbei handelt es sich zumeist um deutlich kleinere Beträge im Vergleich zu den Förderungen auf Bundes- und Landesebene, allerdings sind diese im Normalfall zusätzlich verfügbar. In diesem Zusammenhang stellt die Stadt Stuttgart [196] über das „Energiesparprogramm“ Zuschüsse für energetische Gebäudesanierung orientiert an der jeweiligen Bauteilfläche zur Verfügung. Werden ökologische Baustoffe verwendet kann ein Ex-

trabonus beantragt werden, den es so auf Bundes- oder Landesebene im Bereich der Einzelmaßnahmen nicht gibt. Da die Voraussetzungen der auf Stadt- bzw. Kommunalebene verfügbaren Förderungen sehr spezifisch sind, konnten diese nicht in die SBSC implementiert werden.

d. Sonstige

Neben den staatlichen gibt es auch weiter Fördermittelgeber wie Stiftungen, Vereine oder Unternehmen. Bspw. bietet die EWS Schönau GmbH [197] ihren Kunden einen Zuschuss für die Installation einer PV Anlage oder einer Optimierung der Heizung. Auch solche Förderungen wurden aufgrund der Komplexität ihrer Anforderungen innerhalb des Projekts nicht in die SBSC integriert. Eine Übersicht über alle Fördermöglichkeiten kann über den Fördermittelcheck von CO₂ online [198] eingesehen werden.

1.1.1.1. Finanzierung der Sanierung

Um energetische Sanierungen zu finanzieren kommen verschiedene Finanzierungsinstrumente infrage. Im Vorgängerprojekt wurden diese sehr umfänglich aufbereitet dargestellt. Im Folgenden werden die gängigsten Finanzierungsmethoden, wie sie von Einzeleigentümern genutzt werden können, dargestellt und die diese in die SBSC implementiert wurden.

a. Eigenkapital

Durch die anhaltende Niedrigzinsphase ist es in aller Regel sinnvoll, zunächst vorhandenes Eigenkapital für die Finanzierung der Sanierung einzusetzen. Geld, das auf dem Konto liegt, wird durch die Inflation (Höhe der Inflation der letzten Jahre entwertet – ab einer gewissen Höhe sind in manchen Fällen zusätzlich Strafzinsen fällig. Das Investieren in alternative Anlagemöglichkeiten verspricht zwar teilweise Erträge, die die Inflation ausgleichen (können), allerdings nicht selten unter Inkaufnahme des Risikos eines Totalverlusts (Stichwort: Nachrangdarlehen). Die energetische Gebäudesanierung ist aus dieser Perspektive eine sinnvolle Investition, da eine langfristige Rendite, in Form von Energieeinsparung, garantiert ist und das Objekt an „Wert gewinnt“. Die Energieeinsparung kann zwar auch niedriger ausfallen, als die Zins- bzw. Dividendenerträge von anderen Anlageformen, allerdings entfällt das zuvor beschriebene Risiko des Totalverlusts. Wie hoch die Energieeinsparung in der Regel ausfällt, wird in Kapitel „Einsparung von Energiekosten“ diskutiert.

Tabelle 26: Ein Überblick über die Inflationsrate in Deutschland seit 2005 [199]

Ein Überblick über die Inflationsrate in Deutschland seit 2005:	
Inflationsrate Deutschland in Prozent	Jahr
7,9	2022
3,1	2021
0,5	2020
1,4	2019
1,8	2018
1,5	2017
0,5	2016
0,5	2015
1,0	2014
1,4	2013
2,0	2012
2,1	2011
1,1	2010
0,3	2009
2,6	2008
2,3	2007
1,6	2006
1,5	2005

b. KfW Kredit

Die staatliche Kreditbank für Wiederaufbau (KfW) [200] stellt zum Zweck der energetischen Gebäudesanierung kostengünstige Kredite zur Verfügung. KfW Kredite enthalten einen Zuschuss (siehe Erhalt von Zuschüssen und Förderungen) und müssen daher nur zu einem Teil zurückgezahlt werden. Außerdem sind die Zinsen dieser Kredite in der Regel niedriger als bei vergleichbaren Kreditangeboten anderer Banken. Für das Beantragen eines solchen KfW Kredits sind Antragstellende jedoch auf eben jene Banken angewiesen, da das Beantragen bei der KfW direkt nicht möglich ist. KfW Kredite können nur über andere Banken beantragt werden, die diesen Kredit dann durchleiten und im Gegenzug eine Provision erhalten. Da hierzu keine Verpflichtung besteht und die Provision teils als nicht attraktiv genug eingestuft wird, werden KfW Kredite in der Praxis häufig nur in Kombination mit einem anderen Finanzierungsangebot der Bank angeboten, an dem die Bank dann entsprechend mehr verdient wodurch es für die Kunden entsprechend teurer ist. Da KfW Kredite aber auf 60.000 € pro Wohneinheit und Jahr beschränkt sind, wird nicht selten ohnehin ein Zusatzkredit benötigt.

Reicht der Förderhöchstsatz der KfW in Kombination mit den verfügbaren Eigenmitteln nicht aus, so gibt es verschiedenartige Varianten von Bankkrediten, um die verfügbare Summe aufzustocken. Da die unterschiedlichen Anbieter gleiche bzw. ähnliche Kreditvarianten unterschiedlich benennen, haben die folgenden Kapitel teilweise Doppelbenennungen.

Die folgende Abbildung zeigt einen Vergleich zwischen einem Bankkredit und einem KfW-Kredit:

	Kreditfinanzierung	Zinssatz in %	Tilgungsrate in %	mtl. Rate	Gesamtkosten des Laufzeit des Kredits in Jahren	
KfW Kredit (i.d.R. günstigste Finanzierungsvariante)	32.671 €	1,51	4	150,01 €	38.205,87 €	21,25
Verbleibender zu finanzierender Betrag	- €					
Bankkredit	- €	4	4	- €	- €	0,00

Abbildung 73: Vergleich Bankkredit und KfW-Kredit (Eigene Darstellung) [201]

c. Baudarlehen/Immobilienkredit

Bei dieser Kreditform ist von einem Zinssatz auszugehen, der zwar über dem der KfW, jedoch unter dem der folgenden Varianten liegt. Dies ist möglich, da beim Baudarlehen ein Grundbucheintrag vorgenommen wird, was der Bank im Falle der Zahlungsunfähigkeit des Kunden die Möglichkeit gibt, die Immobilie zu verkaufen und so die Kreditschuld zu begleichen. Da für den Grundbucheintrag ein Notar eingebunden werden muss, fallen beim Abschluss des Kredits vergleichsweise hohe Kosten an. Diese Kreditvariante wird gängiger Weise nur dann angeboten, wenn die Immobilie weitestgehend schuldenfrei ist. Durch die vergleichsweise hohen Abschlusskosten und niedrigen laufende Kosten ist diese Kreditform besonders zur Finanzierung größerer Beträge geeignet.

Da die Bank die Immobilie selbst als Sicherheit hat, können auch Menschen in hohem Alter noch einen solchen Kredit bekommen. Die Verwendung der Kreditsumme ist nicht zweckgebunden, kann also neben der Sanierung auch für jeden beliebigen anderen Zweck verwendet werden. Hauskäufer oder Bauherren gehören laut Dr. Klein Baufinanzierung zu den interessanten Kunden für eine Baufinanzierung, da sie in der Regel über ein höheres Eigenkapital verfügen als jüngere Menschen. Allerdings bedarf es einiger Sicherheiten, wie z.B. das eben genannte hohe Eigenkapital, eine Lebensversicherung, bezahlbare Raten, flexible Raten, Sondertilgungen. Weiterhin besteht die Möglichkeit einen KfW-Kredit zu beantragen. [180]

d. Sanierungskredit/Modernisierungskredit

Diese Kreditform ist im BGB (Bürgerliches Gesetzbuch) [202] unter §555b beschrieben. Hier heißt es, dass die Kreditsumme zweckgebunden ist für Maßnahmen, die eine Wertsteigerung der Immobilie erzielen. Der beim Baudarlehen/Immobilienkredit notwendige Grundbucheintrag und die in diesem Zusammenhang entstehenden Kosten entfallen bei dieser Kreditform und die gesamte Abwicklung ist unkomplizierter. Da die Bank hierdurch eine geringere Sicherheit hat, sind die Zinsen entsprechend höher. Somit eignet sich ein Sanierungskredit besonders zur Finanzierung kleinerer Beträge. Auch wenn kein

Grundbucheintrag vorgenommen wird, kann auch diese Kreditvariante nur von Immobilieneigentümern beantragt werden.

e. Zweckgebundener Ratenkredit

Zweckgebundene Ratenkredite sind eine weit verbreitete Finanzierungsform. Sie kommen nicht nur beim Kauf einer Immobilie vor, sondern auch beim Kauf eines Autos, einer Küche oder eines Smartphones. Es handelt sich hierbei um ein Annuitätendarlehen, bei dem die offene Forderung in regelmäßigen Raten getilgt wird. Die Konditionen dieser Darlehen besser als für ungebundene Kredite, da die Absicherung für den Kreditgeber besser ist. Wie es der Name bereits sagt unterliegen einer Zweckbindung, was bedeutet, dass das Kapital nicht beliebig verwendet werden darf, sondern nur für den vereinbarten Zweck. Der Finanzierungsgegenstand dient dabei in der Regel als Sicherheit für die Bank sollte es zu einem Zahlungsausfall kommen. Aus diesem Grund bestehen bei zweckgebundenen Ratenkrediten zu meist günstigere Konditionen als bei zweckungebundenen Darlehen. Die bekanntest Form des zweckgebundenen Kredits ist das Bauspardarlehen. Dieses kann sowohl für den Kauf oder Bau einer Immobilie als auch für Sanierungs- und Modernisierungsarbeiten genutzt werden. [181]

f. Umkehrhypothek

Die Umkehrhypothek (Reverse Mortgage) ist eine Form der Immobilienrente und eine besondere Form der Hypothek auf ein Haus oder eine Wohnung. Immobilienbesitzer können ihr Haus oder ihre Wohnung von einem Kreditinstitut beleihen lassen und erhalten dafür im Gegenzug einen Kredit, für den weder Zinsen noch Tilgung anfallen. Neben monatlichen Zahlungen oder einer Einmalzahlung erhalten die Eigentümer ein lebenslanges Wohnrecht für die Immobilie. Die Bank oder Versicherung erhält eine verbriefte Grundschuld als Sicherheit.

g. Immobilien Teilverkauf

Bei einem Teilverkauf wird nur ein Teil der Immobilie oder eines Grundstücks veräußert. Da die Immobilie nicht in ihrer Gesamtheit veräußert wird spricht man von dieser Art des Verkaufs auch als „Immobilienverrentung“. Der Eigentümer entrichtet eine Nutzungsgebühr und darf die Immobilie weiterhin nutzen.

h. Leibrente/Immobilienrente

Die echte Leibrente ist eine spezielle Form der Immobilienrente. Sie ist keine Zeitrente, denn sie wird lebenslang ausbezahlt. Damit besteht mit der Leibrente insbesondere für ältere Menschen eine Möglichkeit um das eigene Haus oder die eigene Wohnung zu Geld zu machen. Verbunden mit der lebenslangen Rente ist in der Regel ein lebenslanges Wohnrecht oder Nießbrauchrecht. Letzteres wird mit Abschluss der Immobilien-Rente im Grundbuch gesichert [185].

i. Mieten

Durch einen Mietvertrag wird ein Mieter verpflichtet dem Mieter den Gebrauch einer Sache während der Mietzeit zu erlauben. Im Gegenzug ist der Mieter verpflichtet das vereinbarte Entgelt (Miete) an den Vermieter zu entrichten. [186]

j. Leasing

Unter Leasing versteht man eine besondere Art der Investitions- und Konsumgütervermietung. Beim Finanzierungs-Leasing erfolgt die Vermietung durch spezielle Leasinggesellschaften für eine bestimmte, unkündbare Grundmietzeit. In dieser Zeit trägt der Leasingnehmer das Investitionsrisiko (Investition). [187]

k. (Wärme-)Contracting

Beim Wärme-Contracting wird ein Wärme-Contracting-Vertrag zwischen einem Contractingnehmer und einem Contractinggeber geschlossen. Lohnenswert sind solche Contracting-Verträge ab einer Wohnfläche von etwa 3.000 qm, es gibt aber auch schon Angebote mit für Einfamilienhäuser mit nur 200 qm Wohnfläche. Der Contractingnehmer bezahlt nur für die erbrachte Wärmeleistung. [188]

I. Heat as a Service (HaaS)

Beim Heat as a Service (HaaS) zahlt der Kunde seinen Energieversorger nicht mehr nach Kraftstoffeinheiten, wie z.B. Kilowattstunden oder Liter Heizöl, sondern für einen umfassenden Service zur Beheizung seines Hauses. [189]

m. Landesförderbanken

Neben bundesweiten Programmen, wie z.B. KfW und Bafa existieren viele verschiedene Fördermaßnahmen auf regionaler Ebene. [203] Zu den regionalen Förderinstrumenten gehören die Landesförderbanken.

Förderbanken verfolgen in der Bundesrepublik Deutschland das Ziel die Investitionstätigkeit zu fördern. Nahezu jedes Bundesland verfügt über eine Förderbank bzw. ein Landesförderinstitut. Dabei besteht die zentrale Aufgabe von Landesförderinstituten in der Förderung von Investitionen und Betriebsmitteln in dem jeweiligen Bundesland. Dabei geht es zumeist um die Unterstützung mit zinsgünstigen Darlehen. In der Regel wird das Geld in Verbindung mit Fördermitteln nur von einer Geschäftsbank ausbezahlt. Die Aufgabe von Fördermittelbanken besteht darin Sicherheiten oder Haftungsfreistellungen zu gewährleisten.

Der Ablauf zum Erhalt von Fördermitteln ist wie folgt:

Der Antragsteller geht mit dem Businessplan zu einer Geschäftsbank seiner Wahl, so z.B. der Hausbank. Wichtig ist hierbei, dass die Banken auch Firmenkundenkonten (Geschäftskunden) verwalten und mit den Fördermittelbanken zusammenarbeiten.

Bei der Bank wird dann das Konzept (Businessplan) vorgestellt und mitgeteilt wieviel Fremdkapital benötigt wird. In diesem Zusammenhang sollte dann auch darauf hingewiesen werden, dass die Absicherung des Darlehens in Verbindung mit einem Fördermittelprogramm erfolgen soll. Danach kann die Bank beim Fördermittelinstut einen Antrag stellen. Diese prüft die Unterlagen und erteilt die Bewilligung unter Empfehlung von Haftungsfreistellung, Zinssatz, Laufzeiten, tilgungsfreie Zeiten, etc. [204]

Ein Förderprogramm im Bereich Mietwohnungsfinanzierung kann wie folgt aussehen:

Tabelle 27: Unterschied Bundes- und Landesförderung

Förderinstitut und Förderbank des Bundes	Förderinstitute und Förderbanken der Länder
KfW Kreditanstalt für Wiederaufbau	Baden-Württemberg – L-Bank Bayern – Förderbanken Bayern (LfA) Berlin – Investitionsbank (IBB) Bremen – Aufbau-Bank (BAB) Hamburg – Investitions- u. Förderbank (IFBHH) Hessen – Wirtschafts- und Infrastrukturbank (WIBank) Mecklenburg-Vorpommern – Landesförderinstut (LFI – MV) Niedersachsen – N-Bank Nordrhein-Westfalen – NRW.Bank Rheinland-Pfalz – Investitions- und Strukturbank (ISB) Saarland – Saarländische Investitionskreditbank AG (SIKB) Sachsen – Sächsische Aufbaubank (SAB) Sachsen-Anhalt Investitionsbank (IB) Schleswig-Holstein Investitionsbank (IB.SH) Thüringen – Thüringer Aufbaubank (TAB)

Tabelle 28: Beispiel Förderprogramm L-Bank mit Zielgruppe und Fördersache [205] (Eigene Darstellung)

Förderprogramm	Wer wird gefördert?	Was wird gefördert?
Mietwohnungsfinanzierung der L-Bank – Modernisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Unternehmen • Kommune • Privatperson • Verband/Vereinigung • Öffentliche Einrichtung 	<ul style="list-style-type: none"> • Energieeffizienz & Erneuerbare Energien • Wohnungsbau & Modernisierung

Finanzierungsalternativen für Startups

Grundsätzlich bestünde wohl eine höhere Nutzerakzeptanz, wenn die digitalen Tools durch einen öffentlichen Betreiber zur Verfügung gestellt werden würden. Diese Variante setzt allerdings das entsprechende Know-how, sowie die langfristige Bereitstellung der benötigten finanziellen Mittel voraus. Unter diesen Umständen wäre der Betrieb durch ein neu gegründetes Start-up als naheliegende Alternative denkbar. Bis sich ein Start-up etablieren kann, ist in der Regel die Finanzierung größerer Summen notwendig. Einige der in diesem Zusammenhang bestehenden Möglichkeiten werden im Folgenden diskutiert:

Staatliche Förderprogramme: Für die Finanzierung von Start-ups stehen verschiedene staatliche Förderungen zur Verfügung. Zu unterscheiden ist in diesem Zusammenhang zwischen Bezuschussung (Stipendien, bspw. BMWK EXIST, Einmalzahlungen etc.) und (vergünstigten) Krediten (bspw. der KfW, aber auch von den Förder- und Investitionsbanken der Länder sowie den Bürgschaftsbanken).

