



FlexGeber Abschlussbericht

Förderkennzeichen: 03EGB0001A

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FlexGeber

Demonstration von Flexibilitätsop- tionen im Gebäudesektor und deren Inter- aktion mit dem Energiesystem Deutsch- lands

Projektleitung:

Dr. Jessica Thomsen, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg

Verbundpartner:

ENIT Energy IT Systems GmbH, Freiburg im Breisgau

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg im Breisgau

Hermann Peter KG, Baustoffwerke, Rheinau-Freistett

Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V., Berlin

Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt

Taifun-Tofu GmbH, Freiburg im Breisgau

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, Wuppertal

Förderkennzeichen: 03EGB0001A

Berichtszeitraum: 01.10.2017 – 31.01.2022

Autoren:

Fuchs, Nicolas; Gorbach, Gregor; Graf, Alfons; Hanke, Thomas; Hörner, Michael; Metz, Jonathan; Nienborg, Björn; Schüwer, Dietmar; Schuster, Thomas; Thomsen, Jessica; Wanapinit, Natapon

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

Danksagung

Das Forschungsprojekt FlexGeber wurde in der Zeit vom 01.10.2017 bis zum 31.01.2022 durch den Projektträger Jülich (PTJ) unter dem Förderkennzeichen 03EGB0001A betreut. Die Finanzierung erfolgte aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, wofür wir uns herzlich bedanken.

Inhalt

1. Ausgangssituation des Vorhabens	1
Aufgabenstellung.....	1
Voraussetzungen	1
Planung und Ablauf des Vorhabens	2
Wissenschaftlicher und technischer Stand	5
Stand der Technik in der Industrie	5
Stand der Wissenschaft.....	5
Flexibilisierung des Gebäudesektors in den Sektoren Gewerbe-Handel- Dienstleistung und Industrie—Grundlage zu AP 1 & AP 3	5
Strom-Wärmekopplung im Verteilnetz sowie Planung, Steuerung und Vermarktung netzdienlicher Gebäude—Grundlage zu AP 2	6
Markt- und Betreibermodelle für die Erschließung von Flexibilisierungsoptionen in den Sektoren GHD und Industrie—Grundlage zu AP 4.....	7
Auswirkungen von Flexibilitätsoptionen auf das Energiesystem Deutschlands— Grundlage zu AP 5	9
Strom-Wärmekopplung im sektorenübergreifenden Energiesystem und rechtliche Rahmenbedingungen und Organisationsformen im Verteilnetz—Grundlage zu AP 5	10
Zusammenarbeit mit anderen Stellen	11
Fraunhofer ISE.....	11
ENIT Systems Energy IT GmbH.....	11
Wuppertal Institut.....	11
Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V. (IKEM)	12
Institut für Wohnen und Umwelt (IWU)	12
Taifun Tofu GmbH (TT)	13
Hermann Peter KG (HP)	13
2. Ablauf und Ergebnisse des Vorhabens	13
2.1. Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse	13
AP 1: Aufbau der Demonstratoren in den Case Studies.....	13
AP 1.2. Umsetzung der Case Study 1: Flexibilitäterschließung auf dem Campus des Fraunhofer ISE.....	34
AP 1.3: Umsetzung der Case Study 2: Flexibilitäterschließung bei Taifun (Nichtwohngebäude mit Industriebetrieb)	37
AP 1.4: Umsetzung der Case Study 3: Flexibilitäterschließung bei Hermann Peter KG (Nichtwohngebäude mit Industriebetrieb)	56

AP 2: Entwicklung eines Tools zur Planung, Steuerung und Vermarktung netzdienlicher Gebäude und Liegenschaften in dezentralen Energiesystemen	59
AP 2.1: Erfassung von Energieflüssen in der Industrie / GHD-Betrieben	59
AP 2.2: Analyse des Gebäudebestandes und der technischen Maßnahmen in den Case Studies.....	59
AP 2.3: Analyse von Änderungen des Nutzerverhaltens und Optimierung der Organisationsprozesse zur Schaffung von Flexibilität.....	60
AP 2.4: Aufbau der Methodik und Toolentwicklung zur Darstellung der Optimierungs- und Vermarktungsprozesse in den Case Studies.....	60
AP 2.5: Testen und prüfen Tools.....	76
AP 3: Potential von Technologien und Prozessen zur Flexibilisierung des Gebäudesektors in den Bereichen GHD und Industrie	76
Modell des Bestands der Nichtwohngebäude und Technologiemit im Jahr 2015 (ENOB:dataNWG).....	77
Hochrechnung zum NWG-Bestand und Technologiemit 2045 (WISEE).....	79
Ermittlung des Flexibilitätspotenzials (Flex-Tool).....	83
Ergebnisse der Hochrechnung der Flexibilitätspotenziale für Nichtwohngebäude in Deutschland für die Jahre 2015 und 2045	87
AP 4: Markt- und Betreibermodelle für unterschiedliche Akteure zur Steuerung und Regelung der flexiblen Interaktion von Gebäuden der Sektoren GHD und Industrie mit dem Energiesystem	92
AP 4.1: Datenrecherche zu Marktdaten, energiewirtschaftliche Daten & Maßnahmen	92
AP 4.2: Rechtliche Rahmenbedingungen	92
AP 4.3: Modellierung in einem Optimierungsmodell.....	99
AP 4.4 und 4.5: Modellrechnungen und Auswertung der Modellergebnisse – Entwicklung neuer Akteure & Betreibermodelle.....	102
AP 5: Auswirkung von technischen und ökonomischen Flexibilitätsoptionen des Gebäudesektors auf das Energiesystem Deutschlands	102
AP 5.1: Techno-ökonomische Bewertung des Transformationspfads für das Energiesystem bis 2050 unter Berücksichtigung technischer und ökonomischer Flexibilitätsoptionen im Gebäudesektor, GHD und Industrie	102
AP 5.2: Roadmap zur Ertüchtigung des Gebäudesektors als Flexibilitätsoption im Energiesystem und Handlungsempfehlungen	105
AP 6: Wissenstransfer	106
2.2 Notwendigkeit der Arbeit	107
Fraunhofer ISE	107
ENIT Systems Energy IT GmbH.....	107

Wuppertal Institut.....	107
Taifun-Tofu GmbH.....	107
Hermann Peter	107
Institut für Wohnen und Umwelt.....	108
IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.....	108
2.3 Verwertbarkeit der Ergebnisse	108
Fraunhofer ISE	108
Die Erweiterungen des Energiesystemmodells DISTRICT.....	108
ENIT Systems Energy IT GmbH.....	108
Taifun Tofu.....	109
IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.....	110
2.4 Relevante Ergebnisse von dritter Seite	111
IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.....	111
2.5 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen.....	112
Fraunhofer ISE	112
Institut für Wohnen und Umwelt.....	113
IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.....	113
Wuppertal Institut.....	113
3. Anlagen	114
3.1 verwendete Literatur	114
Fraunhofer ISE	114
IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.....	115
Wuppertal Institut.....	116
3.2 Grafiken mit der Feinauswertung zu AP 3	116

1. Ausgangssituation des Vorhabens

Aufgabenstellung

Ziel des Projektes ist es neuartige Wärme- und Kälteerzeugungstechnologien sowie neue Lösungen zur Steigerung und Qualitätssicherung der Energieeffizienz und zur Integration erneuerbarer Energien in 3 Case Studies - in GHD und Industrie - zu demonstrieren. Es soll gezeigt werden, wie die einzelnen Sektoren Strom, Wärme und Kälte effizient gestaltet werden können und durch eine Verknüpfung das Potenzial zur Flexibilisierung in der Industrie und im GHD-Sektor gehoben werden kann. Hierfür werden Markt- und Betreibermodelle entwickelt, die die Schnittstellen der Sektoren adressieren und die Einbindung der GHD- und Industriebetriebe in die Energiewirtschaft schaffen. Es werden zudem die identifizierten Flexibilitätsoptionen im Gebäudesektor in ein regionales und deutschlandweites Energiesystem- und Energiemarktmodell eingebunden, um deren Interaktion mit dem Energiesystem und die damit verbundenen Auswirkungen zu bewerten.

Das Projekt hat nicht nur das Ziel, mit einem breiten Blick den Nutzen einer Flexibilitätserhöhung in verschiedenen Gebäudetypen zu analysieren, sondern wird im Rahmen der Case Studies in konkreten Anwendungsfällen das Flexibilitätspotenzial heben und dadurch eine direkte Auswirkung auf die Erhöhung der Flexibilität im deutschen Energiesystem erreichen und die Energiewende vorantreiben. In den Case Studies wird u.a. auch detailliert untersucht, welche Investitionen in Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR-Technik), flexible Energiewandler und -Speicher nötig sind, um die Flexibilität in den Gebäuden signifikant zu erhöhen und damit einen positiven Beitrag zur Energiewende zu leisten. Die identifizierten Maßnahmen werden im Rahmen des Projekts in den Case Studies implementiert und technisch- wirtschaftlich analysiert.

Voraussetzungen

Zur praktischen Umsetzung der Energiewende hat sich die Bundesregierung bis zum Jahr 2050 klare Ziele gesetzt. Neben der Formulierung von Strategien zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien, zum Netzausbau, der Entwicklung von Energiespeichern und der Elektromobilität, wird eine Minderung des Primärenergiebedarfs bis 2050 gegenüber dem Wert des Jahres 2008 um die Hälfte angestrebt. Großes Potenzial zur Bedarfsminderung birgt der Gebäudesektor, der für rund 40 % des Endenergiebedarfs in Deutschland verantwortlich ist (BMW, Sanierungsbedarf im Gebäudebestand, 2014). Allein der Strom- und Wärmebezug in der Industrie und GHD verursacht auf Erzeugungsseite – entweder lokal vor Ort oder in zentralen Kraftwerken – 35 % der Treibhausgasemissionen in Deutschland (UBA, 2013). Als kurzfristiges Ziel, bis zum Jahr 2020, soll für diesen Bereich eine Primärenergiebedarfsreduktion von mindestens 20 % erfolgen. Langfristig wird bis zum Jahre 2050 ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand angestrebt. Dies bedeutet, dass der Primärenergiebedarf des Gebäudesektors (nicht erneuerbar) um mindestens 80 % gesenkt und der verbleibende Anteil überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt werden sollen (BMW, Sanierungsbedarf im Gebäudebestand, 2014), (Bürger, et al., 2016).

Mit der Förderung und dem Wachstum der erneuerbaren Energien rückt neben der Betrachtung der reinen thermischen Energien im Gebäudebereich auch zunehmend das Stromnetz in den Fokus. Gerade in den letzten Jahren ist ein großer Zuwachs in den Bereichen der erneuerbaren Energien am Gebäude selbst (Photovoltaikanlagen) und auch bei den Windparks und Biogasanlagen zu sehen. Die installierte Leistung zur Stromerzeugung lag 2013 für Windenergie in Deutschland bei ca. 31 GW und für die Photovoltaik wurde ein Wert von ca. 36 GW_p erreicht (Klein, Kalz, & Herkel, 2014). Heute und auch in der Zukunft werden diese Technologien einen beträchtlichen Einfluss auf das Stromnetz sowohl im Übertragungs- als auch Verteilnetz haben. Dabei müssen Netzengpässe und Überlastungen vermieden werden. Die bereits heute installierten PV-Anlagen in den Wohngebieten Deutschlands können bei einer hohen Sonneneinstrahlung zu einer Überlastung in den Verteilungsnetzen führen. Gerade die zeitliche Diskrepanz zwischen der Produktionsspitze der PV-Anlage am Mittag und den Bedarfsspitzen (morgens und abends) der Nutzende muss durch Speicher behoben werden. Speicher und adaptiertes Nutzverhalten steigern bereits die Selbstversorgung, jedoch sind notwendige Batterien zurzeit noch sehr teuer.

Aus den unterschiedlichen Zielen der Bundesregierung geht hervor, dass zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende ein Handlungsbedarf in vielen unterschiedlichen Bereichen besteht. Dabei ist es sinnvoll, jegliche Maßnahmen in Richtung einer nachhaltigen Energieversorgung nicht nur isoliert, sondern im Kontext des gesamten Energiesystems zu betrachten. Der Vorteil, der sich dadurch ergibt, besteht darin, dass der Einfluss verschiedener Maßnahmen auf das Gesamtsystem aufgezeigt und aus technischer sowie ökonomischer Sicht bewertet werden kann.

Die neue notwendig gewordene Flexibilität durch steuerbare Verbraucher und Speicher soll durch Demand-Side-Management (DSM) erreicht werden. Das Gebäude bzw. die Quartiere müssen zukünftig dabei also nicht nur primärenergetisch betrachtet werden, sondern auch auf die fluktuierende Stromerzeugung reagieren können. Demnach sollte es netzdienlich sein und so als regelbare Last oder dezentraler Erzeuger agieren können. Damit wird das Gebäude selbst zum Teil des Energiesystems.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt ist in 5 aufeinander aufbauende Arbeitspakete untergliedert und durch das AP 0 koordiniert. In AP 1 werden die Demonstratoren aufgebaut und durch Messequipment ausgestattet. Ziel ist es hier, die Energieflüsse in den Demonstratoren möglichst rechtzeitig zu erfassen, um darauf aufbauende Analysen starten zu können. Die Demonstratoren in AP 1 werden flankiert durch das AP 2, in dem in 3 Case Studies die Flexibilisierung und Vermarktung von Flexibilitäten in GHD- und Industrie-Betrieben umgesetzt und gezeigt wird. Hierbei wird ein Tool entwickelt, das den Vorteil der Flexibilitätsoptionen aber auch der Erhöhung der Effizienz sowie Anteile erneuerbarer Energien einfach und klar darstellen kann, so dass eine breite Umsetzung der Ziele der Bundesregierung bzgl. Anteile erneuerbarer Energien, Flexibilisierung und Effizienzerhöhung aber auch eine Reduktion des Primärenergiebedarfs in GHD- und Industrie-Betrieben erfolgen kann. In AP 3 erfolgt eine Erarbeitung des Potenzials zur Flexibilisierung in den Bereichen GHD und Industrie. Hier liegt der Fokus auf der Bewertung, welche Maßnahmen zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand in Nichtwohngebäuden führen kann. Die Einbindung des GHD-Betriebs und der Industriebetriebe in ein Verteilnetz und deren Vermarktungsmöglichkeiten erfolgt in AP 4. Aus der Vermarktung des Systems werden Betreibermodelle abgeleitet. Die Synthese der Arbeiten und ein Pfad zur Zielerreichung des nahezu klimaneutralen Gebäudebestands wird in AP 5 umgesetzt. Hier soll zudem eine Roadmap erstellt werden, die den relevanten Stakeholdern Information liefert und zu einer verbreiteten Bereitstellung von Flexibilitäten und damit auch einer Reduktion des Primärenergiebedarfs in Gebäudesektor von GHD- und Industriebetrieben führt. Nachfolgende Abbildung fasst den Arbeitsplan noch einmal zusammen.

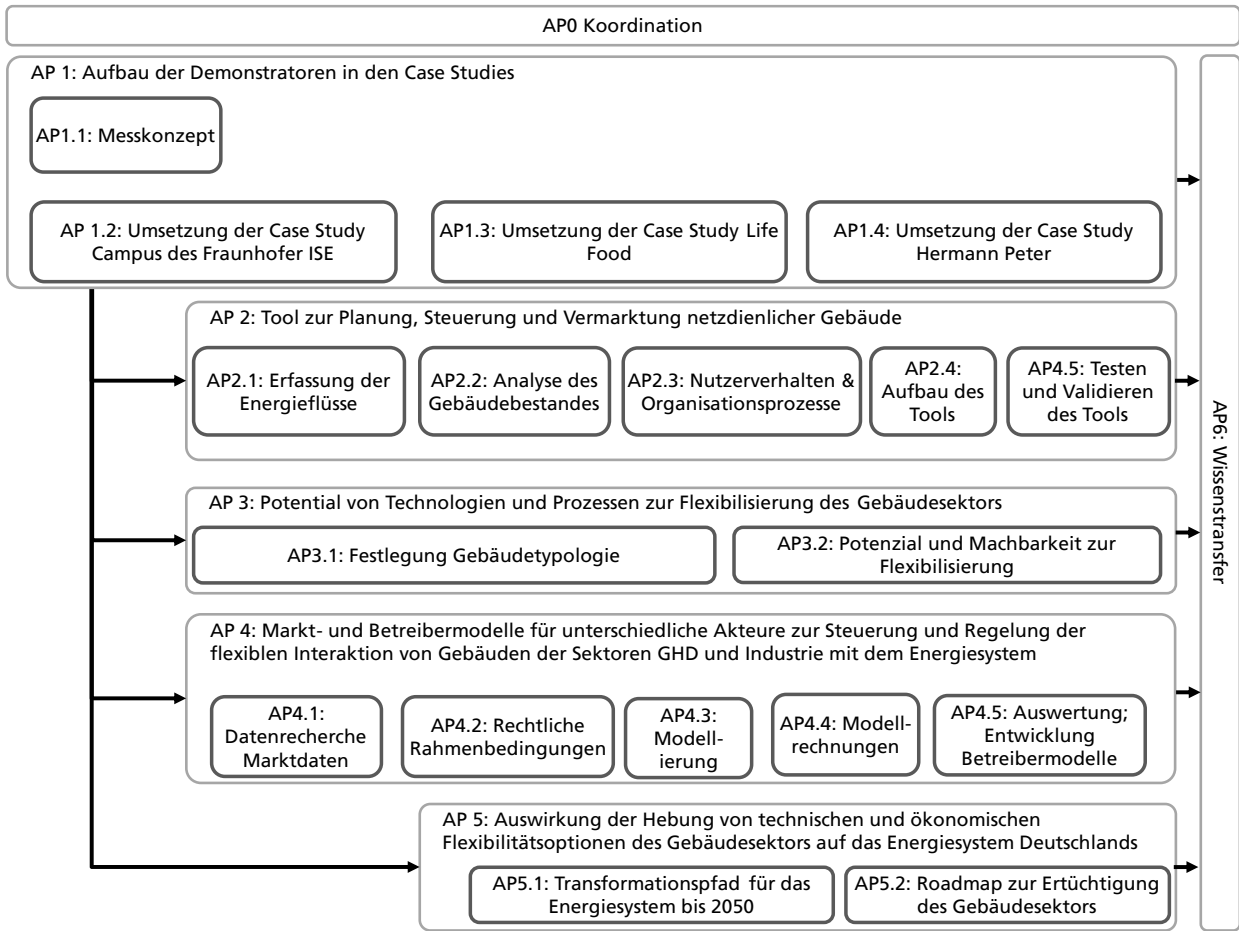


Abbildung 1 Darstellung des Arbeitsplans

Übersicht des Projektplans nach der Laufzeitverlängerung des Vorhabens:

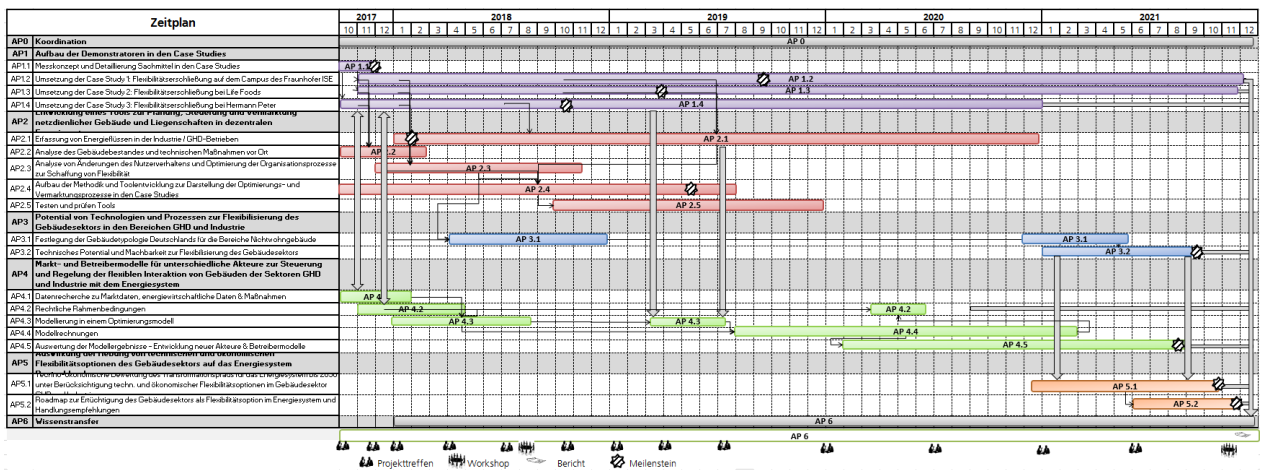


Abbildung 2 Darstellung der Arbeitspakete in ihrem inhaltlichen Kontext

Tabelle 1 Übersicht Meilensteine

	Meilenstein	Datum
M1	Messkonzept für die 3 Case Studies finalisiert	Nov 2017
M2	Erste Messungen aus den Case Studies liefern Daten	Feb 2018
M3	Sachmittel und Messtechnik vollständig ausgebracht – Herrmann Peter	Okt 2018
M4	Sachmittel und Messtechnik vollständig ausgebracht – FhG ISE	Sept 2019
M5	Sachmittel und Messtechnik vollständig ausgebracht Taifun-Tofu GmbH	Mrz 2019
M6	Tool liefert erste Ergebnisse	Mai 2019
M7	Technisches Potenzial der Flexibilisierung abgeschlossen	Sept 2021
M8	Transformationspfad zu einem nahezu klimaneutralem Gebäudebestand liegt vor	Okt 2021
M0	Erste Betreibermodelle liegen vor und wurden rechtlich geprüft	Aug 2021
M10	Roadmap und Handreichung liegt vor	Nov 2021

Die geplanten Meilensteine konnten nicht immer wie geplant eingehalten werden, da vor allem die Installation des Messsystems in allen Case Studies deutlich länger dauerte als gedacht und auch die anschließende Erhebung der Daten deutlich komplexer war als zu Beginn angenommen. Der tatsächliche Ablauf der Meilensteine ist in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 2 Übersicht tatsächliche Erreichung der Meilensteine

	Meilenstein	Datum
M1	Messkonzept für die 3 Case Studies finalisiert	HP: Jul 2018 TT: Dez 2019 ISE: Jun 2018
M2	Erste Messungen aus den Case Studies liefern Daten	HP: Mrz 2020 TT: Feb 2018 ISE: Jun 2022
M3	Sachmittel und Messtechnik vollständig ausgebracht – Herrmann Peter	Jul 2019
M4	Sachmittel und Messtechnik vollständig ausgebracht – FhG ISE	Jul 2020
M5	Sachmittel und Messtechnik vollständig ausgebracht Taifun-Tofu GmbH	Dez 2019
M6	Tool liefert erste Ergebnisse	Jan 2020
M7	Technisches Potenzial der Flexibilisierung abgeschlossen	Sept 2021
M8	Transformationspfad zu einem nahezu klimaneutralem Gebäudebestand liegt vor	Okt 2021
M9	Erste Betreibermodelle liegen vor und wurden rechtlich geprüft	Aug 2021
M10	Roadmap und Handreichung liegt vor	Dez 2021

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Stand der Technik in der Industrie

Das Handeln in der Industrie wird von zwei Aspekten zentral beeinflusst:

1. Reduzierung der Stromkosten entsprechend der drei Rechenkomponenten Arbeitspreis, Leistungspreis und Preis für Blindarbeit.
2. Zertifizierung bzw. das Audit entsprechend ISO50001 oder DIN EN 16247-1.

Investitionen in Mess- oder Steuerungstechnik oder Anlagen auf der Erzeugungs- oder Verbrauchsseite ordnen sich diesen beiden Zielen unter. Hinsichtlich Flexibilitäten ist die Lastspitze der wichtigste Treiber für eine lokale Optimierung im Betrieb. Sobald Eigenerzeugung vorhanden ist, besteht zudem ein Anreiz zur lokalen Verbrauchsanpassung an die Erzeugung. Nutzung der lokalen Flexibilitäten für eine überregionale Optimierung, wie sie in diesem Projekt beabsichtigt wird, wird in der industriellen Zielgruppe (1 – 10 GWh) aufgrund fehlender Anreize noch nicht umgesetzt.

Eine Erfassung von Energiedaten findet zwar vereinzelt statt, bietet aber bestenfalls einen Startpunkt für die Entwicklung eines Energiemanagementsystems im Sinne dieses Projekts. Insbesondere die Punkte Messkonzept, Messstellenstruktur mit Integration von Netzübergabepunkt und Unterzählern, automatisierte Datenerfassung über definierte Protokolle, zeitliche Auflösung der Daten, Echtzeitauswertung, Anwendung und Benutzendenfreundlichkeit sind auszubauen.

Stand der Wissenschaft

Flexibilisierung des Gebäudesektors in den Sektoren Gewerbe-Handel-Dienstleistung und Industrie—Grundlage zu AP 1 & AP 3

Eine wichtige zukünftige Anforderung an Gebäude wird es sein, den Betrieb bzw. die Wärme- und Kälteversorgung netzdienlich zu gestalten. Diese Anforderung ergibt sich aus den derzeit stattfindenden drastischen Änderungen im deutschen Energiesystem: Durch den Übergang zu einer zunehmend dezentralen Versorgung entstehen lokale bzw. regionale Differenzen zwischen Stromerzeugung und elektrischer Last. Zudem führt der steigende Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien (z.B. aus Wind und Sonne) zu starken zeitlichen Schwankungen in der Stromproduktion. Beide Aspekte stellen erhöhte Anforderungen an die Stabilität der Stromnetze. Ein Ansatz, die Auswirkungen der Angebotsschwankungen im Stromnetz zu mildern, liegt im Demand-Side-Management (DSM), d.h. der gezielten Steuerung von elektrischen Verbrauchern, um so den elektrischen Leistungsbedarf durch Aktivierung oder Abschaltung variabel gestalten zu können. Im Gebäudesektor kann insbesondere über elektrisch angetriebene Wärmepumpen, Kältemaschinen und Ventilatoren in den Lüftungsanlagen eine Kopplung von thermischem und elektrischem Energiebedarf im Gebäude realisiert werden. Die gezielte Veränderung des zeitlichen Strombezugsprofils zur Wärme- und Kältebereitstellung kann somit einen entscheidenden Beitrag zur Lastglättung und Lastverschiebung leisten. Weiterhin können die Kopplung an thermische Speicher, elektrische Wärmepumpen und Kältemaschinen dazu genutzt werden, überschüssigen erneuerbaren Strom in thermische Energie zu wandeln, um so negative Residuallastverläufe zu glätten. Insbesondere Wärmepumpen im größeren Leistungsbereich für die Versorgung von Mehrfamilienhäusern sowie Büro- und Gewerbegebäuden haben großes Potenzial, durch eine abgestimmte Interaktion mit dem elektrischen Versorgungsnetz eine Lastverschiebung durch das effiziente Erzeugen und Zwischenspeichern von Wärme und Kälte zu ermöglichen und damit einen Beitrag zur Netzstabilität zu leisten.

Untersuchungen in „LowEx:Monitor“ (BMW, FKZ 0327466B) zeigten, dass durch die thermische Trägheit von Niedrigexergiesystemen (insb. TABS) Zeitfenster zwischen Energiebereitstellung und -nutzung im Raum ermöglicht werden, die für eine netzdienliche Flexibilisierung der Wärmebereitstellung genutzt werden können. Darüber hinaus bietet die Kombination aus BHKW, Wärmepumpe/Kältemaschine und thermischem Speicher die Möglichkeit, Wärme wahlweise mit Stromerzeugung, Strombezug oder stromneutral zu produzieren und zu speichern.

Das Verbundvorhaben „Netzreaktive Gebäude“ (BMW, FKZ 03ET1111A) fokussiert sich auf die ganzheitliche Bewertung von Bauphysik und Gebäudeenergiesystemen einschließlich ihrer Rolle in der

Energiewirtschaft hinsichtlich Energie, Exergie, Leistungsbezug und -abgabe. Es wird eine umfassende, ganzheitliche Betrachtung von Gebäuden als Teil des Energiesystems erarbeitet, in der primär-energetische, exergetische und energiewirtschaftliche Gesichtspunkte zusammengeführt werden. Im Ergebnis soll ein operationalisierbarer Vorschlag für eine konsistente Bewertungsmethodik für Gebäudeenergiesysteme vorliegen. Eine erste messdatenbasierte Analyse zeigt, dass das Strombezugsverhalten heutiger Nichtwohngebäude zur Gebäudebeheizung und -kühlung meist weder besonders „netzdienlich“ noch „netzadvers“ ist. Große Chancen für ein netzangepasstes Verhalten liegen in der Übergangszeit mit geringer thermischer Lastanforderung. Weiterhin weisen manche hybriden Systeme ein markantes Strombezugsprofil auf, welches durch eine angepasste Folgeschaltung der Wärme-/Kälteerzeuger beeinflusst werden kann.

Weiterhin machen die Analysen deutlich, dass technische Wärmespeicher nach bisher gängiger Dimensionierung nur begrenztes Potenzial zur Zwischenspeicherung von Wärme und Kälte bieten, da sie (v.a. in Nichtwohngebäuden) im Vergleich zur installierten Leistung üblicherweise relativ klein ausgeführt sind. Hier bieten die im Zusammenhang mit den oben beschriebenen Niedrigexergiesystemen eingesetzten TABS durch ihre hohe thermische Masse eine gute Möglichkeit, die Erzeugung von Wärme und Kälte zeitlich zu verschieben und die thermische Energie zwischenzuspeichern. Insbesondere TABS in Nichtwohngebäuden sind bei Neubauten aufgrund der zeitlich klar voneinander getrennten Nutzungs- und Nichtnutzungszeiten für derartige Lastmanagement-Anwendungen prädestiniert. Darüber hinaus existieren nicht unerhebliche Potenziale im Bereich der gewerblichen Kühlung, z. B. durch Unterkühlung von Kühlräumen oder bei größeren Anlagen durch die Kombination von elektrisch und thermisch angetriebenen Kältemaschinen.

Strom-Wärmekopplung im Verteilnetz sowie Planung, Steuerung und Vermarktung netzdienlicher Gebäude—Grundlage zu AP 2

Viele Projekte und Veröffentlichungen sind im Kontext der Energiewende verschiedener Fokusse entstanden. Im Folgenden wird dargestellt, welche Ergebnisse und Vorarbeiten für die Durchführung des Projektes relevant sind und inwieweit sie sich von dem Konzept des vorliegenden Projektantrags abgrenzen.

Es gibt eine Vielzahl von Energiesystemmodellen, die beispielsweise die Betriebsführung und den Ausbau des Energiesystems simulieren oder optimieren. Jedoch beschränken sich die meisten Modelle auf nur einen Energiesektor. Die detaillierte, übergreifende Betrachtung von Strom- und Wärmenachfrage befindet sich im Modellbereich zum Großteil noch in der Entwicklung. Erste Veröffentlichungen von Modellansätzen und -ergebnissen liegen derzeit für das Model KomMod vor. Mit diesem werden Effekte auf kommunaler Ebene eines hohen erneuerbaren Energien-Szenarios betrachtet. Das Optimierungsmodell bildet ein ganzheitliches Energiesystem und mehrere Energieträger ab, die in einer Kommune relevant sind. Es werden unterschiedliche Technologien wie Wind, PV, Wasserkraft, Solare Wärme, Geothermie sowie Biogas betrachtet. Es wird eine technische und ökonomische Untersuchung vorgenommen, um ein Optimum für die Stadt zu entwickeln (Eggers, 2013). Der Fokus auf Städte und Kommunen schafft allerdings nicht die Voraussetzung, dass Industrie- oder GHD-Liegenschaften analysiert werden können.

Eine Studie im Auftrag des Bundesverbands Erneuerbare Energien analysiert die Flexibilitätspotenziale für das Energiesystem auf dem Wärmemarkt. Zentrales Ergebnis ist, dass der Überschussstrom aus Erneuerbaren Energien sinnvoll und kostengünstig im Wärmebereich genutzt werden kann (Schulz, 2013) (Umweltenergiericht, 2013). Das Ergebnis zeigt, dass die übergreifende Betrachtung des Strom- und Wärmesektors zunehmend an Bedeutung gewinnt, was dadurch bestätigt wird, dass derzeit durch die Bundesregierung Forschungsprojekte zur kombinierten Modellierung des Strom- und Wärmesektors sowie deren Interaktion gefördert werden. Diese zielen auf eine Abbildung der gesamtdeutschen Energienachfrage und -erzeugung ab (Umweltenergiericht, 2013).

Die von BMUB und BMWi geförderten e-energy (e-energy, 2013) Projekte implementieren in sechs verschiedenen Regionen Deutschlands Marktplätze und dienen der IKT-basierten Vernetzung von Erzeugenden und Verbrauchenden. Die Ausgestaltung variiert anhand der Forschungsschwerpunkte und Konzeptionierung der jeweiligen Regionen. Die Ergebnisse der Modellregion Cuxhaven (eTelligence, 2012) zeigen, dass Betreibende kleiner Erzeugungseinheiten durch den möglichen Handel mit Blindleistung den Betrieb ihrer eigenen Anlagen entsprechend optimieren und zusätzliche Gewinne erwirtschaften können. Jedoch führte der Handel von Blindleistung aufgrund der schlechten Prognostizierbarkeit des Netzes nur bedingt zu einer tatsächlich positiven Beeinflussung der Netze (eTelligence, 2012). Der Fokus der Projekte liegt auf

dem Handel am dezentralen Marktplatz und der Vernetzung der Technologien, weniger auf dem anreiz-gesteuerten Ausbau der Technologien. Zudem liegt der Fokus größtenteils auf dem Stromsektor. Die Projekte liefern aber gute Grundlagen insbesondere für die Vernetzung und Kommunikationsstrukturen, die für die neue Marktrolle notwendig sind.

Im Forschungsprojekt „NAREM“ werden die Effekte regionaler Marktplätze näher untersucht. Insgesamt ergibt sich hier, dass regionale Marktplätze nur bei Kopplung mit übergeordneten Energiemärkten eine ökonomische Effizienz aufweisen. Im Netzbetrieb ohne Netzengpässe zeigt sich am regionalen Marktplatz der gleiche Preis wie im übergeordneten Markt. Bei Netzengpässen fördert ein regionaler Marktplatz den Ausgleich von regionalem Angebot und Nachfrage (Weber, 2013). Daher richtet sich dieses Forschungsvorhaben nach den Preisen der zentralen Strombörse.

Da die dezentrale Energiebereitstellung in Zukunft eine immer größere Rolle spielen wird, wurde in verschiedenen Studien und wissenschaftlichen Veröffentlichungen die Notwendigkeit eines veränderten Verteilnetzbetriebes festgestellt. Weiterhin wird postuliert, dass die Anforderungen an die Verteilnetzbetreibende sich durch den Zubau dezentraler Erzeugungseinheiten stark wandeln werden. Daraus ergibt sich die Forderung nach neuen Konzepten für bestehende Akteure und neuen Marktrollen (VDE, 2013), (dena, 2012).

(Diekman, 2007) kommen zu dem Schluss, dass die „Anreizregulierung alle Fenster offen lässt für neue Aufgaben der Netzbetreibende, die mit dem notwendigen Umbau des bestehenden Energiesystems zusammenhängen“ (Diekman, 2007). Weiterhin wird gefordert, dass die neuen Aufgaben geeignet erscheinen vor Ort neue Arbeitsplätze bei den Netzbetreibenden zu generieren, vorausgesetzt, das Selbstverständnis der Netzbetreibenden wandelt sich „hin zu einem »aktiven« Netzbetreibende, der die Erschließung und Integration aller dezentral vorhandenen und erschließbaren Optionen koordiniert und unterstützt“ (Diekman, 2007).

Auch die dena Verteilnetzstudie (dena, 2012) zeigt, dass sich die Rolle der Verteilnetzbetreibende aufgrund der vermehrten Dezentralität der Energieerzeugung zukünftig wandeln muss, um den damit einhergehenden Anforderungen gerecht zu werden. Dabei wird nicht nur der Bedarf der Ausstattung der Verteilnetze mit intelligenter Messtechnik, sondern auch eine stärker werdende Koordinierungsfunktion der Betreibenden beschrieben. Durch die Entwicklung des unidirektionalen Systems der Verteilnetze hin zu einer bidirektionalen Funktionsweise werden die Verteilnetzbetreibenden durch ihr Wissen über das jeweilige Verteilnetz, die dortige Erzeugung und Nachfrage, wichtige Akteure. „Insbesondere sind die Erbringung von Dienstleistungen aus dem Verteilnetz heraus und die planerische sowie betriebliche Koordination mit dem Übertragungsnetz zu beachten und zu regeln.“ (dena, 2012).

Ein Beispiel für Energiesystemmodelle, die nicht nur Strom, sondern das ganzheitliche System betrachten, ist eTransport, entwickelt im SINTEF Forschungsinstitut. Das Modell bietet eine grafische Übersicht eines bestimmten Energiesystems (z.B. Gemeinde, Stadt, Vorort) in Bezug auf Kosten, ökologische Effekte und die Verwendung von lokalen Energieressourcen. Die aktuelle Version kann den Bau von Infrastruktur unter Beachtung von Interaktionen zwischen den wichtigsten Energieträgern (Strom, Fernwärme, Kälte, Gas, Abfall und Biomasse) optimieren. Das Hauptziel des Modells ist es, Investitionen in die Infrastruktur über einen Planungshorizont von mehreren Jahren zu optimieren, um verfügbare Energie an den Endverbrauchenden zu liefern, sodass die Endverbrauchenden von einer wirtschaftlich und ökologisch optimalen Lösung profitieren.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Verteilernetz in Zukunft eine immer größere Rolle im Energiesystem spielen wird, sich jedoch stark wandeln muss, um den Anforderungen einer dezentralen Erzeugung gerecht zu werden. Vor allem die Erschließung der Flexibilitäten im Verteilnetz kann ein wichtiger Baustein der zukünftigen Energieversorgung sein. Dieses auf der Strom- und Wärmeseite zu heben, zu vernetzen und am Markt zu handeln bietet ein großes Potenzial das gesamte Energiesystem flexibler zu gestalten und dadurch konventionelle Reservekraftwerke einzusparen.

Markt- und Betreibermodelle für die Erschließung von Flexibilisierungsoptionen in den Sektoren GHD und Industrie—Grundlage zu AP 4

Die Systemintegration und Flexibilisierung von Gebäuden ist mit einer Vielzahl verschiedenartiger Hemmnisse konfrontiert, die bei der Erarbeitung der Modelle zu beachten sind. Bei der Etablierung der Markt- und Betreibermodelle können die gesetzlichen Rahmenbedingungen entscheidend sein. Handelt es sich bspw. um institutionalisiert geförderte erneuerbare Energiegewinnung, drängt sich die Untersuchung des

Förderregimes aus juristischer Perspektive auf, um stimmige Ansätze und Herangehensweisen aus Fördernehmersicht zu modellieren. Die Modellierung sollte zudem die Regelungen aus dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), das die derzeitige gesetzliche Grundlage zur Gewährleistung der Sicherheit der Elektrizitäts- und Gasversorgung im Dienste der Allgemeinheit bildet, samt der darauf aufbauenden Gesetze und Verordnungen, berücksichtigen. Es enthält auch zu beachtende europarechtliche Regulierungs- und Entflechtungsvorgaben, die den Aktionsradius bestimmter Akteure beschreiben und Einfluss auf ihre geeignete Einbindung für Flexibilisierungsoptionen haben können. Hier sind die Aufgabenzuweisungen und Grenzen der energiewirtschaftlichen Akteure klar zu beschreiben und die Handlungsspielräume im Rahmen ihrer Aufgabenwahrnehmung herauszuarbeiten.

Entscheidend dürften die zahlreichen Novellierungen sein, deren Wirkweise sich vor der jeweiligen Regulationsintention noch bewähren muss. Insbesondere im EEG 2017 sind Vorschriften enthalten oder angelegt, die im Rahmen der Modelle positiv in Zusammenarbeit mit EE-Erzeugungsanlagenbetreibenden erprobt werden könnten. Im Zusammenhang und Rahmen des mit dem in Anlehnung an die Systematik des EEG 2017 neu strukturierten KWKGs und dem Messstellenbetriebsgesetz kann an neuen Ansätzen angeknüpft werden, um Flexibilisierung rechtssicher bereitstellen zu können.

Perspektivisch entscheidend dürften die rechtspolitischen Diskussionen zur Weiterentwicklung und Zusammenführung des Energieeinsparungsgesetz (EnEG), der Energieeinsparverordnung (EnEV) und des Erneuerbare-Energien-Wärmeesetz (EEWärmeG) im „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden“ für den Gebäudesektor sein. Dieser Prozess wurde zuletzt mit einem Gesetzentwurf des BMUB im Januar 2017 vorgebracht, allerdings ist es sehr unwahrscheinlich, dass das Gesetz noch in der laufenden Legislaturperiode verabschiedet wird, womit es voraussichtlich nicht wie geplant zum 1. Januar 2018 in Kraft treten kann. Im Kontext der Flexibilisierung sind Entwicklungen einer Verordnung zu steuerbaren Verbrauchseinrichtungen auf Niederspannungsebene zu beobachten.

Exemplarisch werden folgende wesentliche Hindernisse benannt:

- System- bzw. netzdienlicher Stromverbrauch von Endkundinnen und Endkunden wird aktuell nicht oder kaum mit zeitvariablen Stromtarifen für (z.B. „real time pricing“), die eine Anpassung des Nutzendenverhaltens attraktiv machen, positiv beeinflusst
- Ein maßgeblicher Impuls zum Lastmanagement kann auch bei direkter Weitergabe von Börsenstrompreisen an den Endverbrauchenden nicht nutzbar gemacht werden, da staatlich veranlasste Strompreisbestandteile mehr als 75 % des Strompreises ausmachen.
- System- bzw. netzdienlicher, lokaler Stromvertrieb wird nicht angereizt. Das Potenzial der im EEG 2017 angelegten Regional- und Herkunftsnachweise ist für solche Ansätze zu untersuchen und das Kennzeichnungsprinzip ggf. fortzuentwickeln
- System- bzw. netzdienliche Flexibilisierung durch Teilnahme am Regelenergiemarkt bietet sich für Betreiber kleiner Anlagen derzeit kaum an. Dies ist im Wesentlichen auf die Präqualifikationsvorgaben zurückzuführen, die kleine Anlagen nur im Wege des Pooling partizipieren lassen. Das aktuell laufende Festlegungsverfahren der BNetzA, das die Ausschreibungsbedingungen im Sinne von „flexiblen Erzeugern“, „steuerbaren Verbrauchenden“ und „Speicherbetreibenden“ zu optimieren sucht, ist zu beobachten.
- System- bzw. netzdienliche Flexibilisierung durch die vergütete Zurverfügungstellung von Verbrauchenden im Netzengpassmanagement ist mit vergleichbaren Problemen behaftet, wie die Teilnahme am Regelenergiemarkt und unterliegt zudem der Steuerungsgewalt des ÜNB.
- Ein systemdienlicher Einsatz von sog. steuerbaren Verbrauchseinrichtungen (wie z.B. die für Gebäude äußerst relevante Wärmepumpe oder Fußbodenheizungen) in der Niederspannungsebene büßt wegen der Steuerbefugnis des VNB an Attraktivität ein, zumal die Befugnis erst noch in einer ausstehenden Verordnung konkretisiert wird.
- Einer Flexibilisierung stehen die Regelungen der Stromnetzentgeltverordnung diametral entgegen, da sie bei der Bemessung der Netzentgelthöhe nach oben oder unten grundsätzlich auf einen gleichmäßigen Strombezug aus dem Netz abstellen.

- Die Grundlagen zur Bestimmung des Primärenergiefaktors berücksichtigen derzeit keinen system- bzw. netzdienlichen Strombezug, was der Flexibilisierung des Gebäudesektors abträglich ist.
- Einer Flexibilisierung mit Hilfe von Energiespeichern steht die diffizile Einordnung in den regulatorischen Rahmen entgegen, der stellenweise technologiespezifisch bzw. uneinheitlich ist. Insbesondere die Abstimmung des Stromspeicherbetriebs auf den Rechtsrahmen ist nicht unproblematisch.
- Die Implementierung von Gebäuden im Energiesystem als Flexibilitätsoption setzt deren Ausstattung mit intelligenter, digitaler Infrastruktur mit nennenswerter Leistungsfähigkeit voraus, was neben der Kostenfrage die Frage nach der Vereinbarkeit mit Datenschutz und -sicherheit auslöst.
- Welche Anreize sich aus dem „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden“ ergeben können, lässt sich aktuell schwer abschätzen. Der Abschluss des Gesetzgebungsverfahrens ist abzuwarten.
- Die system- bzw. netzdienliche Erzeugung von Solarstrom an oder auf Gebäuden soll nach derzeitigem Kenntnisstand direkt gefördert werden. Diese Planung bezieht sich allerdings auf Gebäude, die weit überwiegend zu Wohnzwecken genutzt werden.
- Darüber hinaus haben Anlagen- bzw. Gebäudebetreibende nicht das erforderliche energiewirtschaftliche und rechtliche Hintergrundwissen, um das wirtschaftliche Potenzial zur Flexibilisierung der eigenen Anlage zu erkennen, beurteilen und entsprechend anbieten zu können. Gleichzeitig gibt es die berechtigte Sorge, dass bei einer grundlegenden Änderung der Betriebsweise die Versorgungssicherheit nicht immer gewährleistet werden kann.

Aber auch andere Aspekte werden durch aktuelle Rahmenbedingungen eingeschränkt. Als wesentliches Hemmnis für einen flächendeckenden Einsatz netzreaktiver Gebäudetechnik ist bspw. der derzeit nicht ausreichende finanzielle Anreiz für Gebäudebetreibende. Das Projekt „Netzreaktive Gebäude“ (BMW, (BMW, FKZ 03ET1111A) hat einige Randbedingungen und damit Hemmnisse bereits deutlich gemacht. Während die Anreize gering ausfallen, stellt ein Übergang zu einem system- bzw. netzdienlichen Anlagenbetrieb die Gebäudebetreibende vor teilweise große Herausforderungen. Für einen system- bzw. netzdienlichen Anlagenbetrieb werden in der Regel technische Nachrüstungen (Sensorik, Mess-, Regel- und Kommunikationstechnik, ggf. größere Speicher) benötigt, welche sich mit dem im Haushaltsbereich üblichen Leistungsbereich bisher nicht oder nur schwer refinanzieren lassen. In dieser Untersuchung werden daher die GHD und Industriebetriebe in den Fokus gestellt. Weiterhin fehlt es an einer standardisierten, ausreichend leistungsstarken Kommunikations-Infrastruktur sowie hinreichend ausgereiften kommerziellen Lösungen (Regler, Geschäftsmodelle), durch die sich eine netzdienliche Betriebsweise einfach realisieren lässt.

Auswirkungen von Flexibilitätsoptionen auf das Energiesystem Deutschlands—Grundlage zu AP 5

Flexibilitätsoptionen werden im Energiesystem Deutschland aktuell weit überwiegend im Zusammenhang mit Sektorenkopplungstechnologien erforscht. Großangelegte Projekte, die dieses Thema erforschen, werden im Weiteren überblicksartig und in Abgrenzung zum Projekt FlexGeber und der hier als Ergebnis vorgesehenen Roadmap beschrieben.

Das Initialkonsortium „SmartEnergy Ostdeutschland“ (SMENOS) will nachhaltige Innovationen auf den Weg bringen, um die Energiewende zu stärken sowie Unternehmen und Wissenschaft in Ostdeutschland voranzubringen. SMENOS ist ein Vorhaben im Rahmen der Förderung „Zwanzig20 Foren“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Um diese Ziele zu erreichen, muss auch die Funktionalität der verschiedenen regenerativen Stromgeneratoren über die reine Energieerzeugung hinaus erweitert werden. „Smart Energy“ – also intelligente Stromerzeugung und Netze werden benötigt, um Versorgungssicherheit und Netzstabilität gewährleisten zu können. Das Konzept „Power-to-Heat“ soll hierbei eine Möglichkeit zum Ausgleich schwankender Energieerzeugung durch Erneuerbare Energien bieten. SMENOS widmet sich mit einem Teilvorhaben der Aufgabe, fluktuierende EE-Anlagen über eine Kopplung mit dem Wärmesektor besser in das Gesamtsystem zu integrieren und gleichzeitig den EE-Anteil im Wärmesektor zu erhöhen. Dieses Projekt befasst sich vornehmlich mit der Erhöhung des erneuerbaren Anteils in der Wärmeversorgung und mithin lediglich mittelbar mit Gebäuden, für die oder für die darin stattfindenden

Prozesse die Wärme bestimmt ist. Die vom Projekt SMENOS eingenommene Perspektive ist mithin primär die der Energiewirtschaft, die ihre überschüssigen Strommengen intelligent zu nutzen sucht. Das Projekt FlexGeber rückt hingegen den Gebäudesektor ins Zentrum, und betrachtet speziell dessen Nutzenden aus GHD und Industrie. Der Gebäudesektor soll folglich nicht nur als Abnehmer dem Energiesektor dienlich werden, sondern primär in die Lage versetzt werden, selbst einen Beitrag zur Erreichung der Energiewendeziele zu leisten.

WindNODE steht für die effiziente Integration von großen erneuerbaren Erzeugungskapazitäten, Stromnetzen und Energienutzen auf Basis einer digitalen Vernetzung. WindNODE ist das Schaufenster der deutschen Hauptstadtregion und Nordostdeutschlands, in dem die Energiewende für das nationale und internationale Publikum anschaulich präsentiert wird. Innovative, nutzenorientierte Produkte und Dienstleistungen der Industrie 4.0 werden hier in einem großflächigen Reallabor erprobt. WindNODE wird im Rahmen des SINTEG-Programms vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert. Die Schwerpunktlegung des Projekts WindNODE ist der von SMENOS insofern vergleichbar, dass die energie-wirtschaftliche Perspektive eingenommen wird, die sich jedoch durch eine eher praktische Herangehensweise auszeichnet. Da der Wärmebereich nicht allein betont wird, ist der Bezug zum Gebäudesektor noch mittelbarer als im SMENOS-Projekt.

Die großangelegte Forschungsinitiative „Kopernikus“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit dem Ziel gestartet, innovative technologische und wirtschaftliche Lösungen für den Umbau des Energiesystems zu entwickeln. Über einen Zeitraum von 10 Jahren arbeiten über 230 Partner aus Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft zu den vier Themenfeldern „Neue Netzstrukturen“, „Speicherung erneuerbarer Energien“, „Neuausrichtung von Industrieprozessen“ sowie „Systemintegration“. Erforscht werden in diesem Zusammenhang insbesondere die Potenziale von Umwandlungsprozessen von Strom in andere Energieträger aus technischen, ökonomischen, sozialen, rechtlichen sowie kommunikationswissenschaftlichen Blickwinkeln. Darauf aufbauend sollen Praxiskonzepte entwickelt und in Modellregionen bundesweit umgesetzt werden. Zur Abgrenzung zum Projekt FlexGeber kann im Wesentlichen auf die Argumentation zu SMENOS und WindNODE Bezug genommen.

Strom-Wärmekopplung im sektorenübergreifenden Energiesystem und rechtliche Rahmenbedingungen und Organisationsformen im Verteilnetz—Grundlage zu AP 5

Bei der Modellierung von Energieszenarien werden in der Regel Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Sektoren oder solche zwischen verschiedenen Energieformen wie Wärme und Strom sehr vereinfacht abgebildet. Ebenso wird die Dynamik des Öfteren nur auf Basis von Typ-Tagen dargestellt (ETSAP, 2015), womit die in einem zukünftigen Energiesystem wichtiger werdenden Effekte von Speichern nur unzureichend betrachtet werden.

Die Untersuchung von Interdependenzen zwischen unterschiedlichen Sektoren und Anlagen im Energiesystem sind von wesentlicher Bedeutung zu dessen Verständnis. Im 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung wird hervorgehoben: „Damit stehen im Mittelpunkt: Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energiespeichertechnologien und Netztechnik, Integration der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung und das Zusammenwirken dieser Technologien im Gesamtsystem“ (BMWi, Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, 2011). Diese Ebene der Betrachtung erfordert methodisch eine zeitlich aufgelöste Behandlung und Bewertung und kann prinzipiell ausschließlich auf Basis von computergestützten Werkzeugen bzw. Verfahren mit ausreichender Genauigkeit abgebildet werden. Das Energiesystem kann durch unterschiedlichste methodische Ansätze und Vorgehensweisen modelliert werden. Die Wahl der Herangehensweise ist in der Regel davon abhängig, welche Aspekte im Detail untersucht werden sollen, zum Beispiel ökologische oder ökonomische, kurz- oder langfristig, regional oder global. Für Systeme, welche einen besonderen Fokus auf die Energiegewinnung durch erneuerbare, fluktuierende Energieträger legt, ist darüber hinaus besonders eine zeitliche Auflösung von Bedeutung. Einen entsprechenden Ansatz verfolgt das am Fraunhofer ISE entwickelte Energiesystemmodell REMod (Henning & Palzer, 2013). In stündlicher Auflösung werden bis zum Jahr 2050 die gesamten Energieströme von der Umwandlung und Speicherung bis hin zu den Verbrauchssektoren (Wärme, Strom, Industrie, Verkehr) erfasst. Prozesse und Energieströme innerhalb des Energiesystems werden nicht isoliert, sondern im Kontext des gesamten Energiesystems betrachtet. Der Vorteil, der sich dadurch ergibt, besteht darin, dass die Interdependenzen im Gesamtsystem aufgezeigt und aus technischer sowie ökonomischer Sicht bewertet werden können.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Folgenden sind die beteiligten Partner beschrieben, deren Wissen und Fähigkeiten letztlich die Voraussetzungen für das Projekt dargestellt haben.

Die federführende Bearbeitung des vorgestellten Projekts erfolgt durch das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Das Messkonzept wird anfänglich von ENIT erarbeitet und umgesetzt. Für die Case Studies am Campus des Fraunhofer ISE und der Firma Hermann Peter KG (HP) wird das Konzept auch entsprechend umgesetzt. Auf Grund des komplexeren Energiesystems bei der Firma Taifun Tofu GmbH (TT) (vormalig Life Food GmbH), wird hier ein externer Dienstleister durch TT genutzt, um ein funktionierendes Messsystem zu installieren.

Die darauf basierende Toolentwicklung erfolgt auch durch die Partner Fraunhofer ISE und ENIT unter Einbindung des IWU. Das IKEM kümmert sich im Projekt um die rechtlichen Rahmenbedingungen. Die Arbeiten zum Nutzendenverhalten & Nutzenprozesse in den Sektoren Industrie und GHD werden vom Wuppertal Institut (WI) übernommen

Fraunhofer ISE

Das Fraunhofer ISE ist mit rund 1.300 Mitarbeitenden das größte Solarforschungs-institut Europas. Die Arbeit des Institutes reicht von der Erforschung der naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen der Solarenergienutzung über die Entwicklung von Prototypen bis hin zur Ausführung von Demonstrationsanlagen. In der Abteilung »Thermisch Aktive Materialien und Solare Kühlung« wird seit vielen Jahren erfolgreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeit von der Material-, über die Komponenten- bis hin zur Systementwicklung für thermisch getriebene Kältemaschinen und Wärmepumpen geleistet. Speziell für dieses Vorhaben sind die fundierten Kenntnisse im Bereich der Wärmeübertragung und Komponentenentwicklung von zentraler Bedeutung.