Risikokapital eines Investors: Sind staatliche Förderung als Finanzierung ungeeignet, versuchen Start-ups häufig einen Investor von sich zu überzeugen. Gelingt dies, stellt dieser in der Regel Kapital zur Verfügung und erhält im Gegenzug Anteile am Start-up. Dies hat für die Gründer langfristig den Nachteil, dass Gewinne entsprechend der abgegebenen Anteile dem Investor zustehen. Gleichzeitig hat der Investor allerdings auch ein Interesse am Erfolg des Start-ups, weshalb dieser in der Regel neben der investierten Summe auch sein Netzwerk einbringt, wovon das Start-up wiederum profitieren kann.

Business Angels: Insbesondere in der Frühphase (Seed-Phase) von Unternehmensgründungen, in welchen Banken aufgrund von hohen Risiken und mangelnden Sicherheiten nur in Ausnahmefällen Kredite bewilligen, können Business Angels eine wichtige Starthilfe darstellen. Business Angels sind i.d.R. Privatpersonen, welche ihr eigenes Geld und manchmal auch ihre Zeit investieren, um einen finanziellen Gewinn aus diesen Start-up-Unternehmen zu ziehen. Sie partizipieren damit nicht nur an der Unternehmensentwicklung, sondern auch an den damit verbundenen Risiken. [206] Bei dieser Finanzierungsquelle spricht man auch vom informellen Beteiligungskapitalmarkt, welcher sich vom institutionalisierten Beteiligungskapitalmarkt darin unterscheidet, dass es sich bei den informellen Kapitalgebern um Privatpersonen, also natürliche Personen handelt. Diese stellen ohne die Zwischenschaltung von Intermediären, wie beispielsweise professionelle Venture-Capital-Gesellschaften Unternehmen auf direkten Wege Beteiligungskapital bereit. [207] Auch betätigen sich immer mehr erfolgreiche deutsche Gründer als Unterstützer anderer junger Gründer. Eine Studie von Startupdetector zeigt, dass die drei Gründer des Verkehrsunternehmens Flixbus zu den aktivsten sogenannten Business Angels des Landes gehören. Sie gehören damit zu einer Investorengruppe, deren Aktionen zumeist verdeckt sind, wobei sie jedoch gerade für Jungunternehmen eine wichtige Kapitalquelle darstellen. In der Regel unterstützen sie die Gründer schon lange bevor Investmentfirmen auf diese noch junge Unternehmen aufmerksam werden. Zu den Top-Angels in Deutschland gehören auch die Gründer der Shopping-Plattformen Hitmeister und Idealo sowie der Devisenplattform 360T. [208] Trotz der Energie-Krise im Zusammenhang mit dem Ukraine-Krieg zeichnet sich im Bereich der Energie- und Umwelttechnik jedoch ein deutlich reduziertes Investitionsvolumen seitens der Business Angel ab. Während im 1. Quartal des laufenden Jahres nur knapp 56000 € investiert wurden, waren es im Vorquartal noch 86000 €. Dieser Rückgang liegt auch an den Unternehmensgründern selbst, die sich weniger um Beteiligungen bemühten. [209]

Schwarmfinanzierung (Crowdinvesting/Crowdfunding): Eine zunehmend an Bedeutung gewinnende Alternative zu einem Investor ist die sog. Schwarmfinanzierung, wobei viele kleine Beträge in Summe den Finanzierungsbedarf des Start-ups decken sollen. Zu unterscheiden ist in diesem Zusammenhang zwischen Crowdinvesting und Crowdfunding. In beiden Fällen werden nicht selten Sachprämien als Anreiz zur Beteiligung vergeben. Während das Crowdfunding darüber hinaus jedoch prinzipiell als Spende anzusehen ist, können Geldgeber beim Crowdinvesting eine finanzielle Beteiligung am Unternehmenserfolg erhalten. Die Schwarmfinanzierung ermöglicht des Start-ups, die Steigerung der eigenen Bekanntheit, Kundenbindung und Finanzierung zu kombinieren. Geldgeber können in der Regel bereits mit der Investition kleiner Beträge am Unternehmenserfolg teilhaben und gleichzeitig aktiv dazu betragen. Die zu erwartende Rendite übersteigt beim Crowdinvesting meist die, welche anderer Anlagemöglichkeiten bieten, allerdings ist eine Beteiligung innerhalb dieses Formats für Geldgeber auch mit einem entsprechend hohen Risiko verbunden. Normalerweise wird eine Rückzahlung der investierten Summe inkl. Zinsen erst nach mehreren Jahren und bei entsprechend positiver Entwicklung des Start-ups fällig. Bleibt diese jedoch aus, so kann es zum Totalausfall des investierten Betrags kommen.

4.5.3.10 „Green“ Entrepreneurship

Der Begriff „Entrepreneurship“ bezeichnet zunächst das Erkennen und Ausnutzen unternehmerischer Gelegenheiten sowie den kreativen und gestalterischen unternehmerischen Prozess in einer Organisation, bzw. einer Phase unternehmerischen Wandels. [210] Neben diesen generellen Entrepreneurship-Charakteristika findet es Schaper bezeichnend für das Green Entrepreneurship, dass grüne Entrepreneure durch ihr wirtschaftliches Handeln einen positiven Effekt auf die Umwelt und Nachhaltigkeit haben. [211] Hierunter fallen auch Gründungen. Nach Weiß/Fichter (2013) sind Grüne Gründungen Gründungsunternehmen, die mit ihren Produkten, Technologien und Dienstleistungen die Ziele der Green Economy unterstützen. [212]

Nachhaltiges Entrepreneurship

Kirkwood und Walton (2010) definieren Nachhaltige Entrepreneure oder Ecopreneure als Entrepreneure, die neue Geschäftsfelder erschließen, welche auf den Prinzipien der Nachhaltigkeit basieren. [213]

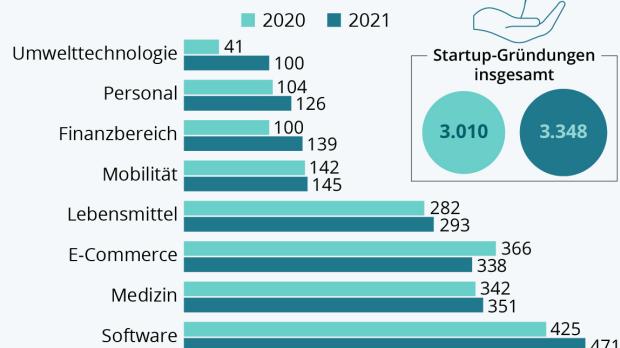
Nachhaltige Innovation

Das Konzept der Nachhaltigen Innovationen soll dazu beitragen Nachhaltigkeitsziele zu erreichen und zielt primär darauf ab den Umweltfußabdruck zu verbessern, welcher durch die derzeitigen, nicht-nachhaltigen Lebensweisen, Geschäftsverhalten und Konsummustern resultiert. Damit steht dieses Konzept im Gegensatz zu den Lebensweisen und Geschäftsmodellen, welche in Deutschland und den meisten hochindustrialisierten Ländern zu ökologischen und sozialen Problemen führen. Seitens der Europäischen Kommission und der Bundesregierung werden Nachhaltige Innovationen auf der politischen Ebene sehr stark gefördert. [214] Erstere hat einen „Innovation Fund“ aufgelegt, welcher dazu beitragen soll Treibhausgasemissionen (GHG) zu reduzieren. [215] Der Industriestandort Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt seine Industrie durch nachhaltige Innovationen auf eine ressourceneffiziente, schadstoffarme und klimafreundliche Produktion umzustellen sowie seinen Gebäudebestand energetisch zu sanieren. Beides dient dem Erreichen der Klimaziele.

Das Projekt 3%-Plus hat den Themenbereich „Green Entrepreneurship“ aufgegriffen, gerade weil dieses Konzept auch für den Bereich der energetischen Gebäudesanierung einen Treiber darstellen kann. Im Projekt sind zwei im Bereich Nachhaltigkeit und Klimaschutz tätige Start-ups aus dem Projekt heraus begleitet worden. Dabei handelt es sich um das Crowdinvesting Start-up GreenInvest und das Gründungsprojekt 5Prozent. Diese Ausgründungen folgen damit einem Trend, der schon vor einigen Jahren begonnen hat. Vergleicht man die Jahre 2020 und 2021 miteinander wird deutlich, dass die Anzahl der Neugründungen im Bereich Green-Tech zugenommen hat.

144 Prozent Wachstum bei Green-Tech-Neugründungen

Anzahl der Gründungen von Startups in Deutschland (ausgewählte Branchen)



Quelle: startupdetector | Statista



startupdetector

statista

Abbildung 74: 144 Prozent Wachstum bei Green-Tech-Neugründungen [216]

Nachhaltigkeitsorientierte Geschäftsmodelle im Bereich Unternehmensgründung

Das Crowdinvesting Start-up GreenInvest

Mittels Crowdinvesting können nicht nur Startup-Unternehmen sondern auch einzelne Projekte finanziert werden. In diesem Zusammenhang werden vor allem Projekte in den Bereichen „Immobilien“ und „Erneuerbare Energien“ umgesetzt. Diese beiden Bereiche sind nah am Kernthema des 3 % Plus-Projekts, weshalb ein in diesem Bereich tätiges Start-up aus dem Projekt heraus begleitet wurde. Dem Team von „GreenInvest“ geht es darum, dass möglichst viele Bürger der großen Transformation (u. a. Gebäude- und Energiewende) teilhaben können und diese gleichzeitig aktiv unterstützen. Durch einen besonders regionalen Ansatz soll außerdem der Nutzen generiert werden, dass das, was mit dem investierten Geld umgesetzt wird (bspw. Bau einer PV-Anlage) auch für die jeweiligen Geldgeber sichtbar ist und diese bestenfalls doppelt profitieren (Strombezug aus regenerativer Erzeugung und langfristige Rendite für das eingesetzte Kapital). Entstanden ist das sechsköpfige Team aus dem Climathon 2020 (weltweiten Hackathon mit Schwerpunkt auf klimafreundliche Geschäftsmodelle), wobei die HFT die entsprechende Challenge gestellt hatte: „Wie können möglichst viele Menschen an der Energiewende vor-Ort partizipieren?“. Greeninvest, welche beim Climathon 2020 den ersten Platz erzielen konnten, wurden von Irina Kohrutz, Transfer-Managerin an der HFT Stuttgart, Robin Schmücker von der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart, GmbH, Dr. Dirk Pietruschka und Prof. Dr. Tobias Popovic (beide HFT Stuttgart) betreut und gecoacht. [217] Das Geschäftsmodell erzielte beim Wettbewerb in der Kategorie „Most transformative Idea“ den ersten Platz. Neben bestehenden Konkurrenzplattformen für nachhaltiges Investieren wie: bettervest [218], econeers [219], leih deiner Umwelt Geld [220] oder wiwin4 [221] sind auch viele Banken auf diesen Zug aufgesprungen und erschweren das Wachstum von GreenInvest. Dennoch ist das Team weiterhin aktiv und arbeitet aktuell an der Umsetzung eines ersten Projekts – gesammelt werden soll Geld für die Installation einer PV-Anlage in einer Gemeinde im Großraum Stuttgart. Zur Finanzierung von Energieeffizienzinvestitionen ist diese Plattform grundsätzlich ebenfalls geeignet. Anschließend wurde das Geschäftsmodell von GreenInvest von Elias Schwemin weiterbetreut.

Den Entstehungsprozess des Startups zeigt der Planungsprozess mit Hilfe des Miro-Boards:

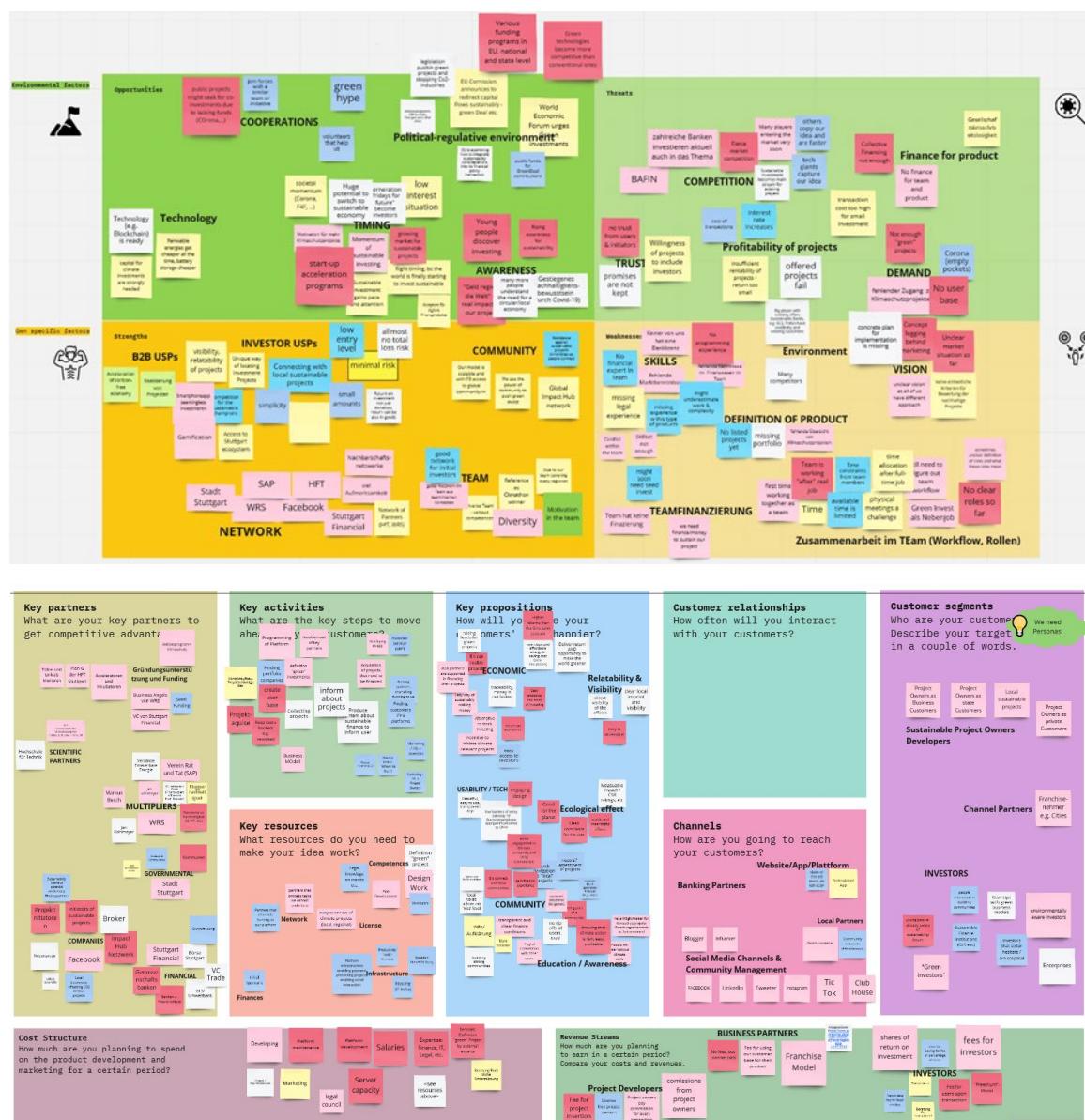


Abbildung 75: Miro-Board [222]

Gründungsvorhaben 5 Prozent

Beim Startup „5 Prozent“ handelt es sich um ein Gründungsvorhaben, welches sich momentan noch in der Seed-Phase befindet. Hierbei handelt es sich ebenfalls um den Versuch einer Ausgründung aus der Hochschule für Technik (HFT). Die Geschäftsidee wurde im Gründerworkshop „Plan G“ entwickelt. Der Name „5 Prozent“ leitet sich vom Klimaziel für das Jahr 2030 im Gebäudesektor ab. Demnach muss die Sanierungsquote in Deutschland jährlich 5 % betragen, um dieses Klimaziel zu erreichen. Derzeit liegt sie bei 1 %. Die Gründerinnen Sally Köhler und Sarina Hötzl beschäftigen seit über vier Jahren mit energetischen Gebäudesimulationen und nutzen dafür die an der HFT entwickelte Simulationssoftware „SimStadt“, womit sich 3-D-Datensätze von Kommunen analysieren lassen.

Mit Hilfe der Simulationsplattform entstehen so energetische Steckbriefe für alle Gebäude einer Kommune. Hintergrund sind energetische Berechnungen, die es erlauben eine Bestandsaufnahme zu machen, verschiedene Einsparpotenziale für Sanierungsoptionen und ein Photovoltaik-Potenzial zu bestimmen, welches dann schließlich mit einer Wirtschaftlichkeitsanalyse untermauert wird.

Als Ergebnisse entstehen leicht verständliche Steckbriefe für jedes Gebäude innerhalb eines Orts, welches die Kommune an alle Hauseigentümer weiterleitet. Diese werden so an das Thema herangeführt und erhalten Informationen wie eine energetische Sanierung ihrer Gebäude aussehen könnte.