ENIT Systems Energy IT GmbH

Die ENIT Systems Energy IT Systems GmbH ist ein Spin-off des Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) in Freiburg. Das Unternehmen entwickelt und verkauft ein Energiemanagementsystem für den industriellen Mittelstand, um Kunden Transparenz über Energieverbräuche und Einsparungen zu ermöglichen. Das Spin-off ergänzt die Wertschöpfung des Forschungsinstituts. Die Tätigkeiten beginnen bei der Produktentwicklung und decken die Schritte der Installation, Vertrieb und Betrieb der Systeme, sowie die Dienstleistung der Datenauswertung ab. Der Kundinnenfokus liegt auf mittelständischen Industrieunternehmen mit einem Stromverbrauch von 0,5 bis 50 GWh/a. Bisherige Kunden stammen aus der Metallverarbeitung, dem Erdbau und der Lebensmittelindustrie. Zusätzlich wurden mit großen Energieversorgungsunternehmen Projekte umgesetzt.

Seit der kommerziellen Markteinführung des „ENIT Agents“ im Jahr 2016 wurden mehr als 200 mittelständische Unternehmen in Deutschland und Österreich mit dem System ausgestattet. Neben transparenten Energieflüssen und detaillierten Kennzahlen werden den Kundinnen Werkzeuge für das Controlling, die Versorgungssicherheit und die Anlagenplanung geboten. An dem Produkt, dem ENIT Agent, arbeitet bei ENIT Systems ein Team, bestehend aus Softwareentwicklern, Elektrotechnikern und Wirtschaftsingenieuren.

Wuppertal Institut

Das Wuppertal Institut ist eine vom Land Nordrhein-Westfalen getragene Forschungseinrichtung, die eine Mittler- und Transferrolle zwischen Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft übernimmt. Das Wuppertal Institut erforscht und entwickelt Leitbilder, Strategien und Instrumente für Übergänge zu einer nachhaltigen Entwicklung auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene. Im Zentrum stehen Ressourcen-, Klima- und Energieherausforderungen in ihren Wechselwirkungen untereinander sowie mit Wirtschaft und Gesellschaft. Es setzt sich im Sinne der Transformationsforschung intensiv mit den sozio-technischen Interaktionen in Systemen auseinander, wobei die Erforschung des Energiesystems und von nachhaltigen urbanen Infrastrukturen zentrale Schwerpunkte darstellen. Das Wuppertal Institut verfolgt mit seinen Arbeiten einen transformativen Forschungsansatz. Die konkrete Initiierung, Begleitung und

Analyse von Innovationen zur Entkopplung von Naturverbrauch und Wohlstandsentwicklung bilden daher einen Schwerpunkt seiner Forschung.

Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V. (IKEM)

Die besondere Expertise des im November 2009 als An-Institut der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald gegründeten Institutes für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM) liegt in der Analyse, Bewertung und Fortentwicklung des Rechts- und Politikrahmens zu den drei namensgebenden Forschungsschwerpunkten.

Als unabhängige, gemeinnützige Organisation beschäftigt sich das IKEM mit wissenschaftlichen Schlüsselfragen auf dem Weg in eine zukunftsfähige Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung. Dabei wird eine interdisziplinäre, integrative und internationale Perspektive zu Grunde gelegt. Seit seiner Gründung bearbeitet das IKEM wissenschaftliche Projekte für öffentliche und private Auftrag- und Zuwendungsgeber, zu denen insbesondere die Europäische Kommission, das BMWi, das BMVI und verschiedene Landesministerien zählen. Die wissenschaftliche Projektbearbeitung wird von den hochqualifizierten wissenschaftlichen Mitarbeitenden des IKEM wahrgenommen.

Im Bereich des Energierechts wird ein Schwerpunkt auf die neueren rechtlichen und politischen Entwicklungen gelegt, vor allem in den Themengebieten Erneuerbare Energien, Sektorenkopplung, Energienetze, Netzintegration der Erzeugenden und Verbrauchenden und Energieeffizienz. An der aktuellen rechtlichen und politischen Diskussion und Bearbeitung rechtlicher Fragen zur Umsetzung der Energiewende sind das IKEM und seine Mitarbeitenden derzeit exemplarisch im Rahmen des EEG-Erfahrungsberichts, speziell zu Fragen der Sektorenkopplung in Sinteg WindNODE, der Forschungsinitiative Kopernikus Projekt-ENavi und Smenos wissenschaftlich beteiligt.

Institut für Wohnen und Umwelt (IWU)

Die Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung der Gesellschafter Land Hessen und Stadt Darmstadt. Das IWU ist sowohl im Bereich der Grundlagenforschung als auch in der anwendungsorientierten Forschung engagiert und legt großen Wert auf interdisziplinäre Arbeit.

Neben der institutionellen Förderung durch die Gesellschafter finanziert sich das IWU über Drittmittelprojekte von der kommunalen bis zur europäischen Ebene. Das Tätigkeitsspektrum des Instituts lässt sich in vier Forschungsfelder zusammenfassen:

- Wohnungsmärkte und Wohnungspolitik
- Energetische Gebäudebewertung und -optimierung
- Strategische Entwicklung des Gebäudebestands
- Handlungslogiken von Akteuren im Gebäudebereich

Das IWU hat im Forschungsvorhaben Datenbasis Gebäudebestand, bei dem deutschlandweit repräsentative Daten zur energetischen Beschaffenheit und zu durchgeführten Modernisierungsmaßnahmen von insgesamt rund 7.500 Wohngebäuden erhoben wurden, praxistaugliche Verfahren zur Durchführung von gebäudebezogenen Stichprobenerhebungen nach wissenschaftlichen Standards entwickelt. Im Projekt ENOB:dataNWG¹ wurde darauf aufbauend eine Methodik entwickelt, um ausgehend von den deutschlandweit verfügbaren Geobasisdaten eine analog gestaltete repräsentative Stichprobenerhebung auch im Bestand der Nichtwohngebäude durchführen zu können. Das IWU verfügt daher über nachgewiesene Expertise bei der Erhebung und Abbildung von Gebäudebeständen.

¹ ENOB:dataNWG : Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude - Primärdatenerhebung zur Erfassung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland, Forschungsprojekt im 6. Energieforschungsprogramm des BMWi ,Förderkennzeichen 03ET1315 (www.datanwg.de)

Taifun Tofu GmbH (TT)

Das Freiburger Unternehmen Taifun Tofu stellt seit 30 Jahren hochwertigen Tofu in Bio-Qualität her. Taifun bietet eine Produktpalette von rund 40 Tofuspezialitäten, die europaweit im Naturkostfachhandel angeboten werden und entwickelt regelmäßig neue Rezepturen. Alle verwendeten Zutaten sind rein pflanzlich und stammen aus 100 % kontrolliert biologischem Anbau. Bis heute engagiert sich der Bio-Pionier besonders für die Themen ökologische Landwirtschaft, gentechnikfreie Erzeugung und Nachhaltigkeit: Seine Sojabohnen bezieht er vollständig aus eigenem kooperativem Vertragsanbau in Deutschland, Österreich und Frankreich. Darüber hinaus erzeugt Taifun sein eigenes hochwertiges Saatgut und arbeitet in verschiedenen Projekten an der Entwicklung von Bio-Sojasorten mit, die auch für ein kühleres Klima geeignet sind.

Hermann Peter KG (HP)

Die Hermann Peter KG, Baustoffwerke ist ein Unternehmen mit Hauptsitz in Rheinau-Freistett. Seit vielen Jahrzehnten ist das Unternehmen über die Grenzen der Region hinaus für Fachkenntnis und Produktqualität der Baustoffe: Sand, Kies, Edelsplitt, Pflastersteine aus Beton und Transportbeton bekannt. Die Produkte aus dem Hause Hermann Peter werden auf modernen Anlagen und unter modernsten ökologischen Gesichtspunkten aufbereitet und hergestellt.

Schon 1932, in den Anfängen der Firmengeschichte, stand die Gewinnung von Sand und Kies im Vordergrund. Das Unternehmen Hermann Peter hat sich seitdem beständig weiterentwickelt. Gleich geblieben ist die Qualität. Die Langlebigkeit der Produkte überzeugt heute den Kundenstamm in Deutschland und im benachbarten Frankreich. Im Zuge der Expansion nahm das Unternehmen bereits in den 60er Jahren das Zweigwerk Breisach-Niederrimsingen in Betrieb.

Speziell auf dem Sektor der Sand-, Kies- und Edelsplittherstellung ist uns die ökologisch nachhaltige Bewirtschaftung unserer Standorte in Rheinau-Freistett und Breisach-Niederrimsingen wichtig.

2. Ablauf und Ergebnisse des Vorhabens

2.1. Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse

AP 1: Aufbau der Demonstratoren in den Case Studies

Ein gemeinsames Messkonzept für die Case Studies wurde aufgebaut und umgesetzt. Das entwickelte Messkonzept wurde weitmöglichst standardisiert, um auf die Messanforderungen angewendet werden zu können. Die Messungen wurden in den Use Cases Fraunhofer ISE im ISE-Campus (1) Taifun Tofu (2) und Hermann Peter KG (3) durchgeführt. Zur Messdatenerfassung und Auswertung wurden Datenbank aufgebaut, die effizient und dynamisch die Daten verarbeiten.

In diesem Kapitel sind die drei Case Studies beschrieben. In allen Fällen wurden durch Begehungen die örtlichen Gegebenheiten und Prozesse erfasst. Nach einem Abgleich mit der existierenden Zählerstruktur bzw. Leittechnik wurde dann jeweils ein Messkonzept passendem Fokus entwickelt. Zielsetzung dabei war es, die Energieströme in den einzelnen Liegenschaften (oder auch Gebäudeteilen) und der großen Verbraucher zu erfassen.

Alle Daten aus den 3 Use Cases werden allen Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Zusätzlich werden die von den Nutzenden wahrgenommenen Hemmnisse, Chancen und Risiken der Nutzung ihrer technischen Flexibilitätspotentiale innerhalb ihres Wirkungskreises (Betrieb) erfasst.

Bestandaufnahme & Umsetzung Case Study 1 – Fraunhofer ISE

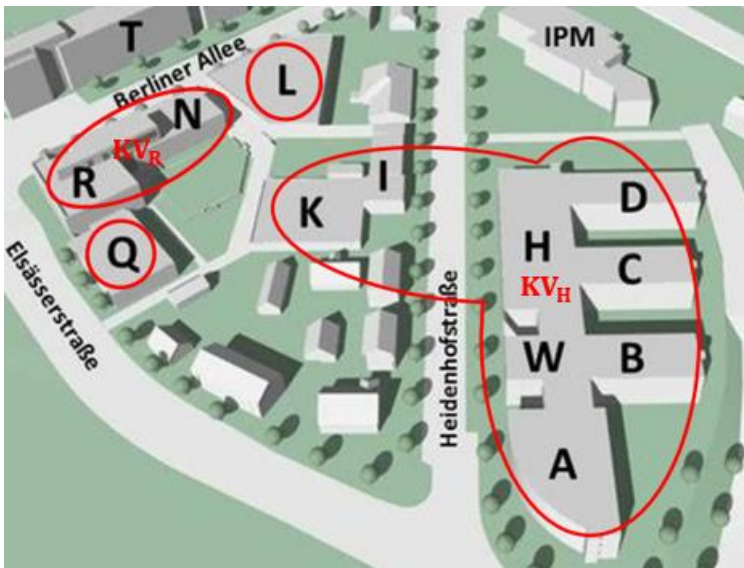


Abbildung 3 Kälteverbände des Gebäudecampus im Bestand (rot umkreist)

Gegenstand der Untersuchungen ist der Campus rund um das Hauptgebäude des Fraunhofer ISE in Freiburg im Breisgau. Zwölf Gebäudeteile werden im Zuge des FlexGeber-Projekts über ein Kältenetz verbunden. Abbildung 3 zeigt den Gebäudecampus und die ursprünglichen, dezentralen Kälteverbände. Jeder Kälteverbund verfügt über kältetechnische Anlagen wie Kältemaschinen, Rückkühler und Speicher und versorgt die Verbraucher über Leitungen autonom mit Kühlenergie. Die Kälteverbände KV_H und KV_R werden in diesem Unterkapitel näher beschrieben, da sie im Nahkältenetz die beiden Kältezentralen bilden. Die kältetechnischen Anlagen in KV_H und KV_R bleiben erhalten und versorgen im Nahkälteverbund die zwölf markierten Gebäudeteile mit Kühlenergie.

Bestand-Kältesystem Kälteverbund H (KV_H)

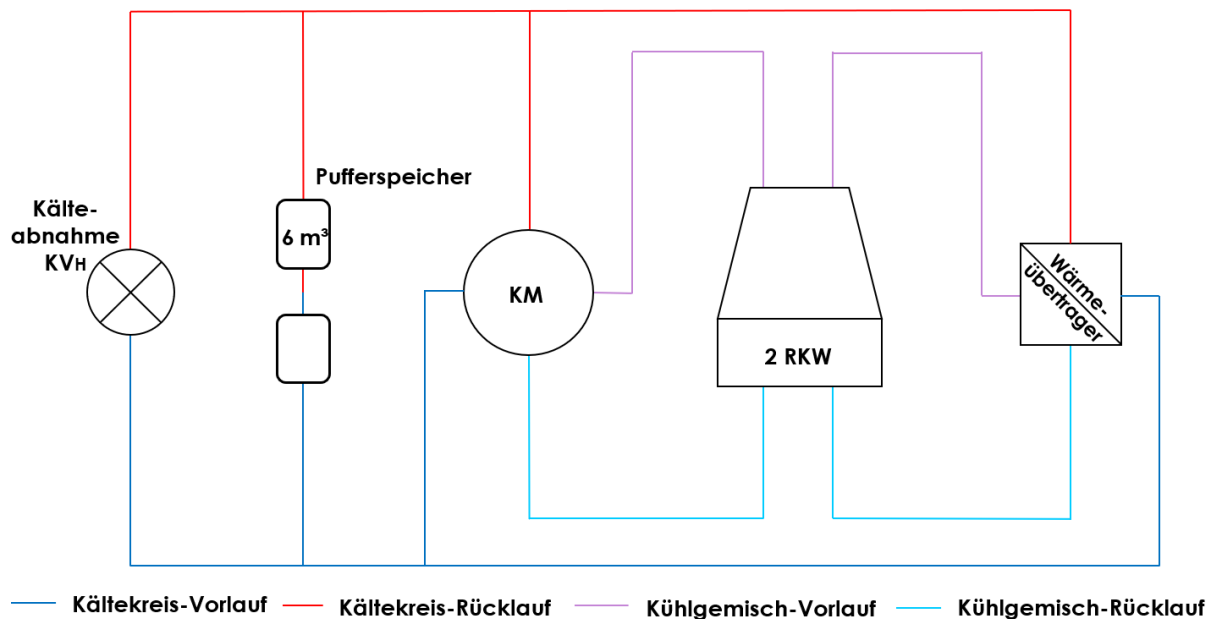


Abbildung 4 Vereinfachtes Anlagenschema KV_H

Abbildung 4 zeigt das vereinfachte Anlagenschema der Kälteversorgung mit den bestehenden Einrichtungen. Die Versorgung mit Kühlenergie von KV_H erfolgte im Bestand durch eine Kompressionskältemaschine

(KKM) mit einer maximalen Kühlleistung von 780 kW. Für die Wärmeabfuhr sind auf dem Dach zwei Rückkühlwerke (RKW_H) in Form von geschlossenen Hybridkühlern mit maximalen Kühlleistungen von 910 kW respektive 850 kW vorhanden. Werden die RKW_H zur freien Kühlung genutzt, bindet sie ein Wärmeübertrager in das gebäudeinterne Kaltwassernetz ein. In den Kreisläufen der Rückkühler kommt ein Stoffgemisch aus Wasser und Ethylen zum Einsatz. Das Gemisch ermöglicht den Betrieb bei Umgebungsbedingungen unterhalb des Gefrierpunktes von Wasser. Im bestehenden Betrieb folgte die Kältebereitstellung der Anforderung durch die Verbraucher in Gebäude H unmittelbar, da die vorhandenen Kaltwasserspeicher nur ein Volumen von 12 m³ haben und die Pufferwirkung deshalb gering ist.

Bestand-Kältesystem Kälteverbund R

In Abbildung 5 ist das vereinfachte Anlagenschema von Gebäude R dargestellt. Eine KKM mit einer maximalen Kühlleistung von 500 kW lädt den gebäudeintegrierten Kaltwasserspeicher. Ein hybrider Trockenkühler, mit einer maximalen Kühlleistung von 566 kW gibt Wärme an die Umgebung ab und dient auch zur freien Kühlung. Der drucklose Kaltwasserspeicher, mit einem Volumen von 500 m³, ist über einen Wärmeübertrager an das Kaltwassernetz angeschlossen und versorgt die Verbraucher in KV_R. Im hybriden Trockenkühler kommt das gleiche Stoffgemisch wie in den geschlossenen Hybridkühlern zum Einsatz.

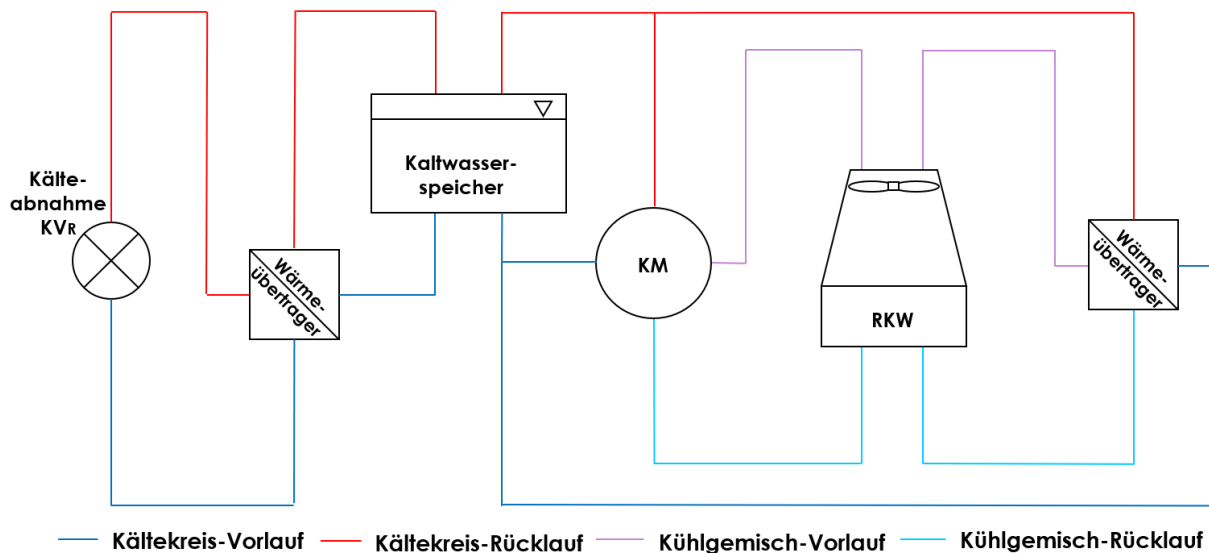


Abbildung 5 Vereinfachtes Anlagenschema KVR

Nahkältekonzept des ISE-Gebäudecampus zum energieeffizienten und netzdienlichen Betrieb

Im Jahr 2019 wurde der Gebäudecampus im Rahmen des Vorhabens mit einem Nahkältenetz in Abbildung 6 ausgestattet. Die ursprüngliche, dezentrale Kältebereitstellung und -versorgung der Gebäude wurde durch eine zentralisierte Erzeugung, Verteilungen und zusätzliche Kaltwasserspeicher abgelöst. Die bisher autonom versorgten Gebäudekomplexe sind nun in einem ringförmigen Nahkältenetz mit abgehender Stichleitung miteinander verbunden. Die zuvor vorgestellten Kältesysteme KVH und KVR bleiben erhalten und werden durch die beiden Erdtanks ergänzt. Zusammen mit dem Kaltwasserspeicher in Gebäude R verfügt das System nun über ein Speichervolumen von 700 m³.