Obwohl das Start-up erst gestartet ist wurden bereits drei Berliner Vierteln bereits 340 Wohnungen mit Steckbriefen ausgestattet. Und das Startup soll sich weiterentwickeln. So will es beispielsweise aktiv dazu beitragen die verschiedenen Parteien – etwa Energieberater und Handwerker – besser zu vernetzen. [223]

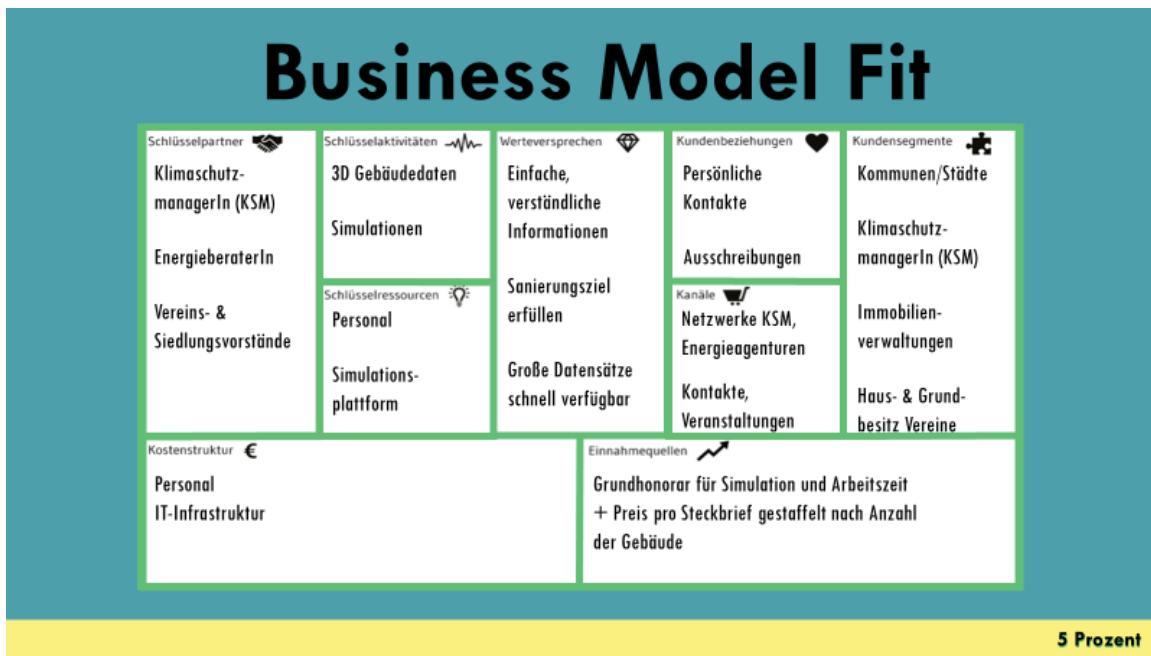


Abbildung 76: Geschäftsmodell Gründungsvorhaben (Eigene Darstellung von 5 Prozent basierend auf Strategyzer [224])

Das Gründungsvorhaben 5 Prozent wurde ebenfalls vom Projekt 3% Plus begleitet. Geplant ist das CS-Tool, welches ebenfalls auf der Simulationsumgebung SimStadt basiert, in das Gründungsvorhaben 5 Prozent zu integrieren. Damit wäre für das CS-Tool eine Verstetigung im Rahmen einer kommerziellen Nutzung erreicht. Vom Projekt 3% Plus wird das Gründungsvorhaben auch mit einer Marktanalyse unterstützt, was dazu beiträgt das Geschäftsmodell noch genauer auf die Marktsituation abzustimmen.

Die Marktanalyse wurde in Form einer Gap-Analyse vorgenommen. Ziel dieser Analyse-Form ist es einen schnellen Überblick über die vorhandene Marktsituation zu gewinnen und aufzuzeigen, wo das

eigene Unternehmen steht und wo noch „Lücken“ bestehen. Die bestehenden Lücken geben Aufschluss darüber wohn das Geschäftsmodell noch entwickelt werden könnte um einen Wettbewerbsvorteil oder Unique Sellling Point (USP) zu erzielen.

GAP-Analyse							
	5 Prozent	CO2-online	zukunft albau	Eneka	adapton		
Zielgruppe: Kommunen	B2G	B2G	B2G	B2B	B2G	B2B	B2G
Vor-Ort-Beratung							
Datenerhebung	Bestandsaufnahme (Potenzialanalyse)						
	Quartiere						
	Einzelgebäude						
Datenaufbereitung	Ergebnisse						
Erstellen der Steckbrief							
Bereitstellung (Daten)	Energieverbrauch & Energieverbrauch nach S						
	CO2-Fußabdruck						
Software-Tools							
	z.B. 3D-Betrachtung						
Sanierungsfahrplan	Vorgehensweise						
Fördermittel							
Überprüfung	Maßnahmen						
Gemeinnützigkeit	z.B. gGmbH						
Kommerziell							
Barpotenzial (Wirtschaft)							
Schnittstellen	z.B. Wetterdaten-Import						
Tool		EinstadtIC	Web-Tool	Sanierungsnavi	3D-Betrachtung	Emson	
Daten sammeln							
Daten aufbereiten							
3D-Betrachtung							

Abbildung 77: Gap-Analyse (eigene Darstellung)

Ausblick: Innovative Geschäftsmodelle in der Energiewirtschaft

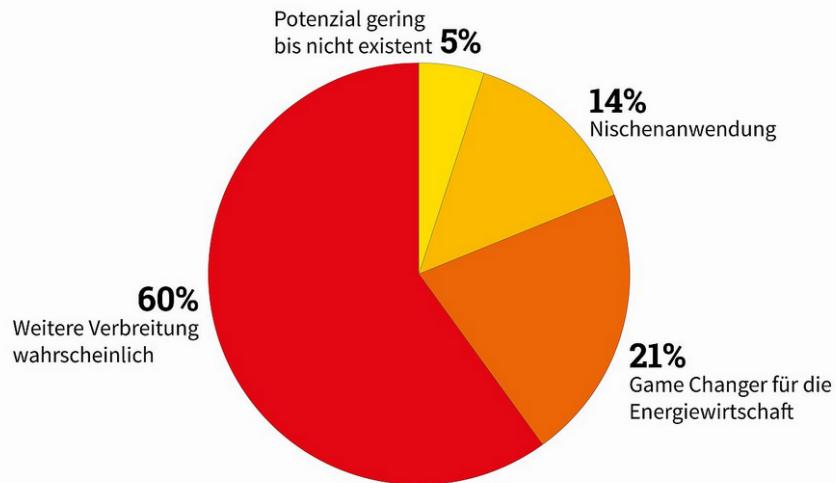
Die Energiewirtschaft durchlebt zurzeit einen Wandel von großen zentralen Kraftwerken zu vielen kleinen dezentral organisierten Kraftwerken. Hinzukommt, dass die Integration von erneuerbaren Energiequellen, wie z.B. Wind und Sonne, naturbedingte Schwankungen mit sich bringt, die im Stromnetz ausgeglichen werden müssen, um eine verlässliche Versorgung sicherzustellen. Zu den Technologien, welche dies ermöglichen gehören die Intelligenten Stromnetze (Smart Grids). Diese können deshalb als „Game Changer“ bezeichnet werden. Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass in Zukunft viele Kleinerzeuger (z.B. Eigentümer:innen mit PV-Anlagen) kleine Energiemengen zu unterschiedlichen Zeiten in das Stromnetz einspeisen möchten. Die damit verbundenen Spitzenlasten ausgleichen zu können stellt die EVU vor große Herausforderungen, welchen mit Hilfe der Blockchain-Technologie oder Intelligenten Stromnetzen (Smart Grids) begegnet werden kann.

Blockchain-Technologie

Die Blockchain ermöglicht neue Prozesse und Geschäftsmodelle für die bisher keine digitalen Lösungen bereitstanden. So könnten beispielsweise von Smart Metern erfasste digitale Energieverbrauchsdaten künftig zunächst auf die Blockchain und erst nach Freigabe durch den Kunden übertragen werden. Der Kunde hätte auf diese Weise mehr Kontrolle über seine Daten. Die Blockchain könnte so eine Vielzahl von kleinteiligen Interaktionen abdecken, die sich mit konventionellen IT-Lösungen wahrscheinlich nicht effizient bewerkstelligen ließe. Nachhaltig verändert könnte die Blockchain auch die Bewirtschaftung von Infrastrukturanlagen, wie z.B. von Netzen oder Kraftwerken (Asset Management). Ihre Refinanzierung könnte die Technologie Wirtschaftsprüfer ganz oder teilweise überflüssige machen, indem sie mit Hilfe von Sensoren an den Anlagen die beteiligten Parteien mit allen notwendigen Informationen kontinuierlich versorgt. Dieses System zeichnet sich nicht nur durch ein hohes Maß an Transparenz aus, sondern könnte in der Theorie auch die klassischen Versorgungsunternehmen überflüssig machen. Dies ist der Fall, da es die Blockchain ermöglicht in einer Region oder einem Inselnetz Energieerzeugung und -verbrauch automatisch abzugleichen. Dadurch würde die wesentliche Funktion eines Energieverbrauchers oder Netzbetreibers, welches in der Koordination einer immer größeren Gruppe von Haushalten, Landwirten und Industrieunternehmen besteht, welche ihren selbst erzeugten Strom ins Netz einspeisen, entfallen.

Somit stellt sich die Frage, ob die Blockchain-Technologie zukünftig das Potential entwickeln kann zu einem „Game Changer“ zu werden. Eine Umfrage unter Führungskräften der deutschen Energiewirtschaft, durchgeführt von der Deutschen Energie-Agentur und der European School of Management and Technology, bewertet dieses Potenzial wie folgt: [225]

Umfrage: Potenzial von Blockchain im Energiesektor



Quelle: Umfrage der Deutschen Energie-Agentur und der European School of Management and Technology unter 70 Entscheidungsträgern der deutschen Energiewirtschaft: „Blockchain in der Energiewende. Eine Umfrage unter Führungskräften der deutschen Energiewirtschaft“.

Abbildung 78: Umfrage zu „Blockchain in der Energiewende“ [226]

Die Blockchain-Technologie ist eine Datenbank und kann für jede Art von Transaktion benutzt werden – auch für den Handel mit Strom. Innerhalb der Blockchain werden Transaktionen in Blöcken zusammengefasst und mit einer eindeutigen Signatur versehen. Dadurch entsteht ein dezentrales Kontrollsysteem, welches ohne Intermediäre (Banken oder Makler auskommt). Diese digitale Transaktionstechnologie ermöglicht es so zwei oder mehreren Parteien Geschäfte direkt miteinander abzuwickeln [227]. Die in den Transaktionen anfallenden Daten werden dezentral auf einer Vielzahl von Computern gespeichert, welche zusammen das Hardware-Gerüst der Blockchain bilden. Sobald ein neuer Datensatz entsteht, werden alle Rechner der Blockchain aktualisiert, so jeder Rechner gleichzeitig alle Transaktionsdaten hat. Durch die Vielzahl an Rechnern ist das System auch gut vor Hackern geschützt [228]:

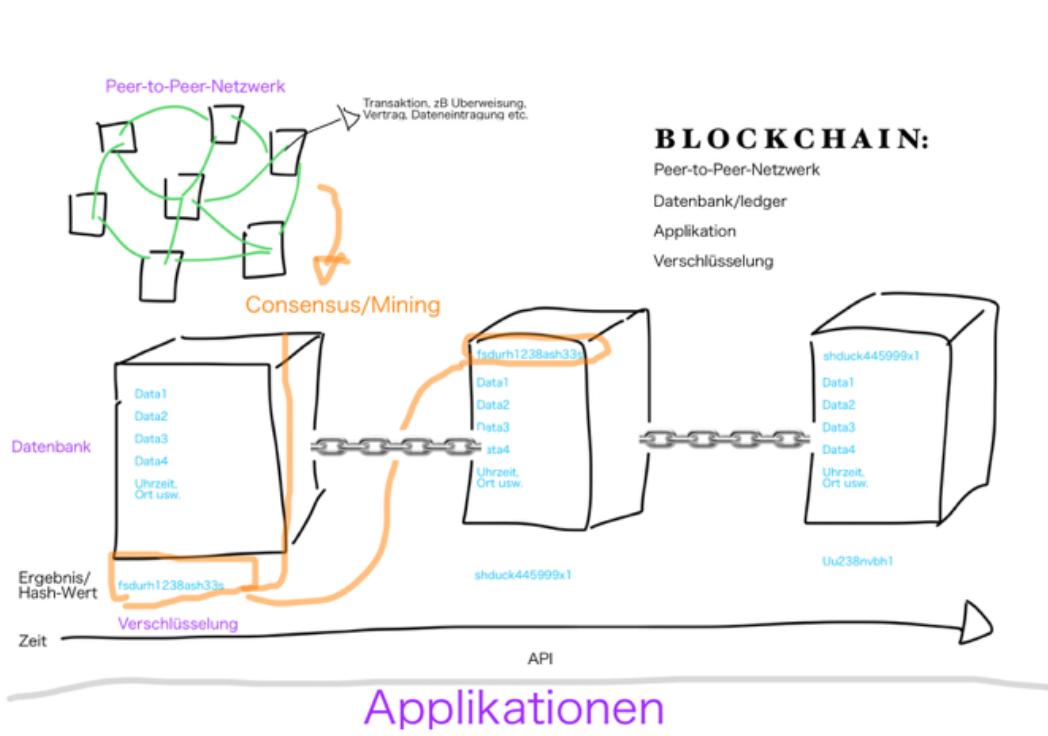


Abbildung 79: Funktionsweise der Blockchain-Technologie [229]

Die Blockchain-Technologie ermöglicht die Erweiterung bestehender Geschäftsmodelle in der Energiewirtschaft. Sie ist ein weiterer wichtiger Baustein in der Energiewirtschaft, denn sie ermöglicht den kleinteiligen und sicheren Handel mit Strom. Durch die Blockchain-Technologie wird es ermöglicht, Strom zwischen erzeugenden und verbrauchenden Anlagen zu handeln. Durch die erhöhte Flexibilität profitiert das gesamte Energiesystem, weil es nicht nur flexibel auf Schwankungen reagieren kann, sondern auch kleine Mengen, die etwa von privaten PV-Anlagen kommen, einzuspeisen und monetär abzugelten. Die Blockchain-Technologie unterstützt so den dezentralen Ansatz der Energiewende und kann nicht nur dabei helfen, den Bedarf an kompensierenden Maßnahmen wie Speicher oder Netzausbau zu verringern (Vgl. fortiss). Die gewerblichen oder privaten Eigentümer:innen, die im Zuge der energetischen Gebäudesanierung PV-Anlagen auf ihren Dächern installieren und Strom einspeisen wechseln in ihrer Rolle vom Consumer zum Prosumer. Im Strombereich beschreibt der Begriff einen Haushaltskunden, der seinen selbst erzeugten Strom (z.B. aus einer PV-Anlage) entweder selbst verbraucht und/oder auch ins Netz einspeist. Bei nicht ausreichender Eigenproduktion bezieht der Prosumer jedoch auch Strom aus dem Netz der öffentlichen Versorgung (pay-per-use). Für den Verbraucher, der Energie einspeist und abnimmt und dadurch zum Prosumer wird, erhöht sich die Sicherheit von Transaktionen, während sich gleichzeitig der bürokratische Aufwand zu reduzieren scheint, da eine „Dritte Partei“ nicht mehr benötigt wird. Der Begriff „Prosumer“ vereint dabei die Worte „producer“ (= Hersteller) und „consumer“ (=Verbraucher). Prosumer beschreibt das zusammengesetzte Kunstwort aus beiden Marktrollen und schreibt diese einer Person zu.) [230].

Die Blockchain-Technologie könnte nicht nur für mehr Sicherheit und Flexibilität sorgen, sondern auch die Transparenz erhöhen. Liefert beispielsweise ein Windkraftanlagenbetreiber einer Verbraucherin 0,12 kWh Strom innerhalb einer Viertelstunde könnte dieser von Smart Metern erfasste Verbrauch künftig zunächst auf die Blockchain übertragen werden. Der Kunde könnte so zweifelsfrei erfahren, aus welcher Anlage sein Strom stammt (Vgl. EbBW) und hätte insgesamt auch mehr Kontrolle über seine Daten. Ein Einsatzfeld der Blockchain könnte also darin bestehen, den direkten Stromhandel zwischen Besitzern von Windkraft-, Photovoltaik- oder Biogasanlagenbetreibern und Verbrauchern zu ermöglichen. (Vgl. dena) Zusammengefasst bietet die Blockchain-Technologie folgende Vorteile: [231]

- Erhöhte Sicherheit,
- Erhöhte Transparenz,
- Erhöhte Flexibilität des Geschäftsmodells und Erhöhung der ökonomischen Effizienz, dadurch, dass die jeweiligen Nutzer (= Prosumer)
- Analyse der gesammelten Daten zur Erzeugung des individuellen Energieverbrauchs zu-grundeliegenden Musters,
- Die ökonomische Effizienz ist dadurch gewährleistet, dass das System die Einspeisung und Entnahme auch geringer Energiemengen ohne Probleme abbilden kann.
- Reduzierung des administrativen Aufwands durch Verzicht auf eine dritte Partei.