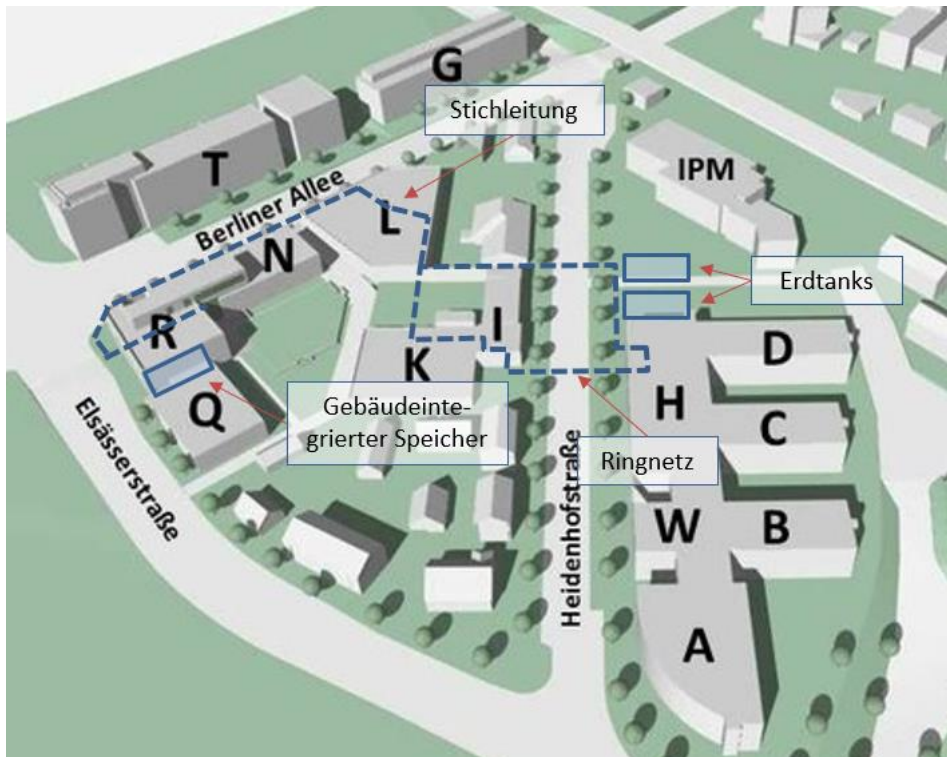


Abbildung 6 Gebäudecampus mit Fernkälteleitungen und Speichern

Nahkältenetz und Übergabestationen

Das Nahkältenetz verbindet zwölf Gebäudeteile des Fraunhofer ISE Gebäudecampus. Die Vor- und Rücklaufleitungen der Kälteversorgung erstrecken sich über eine Länge von rund 800 Metern. Das Netz wird im ordentlichen Betrieb bei den Systemtemperaturen von 12 °C in der Vorlaufleitung (VL) und 17 °C in der Rücklaufleitung (RL) betrieben und steht unter einem statischen Systemdruck von ca. 2,4 bar. Zwei parallel angeordnete Pumpen mit einer Bemessungsleistung von 15 kW², erzeugen den Systemdruck und sorgen für die Kaltwasserumwälzung. Im Hinblick auf netzdienliche Betriebsweisen kann das Netz auch zwischen 6 °C und 12 °C im unterkühlten Betrieb gefahren werden. Beim überhitzten Betrieb sind die Systemtemperaturen 14 °C im VL und 19 °C im RL.

Die Erdtanks sind direkt in das Nahkältenetz eingebunden. D.h. die Wärmeträgermedien sind stofflich nicht getrennt und es sind keine Wärmeübertrager vorhanden. Übergabestationen mit Einspritzschaltungen binden die Kälteabnehmer ebenfalls direkt an das Nahkältenetz an. Sie sorgen in den Verbraucherkreisen für eine Vorlauftemperatur bei variablem Volumenstrom³. In den Rohrleitungen des Nahkältenetzes befindet sich zu jeder Zeit ein Wasservolumen von rund 25 m³, welches Potenzial ebenfalls als thermische Speicherkapazität genutzt werden.

Kältebereitstellung

Bei kühlen Witterungsverhältnissen können insgesamt drei Rückkühler auf den Gebäudedächern zur freien Kühlung eingesetzt werden.

Die primäre KKM in Gebäude H (KM_H) mit einer maximalen Kühlleistung von 780 kW fährt bei Kälteanforderung an. Im Falle einer höheren Anforderung oder Nicht-Verfügbarkeit, schaltet sich die KKM in

² TPE 150-200/4-S-A-F-A-BAQE 3X400 50HZ. Datenblatt. Internetadresse: <https://www.lennotech.de/grundfos/TPE052/96382689/TPE-150-200-4-S-A-F-ABAQE.html>. Zuletzt aufgerufen am 01.08.2020

³ Nussbaumer, T.; Thalmann, S.; Jenni, A. et al.: Planungshandbuch Fernwärme 2017. Internetadresse: www.verenum.ch. Zuletzt aufgerufen am 03.04.2020

Gebäude R (KM_R) mit einer Kühlleistung von bis zu 566 kW zu. Beide Kältemaschinen arbeiten mit ölfreien Turboverdichtern⁴.

Kaltwasserspeicher

An das Fernkältenetz sind drei Kaltwasserspeicher angeschlossen. Bereits vor den Umbaumaßnahmen war ein, in einem Kellerraum konzipierter, druckloser Kaltwasserspeicher mit einem Volumen von 500 m³ vorhanden. Zwei Erdtanks à 100 m³ wurden im Zuge der Umbaumaßnahmen neu installiert. Als Speichervolumen im Fernkältesystem werden vorrangig die Erdtanks verwendet, da diese sich auf demselben Druckniveau wie das Kältenetz befinden.

Erdtanks Gebäude H

Die horizontal, in das Erdreich vor Gebäude H eingelassenen, Kaltwasserspeicher sind in Abbildung 7 auf der linken Seite zu sehen. Die 16 m langen Zylinder mit einem Durchmesser von 3,1 m sind ummantelt mit einer 100 mm dicken Dämmschicht aus Polyurethan (PU)-Hartschaum. Neben der Dämmwirkung kommen der Ummantelung noch weitere Schutzfunktionen zu. So vermeidet sie eine Durchfeuchtung und schützt den Tank gegen Korrosion⁵.

Die horizontale Installation der Speicher unterhalb der Geländeoberfläche hat nicht nur Vorteile. Positiv wirkt sich aus, dass Wärmeeintrag in Form von Wärmestrahlung vermieden wird. Außerdem treten mit steigender Erdreichtiefe zunehmend geringere Temperaturschwankungen auf. Entsprechend der rechten Grafik in Abbildung 7, ist in 5 m Tiefe im Jahresverlauf nur noch mit Temperaturen von 8 bis 12 °C zu rechnen.

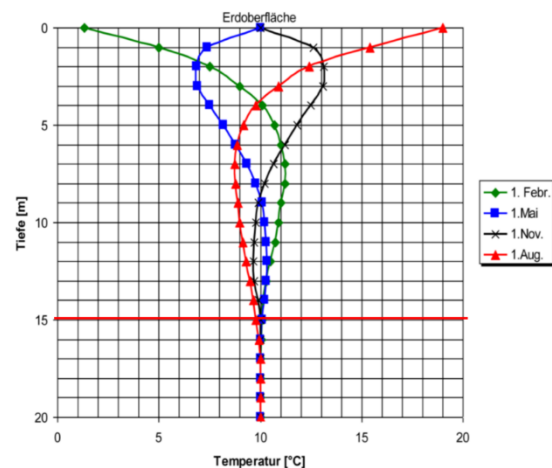


Abbildung 7 Erdtanks (li.) und Temperaturprofil des Erdreichs im Jahresverlauf⁶ (re.)

Aufgrund der niedrigen Erdreichtemperaturen, die noch unterhalb der Betriebstemperaturen des Speichers im Normalbetrieb liegen, sind die thermischen Verluste der Tanks nicht signifikant und sogar Wärmeeinträge möglich.

Die im Vergleich zur Länge geringe Höhe der horizontal ausgerichteten Erdtanks wirkt sich negativ auf die Temperaturschichtung aus. Die Ausbildung einer ausgeprägten Temperaturschichtung ist dadurch erschwert. Eine gute Temperaturschichtung ist essenziell für die effiziente Nutzung eines Speichers, da sie für die Bereithaltung eines möglichst großen Speicheranteils auf dem gewünschten Temperaturniveau sorgt. Zudem sind aufgrund der Speichergeometrie innere Verluste in Folge von Wärmeleitung erhöht. Um die Voraussetzungen für die Temperaturschichtung zu verbessern, werden die Erdtanks in Reihe

⁴ ENGIE Refrigeration GmbH: Quantum. Baureihen und Merkmale der energieeffizienten Kältemaschinen-Baureihe 2019. Internetadresse: https://www.engierefrigeration.de/content/documents/DE/Broschueren/Quantum/DE_QuantumKaeltemaschine-von-ENGIE-Refrigeration.pdf. Zuletzt aufgerufen am 03.04.2020

⁵ Urbaneck, T.: Kältespeicher. Grundlagen, Technik, Anwendung. Munich, Germany: Oldenbourg Verlag 2012

⁶ Ludewig, M.: Direkte Nutzung des Grundwassers - Nutzung oberflächennacher hydrothermaler Systeme. KIT 2011. Internetadresse: www.agw.kit.edu/downloads/Studiengang/Hydrothermische_Nutzung.pdf. Zuletzt aufgerufen am 06.04.2020

betrieben. Dadurch kann die effektive Speicherhöhe verdoppelt werden. Zusätzlich kommen bei den Ein- und Auslässen spezielle Be-/ und Entladeeinrichtungen zum Einsatz, um die Störung der Temperaturschichtung durch Strömungsvorgänge zu reduzieren. Weil die Erdtanks, mit einem Auslegungsvolumenstrom von $290 \text{ m}^3/\text{h}$ und einer Entladeleistung von 1.700 kW , in rund 40 Minuten komplett umgewälzt werden können, kommt den Diffusoren entscheidende Bedeutung zu. Als Diffusoren, die eine Aufweitung des Strömungsquerschnitts bezwecken, sind pro Erdtank drei Verteilrohre mit jeweils 253 Bohrungen und einem Durchmesser von 50 mm installiert. Abbildung 8 zeigt den Innenaufbau beider Erdtanks. Zu sehen sind die Verteilrohre, wobei die Bohrungen der oberen Verteilrohre nach oben und die Bohrungen der unteren Verteilrohre nach unten ausgerichtet sind. Durch die Ausrichtung hin zu den Behälterwänden kann der Impuls des einströmenden Wassers abgeleitet werden. Zum Be- und Entladen verfügt der linke Erdtank oben über zwei Verteilrohre. Im rechten Speicher sind die Verteilrohre unten angebracht. Ein weiteres Verteilrohr pro Tank verbindet die Speicher in Reihenschaltung.

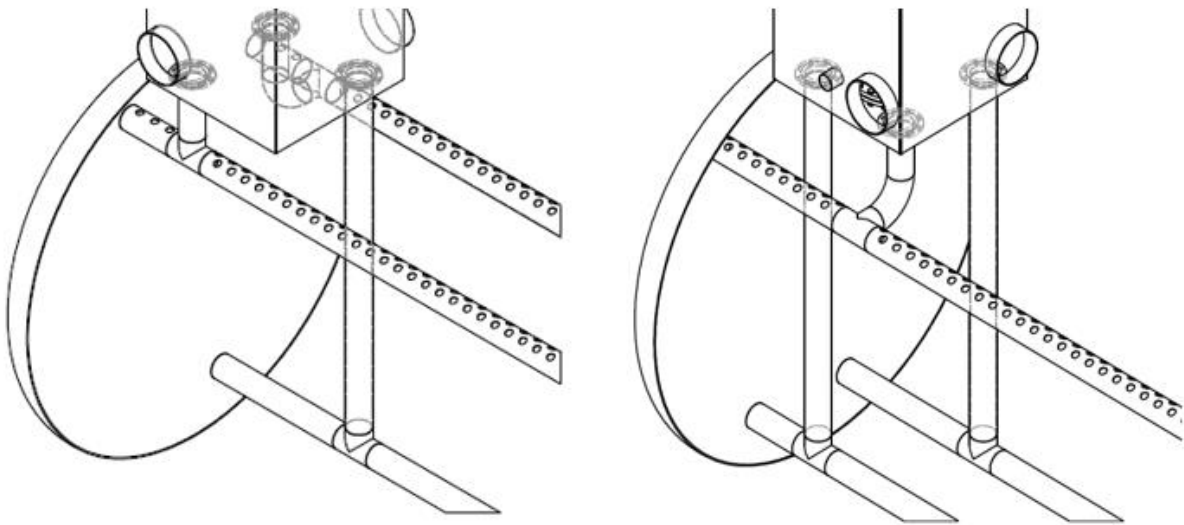


Abbildung 8 Verteilrohre mit Bohrungen im Innern des linken und rechten Erdtanks

Das neu aufgebaute Kältenetz wurde mit umfangreicher Sensorik ausgestattet, die eine detaillierte Bewertung des Betriebs aufgelöst auf alle versorgten Gebäudeteile ermöglicht. Die Sensorik wurde in das Energiemanagementsystem, welches sich zeitgleich (jedoch außerhalb des Vorhabens) im Aufbau befand, eingebunden.

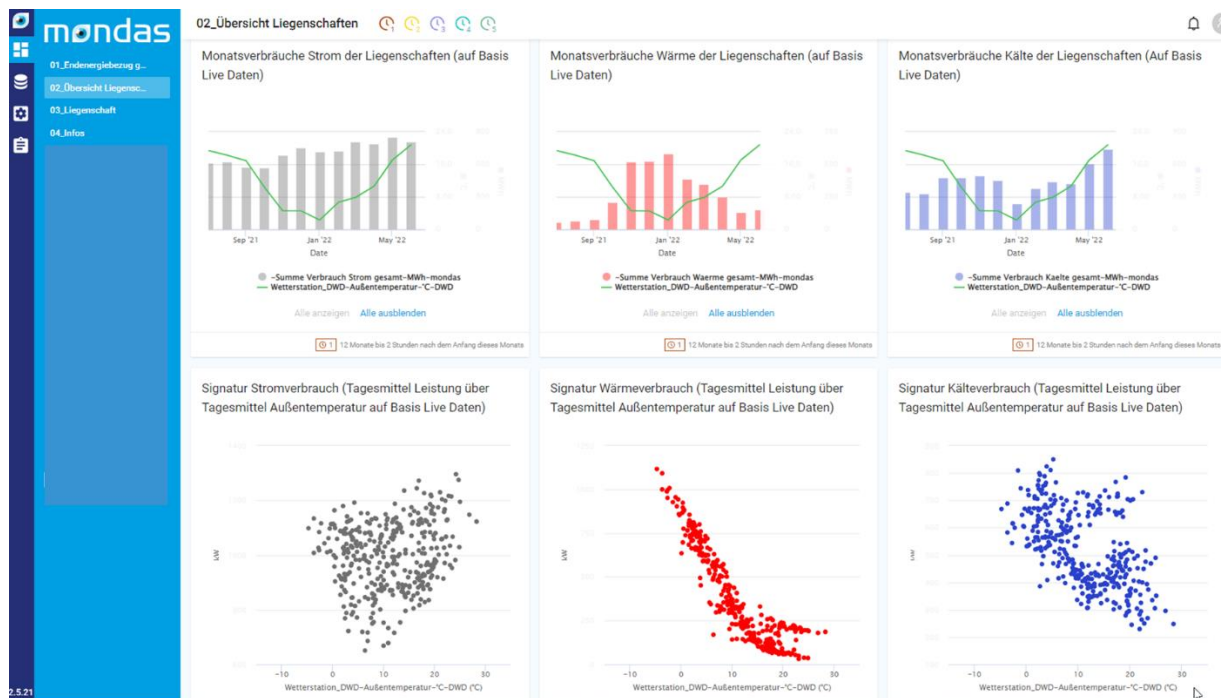


Abbildung 9 Screenshot des in Mondas ® implementierten Energiemanagementsystems, in das auch die Messtechnik des neu errichteten Kältenetzes einsteigt

Daneben wurde das System mit einer Schnittstelle zur Gebäudeleittechnik versehen, die es ermöglicht eine Reihe von Betriebszuständen zur Lastflexibilisierung anzusteuern. Insgesamt wurden 12 Betriebszustände zur Lasterhöhung (zusätzliche Entnahme aus dem Stromnetz, s. Tabelle 3 sowie Tabelle 4) sowie 5 Betriebszustände zur Lastreduktion (s. Tabelle 5) definiert:

Tabelle 3: Betriebszustände zur Lasterhöhung 1-6

		Lasterhöhung						
Betriebszustand		Regelbetrieb	1	2	3	4	5	6
Kurzbeschreibung		Regelbetrieb	Erdspeicher unterkühlen	Erdspeicher unterkühlen, R-Speicher beladen	Erdspeicher unterkühlen, R-KKM anschalten	Erdspeicher unterkühlen, R-KKM anschalten, R-Speicher beladen	Erdspeicher und Ringnetz unterkühlen	Erdspeicher und Ringnetz unterkühlen, R-KKM anschalten
Komponente	H-KKM	6/12°C	Regelbetrieb	Regelbetrieb	Regelbetrieb	Regelbetrieb	Regelbetrieb	Regelbetrieb
	Erdspeicher	12/17°C	6/12°C	6/12°C	6/12°C	6/12°C	6/12°C	6/12°C
	Ringnetz	12/17°C	Regelbetrieb	Regelbetrieb	Regelbetrieb	Regelbetrieb	6/12°C	6/12°C
	R-KKM	backup, 12/17	Regelbetrieb	Regelbetrieb	AN, 12/17°C	AN, 12/17°C	Regelbetrieb	AN, 6/12°C
	R-Speicher	Beladen: Freikühlung	Regelbetrieb	Beladen; 12/17°C	Regelbetrieb	Beladen; 12/17°C	Regelbetrieb	Regelbetrieb
	Freikühlung	möglich	aus	aus	aus	aus	aus	aus