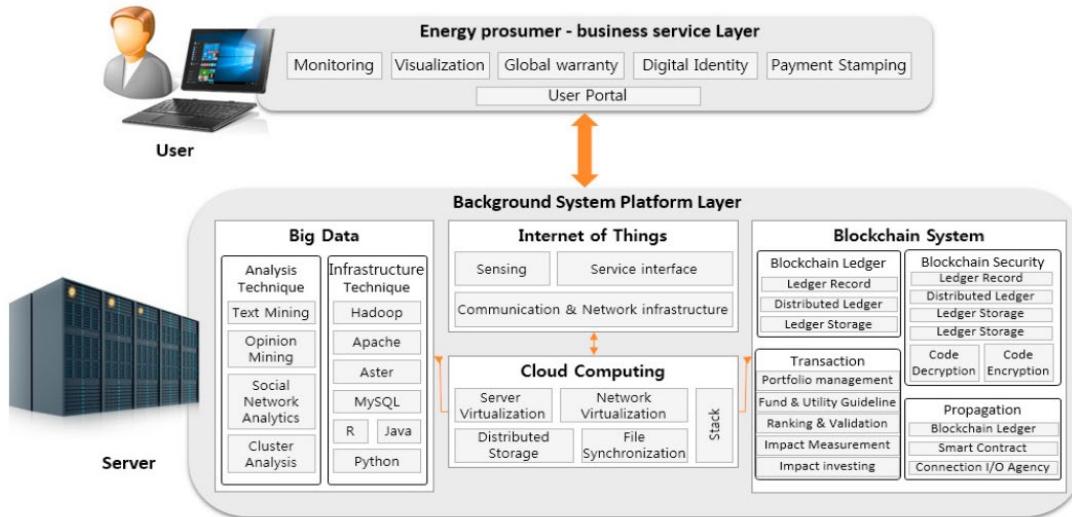


Abbildung 80: Architektur einer Blockchain-Technologie

Intelligente Stromnetze (Smart Grids)

Die von der Bundesregierung vorangetriebene Energiewende ist der entscheidende Treiber für die Entwicklung intelligenter Stromnetze in Deutschland. Die Zielsetzung besteht darin die für die Jahre 2025, 2035 und 2050 den Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien auf 45, 60 bzw. 80 Prozent zu erhöhen. Diese Ziele sind einerseits mit dem Ausstieg aus der Kernenergie verknüpft und sollen die Abhängigkeit von Öl- und Gaspreisen verringern. Andererseits geht es darum die Treibhausemissionen deutlich zu reduzieren. Jedoch hat sich durch die verstärkte Verfeuerung von Gas- und Kohle hat auch der Ausstoß des Treibhausgases wieder erhöht. Nach Berechnungen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) hat sich der Verbrauch gegenüber dem Vorjahreszeitraum um 4,3 Prozent erhöht. [232] Diese Entwicklung lässt sich nur stoppen, indem der Strommix zukünftig aus mehr Ökostrom besteht.

Jedoch bringt die zunehmende Einspeisung von Strom aus regenerativen Energiequellen neue Herausforderungen für das Versorgungsnetz mit sich. So müssen dezentrale Erzeuger, wie z.B. PV-, Biogas oder Windkraftanlagen in das Netz integriert werden und die erzeugten und nachgefragten Mengen sowie deren Verteilung und Speicherung aufeinander abgestimmt werden. Die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien bringt noch eine weitere Besonderheit mit sich. Da Solarzellen oder Windturbinen stark von Wetterbedingungen abhängig sind, bestehen große Angebotsschwankungen, die nur bedingt vorhersagbar sind. Um auf diese Herausforderungen angemessen reagieren zu können, muss eine Kommunikation aller beteiligten Akteure in den vier grundlegenden Bereichen Erzeugung, Verteilung, Speicherung und Verbrauch möglich sein. Diese Kommunikation kann nur durch eine intelligente Verknüpfung und Steuerung dieser vier Bereiche des Stromnetzes erzielt werden und dazu bedarf es einer Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT). Die großen Kosteneinsparpotenziale intelligenter Stromnetze versprechen ein bedeutendes Marktwachstum für entsprechende IKT-basierte Smart-Grid-Technologien in den nächsten Jahren. [233]

a) Smart Meters

Innernhalb von Smart Grid-Systemen stellen *Smart Meters* die Schnittstelle zwischen Endverbrauchern und Stromanbieter dar. Sie erweitern die Funktionalitäten klassischer, mechanischer Zähler um Möglichkeiten zur Fernablesung, der Anzeige aktueller und historischer Verbräuche sowie Informationen zu Stromkosten in Abhängigkeit vom aktuellen Tarif. Ermöglicht wird zudem eine Fernschaltung von Geräten, z.B. durch den Stromanbieter. Smart Meters bildet die technische Grundlage für Maßnahmen wie das Demand-Side-Management. Auf Seite des Anbieters wird außerdem eine effizientere Ablesung von Verbrauchsdaten durch die Fernablesung via Internet ermöglicht. Dadurch muss keine manuelle Ablesung vor Ort stattfinden. Zudem wird die Automatisierung von Prozessen erleichtert. Smart Meters erlaubt ein personalisiertes Marketing sowie Kundenbindungsmaßnahmen, die auf den individuellen Nutzungsgewohnheiten basieren.

Der Endkunde profitiert durch die verbesserte Transparenz. Dadurch wird eine effizientere Steuerung des eigenen Stromverbrauchs unterstützt und idealerweise dazu motiviert, den Stromverbrauch während Spitzentastzeiten zu reduzieren. Dies beinhaltet die Möglichkeit den Stromverbrauch auf Zeiten zu verlagern, in denen das Stromangebot die Nachfrage deutlich übersteigt. Smart Meters spielt zudem eine wichtige Rolle bei der Integration von erneuerbaren Energien in den Strommix. Da die Energie der auf Privathäusern und gewerblich genutzten Gebäude Solarpanels in der Regel nicht ausreicht um den gesamten Energiebedarf der Gebäude zu decken sind intelligente Zähler zur Bestimmung der zusätzlich benötigten Strommenge von besonderer Bedeutung.

Seit 2010 schreibt das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) für Deutschland den Einbau intelligenter Stromzähler bei Neubauten und Totalsanierungen gesetzlich vor. Dennoch schreitet die Installation von Smart Meters langsam voran, was einerseits auf Bedenken beim Datenschutz zurückgeht und andererseits auf Unsicherheiten in Bezug auf den Amortisationszeitraum der Kosten zurückzuführen ist. Damit das Potenzial von Smart Meters voll realisiert werden kann sind daher zunächst Innovationen im Bereich intelligenter Verbrauchsgeräte sowie zeit- bzw. lastvariable Stromtarife erforderlich. Die Marktdurchdringung wird von der EU angestrebt und dadurch wird ein milliardenschwerer Markt für Hard- und Software sowie für Installationen und Services im Bereich Smart Meters für IKT-Unternehmen entstehen.

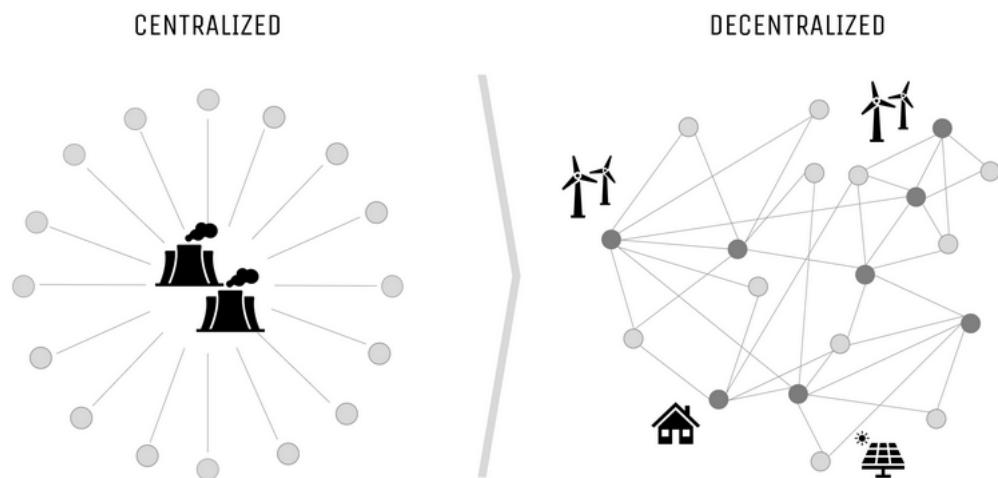


Abbildung 81: Der Wechsel von zentralen zu dezentralen Energienetzen [234]

b.) Energie-IoT-Plattform

Die bisherigen Energiesysteme sind für große zentrale Kraftwerke konzipiert. Energiesysteme durchleben jedoch einen Wandel. Moderne Energiesysteme müssen in der Lage sein beinahe unzählige, dezentrale Kraftwerke und Erzeuger zu integrieren und wetterbedingte Schwankungen im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien auszugleichen. Um solche Netzwerkbetriebe effektiv und ohne Ausfälle

(„Blackouts“) betreiben zu können bedarf es neuer technologischer Ansätze. Zu diesen neuen Technologien, welche helfen die bisherigen Energiesysteme zu transformieren, gehören die IoT-Plattformen. Der Begriff Internet of Things (IoT) bezeichnet ein Netzwerk aus Gegenständen, welche durch Mikroprozesse vernetzt sind und ohne jeglichen menschlichen Eingriff miteinander interagieren und dabei den Alltag der Menschen beeinflussen. [235] Ein weiterer Grund für den zunehmenden Einsatz von IoT-Plattformen besteht in der Liberalisierung des Energiemarktes was nicht zuletzt auch dazu geführt hat, dass sich nicht nur die Bedürfnisse, sondern auch die potenziellen Kundengruppen kontinuierlich weiterentwickelt haben. Abnehmende Margen, die sinkende Verzinsung im Rahmen der Anreizregulierung sowie der zunehmende Wettbewerb innerhalb des Energiemarktes stellen die Energieversorgungsunternehmen (EVU) vor eine zunehmende Herausforderung und lassen sie von ihrem Kerngeschäft – dem Betrieb der Energieinfrastruktur sowie dem Verkauf von Energie – abweichen. Das Erschließen neuer Kundengruppen und Märkte ist daher in den nächsten Jahren zwingend erforderlich. Der Aufbau und Betrieb von IoT-Netzen von EVUs für die eigene Kommune stellt daher einen logischen Schritt dar. Um solch ein Konzept tragfähig entwickeln zu können sind regionale Kenntnisse, Vertrauen, eine ausreichende Vernetzung mit politischen Akteuren sowie Fähigkeiten zum Betrieb von Infrastrukturen erforderlich. Die Entwicklung neuer IoT-Lösungen, wie z.B. der Technologie LoRaWAN, ermöglicht es den Stadtwerken selbstständig IoT-Netz zu betreiben und darauf neue Geschäftsmodelle aufzubauen.

Die Technologie LoRaWAN wird von der LoRaWAN Alliance gefördert, die von dem Unternehmen Semtech gegründet wurde. Die Allianz setzt sich für einen offenen Standard von LoRaWAN ein und umfasst mittlerweile Mitglieder – darunter bekannte Hersteller wie IBM oder Cisco. Verfolgt wird ein Open-Source-Ansatz mit einer frei verfügbaren Anwendungs- und Netzwerkschicht.

Eine ähnliche Open-Source-Technologie wird z.B. von Swarm-Technologies Inc. mit OpenVolery™ angeboten:

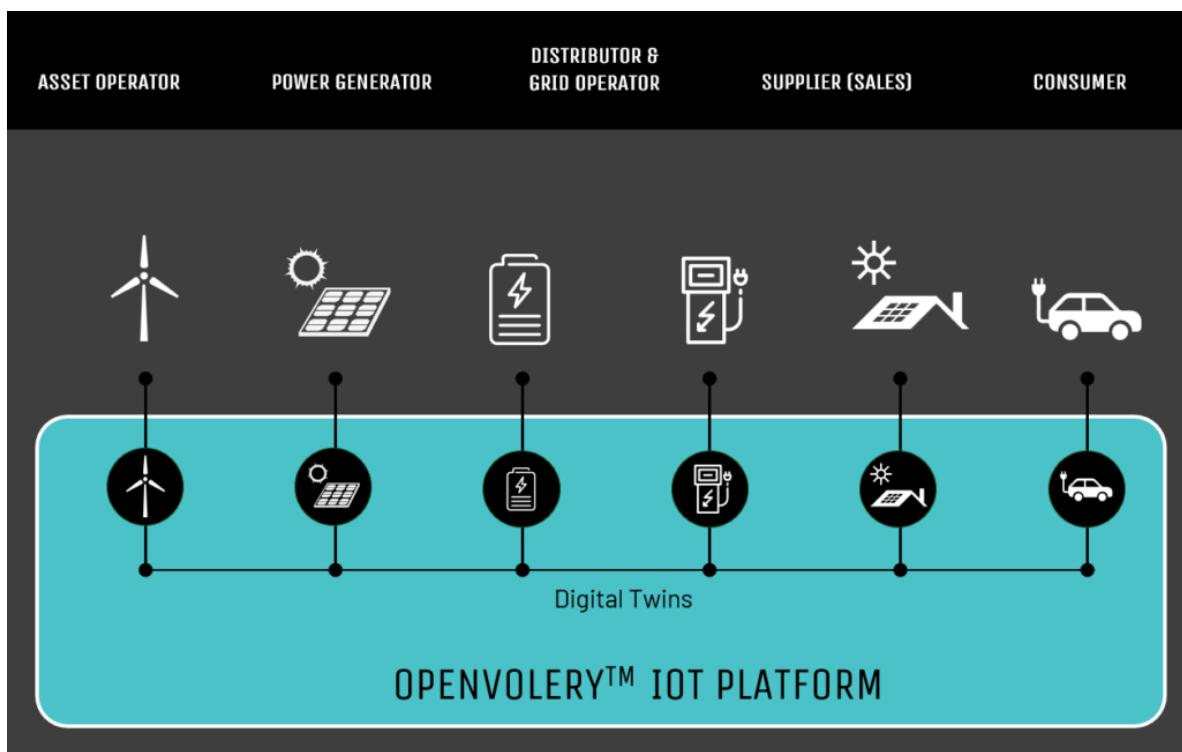


Abbildung 82: OpenVolery™ IOT-Plattform

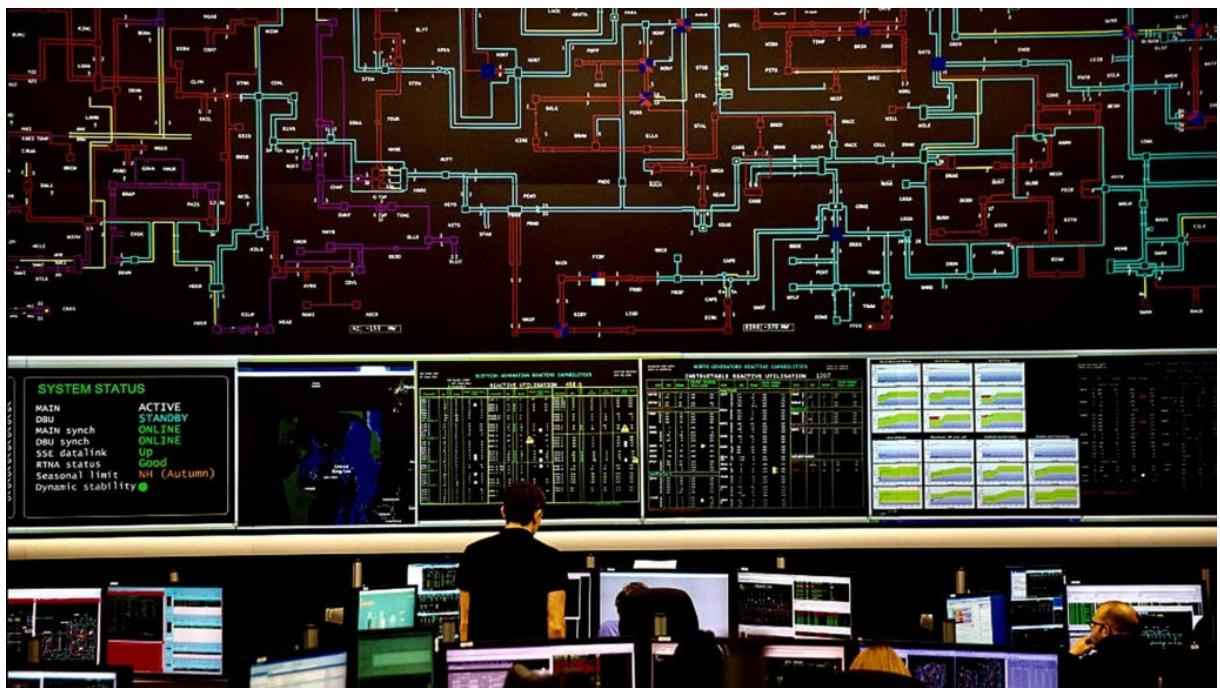


Abbildung 83: National Grid Plc.

4.5.4 Fazit

Festzuhalten ist, dass aus dem Projekt 3ProzentPlus eine Vielzahl an praktischen Ansätzen hervorgegangen ist um Sanierungshemmnissen effektiv zu begegnen, gegebenenfalls abzubauen und damit die energetische Sanierungsquote zu erhöhen. Die im Projekt entwickelten Software-Tools ermöglichen es Daten zu sammeln (CS, WEG) zu strukturieren (CS, WEG) und daraus wichtige Schlussfolgerungen zu ziehen (SBSC). Während das Einzelgebäude bzw. WEG-Tool auf Einzelgebäude beschränkt ist, bietet das CrowdSourcing-Tool die Möglichkeit, ganze Quartiere energetisch abzubilden und Effizienzpotentiale aufzudecken. Daraus lassen sich schließlich verschiedene Sanierungsszenarien ableiten. Klimamanager und Energieberater bekommen so ein Tool an die Hand um private Eigentümer:innen oder die Besitzer kommerzieller Bestandsimmobilien kompetent und umfassend zu beraten. Die SBSC basiert primär auf den Daten aus den Tools, sie kann jedoch auch die Daten aus anderen Plattformen integrieren um den Sanierungsbedarf, die Investitionshöhe, die Umweltbelastung im Zusammenhang mit einer Sanierung und die CO₂-Vermeidungskosten so genau wie möglich darzustellen.