Tabelle 4: Betriebszustände zur Lasterhöhung 7-12

		Lasterhöhung					
Betriebszustand		7	8	9	10	11	12
Kurzbeschreibung		Erdspeicher und Ringnetz unterkühlen, R-Speicher beladen	Erdspeicher und Ringnetz unterkühlen, R-KKM anschalten, R-Speicher beladen	Erdspeicher und Ringnetz unterkühlen, R-Speicher unterkühlen	Erdspeicher und Ringnetz unterkühlen, R-KKM anschalten, R-Speicher unterkühlen	R-KKM anschalten	R-KKM anschalten, R-Speicher beladen
Komponente	H-KKM	Regelbetrieb	Regelbetrieb	Regelbetrieb	Regelbetrieb	Regelbetrieb	Regelbetrieb
	Erdspeicher	6/12°C	6/12°C	6/12°C	6/12°C	Regelbetrieb	Regelbetrieb
	Ringnetz	6/12°C	6/12°C	6/12°C	6/12°C	Regelbetrieb	Regelbetrieb
	R-KKM	Regelbetrieb	AN, 6/12°C	Regelbetrieb	AN, 6/12°C	AN, 12/17°C	AN, 12/17°C
	R-Speicher	Beladen; 12/17°C	Beladen; 12/17°C	Beladen; 6/12°C	Beladen; 6/12°C	Regelbetrieb	Beladen; 12/17°C
	Freikühlung	aus	aus	aus	aus	aus	aus

Tabelle 5: Betriebszustände zur Lastreduktion 13-17

		Lastreduktion				
Betriebszustand		13	14	15	16	17
Kurzbeschreibung		Erdspeicher und Ringnetz überhitzen	Erdspeicher und Ringnetz überhitzen, R-Speicher entladen	Erdspeicher und Ringnetz überhitzen, Freikühlung aussetzen	Erdspeicher und Ringnetz überhitzen, R-Speicher entladen, Freikühlung aussetzen	Freikühlung aussetzen
Komponente	H-KKM	bei Anforderung 6/12°C-Netz ODER wenn Erdspeicher >14°C	bei Anforderung 6/12°C-Netz ODER wenn Erdspeicher >14°C	bei Anforderung 6/12°C-Netz ODER wenn Erdspeicher >14°C	bei Anforderung 6/12°C-Netz ODER wenn Erdspeicher >14°C	Regelbetrieb
	Erdspeicher	14/19°C	14/19°C	14/19°C	14/19°C	Regelbetrieb
	Ringnetz	14/19°C	14/19°C	14/19°C	14/19°C	Regelbetrieb
	R-KKM	backup, 14/19°C	backup, 14/19°C	backup, 14/19°C	backup, 14/19°C	Regelbetrieb
	R-Speicher	Regelbetrieb	entladen	Regelbetrieb	entladen	Regelbetrieb
	Freikühlung	Regelbetrieb	Regelbetrieb	AUS, solange T_Netz,VL </= ST_Netz,VL - 2K	AUS, solange T_Netz,VL </= ST_Netz,VL - 2K	AUS, solange T_Netz,VL </= ST_Netz,VL - 2K

Bis zum Vorhabenabschluss konnte der das Kältenetz leider nicht vollständig in den Regelbetrieb übergehen, da sich die Bauarbeiten sowie die Inbetriebnahme aus diversen Gründen deutlich verzögert haben:

- Umbauen im Bestand: beim Umbau mussten immer wieder Anpassungen an der Detailplanung vorgenommen werden, da die zugrunde gelegten (Hydraulik-)Pläne nicht dem realen Bestand entsprachen
- Umbauen im laufenden Forschungsbetrieb: der Umbau musste mit den laufenden Forschungsaktivitäten abgeglichen werden, bei denen einzelne Einrichtungen teilweise über Wochen zuverlässig und unterbrechungsfrei mit Kühlwasser versorgt werden mussten, so dass z.B. hydraulische Umschlüsse nur in Betriebspausen stattfinden konnten
- Umbau unter wandelnden Nutzendenanforderungen: entsprechend der Dynamik im Forschungsbetrieb wandelten sich während der Planungs- und Umbauphasen teilweise die Nutzendenanforderungen an einzelnen Stellen (Anschlussleistung, erforderliche Druckdifferenzen ...), so dass hier ggf. Anpassungen erforderlich waren.
- Personalknappheit seitens der ausführenden Firmen und des hausinternen Facility Managements

- Schleppende Umsetzung erforderlicher Nacharbeiten (Nachrüsten einer fehlenden Pumpe, Austausch defekter Strömungswächter, ...)
- Einschränkungen durch die Pandemie

Aus diesen Gründen ist es bisher nicht möglich, die erzielte Effizienzsteigerung durch das Nahkältenetz messtechnisch nachzuweisen. Jedoch konnten aufgrund der guten Ausstattung mit Messtechnik ineffiziente Betriebszustände (bspw. freie Kühlung mit sehr geringen treibenden Temperaturdifferenzen) identifiziert und die Regelung entsprechend angepasst werden.

Im Rahmen verschiedener studentischer Arbeiten wurde das Potenzial zur Effizienzsteigerung sowie zum netzdienlichen Betrieb auch theoretisch untersucht.

Für den Ausgangszustand (Jahr 2019) konnte unter Zuhilfenahme von früheren temporären Messungen an Einzelkomponenten eine gemittelte Jahresarbeitszahl der Kälteversorgung (Kompressionskälteanlagen inkl. Rückkühler sowie Freikühlbetrieb, exkl. Verteilpumpen) von 4,5 bestimmt werden. Dem gegenüber wird für die neue Konfiguration eine mittlere Jahresarbeitszahl von 5,1 inkl. der Netzpumpen als möglich angesehen, wenn eine hohe Energieeffizienz als Zielkriterium angesetzt wird.

Die Untersuchungen zur Netzdienlichkeit wurden ebenfalls mit den Lastdaten aus dem Jahr 2019 durchgeführt. Als Leitgröße für die Betriebsoptimierung wurden die 15-min intraday Strompreise an der Strombörse (EEX) aus dem gleichen Jahr herangezogen. Die Bewertung erfolgte anhand des relativen Grid Support Coefficient (GSC_{rel})⁷ der die Netzdienlichkeit eines konkreten Versorgungssystems auf einer Skala von -100 (maximal netzadvers) bis +100 (maximal netzdienlich) ausdrückt. Im Standardbetrieb wies das System einen GSC_{rel} von -4 auf und arbeitete somit annähernd netzneutral. Durch eine Verschiebung des Kältemaschinenbetriebs unter Nutzung der Speicherkapazitäten hin zu Niedrigpreiszeiten war eine Steigerung bis auf +38 möglich.

Bestandaufnahme & Messkonzept Case Study 2 – Taifun Tofu

Zur Erschließung der Flexibilität bei Taifun ist eine Bestands- und Potentialanalyse der Gebäude und Industrieprozesse durchgeführt sowie Unternehmensziele und Maßnahmen erarbeitet worden. Während der Datenerhebung sind in Plausibilitätsprüfungen die Messdaten sowie Annahmen überprüft und korrigiert worden. Aus den realen Gebäuden und Anlagen bei Taifun ist in der Case Study ein Modell des Energiesystems erarbeitet worden. Die Bewertung der Flexibilität wurde im Rahmen der Energiesystemmodellierung abgeschlossen.

Vorbereitung

Für die Übergabe der Daten wurde in Zusammenarbeit mit ENIT im Jahr 2017 noch die Planung zur Einbindung des ENIT Systems aufgesetzt, das Netzwerk aufgebaut und die VPN Verbindung zum ENIT Netz eingerichtet. Zur Erfassung und zur Übertragung der Energiedaten an ENIT wurde das Übertragungssystem ENIT Agent installiert.

Es wurden die nächsten Schritte vorbereitet:

- Virtuelle Server für ENIT bereitstellen
- Verlegung Datenkabel zur ENIT Hardware in der Trafostation, damit diese als Gateway zur Weitergabe der Daten an die virtuelle Umgebung fungieren kann.

Durch den späten Projektstart, bedingt durch Engpässe bei den Service-Firmen, konnten 2017 das Datenkabel sowie die Einrichtung von einzelnen Messstellen nicht mehr ausgeführt werden. Aus diesem Grund konnte der Meilensteinplan nicht eingehalten werden. Die Meilensteine M1 und M5 wurden jeweils um 3 Monate verlängert.

⁷ Klein, K.; Langner, R.; Kalz, D. et al.: Grid support coefficients for electricity-based heating and cooling and field data analysis of present-day installations in Germany. Applied Energy 162 (2016), S. 853–867.

Tabelle 6 Erfüllung der Meilensteine bei Taifun Tofu

	Meilenstein	Datum
M1	Messkonzept für die 3 Case Studies finalisiert	Dez 19
M2	Erste Messungen aus den Case Studies liefern Daten	Feb 18
M5	Sachmittel und Messtechnik vollständig ausgebracht bei Taifun-Tofu GmbH	Dez 19

Ausrollen des Messsystems und Identifikation der relevanten Anlagen & größten Verbraucher

Um eine Bewertung der Flexibilitätsoptionen vornehmen zu können, wurden relevante größere Erzeugungsanlagen sowie die größten Verbraucher der Produktion und Räume separat anhand der Liegenschaftspläne, von technischen Schemata und Planungsvorhaben identifiziert und im Projekt mit Messtechnik ausgestattet. Dabei zeigte sich zu Projektbeginn im bestehendem Messsystem die schwer zuordnungs- bare Erzeugungs- und Verbrauchsstruktur auf.

Die Identifikation des nötigen Messsystems wurde im Messkonzept ausgearbeitet. Die auftretenden Änderungen während der Projektlaufzeit erschwerten jedoch eine genaue Umsetzung. In einer Übersicht der Zähler wurden 114 Messzähler erfasst. Bis zum Ende der Projektlaufzeit stieg die Anzahl auf über 170 Messzähler. Die Einbindung der Messsysteme wurde zuerst durch ENIT durchgeführt und im späteren Projektverlauf durch ein Taifun-eigenes Energiemanagementsystem übernommen. Die Plausibilisierung der Messzähler stellte sich als außerordentlich zeit- und arbeitsaufwendig heraus. Während der Einsatz der Strom- und Gasmesszähler am wenigsten Messfehler hervorrief, waren die Dampf-, Prozesswärme-, Wasser- sowie Druckluft- und Kältemessanlagen deutlich fehleranfälliger. Messfehler sind durch fehlerhafte Messgeräte, falsche Einstellungen, Netzwerkunterbrechungen und Softwareprobleme, falsches Ablesen sowie falsche Kommunikation im Energiemanagementsystem entstanden.

Arbeiten der Firma ENIT zum neuen Messsystem

Im Arbeitspakt 1 Aufbau der Demonstratoren in den Case Studies wurden durch ENIT folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Ausbringung des Messsystems zur Datenerfassung am Punkt der Netzübergabe und späteren Integration der Unterzählerdaten
- Bestandsaufnahme der vorhandenen Mess-Infrastruktur

Zählertyp	Anzahl Zähler
WZ-Wasserzähler	34
WMZ-Wärmemengenzähler	17
EZ-Energiezähler	62
DR-Zähler Druckluft	1
Gesamt	114

Abbildung 10 Liste und Anzahl der Zählertypen bei Taifun

- Erarbeitung von Zählermodellen für die Berücksichtigung unterschiedlicher Anzahlen von Messkanälen und unterschiedlicher Parameter zum Auslesen der Daten der verschiedenen Zählertypen

Steuerung	IP-Adresse
SPS2	192.168.100.157
DDC_004	192.168.105.14
DDC_005	192.168.105.15
DDC_006	192.168.105.16
ISP_0001	192.168.105.17
SPS1	192.168.105.18
ISP_0008	192.168.105.59
ISP_0005	192.168.105.64
ISP_0002	192.168.105.65
ISP_0003	192.168.105.67
ISP_0004	192.168.105.70
ISP_0007	192.168.105.72
ISP_0006	192.168.105.74
Janitza UMG	192.168.100.144

Abbildung 11 Liste der verschiedenen Zählermodelle mit Messkanälen bei Taifun

- Erarbeitung und Abgleich der Spezifikation der Messkanäle aller Unterzähler für die Datenerfassung über vorhandene Steuerungen

Zähler-Modell	Zählertyp	Schnittstelle	Messkanäle	Einheit	Ausleseintervall steuerungsseitig
A	WZ-Wasserzähler	SPS1	Gesamtverbrauch	m ³	60s
			Durchfluss	m ³ /h	60s
B	WZ-Wasserzähler	Datenpunkte von Engie übergeben	Gesamtverbrauch	m ³	10s
C	WMZ-Wärmemengenzähler	Datenpunkte von Engie übergeben	Energie	Wh	60s
			Leistung	W	60s
			Gesamtverbrauch	m ³	60s
			Durchfluss	m ³ /h	60s
			Vorlauftemperatur	°C	60s
			Rücklauftemperatur	°C	60s
D	WMZ-Wärmemengenzähler	SPS1	Energie	Wh	10s
			Leistung	W	10s
E	EZ-Energiezähler	SPS1/SPS2	Energie	Wh	60s
			Leistung	W	60s
F	EZ-Energiezähler	Modbus TCP	Energie	Wh	10s
			Leistung	W	10s
G	EZ-Energiezähler	Datenpunkte von Engie übergeben	Energie	Wh	10s
			Leistung	W	10s
			Spannung L1	V	10s
			Spannung L2	V	10s
			Spannung L3	V	10s
			Strom L1	A	10s
			Strom L2	A	10s
Strom L3	A	10s			
H	DR-Zähler Druckluft	Datenpunkte von Engie übergeben	Gesamtverbrauch	m ³	10s

Abbildung 12 Liste und IP-Adressen der Steuerungen bei Taifun

- Konfiguration von 114 Messstellen mit jeweils 1 bis 8 Messkanälen
- Konfiguration einer elektrischen Topologie zur Darstellung einer Energieflussverteilung

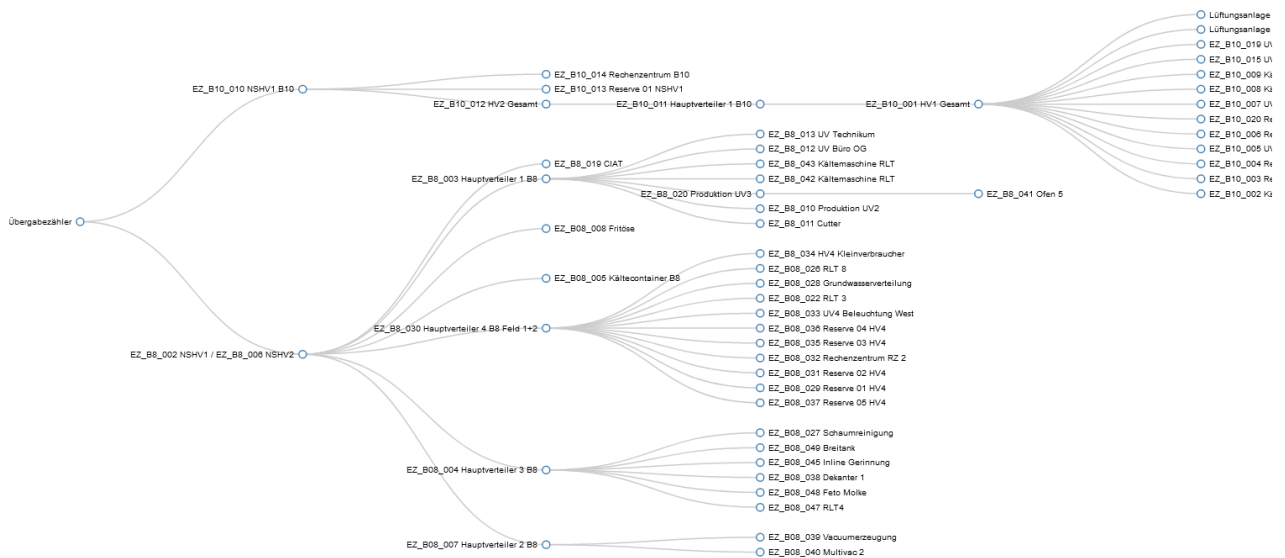


Abbildung 13 Topologische Darstellung der Messstellen bei Taifun

- Prüfung, Plausibilisierung und Problembeseitigung der erfassten Daten und Messkanal-Spezifizierungen, u.a. in 6 Vor-Ort Terminen im Zeitraum 2018/2019
- Entkopplung der Datenerfassungssoftware von der Hardware und Bereitstellung als Image zum hosten auf einem lokalen Server
- Einrichtung messstellen-spezifischer Dashboards, das im Folgenden exemplarisch in 3 Darstellungen der Lastspitzenanalyse, des Wärmemengenzählers und der Grundwassernutzung dargestellt ist.