Kontaktbeschränkungen während der Pandemie haben dazu geführt, dass wichtige Feedback-Gespräche mit Stakeholdern nicht so durchgeführt werden konnten wie geplant. So könnte beispielsweise noch die User Experience (UX) untersucht werden um die Nutzeroberfläche noch genauer auf die Kundenwünsche auszurichten. In Abstimmung mit dem Endnutzer könnten auch noch weitere Punkte in die SBSC integriert werden, wie z.B. Fördermöglichkeiten. Jedoch hat sich klar herauskristallisiert, dass Kommunen ihre Klimaziele im Zusammenhang mit der energetischen Sanierung des Gebäudebestandes effektiver umsetzen können, wenn sie einerseits über unterstützende Tools verfügen und es andererseits feste „Kümmerer“ gibt, so z.B. festangestellte kommunale Klima- und Energiemanager.

Nicht ausreichend geklärt sind bisher datenschutzrechtliche Aspekte im Zusammenhang mit der Datengewinnung, da die jeweiligen Eigentümer:innen bei der Nutzung der Tools teilweise sehr umfangreiches Datenmaterial hinsichtlich des Zustands ihrer Gebäude preisgeben. Die Leistungsfähigkeit der Tools kann aber nur gewährleistet werden, wenn eine ausreichend große Datenbasis vorliegt. Die gesammelten und strukturierten Daten fließen in die SBSC ein ergeben damit einen „Gesamteindruck“, indem sie beispielsweise über Zinsen, Return on Investment (ROI) und diverse ökologische (CO₂) und monetäre Einsparungen informieren. Mit der SBSC wurde eine Methodik entwickelt alle Daten in ihrer Gesamtheit zu betrachten, um daraus einen konkreten und präzisen Handlungsbedarf ableiten zu können. Es

kann daher gesagt werden, dass die im Projekt entwickelten Tools einen effektiven Beitrag zur Erhöhung der Sanierungsquote leisten können, indem sie die Berater (Klimamanager, Energieberater) im Beratungsprozess unterstützen und diesen so erlauben „Wissenslücken“ bei den Beratenden (Eigentümer:innen) hinsichtlich energetischer Sanierungsmaßnahmen zu schließen. Das Schließen dieser „Wissenslücken“ kann schließlich dazu beitragen die energetische Sanierungsquote anzuheben.

Im Zusammenhang mit den Tools wurden auch verschiedene Betreibermodelle (Crowdsourcing, Lizenzmodelle etc.) diskutiert. Bei der Wahl des Geschäftsmodells wurde insbesondere auch der Nachhaltigkeitsaspekt miteinbezogen. Die Finanzierungsmodelle hängen vom jeweiligen Geschäftsmodell ab und reichen von Förderprogrammen über Risikokapital/Gründungsfinanzierung bis hin zu Crowdfunding. Aufgrund der Pandemie war der ursprünglich geplante, sehr stark auf Interaktion mit den jeweils relevanten Stakeholdern ausgerichtete ko-kreative Innovations- und Entwicklungsprozess leider nur sehr stark eingeschränkt möglich. Dennoch war es mit Hilfe von digitalen Formaten und den entsprechenden Tools (z.B. Whiteboards, etc.) möglich – wenn auch mit gewissen Restriktionen – unterschiedliche Betreiber und Finanzierungsmodelle zu entwickeln. Die in diesem Projekt erzielten Ergebnisse können als Ausgangsbasis für die Entwicklung eigenständig tragfähiger Geschäftsmodelle im Kontext der Energiewende genutzt werden. Eine Verfestigung setzt jedoch einen kommerziellen oder öffentlichen Betreiber voraus, der auch über die Mittel verfügt dieses Tools konsequent weiterzuentwickeln.

Als vielversprechende Option hat sich das in der Hochschule für Technik entstandene Gründungsprojekt 5 Prozent herauskristallisiert, welches sich momentan noch in der Seed-Phase befindet. Ziel des Gründungsprojekts ist es die Sanierungsquote um mindestens 5% zu steigern. Die Integration des CS-Tools in das Portfolio könnten dem Startup helfen zu skalieren und gleichzeitig wäre sichergestellt, dass das CS-Tool weiterhin betrieben werden kann. Mit den aus dem Projekt3ProzentPlus begleiteten Startups GreenInvest und 5 Prozent hat die Hochschule bereits gezeigt, dass sie auch im Bereich „Green Entrepreneurship“ aktiv ist. Startups gelten aufgrund ihrer besonderen Dynamik nicht zuletzt als wichtige „Treiber“ der Energiewende, weil sie Lösungsansätze anbieten und somit auch dazu beitragen können die energetische Sanierungsquote zu erhöhen und die Klimaziele zu erreichen.

Neue Marktmodelle wie z.B. das Energy Sharing reagieren auf den Umstand, dass Bürger:innen nicht nur Konsumenten sind, sondern innerhalb von EE-Gemeinschaften Ökostrom gemeinschaftlich erzeugen und über ein regionales Verteilnetz vergünstigt nutzen können. Der „Consumer“ wird so zum „Prosumer“ – einer Mischung aus Produzenten und Konsumenten. Diese neuen Marktmodelle und die veränderte Konsumentenrolle weisen darauf hin, dass die Energiesysteme im Wandel sind – vom zentralen zum dezentralen System.

Mit einem Ausblick auf innovative Geschäftsmodelle soll gezeigt werden, dass die Dezentralisierung der Stromversorgung auch andere Geschäftsmodelle notwendig macht, in welches es nicht nur einfacher wird die Einspeisung kleinerer Strommengen durch die Prosumer zu erfassen und abzugelten, sondern auch den direkten Stromhandel zwischen Besitzern von Windkraft-, Photovoltaik- oder Biogasanlagenbetreibern und Verbrauchern zu ermöglichen. Dies kann durch den Einsatz der Blockchain abgedeckt werden. Gleichzeitig muss die Integration erneuerbarer Energieformen, wie z.B. PV- und Windenergie, stärker in den Strommix einfließen, um die mit den fossilen Energieträgern einhergehenden CO₂-Emissionen zu reduzieren. Jedoch bedarf es aufgrund der wetterbedingten Schwankungen technologisch hochentwickelter softwarebasierter Steuerungsmechanismen, wie z.B. den IoT-Plattformen.

5 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der wesentliche Kostenfaktor war die Beschäftigung von wissenschaftlichen Mitarbeitenden E13 Stellen. Das Projekt wurde im Jahr 2021 von einer wissenschaftlichen Hilfskraft unterstützt.

Einen wichtigen Kostenfaktor stellte weiterhin der Unterauftrag an die Axcorn GmbH dar. Auf die Ausschreibung haben sich zwei Bieter beworben, die Bieterpräsentationen erfolgte am 30.05.2022. Beide Bieter haben die geforderten Mindestunterlagen vollständig eingereicht. Die Bieter wurden daraufhin zu einem Evaluierungstermin eingeladen wo sie aufgrund vorher festgelegter Kriterien geprüft wurden. (vgl. Abbildung 84). Der Termin fand online statt sowohl mit den Mitarbeitern an der HFT als auch von den

Bewerbern. Die Bewerber haben ihren Vorschlag einer Umsetzung dort präsentiert und standen im Anschluss für Fragen zur Verfügung. Mit diesen Informationen wurde dann die Tabelle für die Bieterevalution ausgefüllt.

Eigenschaft		Maximalpunktzahl	Punkte Angebot 1 (Axcorn)	Punkte Angebot 2 (Tilgner-Kempf)
Angebotspreis		30	25,39	30,00
Technische Anforderungen/Konzept und Ideenskizze	Visualisierung des Gebäudeinneren	5	5	5
	Aufzeigen von Energieeffizienz und Einsparpotentialen	10	10	4
	Bedienung des Tools	10	9	10
	Grafiken für Endnutzer	10	10	10
	Möglichkeiten für Administratoren	5	5	5
Projektmanagement	Bewertung des Konzepts/Ideenskizze hinsichtlich klarem und zielführendem Projektman.	10	9	9
Team/Präsentation	Präsentation überzeugend und fachkundig schlüssig	3	3	2
	Unterlagen übersichtlich, nachvollziehbar und überzeugend ausgestaltet	4	4	4
	Team präsentiert sich kompetent, strukturiert und gut organisiert	3	3	3
	Gameification	2	1	2

Abbildung 84: Kriterien für die Bieterevalution

Am Ende wurde eine Endbewertung festgelegt und der Bieter mit der besten Bewertung erhielt den Zuschlag. In diesem Fall war es die Firma Axcorn. Im Anschluss erfolgte direkt die Vergabe.

Die technischen Details des Tools sowie der Schnittstellenentwicklung mit dem Crowd-Sourcing Tool (AP 4.1) wurden anschließend mit dem Bieter definiert und während der gesamten Entwicklungszeit begleitet. Dabei wurden wöchentliche Termine festgelegt die dazu dienten sich mit den fertiggestellten und nächsten Schritten auseinanderzusetzen. Am Ende der Entwicklung fand eine Abnahme statt bei dem das Tool vollständig mit den ausgemachten Funktionen präsentiert und abgenommen worden ist.

Zudem entstanden Kosten für Dienstreisen zu Projekttreffen und auf Konferenzen. Aufgrund der Pandemie-bedingten Einsparungen fanden viele Treffen virtuell statt, weshalb Kosten eingespart werden konnte. Daher wurden auch Kosten (bspw. für Material) in den sonstigen allgemeinen Verwaltungskosten eingespart.

6 Angemessenheit der geleisteten Arbeit

6.1 Notwendigkeit der Zuwendung

Die praktische Umsetzung der vier Sanierungsfahrpläne für kommunale Quartiere basiert auf den konzeptionellen Vorarbeiten des laufenden Vorhabens. In diesem Projekt wurden innovative Instrumente entwickelt, die zur Steigerung der Sanierungsrate beitragen können. Der Erfolg des Vorhabens war aufgrund der allgemeinen Komplexität der Fragestellung, wie Sanierungsquoten erhöht werden können, von Beginn an risikobehaftet. Die durchgeföhrten Untersuchungen sind als Pilotuntersuchungen bzw. -umsetzungen innovativ und erfordern die Berücksichtigung zahlreicher sektoraler und querschnittsbezogener Aspekte.

Es wurden Tools entwickelt, die nach Projektende communal nach allgemeiner Steigerung der Attraktivität von Sanierungsmaßnahmen zum Monitoring und Planung der Sanierungsrate eingesetzt werden können. Die konkrete Erprobung konnte aufgrund mangelnder Datenlage nicht in der Projektlaufzeit durchgeführt werden.

6.2 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind während der Projektlaufzeit keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bekannt geworden.

7 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

7.1 Wissenschaftliche Erfolgsaussichten

Obwohl schon etliche Jahre vor Projektbeginn viel Aufwand und Fördermittel in die Thematik energetische Gebäudesanierung geflossen waren, war lange nicht abzusehen wie sich die Sanierungsquoten in den nächsten Jahren entwickeln würden. Allmählich beginnt sich jedoch herauszukristallisieren, dass die Sanierungsquoten stagnieren. Dies liegt zum einen daran, dass die energetische Gebäudesanierung mit hohen Kosten verbunden ist und bei den Wohnungseigentümergemeinschaften (WEGs) selten Einigkeit darüber besteht, dass eine energetische Sanierung notwendig ist. Hinzukommt, dass bestehende staatliche Fördermittel- bzw. Fördermaßnahmen nicht verständlich genug kommuniziert worden sind.

Vor dem Hintergrund bestehender Klimaziele und dem allgemeinen Konsens schädliche Emissionen – auch und gerade im Gebäudesektor – zu minimieren kann die Erforschung geeigneter Hilfsmittel zur Erfassung von CO₂-Treibern und deren Beseitigung im Gebäudesektor als erfolgreiche wissenschaftliche Maßnahme angesehen werden. So konnten innerhalb des Projekts erfolgreich zwei Tools entwickelt werden (das WEG- und CS-Tool), die in Zukunft einen Beitrag dazu leisten können die Sanierungsquoten zu steigern, indem sie z.B. gezielt an bisherigen Hemmnissen ansetzen und für die relevanten Zielgruppen einen konkreten Nutzen erzeugen (z.B. Transparenz bei unterschiedlichen Sanierungsmaßnahmen, Reduktion von Komplexität, Verringerung des Aufwands, Berechnung von Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit unterschiedlicher Maßnahmen, etc.).

Um die Ergebnisse der Tools – die sog. Key Performance Indicators (KPIs) – zu bündeln und zu strukturieren wurde ein anderes Tool erzeugt - die Sustainability Balanced Scorecard (SBSC). Mit ihrer Hilfe können die einzelnen KPIs auch zueinander in Beziehung gesetzt werden, was zu einem umfassenden Gesamtbild führt und Entscheidungsprozesse beschleunigt. Potenzielle Investoren erhalten so einen schnellen Überblick über attraktive Investitionsmöglichkeiten. Ein höheres Maß an Transparenz in diesem Bereich kann dazu führen, dass in die Sanierung – insbesondere der öffentlichen Gebäude – mehr finanzielle Mittel fließen, was zu einer Erhöhung der Sanierungsrate beiträgt und damit auch zur Minimierung schädlicher CO₂-Emissionen im Gebäudesektor.

Während der Projektlaufzeit wurde fortlaufend mit einem großen Partnernetzwerk kooperiert. Auf diese Weise bereits im Entwicklungsprozess eine interaktive Kollaboration mit relevanten Stakeholdern (Forschungsdesign des transdisziplinären Reallabors) etabliert und fortlaufend weiterentwickelt, um nicht nur gemeinsam mit den Stakeholdern interaktiv unter Zuhilfenahme der Design-Thinking-Logik bedarfsorientierte Lösungen zu entwickeln, sondern um auch fortlaufend relevanten Zielgruppen neu entstandene Erkenntnisse zugänglich machen zu können.

Um den Hemmnissen konstruktiv zu begegnen wurden im vorliegenden Bericht alle Fördermittel dargestellt und analysiert. Zudem wurden nachhaltige Geschäftsmodelle entwickelt und nachhaltige Unternehmensgründungen (Startups) gezielt gefördert. Letzteres trägt zu einem Transfer des hier gewonnenen Wissens in die Gesellschaft bei.

Negativ auf das Projekt und seine Kontinuität hat sich die hohe Mitarbeiterfluktuation ausgewirkt. Die an Hochschulen üblichen Zeitverträge erschweren eine kontinuierliche und hochwertige wissenschaftliche Arbeit, da mit den Mitarbeitern auch ihr Know-how den Hochschulbetrieb verlässt und qualifiziertes Personal aufgrund der besseren Bedingungen in der freien Wirtschaft schwer zu bekommen ist.

7.2 Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Die Anschlussfähigkeit der gewonnenen Erkenntnisse in Lehre und Forschung ist dadurch gegeben, dass das beantragte Projekt die fachbereichsübergreifenden Arbeiten zwischen den Fakultäten der HFT und ihrer Forschung gestärkt und ausgebaut wird. Die Ergebnisse und Erkenntnisse fließen in weiterführende und verwandte Projekte ein. Die interne Weiterentwicklung der Tools wird Folgeprojekten fortgesetzt.

In wissenschaftlich-technischer Hinsicht stellen die im Rahmen dieses Vorhabens entwickelten digitalen Tools und Geschäfts- bzw. Betreibermodellansätze die zentralen Ergebnisse der HFT-seitig durchgeführten Aktivitäten dar. Diese wurden über Publikationen und Vorträge (z.B. über (Online-)Veranstaltungen des DV) einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Dies gilt ebenso für das einschlägige Fachpublikum. Exemplarisch sind hier z.B. die beiden folgenden Publikationen zu nennen:

- Lynam, Uta; Commenges, Judith; Dybowski, Sebastian; Meyer, Hauke; Preuß, Marie; Bäumer, Thomas; Huber, Stephanie; Popovic, Tobias; Schmitt, Andreas. (2022): Energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere : Erkenntnisse aus dem 3%-Projekt, in: Energie : Forschung und Technik, Projekte, Interviews / Herausgeber: Reinhard Eberl-Pacan, Klaus-Jürgen Edelhäuser und Birger Gigla. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2022. S. 51-57.
- Sini, S. K.; Sihombing, R.; Kabiro, P. M.; Santhanavanich, T.; Coors, V. (2020): THE USE OF 3D GEOVISUALIZATION AND CROWDSOURCING FOR OPTIMIZING ENERGY SIMULATION. In ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. VI-4/W2-2020, pp. 165–172. DOI: 10.5194/isprs-annals-VI-4-W2-2020-165-2020

Die Anschlussfähigkeit ist darüber hinaus dadurch gegeben, dass dieses Vorhaben die disziplinenübergreifende Arbeit zwischen den Forschungsbereichen der HFT gestärkt und ausgebaut hat – und die Erkenntnisse unmittelbar in die curriculare Lehre einfließen. Die Entwicklungen der Tools fließen auch in andere Projekte ein.

Die Sanierungsdynamik, die für die Erreichung der Klimaziele erforderlich ist, sollte nicht nur von Eigentümer:innen durch Investitionen, sondern von den Kommunen durch Planung und Mobilisierung vorangetrieben werden. An der Schnittstelle zwischen Eigentümer:innen und übergeordneter Energie-, Wärme- und städtebaulicher Planung agieren vor allem die umsetzenden Akteure der Energiewende: zum Beispiel Energieberater:innen, Handwerker:innen, Planer:innen und Architekt:innen, Finanzinstitute, Energieversorger. Sie müssen bei dynamischen Rahmenbedingungen und aktuell bei Personal- und Materialknappheit, die Eigentümer:innen passgenau zu komplexen Sanierungsprozessen beraten und diese umsetzen. Die Eigentümer:innen wiederum haben über den Sanierungsprozess hinweg voraussichtlich mit diversen Gewerken zu tun.