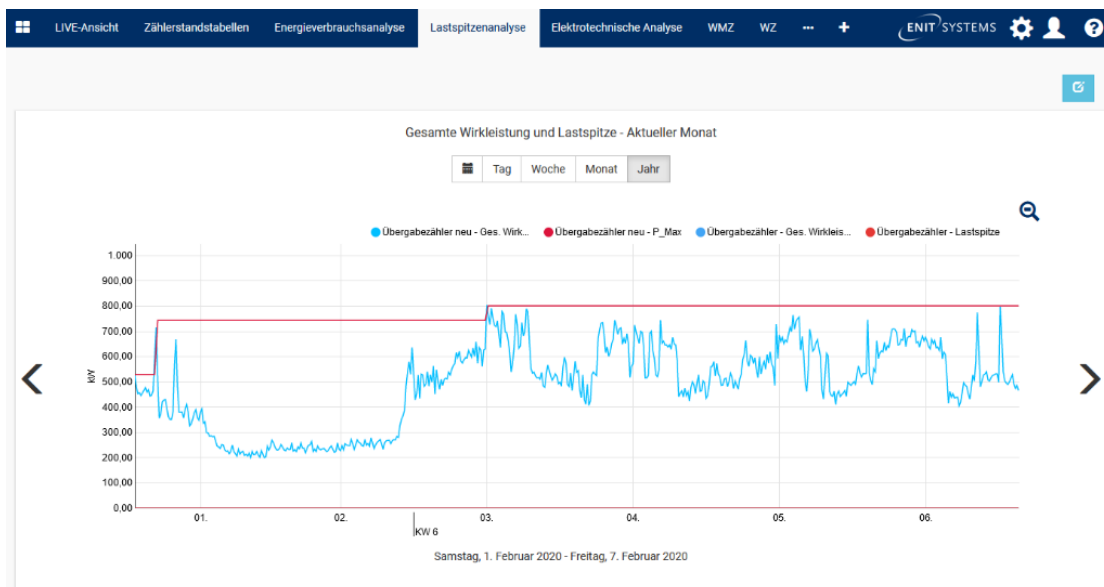


Abbildung 14 Darstellung des Dashboards „Lastspitzenanalyse“ bei Taifun

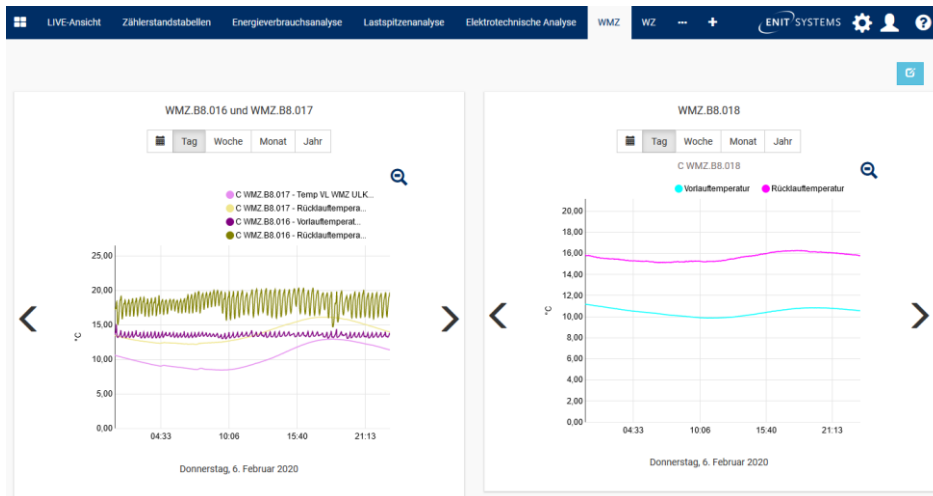


Abbildung 15 Darstellung des Dashboards „WMZ“ (Wärmemengenzähler) bei Taifun

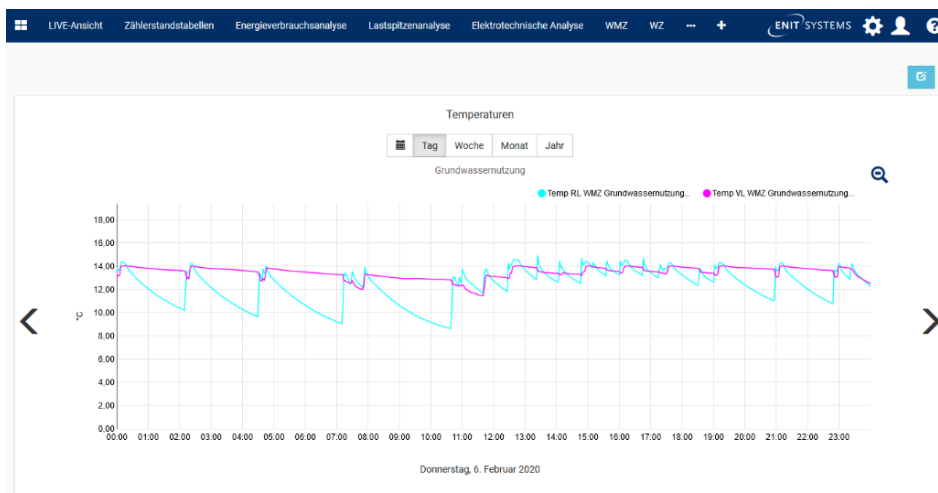


Abbildung 16 Darstellung des Dashboards „Grundwassernutzung“ bei Taifun

- Dazu kam die Einrichtung von Nutzendenzugängen für Taifun Mitarbeitenden und Projektpartnerinnen sowie Projektpartnern.
- Schließlich kam die Entwicklung und das Release des Software-Features „Zählerwechsel“ für die beiden Fälle a) „Tausch gegen neuen Zähler“ (negativer Zählerstandssprung) und b) „Tausch gegen gebrauchten Zähler“ (positiven Zählerstandssprung) wie in der folgenden Darstellung zu sehen ist.

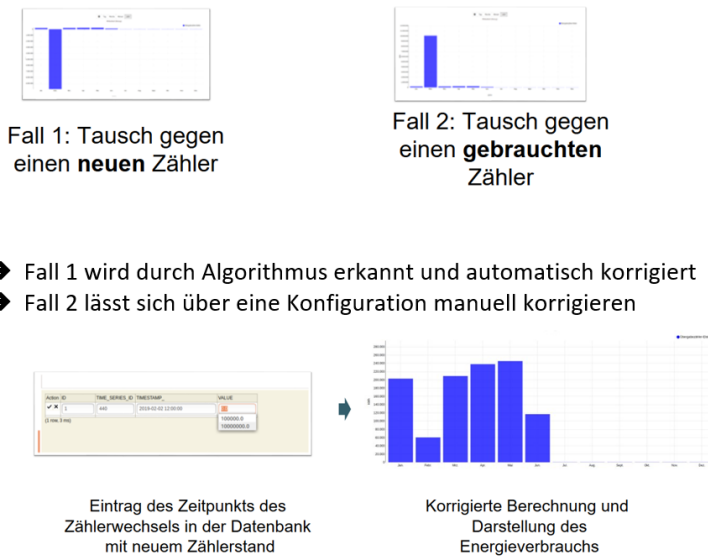


Abbildung 17 Darstellung der Fallunterscheidung beim Zählerwechsel

Übersichten zu bestehenden Netzen, Anlagen & Prozessen

Aus der bestehenden Gebäudeleittechnik mit Prozessmessung von nur 41 % der gesamten Nachfrage im Jahr 2018 war eine Abbildung der Sektorenkopplung und Flexibilität innerhalb des Gesamtsystems nicht möglich. Eine Zuordnung der bestehenden Erzeugungs- und Bedarfsanlagen für das Strom, Kälte und Wärmesystem mit entsprechenden Messstellen und eindeutigen Identifikatoren wurde im Projektverlauf angestrebt und wie vorgehend erläutert erarbeitet. Im Folgenden ist ein Überblick des Energiesystems zu Projektende dargestellt.

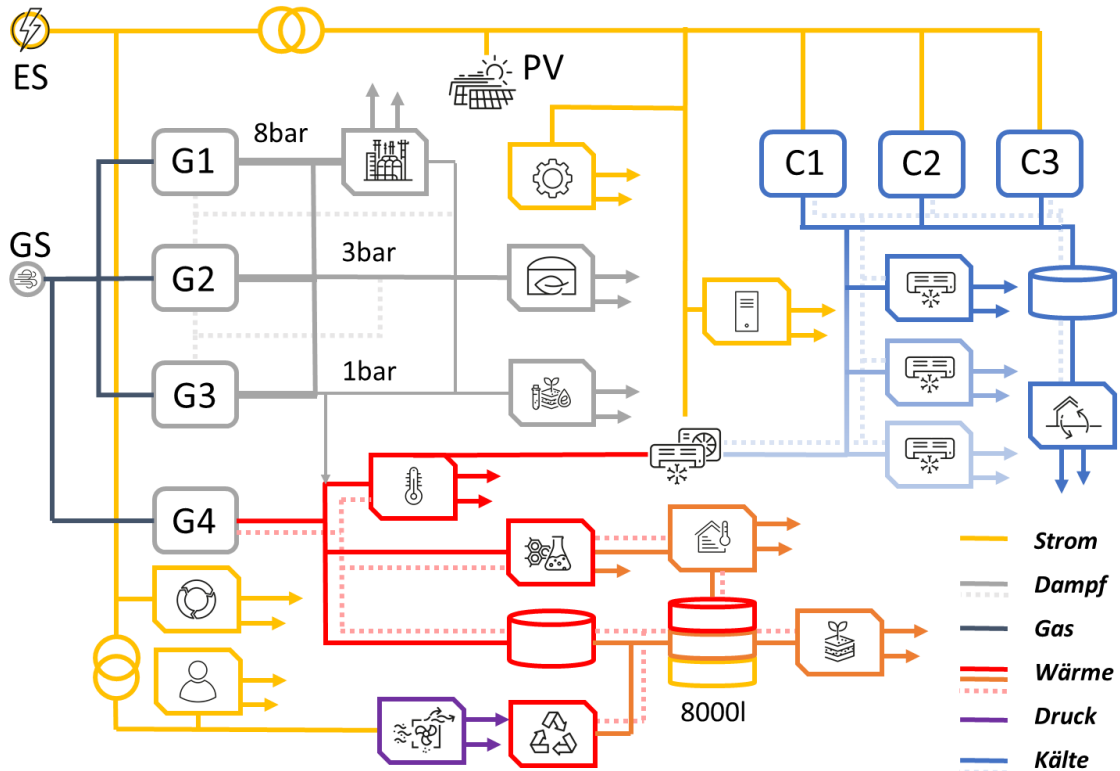


Abbildung 18 Vereinfachte Gesamtsystemübersicht der Case Study 2 Prozesse zu Projektende (Quelle: Fraunhofer ISE)

Die Darstellung zeigt von links startend die Strom- (ES) und Gaszufuhr (GS), die über die Bestandsleitungen des Strom- und Dampfnetzes verteilen. Nachgeordnet befinden sich das Dampf und Wärmesystem, sowie Kältenetz, ein Drucknetz die an unterschiedlichen Stellen sektorenggekoppelt sind.

Gekoppeltes Dampf- und Wärmesystem:

Die Hauptleitung vom Gasanschluss versorgt 4 Erzeugungsanlagen (G1 - 4) mit Erdgas, die drei Anlagen (G1 - 3) können redundant zueinander zur Einspeisung von Dampf auf 8bar ins Dampfnetz eingesetzt werden, während die Anlage G4 Prozesswärme bereitstellt. Die Prozesse innerhalb des Dampfnetzes benötigen unterschiedliche Druckstufen auf 8, 3, oder 1 bar. Die Vorlauftemperaturen der Prozesswärme liegen auf Temperaturniveaus von 80, 60, 55, 40 °C für diverse Herstellungsprozesse bei Taifun. Über einen Schichtenspeicher sind Prozess, Trinkwarmwasser und Raumwärme gekoppelt. Über Wärmerückgewinnung wird ein Teil der Dampf und Prozesswärme erneut ins System eingebunden. Zusätzlich wird Abwärme aus Druckluftkompressoren in das Wärmenetz eingespeist.

Kältesystem:

Das Kältenetz wird von drei Hauptversorgern (C1 - C3) auf - 2 °C gespeist, eine zusätzliche Grundwassernutzung zur Kühlung unterstützt die Kühlung im Temperaturbereich von 15 °C. Im Kältekreis befinden sich mehrere Räumlufttemperierungen, Kühllhäuser sowie andere Anlagen mit Kühlbedarf, die verschiedene Vor- und Rücklauftemperaturen ein und ausspeisen, sowie redundante Kühlanlagen für die Produktionshallen. Über einen an die Grundwassernutzung angeschlossenen Pufferspeicher wird kaltes Wasser 10/20 °C für weitere Geräte bereitgestellt. Nur die Erzeugungsanlagen und zusätzlichen Räumlufttemperierungen haben Messstellen.

Stromsystem:

Mehrere 20 kV Schaltanlagen befinden sich auf dem Produktionsgelände. Die Last verteilt sich auf 5 Hauptverteilungen (zwischen 500 A - 800 A), sowie direkte Anschlüsse für Großverbrauchsanlagen. An den Hauptverteilungen sind diverse Energieerzeugungs- und Produktionsanlagen angeschlossen, die zum Teil eigene Messstellen besitzen. Eine klare Zuordnung der Nachfragen einzelner, kleinerer Prozessverbräuche ist nicht möglich.

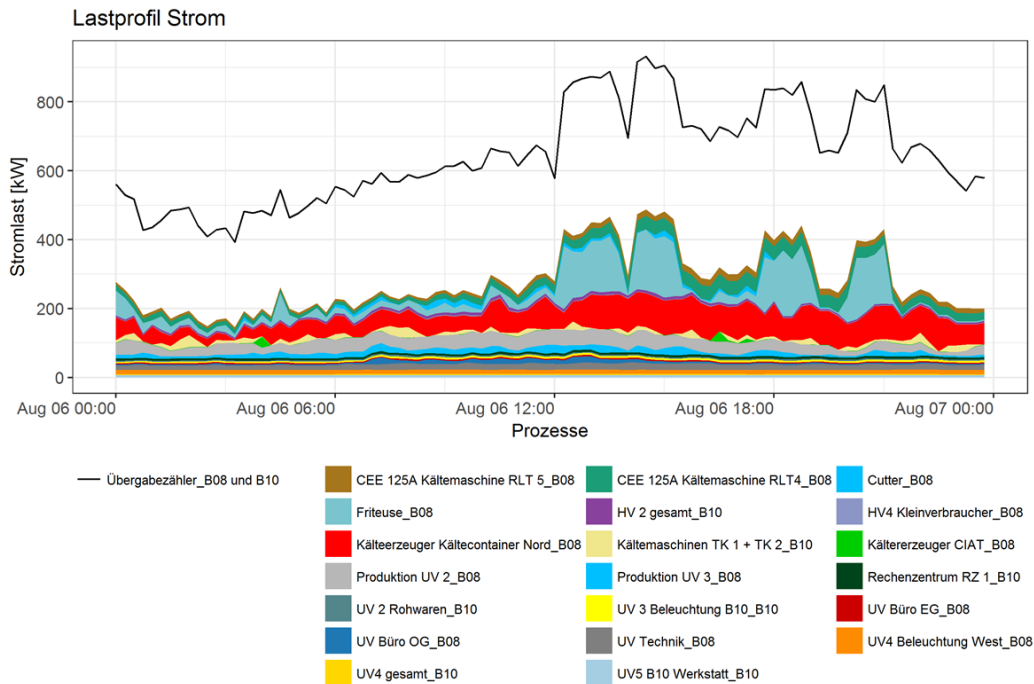


Abbildung 19 Beispielhafter Auszug aus dem Nachfrageprofil Strom (Quelle Taifun)

Ausführung Taifun Tofus zum Messsystem & Erfahrungen in der Case Study 2

Die Übertragung der Daten von Taifun an ENIT stellte im Projekt eine größere Herausforderung dar als im Vorfeld angedacht. Neben der anfänglichen Verzögerung für die Erstellung einer Datenleitung zur Schnittstelle ENIT kam es immer wieder zu Ausfällen der Datenübertragung infolge von Netzwerkproblemen bei Taifun. Im weiteren Verlauf wurden zwar Daten übertragen, doch führten die unterschiedlichen Zähler- und Übertragungsformate dazu, dass Werte ausgegeben wurden, die aber nicht den Realwerten entsprechen. Die Konfiguration der Auswerteformate und die Verifizierung der Daten war mit einem erheblichen Arbeitsaufwand, sowohl von Seiten Taifun als auch von ENIT verbunden. Somit konnten erst ab 2019 brauchbare Datensätze an Fraunhofer ISE zur Modellierung innerhalb der AP 2 übermittelt werden. Bedingt durch die Verzögerung musste Taifun dem Engpass der Dampfversorgung begegnen und vor dem Vorliegen einer Technologiebewertung die Entscheidung für den Ausbau der Wärmeenergieerzeugung mit einem konventionellen Dampfkessel treffen. Das Dampfkesselprojekt wurde 2018 gestartet und im 2. Quartal 2019 fertiggestellt. Der Einsatz der Technologie Adsorptionskälteanlage wurde in der Bauplanung vorgesehen, doch noch zurückgestellt.

Im Laufe des Projekts hat es sich gezeigt, dass eine Datenauswertung über ENIT doch mit einem erheblichen Aufwand verbunden ist. Entsprechend hat sich Taifun dazu entschieden parallel ein anderes Energiemanagement-Tool einzurichten. Dieses Tool wurde Ende 2019 eingerichtet, wodurch für 2020 dem Fraunhofer ISE nochmals weitere verifizierte Datensätze für die Modellierung zur Verfügung gestellt werden konnten.

Durch die Modellierung konnten verschiedene zukunftsfähige Optionen dargestellt werden, die in Bezug auf Energieeffizienz und Flexibilität zum Einsatz kommen könnten. So wurde die Kombination BHKW (Gasbetrieben), Adsorptionskälteanlage, Photovoltaik und Elektropeicher weiter ausgearbeitet. Bedingt durch die hohe Investitionssumme wurde eine Umsetzung 2021 nochmals zurückgestellt.

Die neueste Situation auf dem Energiemarkt wird eine Modellierung notwendig machen, um der rasanten Preis-Entwicklung des Brennstoffs Gas sowie einem schnellen Ausstieg aus den fossilen Brennstoffen Rechnung zu tragen.