Das 3%-Plus-Projekt hat gezeigt, dass für die erwünschte Sanierungsdynamik bei aktuell technologischen, wirtschaftlichen sowie regulatorischen Unsicherheiten die Anstrengungen für die Mobilisierung, Beratung und Begleitung von Eigentümer:innen unverzichtbar ist. Es hat Ansätze (weiter-)entwickelt und erprobt, um dies umzusetzen und um übergeordnete Weichenstellungen auch in die breite Praxis zu übersetzen. Dies muss vor Ort in den Kommunen und auch mit individuellen Herangehensweisen in den Quartieren erfolgen, die durch differenzierte soziodemographische und -ökonomische Eigentümer:innen- und Bewohner:innenstrukturen sowie unterschiedliche Bautypologien und Siedlungsstrukturen gekennzeichnet sind.

7.3 Veröffentlichungen des Ergebnisses

s. 7.2

7.4 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die HFT Stuttgart strebt als Hochschule für Angewandte Wissenschaften keine wirtschaftliche Nutzung der Erkenntnisse an. Die innovativen Pilotuntersuchungen zahlreicher sektoraler und querschnittsbezogener Aspekte hat zum Wissensaufbau und zur Entwicklung der untersuchten und genutzten Tools geführt.

Angesichts der hohen auf (Bestands-)gebäude zurückzuführende CO₂-Emissionen und der unverändert niedrigen Sanierungsraten ist vor dem Hintergrund des dynamisch voranschreitenden Klimawandels von einer zunehmenden Sanierungsnotwendigkeit auszugehen. Dem wird auch auf unterschiedliche legislative beziehungsweise regulatorischer Ebene Rechnung getragen, wie z.B. dem Gebäude Energiegesetz (GEG), der EU Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). Gleichzeitig sieben weitere regulatorische Maßnahmen auf die klimaneutrale Transformation von Finanz- und Realwirtschaft (z.B. EU Aktionsplan zur Finanzierung nachhaltigen Wachstums, EU Taxonomie, Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), CO₂-Bepreisung), deren Rahmen der Gebäudesektor ebenfalls eine große Rolle spielt. In der Folge benötigen zahlreiche in diese komplexen Prozesse eingebundenen Stakeholder möglichst aussagekräftige und effizient verarbeitbare Gebäudedaten. Sowohl das Crowdsourcing- als auch das Einzelgebäude- bzw. WEG-Tool setzen an diesem Erfordernis an und bieten Ansatzpunkte zur Erhebung und Verarbeitung von sanierungsrelevanten Gebäudedaten. Insofern ist von einer hohen Anschlussfähigkeit in Wirtschaft und Gesellschaft sowie einem entsprechenden Marktpotenzial auszugehen. In dem Arbeitspaket zu Geschäftsmodellen wurde mit den Transfer- und Startup-Aktivitäten der HFT Stuttgart (z.B. M4LAB, PlanG) zusammengearbeitet. Im Rahmen dessen wurden unterschiedliche Ansatzpunkte zur wirtschaftlichen Nutzung sowie für weitere Folgeprojekte herausgearbeitet.

Durch die Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodelle und die Ausgründung bzw. Unterstützung von Start-Ups mit Nachhaltigkeitsschwerpunkt konnte auch der Transfer (technologischer) Innovationen in die Gesellschaft langfristig sichergestellt werden. So wurden bspw. die beiden Startup-Teams von GreenInvest und Fünf Prozent (<https://www.5-prozent.de/>) im Rahmen dieses Projekts betreut. Während es sich bei GreenInvest um eine Plattform handelt, die darauf abzielt, Retailinvestor:innen bzw. Kleinanleger:innen Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen und erneuerbare Energien v.a. im Wohngebäudebereich zu ermöglichen, versucht das Startup Fünf Prozent, das Potenzial energetischer Sanierungen zu ermitteln. GreenInvest wurde im Rahmen des weltweiten Climathon 2020 mit dem Preis „Most transformative idea“ ausgezeichnet. Fünf Prozent hat ebenfalls unterschiedliche Auszeichnungen gewinnen können.

Literaturverzeichnis

- [1] Meyer et al. (2022): EIGENTÜMER:INNEN FÜR DIE ENERGETISCHE SANIERUNG MOBILISIEREN - Erkenntnisse aus der Umsetzung energieeffizienter Sanierungsfahrpläne für kommunale Quartiere. Berlin.
- [2] <https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/?op=enargus.eps2&q=%2201158387/1%22>, abgerufen am 20.12.2022
- [3] Verbundvorhaben: Drei Prozent Projekt - energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere 2050, BMWK, FKZ: Teilprojekt A: Vor Ort-Analyse und Austausch (DV): 03ET4017A, Teilprojekt B: Partizipation und Finanzierung (HFT): 03ET4017B, Teilprojekt C (BSU): Instrument 03ET4017C; Laufzeit: 01.08.2015 – 31.03.2019
- [4] Homepage von SimStadt: <https://simstadt.hft-stuttgart.de/>, abgerufen am 20.12.2022
- [5] Homepage von INSEL: <https://insel.eu/de/>, abgerufen am 20.12.2022
- [6] CesiumJS, online: <https://www.cesium.com/platform/cesiumjs/>, abgerufen 06.03.2023
- [7] Homepage von Axcorn: <https://axcorn-software.de/>, abgerufen am 20.12.2022 Maucher, B. et al (2019) Abschlussbericht zum Verbundvorhaben Verteilnetz 2020 - Verbesserung der Aufnahmefähigkeit und Sicherung der Netzqualität von Verteilnetzen. Online verfügbar: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1524654/1524654.pdf>, abgerufen am am 13.02.2023.
- [8] https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Presse/Pressemitteilungen/Presse2022/220520_Uebergangregelung-SMGW.html?nn=126980, abgerufen am 20.12.2022
- [9] <https://www.awattar.de/tariffs/hourly>, abgerufen am 20.12.2022
- [10] <https://www.rabot-charge.de>, abgerufen am 20.12.2022
- [11] <https://tibber.com/de>, abgerufen am 20.12.2022
- [12] <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/gebaeudetechnik/heizung-richtig-einstellen-energiekosten-sparen/#:~:text=In%20rund%2080%20Prozent%20aller,Energieknappheit%20ganz%20besondere%20im%20Fokus>, abgerufen am 20.12.2022
- [13] <https://www.viliсто.de/>, abgerufen am 20.12.2022
- [14] <https://www.raum.gold/>, abgerufen am 20.12.2022
- [15] Michael Breiner (2020): Entwicklung einer Methodik für die Auslegung von PV Batteriesystemen zur Integration in SimStadt mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, vorgelegt am 03.07.2020 an der HFT
- [16] <https://de.wikipedia.org/wiki/Ludwigsburg>, abgerufen am 23.08.2022
- [17] Gebäude- und Wohnungszählung Stadt Ludwigsburg, Zensus 2011
- [18] Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung – Universität Stuttgart / DIALOGIK Stuttgart, Stadt Ludwigsburg (2011): „Integriertes Klimaschutz- und Energiekonzept für Ludwigsburg – Endbericht“
- [19] DIN V 18599:2018-09, Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger; <https://dx.doi.org/10.31030/2874317>
- [20] Hochschule für Technik Stuttgart (2021): Schlussbericht Verbundvorhaben: Drei Prozent Projekt, Förderkennzeichen: 03ET4017B
- [21] https://www.ludwigsburg.de/start/leben+in+ludwigsburg/3_-projekt.html, abgerufen am 23.08.2022
- [22] Hegner, Miriam; Rothert, Martin; Tjaden, Tjarko; Weniger, Johannes et al. (2017): Effizienzleitfaden für PV-Speichersysteme; BSW, SMA Solar Technology AG
- [23] <https://www.photovoltaik.org/photovoltaikanlagen/wechselrichter>, zuletzt aufgerufen: 22.02.2023
- [24] Weniger, Johannes; Bergner, Joseph; Tjaden, Tjarko; Quaschning, Volker (2015): Dezentrale Solarstromspeicher für die Energiewende. 1. Aufl. Berlin: Berliner Wissenschafts-Verlag. URL: <https://pvspeicher.htw-berlin.de/solarspeicherstudie/>, aufgerufen: 03.03.2023
- [25] Lorenz, Christian; Schröder, Gerd (2014): Kurzexpertise - Wirtschaftlichkeit Batteriespeicher. Berechnung der Speicherkosten und Darstellung der Wirtschaftlichkeit ausgewählter Batterie-Speichersysteme. Leipziger Institut für Energie

- [26] Figgeler, Jan; Haberschusz, David; Kairies, Kai-Philipp (2018): Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0. Jahresbericht. RWTH Aachen. URL: <http://www.speichermonitoring.de>, aufgerufen: 03.03.2023
- [27] Kaschub, Thomas (2017): Batteriespeicher in Haushalten unter Berücksichtigung von Photovoltaik, Elektrofahrzeugen und Nachfragesteuerung. Dissertation. Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Fakultät für Wirtschaftswissenschaften.
- [28] Olaszi, Balint D.; Ladanyi, Jozsef (2017): Comparison of different discharge strategies of grid-connected residential PV systems with energy storage in perspective of optimal battery energy storage system sizing. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 75, S. 710–718. DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.046.
- [29] Uhrig, Martin (2017): Aspekte zur Integration stationärer und mobiler Batteriespeicher in die Verteilnetze. Dissertation. Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Elektrotechnik und Informationstechnik.
- [30] Figgeler, Jan; Stenzel, Peter; Kairies, Kai-Philipp; Linßen, Jochen et al. (2020): The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review. In: Journal of Energy Storage 29. DOI: 10.1016/j.est.2019.101153.
- [31] Graulich, Kathrin; Bauknecht, Dierk; Heinemann, Christoph (2018): Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Batteriespeichern in Kombination mit Stromsparen. Öko-Institut e.V. Freiburg.
- [32] BDEW (2020): BDEW-Strompreisanalyse Januar 2020. Haushalte und Industrie. BDEW Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e.V.
- [33] Bundesnetzagentur (2020): Fördersätze für PV-Anlagen - Veröffentlichung von EEG-Registerdaten. Online: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/EEG_Registerdaten_node.html;jsessionid=26FBC9FF7F64DF9BB05048A41A32C9A6, abgerufen am: 19.05.2020.
- [34] BMWi (2014): Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017. Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/, §21, §25, §49, abgerufen am: 30.06.2020.
- [35] Janko Kroschl (2022): 70% Abregelung bei PV-Anlagen im EEG abschaffen. Verluste an Solar Ernte sind nicht hinnehmbar. DGS-Solarschule München vom 03.06.2022
- [36] Schill, Wolf-Peter; Zerrahn, Alexander; Kunz, Friedrich; Kemfert, Claudia (2017): Dezentrale Eigenstromversorgung mit Solarenergie und Batteriespeichern Systemorientierung erforderlich (Vol. 84), S. 223–233
- [37] Williams, Christopher; Binder, Jann; Danzer, Michael; Sehnke, Frank et al. (2013): Battery charge control schemes for increased grid compatibility of decentralized PV systems. In: 8th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 30. Sept.
- [38] Siegel, Bernhard; Bergner, Joseph (2015): Betriebsstrategien für PV-Speichersysteme im Vergleich. Projektarbeit. Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin
- [39] Weniger, Johannes; Quaschning, Volker (2013): Begrenzung der Einspeiseleistung von netzgekoppelten Photovoltaiksystemen mit Batteriespeichern. Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin (28. Symposium Photovoltaische Solarenergie).
- [40] KfW-Bank (2020b): Erneuerbare Energien – Speicher | gefördert von KfW und BMWi. URL: <https://www.kfw.de/inlandsförderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-%E2%80%93-Speicher-%28275%29/>, abgerufen am: 30.06.2020.
- [41] Figgeler, Jan; Stenzel, Peter; Kairies, Kai-Philipp; Linßen, Jochen et al. (2020): The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review. In: Journal of Energy Storage 29. DOI: 10.1016/j.est.2019.101153.
- [42] Pflaumer, Peter (2015): Grundwissen Investitionsrechnung. lulu.com.
- [43] Ney, Michael (2006): Wirtschaftlichkeit von Interaktionsplattformen. Effizienz und Effektivität an der Schnittstelle zum Kunden. Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2005. 1. Aufl. (Markt- und Unternehmensentwicklung). Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag. Online: <http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=752919>
- [44] business-wissen.de (2020): Kapitalwertmethode oder Barwert und Net Present Value berechnen - Investitionsrechnung und Methoden zur Bewertung. URL: <https://www.business-wissen.de/hb/kapitalwertmethode-oder-barwert-und-net-present-value-berechnen/>, Stand: 16.06.2020.

- [45] Magnor, Dirk; Sauer, Dirk Uwe (2016): Optimization of PV Battery Systems Using Genetic Algorithms. In: Energy Procedia 99, S. 332–340. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.10.123.
- [46] <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/entlastung-fuer-deutschland/strompreisbremse-2125002>
- [47] Konstantin, Panos (2009): Praxisbuch Energiewirtschaft. Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt. 2., bearb. und aktualisierte Aufl. (VDI-Buch). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [48] KfW-Bank (2020a): Konditionenübersicht für Endkreditnehmer. Kreditprogramm 270. URL: <https://www.kfw-formularsammlung.de/KonditionenanzeigerNet/KonditionenAnzeiger?ProgrammNameNr=270>, Stand: 17.06.2020.
- [49] Hoppmann, Joern; Volland, Jonas; Schmidt, Tobias S.; Hoffmann, Volker H. (2014): The economic viability of battery storage for residential solar photovoltaic systems – A review and a simulation model. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 39, S. 1101–1118. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.068.
- [50] Weniger, Johannes; Tjaden, Tjarko; Quaschning, Volker (2014): Sizing of Residential PV Battery Systems. In Energy Procedia 46, S. 78-87. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.01.160; Online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214001763>, abgerufen am 03.03.2023
- [51] Online: <https://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/2015/05/HTW-Berlin-Solarspeicherstudie.pdf> Seite 30, abgerufen am 03.03.2023
- [52] EASE (European Association for Storage of Energy): Lead-Acid Battery - Technology Descriptions. & Lithium-Ion Battery - Technology Descriptions.
- [53] sonnen GmbH (2019): Datenblatt sonnenBatterie 10. Online: <https://sonnen.de/stromspeicher/sonnenbatterie-10/>, abgerufen am: 19.06.2020.
- [54] pv-magazine (2017): Fragen & Antworten zum Webinar „Batterielebensdauer einschätzen und verlängern“ – Teil 2. Online: <https://www.pv-magazine.de/2017/04/19/23223/>, abgerufen am: 19.06.2020.
- [55] Köhler, Sally & Sihombing, Rosanny & Duminil, Eric & Coors, Volker & Schröter, Bastian. (2021). A Multi-Scale, Web-based Application for Strategic Assessment of PV Potentials in City Quarters. 110-117. DOI: 10.5220/0010406201100117.
- [56] Fischer, Tobias & Biesinger, Andreas & Schröter, Bastian. (2021). Simulationsplattform SimStadt: PV-Potenzial einer Industriegesellschaft simulieren und bewerten. Magazin für die Energie-Wirtschaft. 2021. 40.
- [57] solaranlage.de (2020): Aktuelle Photovoltaik-Kosten. Deutschlands Infoportal für Sonnenenergie. Online: <https://www.solaranlage.de/preise-kosten/photovoltaik-kosten>, aberufen am: 19.06.2020.
- [58] Martin Strobl (2022): Information PV-004 (Stand 17.10.2022) - EEG 2023: Was dürfen Photovoltaik (PV)-Dachanlagen mit Volleinspeisung bis 100 kWp im Zeitraum Januar 2023 bis Januar 2024 kosten?; Institut für Agrarökonomie, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
- [59] Online: <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/eeg-2023-das-hat-sich-fuer-photovoltaikanlagen-geaendert-75401>, abgerufen am 01.03.2023
- [60] Online: <https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/165093/index.php>, abgerufen am 01.03.2023
- [61] Online: <https://www.photovoltaik.org/wissen/leistungsgarantie>, abgerufen am 01.03.2023 <https://www.photovoltaik.org/wissen/leistungsgarantie>
- [62] pv-magazine (2019): Wie weit der 52-Gigawatt-Deckel noch entfernt ist und was passiert, wenn er erreicht wird. Online: <https://www.pv-magazine.de/2019/12/05/wie-weit-der-52-gigawatt-deckel-noch-entfernt-ist-und-was-passiert-wenn-er-erreicht-wird/>, abgerufen am: 26.06.2020.
- [63] Online: <https://www.forbes.com/advisor/de/energie/strom/strompreis/>, abgerufen am 07.03.2023
- [64] Köhler, Sally & Betz, M. & Duminil, Eric & Eicker, Ursula & Schröter, Bastian. (2021). A holistic approach to model electricity loads in citiesEin ganzheitlicher Ansatz zur Modellierung des Stromverbrauchs in Städten. Sustainability Management Forum | NachhaltigkeitsManagementForum. 29. DOI: 10.1007/s00550-021-00516-6.
- [65] Köhler, Sally & Betz, Matthias & Bao, Keyu & Weiler, Verena & Schröter, Bastian. (2021). Determination of Household Area and Number of Occupants for Residential Buildings Based on Census Data and 3D CityGML Building Models for Entire Municipalities in Germany. DOI: 10.26868/25222708.2021.30573.

- [66] Bahret, Christoph & Köhler, Sally & Eltrop, Ludger & Schröter, Bastian. (2021). A case study on energy system optimization at neighborhood level based on simulated data: A building-specific approach. Energy and Buildings. 238. 110785. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110785.
- [67] Online: <https://www.bdew.de/energie/standardlastprofile-strom/>, abgerufen am 01.03.2023
- [68] Online:
https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2013/Energieverbrauch_GHD_2006-2011.pdf, abgerufen am 01.03.2023
- [69] Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/372110/umfrage/stromverbrauch-i-e-quadratmeter-verkaufsflaeche-im-deutschsprachigen-einzelhandel/>, abgerufen am 01.03.2023
- [70] PVGIS 5.1, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/pvgis-releases/pvgis-51_en, abgerufen am 03.03.2023
- [71] PVGIS-Datenquellen und Berechnungsmethoden, Online: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/getting-started-pvgis/pvgis-data-sources-calculation-methods_en, abgerufen am 01.03.2023
- [72] PVGIS-SARAH-Datenbank, online: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/pvgis-data-download/sarah-solar-radiation-data_en, abgerufen am 01.03.2023
- [73] dena-Gebäudereport 2021: Fokus Themen für den Klimaschutz;
<https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-gebaeudereport-2021-fokus-themen-fuer-den-klimaschutz/>
- [74] Statista; Eigentümerquote in Deutschland im Zeitraum von 1998 bis 2018 nach Bundesländern;
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/155713/umfrage/anteil-der-buerger-mit-wohneigentum-nach-bundesland/>
- [75] Schwemin, E., Haag, M., Betz, M. Schröter, B., Popovic, T. Coors, V. Beitrag digitaler Tools zur quartierbezogenen Mobilisierung (HFT Stuttgart), In: 3% plus – Eigentümer:innen für die energetische Sanierung mobilisieren – Erkenntnisse aus der Umsetzung energieeffizienter Sanierungsfahrpläne für kommunale Quartiere; Die Abschlussbroschüre zum 3 %-Projekt ist online abrufbar unter: https://www.deutscher-verband.org/fileadmin/user_upload/documents/Brosch%C3%BCren/3_plus-Broschuere_gesamt_FINAL.pdf, S. 3
- [76] Verbundvorhaben: Drei Prozent Projekt - energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere 2050, BMWK, FKZ: Teilprojekt A: Vor Ort-Analyse und Austausch (DV): 03ET4017A, Teilprojekt B: Partizipation und Finanzierung (HFT): 03ET4017B, Teilprojekt C (BSU): Instrument 03ET4017C; Laufzeit: 01.08.2015 – 31.03.2019, S. 128
- [77] Initiative Klimaneutrales Deutschland: Energetische Gebäudesanierung: Umfrage Besitzer Ein- und Zweifamilienhäuser (Webinar 14.07.2022); S. 14 (S. 1-22); https://initiative-klimaneutral.de/fileadmin/iknd_content/Publikationen/2207_IKND_Umfrage-EZFH_Webinar_Versand.pdf
- [78] JLL (Gombert G.); ESG-Anforderungen für die Immobilienwirtschaft konkretisiert (05/21);
<https://www.jll.de/de/trends-and-insights/investoren/mehr-klarheit-bei-esg-regeln>
- [79] Quartierskonzepte als erster Schritt zur Ausweisung von Sanierungsgebieten: Finanzielle Anreize für private Hauseigentümer erschließen: Arbeitshilfe für die Praxis: Begleitforschung Energetische Stadtsanierung (August 2019), S. 5 (S. 1-10); https://www.energetische-stadtsanierung.info/wp-content/uploads/2019/08/Arbeitshilfe-1_19_08_28n.pdf
- [80] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Attraktive Zuschüsse für Ihre Sanierung bei Einzelmaßnahmen;
<https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/Foerderprogramme/B-bauen-sanieren-beg-em.html>
- [81] energie-fachberater.de – Expertenrat; <https://www.energie-fachberater.de/expertenrat/expertenrat-foerderung-zuschuss-dachsanierung-1442491427.php>
- [82] Unser Haus – effizient. komfortabel. sicher, Fördermittel für die energetische Sanierung;
<https://www.unser-haus-sanieren.de/foerdermittel/>
- [83] BayWa; Premium-Heizöl klimakompensiert; <https://www.baywa.de/i/heizoel/premium-heizoel-klimakompensiert/>
- [84] Rosenkranz, A., heizung.de (11/22); Flüssiggasheizung: Förderung weitestgehend eingestellt;
<https://www.heizung.de/gasheizung/wissen/fluessiggasheizung-foerderung-mit-bis-zu-40-prozent.html>

- [85] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Energie – Heizen mit Erneuerbaren Energien; https://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Foerderprogramm_im_Ueberblick/foerderprogramm_im_ueberblick_node.html
- [86] Alle Fördermittel für Modernisierung und Neubau, In: CO2-online – Klimaschutz der wirkt, <https://www.co2online.de/foerdermittel/>
- [87] CalCon Deutschland GmbH (2022); S. 8; (S. 1-15).
https://info.aibatros.de/hubfs/Whitepaper_ESG_CalCon.pdf?utm_campaign=AiBATROS%20ESG%20-%20Nachhaltigkeit%20campaign&utm_medium=email&_hs_mi=62534518&_hsenc=p2ANqtz-9rLBRRnlaDGt24y970DWoEozyoq0WAXpf2pV72p1eKDKSjj4Qr9TRfOuBnYxpzUPIHGQAXxHXYIIF3-OJ3Udxv4XkHbeKDOuyQTynKlqRIMeBvZs&utm_content=62534518&utm_source=hs_automation
- [88] Popovic, T. Wärmewende in Gebäuden und Infrastruktur – Sustainable Real Estate Finance und Sustainable Infrastructure Finance als Hebel? In: 8. Jahrbuch Nachhaltige Ökonomie
- [89] Unterfrauner, F. Altbausanierung: Kosten, Zuschüsse, Förderungen; In: Dr. Klein; <https://www.drklein.de/altbausanierung.html>
- [90] Piasecki, J. In: RENEWA – Energetisch sinnvoll sanieren; BEG, KfW, BAFA und Co. - bundesweite Förderung für Sanierungen 2022; <https://renewa.de/foerderung/bundesweit#vergleich>
- [91] Coors, V.; IAF-Jahresbericht 2022 (HFT Stuttgart), S. 53; <https://www.hft-stuttgart.de/fileadmin/Dateien/Forschung/Dateien-Informationsmaterial/IAF-Jahresbericht-2022.pdf>
- [92] Schwemin, E., Haag, M., Betz, M. Schröter, B., Popovic, T. Coors, V. Beitrag digitaler Tools zur quartierbezogenen Mobilisierung (HFT Stuttgart), In: 3% plus – Eigentümer:innen für die energetische Sanierung mobilisieren – Erkenntnisse aus der Umsetzung energieeffizienter Sanierungsfahrpläne für kommunale Quartiere
- [93] De-Risking Energy-Efficiency Platform (DEEP); https://eefig.ec.europa.eu/going-activities_en#deep-platform
- [94] RP Energielexikon – CO₂-Vermeidungskosten; https://www.energie-lexikon.info/co2_vermeidungskosten.html
- [95] De-Risking Energy-Efficiency Platform (DEEP); <https://deep.eefig.eu/viewcharts/buildings/>
- [96] Kropp, A. Grundlagen der Nachhaltigen Entwicklung – Handlungsmöglichkeiten und Strategien zur Umsetzung, (2019), Springer Gabler, S. 11. (S. 1-54)
- [97] Eigene Darstellung in Anlehnung an Kropp, S. 12.
- [98] Kropp, A. Grundlagen der Nachhaltigen Entwicklung – Handlungsmöglichkeiten und Strategien zur Umsetzung (2019), Springer Gabler, S. 12.
- [99] Nachhaltigkeitsstrategie Hessen – Lernen und Handeln für unsere Zukunft – Der Europäisch Grüne Deal, <https://www.hessen-nachhaltig.de/europaeischer-gruener-deal.html>
- [100] EU-INFO-Stadtentwicklung – Finanzpolitik – Wohnungs- und Immobilienwirtschaft – Strukturpolitik, S. 2; https://zia-deutschland.de/wp-content/uploads/2021/04/EU_Info_Maerz_April_2019.pdf
- [101] EU Taxonomie Verordnung; <https://www.gruene-sachwerte.de/lexikon/eu-taxonomieverordnung/>
- [102] EU Taxonomie Grundlagen; <https://eu-taxonomy.info/de/info/eu-taxonomy-grundlagen>
- [103] Platform on Sustainable Finance's report on social taxonomy https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/280222-sustainable-finance-platform-finance-report-social-taxonomy.pdf
- [104] Freimann J., Die Sustainable Balanced Scorecard – Ein Managementinstrument für zukunftsorientierte Unternehmen, S. 65 (S. 63-75) (2006); Vgl. Kaplan, R. S. and D.P. Norton (1996) The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-003649/p_edition_hbs_157.pdf
- [105] Kaplan, R. S. and D.P. Norton (1996) The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. Boston: HBS Press.
- [106] Hahn, T., Wagner, M. Sustainable Balanced Scorecard – Von der Theorie zur Umsetzung, (09/2001), S. 2 (S. 1-24); [http://www.schlenzig-gm.de/Texte/SustainableBalancedScorecard\(SBS\).pdf](http://www.schlenzig-gm.de/Texte/SustainableBalancedScorecard(SBS).pdf)

- [107] EnSign (abgeschlossenes Projekt HFT-Stuttgart) <https://www.hft-stuttgart.de/forschung/projekte/abgeschlossen/ensign>
- [108] CO2-online (a), ModernisierungsCheck; <https://www.co2online.de/service/energiesparchecks/modernisierungscheck/>
- [109] BMWK – Sanierungskonfigurator; <https://www.sanierungskonfigurator.de/start.php>
- [110] KFW, Mit einer energetischen Sanierung langfristig sparen; <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-Immobilie/Energieeffizient-sanieren/>
- [111] eco2nomy; <https://www.eco2nomy.de/>
- [112] Jain, P.R; Benbunan-Finch, R.; Mohan, K.; Assessing Green IT Initiatives Using the Balanced Scorecard. *IT Professional*, Vol. 13 (1), 2010, 26-32.
- [113] Eigene Darstellung in Anlehnung an Löser, F., Zarnekow, R. (2015), Nachhaltiges IT-Management – Unternehmensweite Maßnahmen strategisch planen und erfolgreich umsetzen, dpunkt.Verlag, S. 45.
- [114] Popovic, T., HFT Stuttgart
- [115] Schütze, F., Stede J., Blauert M., Erdmann K., EU-Taxonomie stärkt Transparenz für nachhaltige Investitionen, DIW Berlin, https://www.diw.de/de/diw_01.c.807109.de/publikationen/wochenberichte/2020_51_1/eu-taxonomie_staeckt_transparenz_fuer_nachhaltige_investitionen.html#abstract-collapse
- [116] Schütze, F., Stede J., Blauert M., Erdmann K., EU-Taxonomie stärkt Transparenz für nachhaltige Investitionen, DIW Berlin, https://www.diw.de/de/diw_01.c.807109.de/publikationen/wochenberichte/2020_51_1/eu-taxonomie_staeckt_transparenz_fuer_nachhaltige_investitionen.html#abstract-collapse
- [117] EHA - EU-Taxonomie: Für ein europaweites nachhaltiges Wirtschaften (08/22); <https://www.eha.net/blog/details/eu-taxonomie.html>
- [118] BDE – Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaft, <https://www.bde.de/themen/der-europ%C3%A4ische-green-deal/>
- [119] EHA - EU-Taxonomie: Für ein europaweites nachhaltiges Wirtschaften (08/22); <https://www.eha.net/blog/details/eu-taxonomie.html>
- [120] Crysmann, T. So will die EU die Heizkosten senken, t-online. https://www.t-online.de/nachhaltigkeit/id_91329418/hausbesitzer-und-mieter-so-veraendert-die-eu-mit-fit-for-2050-ihre-heizkosten.html
- [121] Wiederhold, L., Sanieren oder stranden – Eine schlechte Energieeffizienz schlägt sich im Gebäudewert nieder; ImmobilienZeitung (02/22); <https://www.iz.de/finanzen/news/-sanieren-oder-stranden--eine-schlechte-energieeffizienz-schlaegt-sich-im-gebaudewert-nieder-2000003863>
- [122] Europäische Kommission, Brüssel, den 21.04.2021 COM (2021) 188 final; EU-Taxonomie, Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen,
- [123] Nachhaltigkeitspräferenzen und treuhänderische Pflichten:
- [124] Finanzielle Mittel in Richtung des europäischen Grünen Deals lenken; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0188&from=DA>
- [125] CMS – Law-Tax-Future, (04/2021); <https://www.cmshs-bloggt.de/rechtsthemen/sustainability/sustainability-environment-and-climate-change/auswirkungen-der-eu-taxonomie-auf-die-immobilienwirtschaft/>
- [126] Cato, M.S. – Sustainable Finance – Using the Power of Money to Change the World, S. 5, (S. 1-126), palgrave macmillan (2022) (Eigene Übersetzung aus dem Englischen)
- [127] EU Taxonomie Compass; https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/sector_en.htm?reference=7
- [128] DGNB, Sustainable Finance: die EU-Taxonomie und der Bezug zur DGNB Gebäudezertifizierung; <https://www.dgnb.de/de/aktuell/positionsplaepierestellungnahmen/hintergrundinformation-eu-taxonomie/index.php>
- [129] Institutional money.com; Bedrohtes Betongold (01/22); <https://www.institutional-money.com/magazin/steuer-recht/artikel/bedrohtes-betongold-63750/>
- [130] Leykam, M., Die Regulierung wird auf die Erträge durchschlagen; In: Immobilienzeitung (10/22); <https://www.iz.de/maerkte/news/-die-regulierung-wird-auf-die-ertrage-durchschlagen-2000005015>

- [131] Wieland J., Sanieren statt Aussitzen, In: Handelsblatt (11.11.2022);
<https://live.handelsblatt.com/sanieren-statt-aussitzen/>
- [132] Wiederhold, L., Sanieren oder stranden – Eine schlechte Energieeffizienz schlägt sich im Gebäudewert nieder; ImmobilienZeitung (02/22); <https://www.iz.de/finanzen/news/-sanieren-oder-stranden--eine-schlechte-energieeffizienz-schlaegt-sich-im-gebaudewert-nieder-2000003863>
- [133] DGNB-System (b); Das DGNB Zertifizierungssystem; <https://www.dgnb-system.de/de/system/index.php>
- [134] Eigene Darstellung in Anlehnung an DGNB-System; Das DGNB Zertifizierungssystem
<https://www.dgnb-system.de/de/system/index.php>
- [135] Eigene Darstellung in Anlehnung DGNB-System; Ibid. www.freepik.com
- [136] DGNB System (b); Das DGNB Zertifizierungssystem; <https://www.dgnb-system.de/de/system/index.php>
- [137] Salow, C. (09/2020); BGH-Urteil: Modernisierung vor fälliger Instandhaltung – wer muss zahlen?, immoverkauf24, <https://www.immoverkauf24.de/services/news/bgh-urteil-modernisierungskosten/>
- [138] Dr. Klein (a), Adé Abrissbirne: Günstige Sanierungskredite für Ihre Modernisierung
<https://www.drklein.de/sanierungskredit.html>; Vgl. auch: <https://www.vergleich.de/altes-haus-sanieren.html>
- [139] Baubranche 2023: Entwicklung & Prognose für die Zukunft (06/12/2022), In: Nevaris,
<https://www.nevaris.com/blog/wie-geht-es-der-baubranche/>
- [140] Dressler, P., 5 Herausforderungen im Baugewerbe im Jahr 2023, In: Cathago (08/22);
<https://www.cathago.de/magazin/5-herausforderungen-fur-das-baugewerbe-im-jahr-2023>
- [141] Energie&Haus; <https://energie-und-haus.com/team-jobs/carsten-herbert-2>
- [142] Weg der Zukunft; <https://www.wegderzukunft.de/methodik/>
- [143] Ohlinger V., Altes Haus sanieren: Kosten und Finanzierung auf einen Blick; In: Dr. Klein (09/21), <https://www.drklein.de/altes-haus-sanieren.html>
- [144] Effizienzhaus-online, Was kostet eine energetische Sanierung?, <https://www.effizienzhaus-online.de/kosten-sanierung/>
- [145] Wörrle, J.T., Sanierung oder Neubau: Was ist besser fürs Klima? DHZ (07/21);
<https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/sanierung-neubau-klima-190219/>
- [146] Ubakus – OnlineRechner (01/22): So bauen Sie mit gutem Gewissen – trotz Klimawandel;
<https://www.ubakus.de/so-bauen-sie-mit-gutem-gewissen-trotz-klimawandel/#>
- [147] CO2-vermeidung.at.; „Was sind Vermeidungskosten?“ http://www.co2-vermeidung.at/?page_id=558
- [148] Statista (2022), CO2-Ausstoß nach Heizsystem in Deutschland
- [149] Die Bundesregierung; Grundlage für CO2-Preis steht; <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/nationaler-emissionshandel-1684508>
- [150] Die Bundesregierung, Ermäßiger Steuersatz für Gas, weniger Stromkosten (11/22);
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/entlastung-fuer-deutschland/entlastung-energieabgaben-2125006>
- [151] Eigene Darstellung; Werte aus „Informationsblatt CO2-Faktoren“ (Bafa), S. 5 und 7;
https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2022.pdf?blob=publicationFile&v=5
- [152] Eigene Darstellung; Werte aus „Informationsblatt CO2-Faktoren“ (Bafa), S. 5 und 7;
https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2022.pdf?blob=publicationFile&v=5
- [153] TotalEnergies, Heizöl-Verbrauch optimieren im Einfamilienhaus;
https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2022.pdf?blob=publicationFile&v=5, <https://heizoel.totalenergies.de/rund-um-heizoel/aktuelles-tipps/heizoel-sparen/heizoel-verbrauch-optimieren-280721/>
- [154] Umweltbundesamt (04/22); <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-steigen>; Anmerkung: Es werden gewichtete Mittelwerte aus den kurz- und langfristig zu erwartenden Nachfragereaktionen dargestellt, entsprechend Abbildung 3-5 in Bach et al. (2019) a.a.O
- [155] paligo; Holzpellets Bedarf für ein Einfamilienhaus (09/20);
<https://www.paligo.com/ratgeber/brennstoffe-heizen-co./besser-heizen/check-das-ab/holzpellets->

- [bedarf-fuer-ein-einfamilienhaus/](#); Eigene Berechnungen basierend auf Daten der AG Energiebilanzen (AGEB) und des Statistischen Bundesamtes
- [156] Eigene Darstellung; Werte aus „Informationsblatt CO2-Faktoren“ (Bafa), S. 5 und 7; https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2022.pdf?blob=publicationFile&v=5
- [157] Bach, S.; Isaak, N.; Kemfert, C.; Wagner, N. (2019) Lenkung, Aufkommen, Verteilung: Wirkungen von CO2-Bepreisung und Rückvergütung des Klimapakets, DIW aktuell, No. 24, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, S. 4 (S. 1-9). <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/205157/1/1679978969.pdf>
- [158] Süddeutsche Zeitung; Das bringt die Absenkung der EEG-Umlage, (06/22); <https://www.sueddeutsche.de/politik/recht-das-bringt-die-absenkung-der-eeg-umlage-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-220629-99-849992>
- [159] Bach, S.; Isaak, N.; Kemfert, C.; Wagner, N. (2019) Lenkung, Aufkommen, Verteilung: Wirkungen von CO2-Bepreisung und Rückvergütung des Klimapakets, DIW aktuell, No. 24, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, S. 4 (S. 1-9). <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/205157/1/1679978969.pdf>
- [160] Bach, S., Isaak, N., Kemfert, C., Wagner, Lenkung, Aufkommen, Verteilung: Wirkungen von CO2-Bepreisung und Rückvergütung des Klimapakets (2019); https://www.diw.de/de/diw_01.c.683659.de/publikationen/diw_aktuell/2019_0024/lenkung_aufkommen_verteilung_wirkungen_von_co2_bepreisung_und_rueckverguetung_des_klimapakets.html
- [161] Gründerplattform – Value Proposition – mehr Umsatz mehr Erfolg?; <https://gruenderplattform.de/geschaeftsmodell/value-proposition>
- [162] AGEB (2019): Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2017
- [163] Thies, S., Solaranlage und Umweltschutz? Energieheld (10/2012); <https://www.energieheld.de/blog/sanierung/solaranlage-und-umweltschutz>
- [164] Fleig, J. Beispiele und Vorteile von Betreibermodellen: In: business-wissen.de; <https://www.business-wissen.de/artikel/betreibermodell-und-public-private-partnership-definition-vorteile-beispiele/>
- [165] Energie-Lexikon; https://www.energie-lexikon.info/co2_vermeidungskosten.html
- [166] Durchblick Energiewende – Das Warmmieten-Modell: Die Lösung für das „Mieter-Vermieter-Dilemma“, <https://www.durchblick-energiewende.de/wissen/energie/das-warmmietenmodell-die-loesung-fuer-das-mietervermieterdilemma>
- [167] Value Proposition; Strategyzer; <https://www.strategyzer.com/canvas/value-proposition-canvas>
- [168] Business Model Canvas, Strategyzer; <https://www.strategyzer.com/canvas/business-model-canvas>
- [169] Ahrend, K-M. Geschäftsmodell Nachhaltigkeit – Ökologische und soziale Innovationen als unternehmerische Chance (2016), Springer-Gabler
- [170] Gassmann, Frankenberger, Csik; Geschäftsmodelle entwickeln, 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator, 2013
- [171] Bewertung der Nachhaltigkeit der Geschäftsmodelle im Workshop (Workshop-Ergebnisse / Whiteboard /Eigene Darstellung)
- [172] Bewertung der Nachhaltigkeit der Geschäftsmodelle im Workshop (Digitalisierte Version / Eigene Darstellung)
- [173] Umweltbundesamt – Wohnfläche; (11/2022); <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche>
- [174] Umweltbundesamt – Wohnfläche; (11/2022); <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche>
- [175] Bürgerwerke Energie in Gemeinschaft – Energy Sharing – Impulsbeitrag Bundeskongress genossenschaftliche Energiewende; (BBeN) (01/22), S. 1-9; https://www.dgrv.de/wp-content/uploads/2022/01/220125_Prasentation-Energy-Sharing.pdf
- [176] Richtlinie (EU) 2018/2001 des europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1575559881403&uri=CELEX:32018L2001>
- [177] Bundesgeschäftsstelle Energiegenossenschaften im DGRV und Bündnis Bürgerenergie e.V. (2022): Vorschlag einer Definition für Bürgerenergiegenossenschaften zur Befreiung dieser Gesellschaften von Ausschreibungen. www.buendnis-energiegenossenschaften.de

buergerenergie.de/fileadmin/user_upload/20220228_Definition_Buergerenergiegesellschaft_Befreiung_Ausschreibungen.pdf

- [178] Aretz, A., Ouanes, N., Wiesenthal, J., Petrick, K., Hirschl, B.; Energiewende beschleunigen: Stromnetz für gemeinschaftliches Energy Sharing öffnen, S. 5 (S. 1-8); In: löw Impulse -Institut für Ökologische Wirtschaftsförderung; https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2022/OEW-Impulse_3_Energy_Sharing.pdf
- [179] Bürgerwerke – Energie in Gemeinschaft – Energy Sharing, (01/22); S. 6; https://www.dgrv.de/wp-content/uploads/2022/01/220125_Prasentation-Energy-Sharing.pdf
- [180] Dr. Klein: Baufinanzierung ab 50: Baukredit für Best Ager, Senioren & Rentner; <https://www.drklein.de/baufinanzierung-ueber-50.html>
- [181] Baufinanzierung – Beratung durch Experten: Was ist ein zweckgebundener Ratenkredit?; <https://baufin-experten.de/baufinanzierung-wissen/darlehen/was-ist-ein-zweckgebundener-ratenkredit/>
- [182] Ratenkredit; Kreditvergleich.net; <https://www.kreditvergleich.net/ratgeber/ratenkredite/>
- [183] ImmoNetzwerk – Umkehrhypothek; <https://www.immonetzwerk.de/know-how/umkehrhypothek>
- [184] Immobilienteilverkauf; https://www.bafin.de/DE/Verbraucher/KreditImmobilien/Immobilienfinanzierung/Immobilienteilverkauf/Immobilienteilverkauf_node.html
- [185] Finanztip, Leibrente; <https://www.finanztip.de/immobilienverrentung/leibrente/>
- [186] Wirtschaftslexikon24.com: Miete; <https://www.wirtschaftslexikon24.com/d/miete/miete.htm>
- [187] Wirtschaftslexikon 24.com: Leasing; <https://www.wirtschaftslexikon24.com/d/leasing/leasing.htm>
- [188] DasHaus: Wärme-Contracting: So funktioniert es; <https://www.haus.de/modernisieren/warme-contracting-26973#a-0-was-bedeutet-waerme-contracting-und-welche-vorteile-hat-es>
- [189] Onpluson: Das Fachportal für Entscheider im Mittelstand; <https://www.onpluson.de/lexikon/heat-as-a-service-haas/>
- [190] Bürgerwerke – Energie in Gemeinschaft – Energy Sharing, (01/22); S. 8; https://www.dgrv.de/wp-content/uploads/2022/01/220125_Prasentation-Energy-Sharing.pdf
- [191] In Anknüpfung an: Verbundvorhaben: Drei Prozent Projekt - energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere 2050, BMWK, FKZ: Teilprojekt A: Vor Ort-Analyse und Austausch (DV): 03ET4017A, Teilprojekt B: Partizipation und Finanzierung (HFT): 03ET4017B, Teilprojekt C (BSU): Instrument 03ET4017C; Laufzeit: 01.08.2015 – 31.03.2019
- [192] Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude (Eigene Darstellung)
- [193] Bundesministerium der Finanzen; Kurz erklärt: Steuerliche Förderung energetischer Gebäudesanierungen; <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Klimaschutz/2020-02-07-steuerliche-foerderung-energetischer-gebaeudesanierungen.html>
- [194] NRW.BANK; Wohneigentum modernisieren und Energie sparen; <https://www.nrbank.de/de/privatpersonen/wohneigentum-modernisieren/index.html#F%C3%B6rderprogramm>
- [195] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden Württemberg; Kombi-Darlehen Wohnen mit Klimaprämie (07/21); <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/informieren-beraten-foerderen/foerderprogramme/kombi-darlehen-wohnen-mit-klimapraemie/>
- [196] Stuttgart Energiesparprogramm; Energiesparprogramm <https://www.stuttgart.de/energiesparprogramm>
- [197] EWS – Elektrizitätswerke Schönaу; <https://www.ews-schoenau.de/unser-foerderprogramm/>
- [198] CO2online; <https://www.co2online.de/service/energiesparchecks/foerdermittelcheck/>
- [199] Statista / Statistisches Bundesamt; In: Handelsblatt (23.01.23) - Die Inflationsrate in Deutschland von 2005 bis 2023; <https://www.handelsblatt.com/finanzen/geldpolitik/inflation-die-inflationsrate-in-deutschland-von-2005-bis-2023/26252124.html>
- [200] KFW, Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG), <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesf%C3%BCrderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude/>
- [201] Vergleich Bankkredit und KfW-Kredit (Eigene Darstellung)

- [202] Bürgerliches Gesetzbuch (BGB), § 555b Modernisierungsmaßnahmen; https://www.gesetze-im-internet.de/bgb/_555b.html
- [203] Enbausa.de – Energetisch Bauen und Sanieren; <https://www.enbausa.de/finanzierung/laenderfoerderung-zur-gebaeudesanierung.html>
- [204] Fördermittel Deutschland – Förderbanken – Fördermittelinstitute und Förderbanken; <https://www.foerdermittel-deutschland.de/foerderbanken/>
- [205] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz – Förderdatenbank (Bund, Länder und EU); https://www.foerderdatenbank.de/SiteGlobals/FDB/Forms/Suche/Startseitensuche_Formular.htm!/?input_=285abce9-4339-43b9-9e4d-b1cac15665f4>p=%2526816beae2-d57e-4bdc-b55d-392bc1e17027_list%253D2&submit=Suchen&resourceld=86eabea6-8d08-40e7-a272-b337e51c6613&filterCategories=FundingProgram&templateQueryString=Energetische+Sanierung&pageLocale=de
- [206] Gabler Wirtschaftslexikon, Business Angels; <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/business-angels-27156/version-250819>
- [207] Brettel, M. Jaugey, C., Rost, C.; Business Angels -der informelle Beteiligungsmarkt in Deutschland, Gabler 2000, S. 103; <https://www.econbiz.de/Record/business-angels-der-informelle-beteiligungskapitalmarkt-in-deutschland-brettel-malte/10001480786>
- [208] Holzki, L., Schneider K., So wichtig sind Business Angels für die deutsche Start-up-Szene, In: Handelsblatt (10.03.2020), <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/mittelstand/gruender-so-wichtig-sind-business-angels-fuer-die-deutsche-start-up-szene/25627884.html>
- [209] BAND (Business Angels Netzwerk Deutschland e.V.) (06/22); <https://www.business-angels.de/business-angels-panel-79-business-angels-nehmen-energietechnik-in-den-fokus/>
- [210] Wirtschaftslexikon, Entrepreneurship, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/entrepreneurship-51931/version-275082>
- [211] Schaper, M. (2010): Understanding the Green Entrepreneur, in: Schaper, M. (Ed.): Making Ecopreneurs - Developing Sustainable Entrepreneurship, 2nd Edition, Burlington, VT 2010, pp. 7-20; In: Ludewig, D. (2015), S. 15 (S. 1-38): Green Entrepreneurship: Einordnung in die Green Economy und Bestandsaufnahme des Themenfeldes, Flensburger Hefte zu Unternehmertum und Mittelstand, No. 6, Dr.-Werner-Jackstädt-Zentrum für Unternehmertum und Mittelstand, Flensburg; <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/107144/1/817975268.pdf>
- [212] Weiß, R. / Fichter, K. (2013): Green Economy Gründungsmonitor - Konzeptstudie und Piloterhebung, Berlin 2013; In: Ludewig, D. (2015) Ibid.
- [213] Kirkwood, J.; Walton S., Kirkwood J. & Walton, S. (2010); What motivates entrepreneurs to start businesses? (Übersetzung aus dem Englischen); www.doi.org/10.1108/13552551011042799
- [214] Kropp, C.; Sustainable Innovations Theories, Conflicts and Strategies; SOI Discussion Paper 2018-02 (Universität Stuttgart), (Übersetzung aus dem Englischen) https://www.sowi.unistuttgart.de/dokumente/forschung/soi/soi_2018_2_Kropp.Sustainable.Innovations.pdf
- [215] European Climate Infrastructure and Environment Executive Agency, Innovation Fund; https://cinea.ec.europa.eu/programmes/innovation-fund_en
- [216] Brandt M.; 144 Prozent Wachstum bei Green-Tech-Neugründungen; Statista (04/22); <https://de.statista.com/infografik/22453/anzahl-der-gruendungen-von-startups-in-deutschland-nach-branchen/>
- [217] HFT Stuttgart - Making the green economy happen“ – Wie grüne Investitionen Stuttgart und die Welt nachhaltiger machen können; <https://www.hft-stuttgart.de/news/making-the-green-economy-happen-wie-gruene-investitionen-stuttgart-und-die-welt-nachhaltiger-machen-koennen>
- [218] Bettervest, <https://www.bettervest.com/de/unsere-projekte>
- [219] Econeers; <https://www.econeers.de/investmentchancen>
- [220] LeihDeinerUmweltGeld; <https://www.leihdeinerumweltgeld.de/>
- [221] Winwin – nachhaltig investieren; <https://wiwin.de/fuerprivatanleger>
- [222] Miro-Board; https://miro.com/app/board/o9J_lXOteuc/
- [223] Völpel, D., In: Staatsanzeiger (09/22); „Start-up „5 Prozent“: Simulationsprogramm zeigt Optionen für Sanierung auf“; <https://www.staatsanzeiger.de/nachrichten/wirtschaft/serie-start-ups/start-up-5-prozent-simulationsprogramm-zeigt-optionen-fuer-sanierung-auf/>

- [224] Geschäftsmodell Gründungsvorhaben (Eigene Darstellung von 5 Prozent basierend auf Strategyzer Strategyzer, <https://www.strategyzer.com/canvas/business-model-canvas>)
- [225] dena – Deutsche Energie-Agentur - Revolutioniert Blockchain die Energiewirtschaft? (a), <https://www.dena.de/newsroom/revolutioniert-blockchain-die-energiewirtschaft/>
- [226] Umfrage: Potenzial von Blockchain im Energiesektor; <https://www.energie-und-management.de/glossar/uebersicht/b/blockchain-energiewirtschaft>
- [227] fortiss, Die Blockchain-Technologie bietet Chancen für die Energiewende; <https://www.fortiss.org/aktuelles/details/die-blockchain-technologie-bietet-chancen-fuer-die-energiewende>
- [228] dena – Deutsche Energie-Agentur - Revolutioniert Blockchain die Energiewirtschaft? (a), <https://www.dena.de/newsroom/revolutioniert-blockchain-die-energiewirtschaft/>
- [229] legal-tech, Blockchain-Reihe Teil 1: Technologie und Juristisches einfach erklärt; <https://www.legal-tech.de/blockchain-einfach-erklaert/>)
- [230] Linnemann, M. Energiewirtschaft für (Quer-)Einsteiger – Einmaleins der Stromwirtschaft, Springer-Verlag, (2021), S. 292
- [231] Hwang et al. (2017), Energy Prosumer Business Model Using Blockchain System to Ensure Transparency and Safety; In: Energy Procedia 141 (2017) 194-198; S. 195.
- [232] ZDF-Nachrichten (Online) (08/21) Energieverbrauch in Deutschland : Wieder höhere CO2-Emissionen; <https://www.zdf.de/nachrichten/wirtschaft/energie-co2-kohle-gas-100.html>
- [233] Löser F., Zarnekow R. (2015) Nachhaltiges IT-Management – Unternehmensweite Maßnahmen strategisch planen und erfolgreich umsetzen, dpunkt.verlag, S. 173-4. Vgl. Linnemann M. (2021), Energiewirtschaft für (Quer-)Einsteiger, Springer Vieweg; S. 63.
- [234] Schwarm Technologies Inc.; <https://schwarm.com/iot-platform/>
- [235] Linnemann M. (2021), Energiewirtschaft für (Quer-)Einsteiger, Springer Vieweg, S. 284; „Die Definition entspricht der Ansicht des wissenschaftlichen Dienstes des Bundestages.“