Bestandsaufnahme & Messkonzept Case Study 3 – Hermann Peter

- Bestandsaufnahme der vorhandenen Mess-Infrastruktur an den Standorten Rheinau und Niederrimsingen
- Identifikation relevanter Gebäude und Verbraucher
- Erarbeitung der Messkonzepte für die beiden Standorte, siehe Abbildung 20 bzw. Abbildung 21

Kunden ID	Kostenstelle	Einbau	Herrschaller und Top	Problema	IP-Adresse	Umschaltbar Vieradrige Strahlung	Wandstecker Strom	Wandstecker Energie	Wandstecker Daten
		Netzanschlussraum (vorhanden)	EMH LZM-JXC	IEC-82096, 300 Baud		2000KH0	1005	4000	
			Berg M-Bus - Logger	172.16.240.1					Betonwerk
BV-TSMHY-01	BV komplett Berechnungsgrundlage	Trafostation Niederspannungshauptversorgung Betonwerk	Analog						wird monatlich abgelesen
BV-TSMHY-02	IFRS4	Trafostation Niederspannungshauptversorgung Betonwerk	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.1	0			
BV-TSMHY-03	BV-Mischanlage	Trafostation Niederspannungshauptversorgung Betonwerk	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.1	1			
BV-TSMHY-04	Transportbetonwerk	Trafostation Niederspannungshauptversorgung Betonwerk	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.1	2			
BV-TSMHY-05	Blögeb. / Dispo - Fat + Hans Peter	Trafostation Niederspannungshauptversorgung Betonwerk	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.1	3			
?	?		Berg M-Bus - Logger	172.16.240.2					Kieswerk
KVF-TSMHY-03	KVF Nachbrecher	Trafostation (T2) Niederspannungshauptversorgung Kieswerk Freistett	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.2	0			
KVF-TSMHY-06	KVF Kieswerk 2	Trafostation (T2) Niederspannungshauptversorgung Kieswerk Freistett	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.2	1			
KVF-TSMHY-04	KVF Splittwerk	Trafostation (T2) Niederspannungshauptversorgung Kieswerk Freistett	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.2	2			
KVF-TSMHY-05	KVF Vortbrecher	Trafostation (T2) Niederspannungshauptversorgung Kieswerk Freistett	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.2	3			
KVF-TSMHY-02	KVF Sandanlage	Trafostation (T2) Niederspannungshauptversorgung Kieswerk Freistett	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.2	4			
KVF-TSMHY-01	KVF Schichtverladung	Trafostation (T1) Niederspannungshauptversorgung Kieswerk Freistett	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.2	5			
IS-TSMHY-01	Kasa komplett Berechnungsgrundlage	Trafostation Niederspannungshauptversorgung Kalksandsteinwerk	Berg M-Bus - Logger	172.16.240.3					Kalksandstein
IS-TSMHY-02	Kasa Vormischer	Trafostation Niederspannungshauptversorgung Kalksandsteinwerk	Analog	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.3	0		wird monatlich abgelesen
IS-TSMHY-03	Kasa Dorsa	Trafostation Niederspannungshauptversorgung Kalksandsteinwerk	Berg DCM 462 V (?)	M-Bus	172.16.240.3	1			
P-Ext-01	Rechnung Th. Peter	Vollnhaus Thomas Peter	Analog						
P-Ext-02	Rechnung Trudel Peter	Vollnhaus Thomas Peter	Analog						
P-Ext-03	Rechnung Hans Peter	Keller Blögeb. Freistett	Analog						
P-Ext-04	Rechnung Michael Peter	Trafostation Niederspannungshauptversorgung Kalksandsteinwerk	Analog						
S-Ext-01	Rechnung Ceik	Vollnhaus (Ceik)	Analog						
S-Ext-02	Rechnung Blücher	Vollnhaus (Ceik)	Analog						
S-Ext-03	Rechnung Giner	Trafostation Niederspannungsversorgung	Analog						
S-Ext-04	Rechnung Tenenclub	Trafostation Niederspannungshauptversorgung Kieswerk Freistett	Analog						
KVF-TSSA-07	KVF SG Rösinger	Trafostation (T2) Niederspannungsschaltanlage Freistett	? Datenlogger (MB, Datenlogger_SGR_K_VFI)						

Abbildung 20 Messkonzept-Übersicht bei Hermann Peter KG Rheinau

Messstelle	Nr. Bauschleife	Kunden ID	Kostenstelle	Einbau	Herrschaller und Top	Problema	IP-Adresse	Umschaltbar Dreipolige	Wandstecker
E.1	1	Übergabezähler			Elster A1500	IEC-62056			
E.1.1.A	2	NHV-Trafo 1	HPN-US-03	NHV-Trafo 1	Niederrimsingen	Übergabestation Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	192.168.20.90
E.1.1.B	3	NHV-Trafo 2	HPN-US-04	NHV-Trafo 2	Niederrimsingen	Übergabestation Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	192.168.20.89
E.1.1.C	4	NHV-Trafo 3	HPN-US-05	NHV-Trafo 3	Niederrimsingen	Übergabestation Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	192.168.20.91
E.1.1.1	5	NHV-Zwischenabsiebung	HPN-US-06	NHV-Zwischenabsiebung	Niederrimsingen	Übergabestation Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	192.168.20.86
E.1.1.2	6	Waage	HPN-US-07	Waage	Niederrimsingen	Übergabestation Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	192.168.20.87
E.1.1.3	7	Labor	HPN-US-08	Labor	Niederrimsingen	Übergabestation Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	192.168.20.93
E.1.1.4	8	Dosieranlage Gesamt	HPN-DA-01	Dosieranlage Gesamt	Niederrimsingen	Dosieranlage Kieswerk Niederrimsingen	PAC 4200	Modbus/TCP	192.168.20.94
E.1.1.4.1	9	Schlosserei	HPN-DA-02	Schlosserei	Niederrimsingen	Dosieranlage Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	192.168.20.81
E.1.1.4.2	10	Spittwerk 1	HPN-DA-03	Spittwerk 1	Niederrimsingen	Dosieranlage Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	192.168.20.93
E.1.1.4.3	11	Spittwerk 2 / Bunker	HPN-DA-04	Spittwerk 2 / Bunker	Niederrimsingen	Dosieranlage Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	192.168.20.82
E.1.1.4.4	12	Waldeckle Gesamt	HPN-DA-05	Waldeckle - gesamt	Niederrimsingen	Dosieranlage Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	192.168.20.84
E.?	?	Fahrzeughalle, Garage, alte KFZ	HPN-US-01	Fahrzeughalle, Garage, alte KFZ		Übergabestation Kieswerk Niederrimsingen	MBUS auf Bergdatenlink	?	Zähler vorhanden – Zählerwechsel (PAC 3200) möglich/geplant
E.?	?	Büro	HPN-US-02	Büro	Niederrimsingen	Übergabestation Kieswerk Niederrimsingen	MBUS auf Bergdatenlink	?	Zähler vorhanden – Zählerwechsel (PAC 3200) möglich/geplant
E.?	?	SG 50 Halde / Gröztbüro	HPN-SG50-01	SG 50 Halde / Gröztbüro	Niederrimsingen	Schallraum Hochspannungsstation SG 50	PAC 3200	Modbus/TCP	4 blau / Zähler vorhanden – kein Netzwerkanschluss – Telefonkabel v
E.?	?	SG 50	HPN-SG50-02	SG 50	Niederrimsingen	Schallraum NHV SG 50 Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	7 blau / Zähler vorhanden – kein Netzwerkanschluss
E.?	?	Grözt Gelände / Halle	HPN-GRÖZT-01	Grözt Gelände / Halle	Niederrimsingen	Schallraum Hochspannungsstation SG 50	?	?	5 blau / Zähler vorhanden – kein Netzwerkanschluss
E.?	?	SG13.5	HPN-SG13.5-01	SG13.5	Niederrimsingen	Schwimmgreifer SG 13.5 Kieswerk Niederrimsingen	PAC 3200	Modbus/TCP	8 blau / Zähler vorhanden – kein Netzwerkanschluss
E.?	?	KFZ / Tankstelle / Waschküche	HPN-SG13.5-02	KFZ / Tankst. / Waschküche	Niederrimsingen	E-Verteilung Hochspannungsstation SG 13.5	PAC 3200	Modbus/TCP	6 blau / Zähler vorhanden – kein Netzwerkanschluss
E.?	?	Waldeckle	N-Ext-01	Rechnung Sobal	Niederrimsingen	Waldeckle Kieswerk Niederrimsingen			Analoger Zähler
E.?	?	Pumpstation	N-Ext-02	Rechnung Eplus	Niederrimsingen	Pumpstation Kieswerk Niederrimsingen			Analoger Zähler
E.?	?	E-Verteilung Hochspannungsstation SG 13.5	N-Ext-03	Rechnung Ehret	Niederrimsingen	E-Verteilung Hochspannungsstation SG 13.5			Analoger Zähler
E.?	?	E-Verteilung KFZ-Werkstatt	N-Ext-04	Rechnung Vultec	Niederrimsingen	E-Verteilung KFZ-Werkstatt Kieswerk Niederrimsingen			Analoger Zähler

Abbildung 21 Messkonzept-Übersicht bei Hermann Peter KG Niederrimsingen

- Ausbringung des Messsystems zur Datenerfassung am Punkt der Netzübergabe und späteren Integration der Unterzählerdaten
- Integration der Unterzählerdaten inkl. Integration des Schwimmgreifers

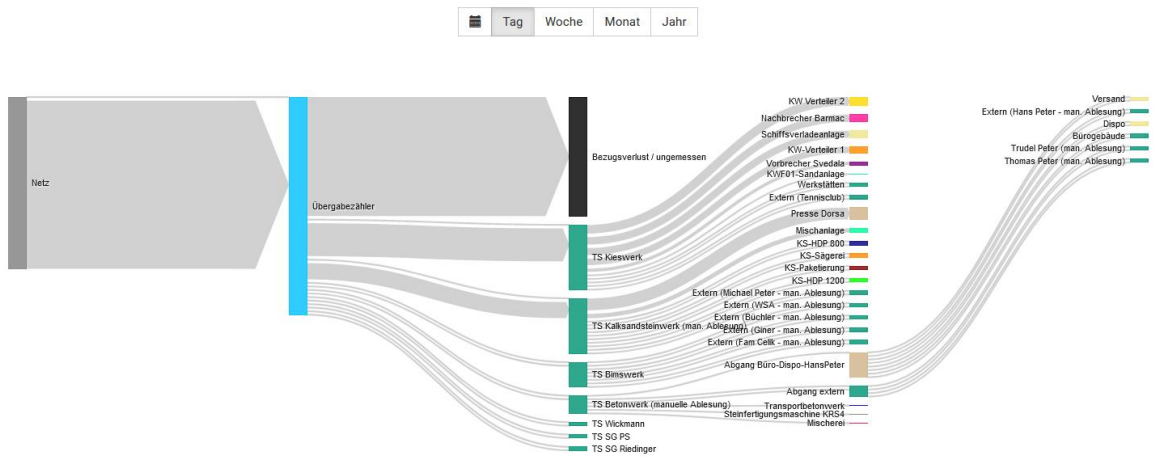
Messkanäle bearbeiten für: Schwimmgreifer 50

Alle auswählen

IDENTIFIKATOR	Beschreibung	Aufzeichnungsintervall (sek.)	Skalierungsfaktor	Einheit	Kanaladresse	Wert
<input type="checkbox"/> Blindarbeit (Abgabe)	Blindarbeit (HT/Abgabe)	300	1.0	varh	Adresse dieses Kanals	451.336.082,83
<input type="checkbox"/> Blindarbeit (Bezug)	Blindarbeit (HT/Bezug)	300	1.0	varh	Adresse dieses Kanals	667.517.968,21
<input type="checkbox"/> Blindleistung L1	Blindleistung L1	15	1.0	var	Adresse dieses Kanals	-4.937
<input type="checkbox"/> Blindleistung L2	Blindleistung L2	15	1.0	var	Adresse dieses Kanals	-5.573,66
<input type="checkbox"/> Blindleistung L3	Blindleistung L3	15	1.0	var	Adresse dieses Kanals	-6.375,4
<input type="checkbox"/> Ges. Blindleistung	Ges. Blindleistung	15	1.0	var	Adresse dieses Kanals	-16.886,07
<input type="checkbox"/> Ges. Scheinleistung	Ges. Scheinleistung	15	1.0	VA	Adresse dieses Kanals	92.741,34
<input type="checkbox"/> Ges. Wirkleistung	Ges. Wirkleistung	15	1.0	W	Adresse dieses Kanals	86.818,25
<input type="checkbox"/> Leistungsfaktor	Leistungsfaktor	15	1.0	z.B.: W	Adresse dieses Kanals	0,94
<input type="checkbox"/> Leistungsfaktor L1	Leistungsfaktor L1	15	1.0	z.B.: W	Adresse dieses Kanals	0,94
<input type="checkbox"/> Leistungsfaktor L2	Leistungsfaktor L2	15	1.0	z.B.: W	Adresse dieses Kanals	0,94
<input type="checkbox"/> Leistungsfaktor L3	Leistungsfaktor L3	15	1.0	z.B.: W	Adresse dieses Kanals	0,93
<input type="checkbox"/> Netzfrequenz	Netzfrequenz	15	1.0	Hz	Adresse dieses Kanals	49,98
<input type="checkbox"/> Scheinleistung L1	Scheinleistung L1	15	1.0	VA	Adresse dieses Kanals	31.243,85
<input type="checkbox"/> Scheinleistung L2	Scheinleistung L2	15	1.0	VA	Adresse dieses Kanals	31.274,91
<input type="checkbox"/> Scheinleistung L3	Scheinleistung L3	15	1.0	VA	Adresse dieses Kanals	30.222,57
<input type="checkbox"/> Spannung L1-N	Spannung L1-N	15	1.0	V	Adresse dieses Kanals	237,29
<input type="checkbox"/> Spannung L2-N	Spannung L2-N	15	1.0	V	Adresse dieses Kanals	237,61
<input type="checkbox"/> Spannung L3-N	Spannung L3-N	15	1.0	V	Adresse dieses Kanals	237,32
<input type="checkbox"/> Strom L1	Strom L1	15	1.0	A	Adresse dieses Kanals	131,67
<input type="checkbox"/> Strom L2	Strom L2	15	1.0	A	Adresse dieses Kanals	131,62
<input type="checkbox"/> Strom L3	Strom L3	15	1.0	A	Adresse dieses Kanals	127,35
<input type="checkbox"/> THD Spannung L1	THD Spannung L1	15	1.0	%	Adresse dieses Kanals	1,41
<input type="checkbox"/> THD Spannung L2	THD Spannung L2	15	1.0	%	Adresse dieses Kanals	1,28
<input type="checkbox"/> THD Spannung L3	THD Spannung L3	15	1.0	%	Adresse dieses Kanals	0,89
<input type="checkbox"/> THD Strom L1	THD Strom L1	15	1.0	%	Adresse dieses Kanals	15,46
<input type="checkbox"/> THD Strom L2	THD Strom L2	15	1.0	%	Adresse dieses Kanals	14,93
<input type="checkbox"/> THD Strom L3	THD Strom L3	15	1.0	%	Adresse dieses Kanals	13,16
<input type="checkbox"/> Wirkarbeit (Abgabe)	Wirkarbeit (Abgabe)	300	1.0	Wh	Adresse dieses Kanals	257.548,05
<input type="checkbox"/> Wirkarbeit (Bezug)	Wirkarbeit (Bezug)	300	1.0	Wh	Adresse dieses Kanals	1.626.447.654,27
<input type="checkbox"/> Wirkleistung L1	Wirkleistung L1	15	1.0	W	Adresse dieses Kanals	29.386,69
<input type="checkbox"/> Wirkleistung L2	Wirkleistung L2	15	1.0	W	Adresse dieses Kanals	29.314,24
<input type="checkbox"/> Wirkleistung L3	Wirkleistung L3	15	1.0	W	Adresse dieses Kanals	28.117,33

Abbildung 22 Beispielhafte Darstellung der Konfiguration einer Schwimmgreifer-Messstelle mit 33 Messkanälen in hochaufgelöster Erfassung bei Hermann Peter KG Niederrimsingen

- Einrichtung messstellen-spezifischer Dashboards



Mittwoch, 4. November 2020

Abbildung 23 Energiefluss-Diagramm bei Hermann Peter KG Rheinau

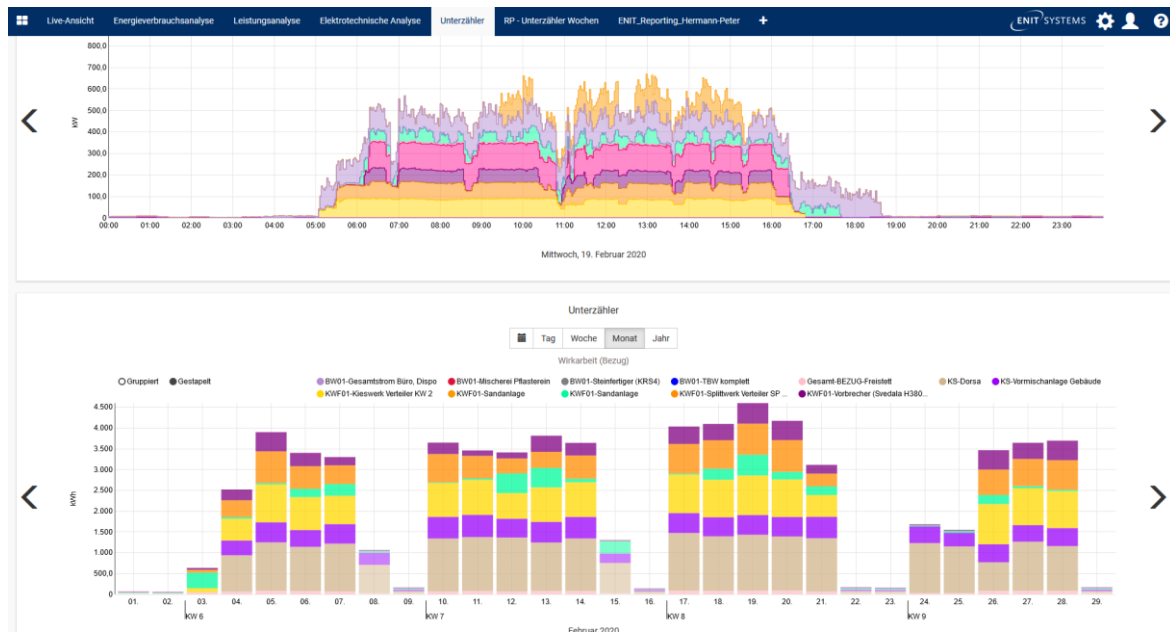


Abbildung 24 Darstellung des Dashboards „Unterzähler“ bei Hermann Peter KG Rheinau

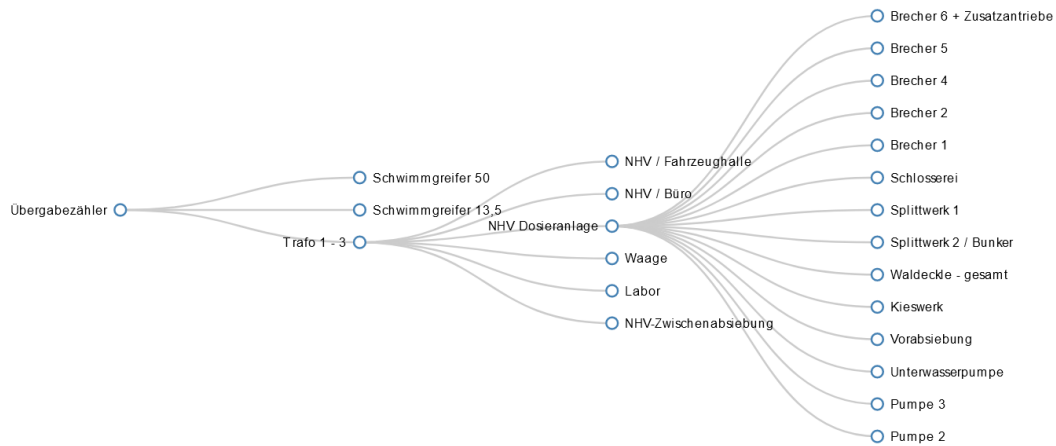
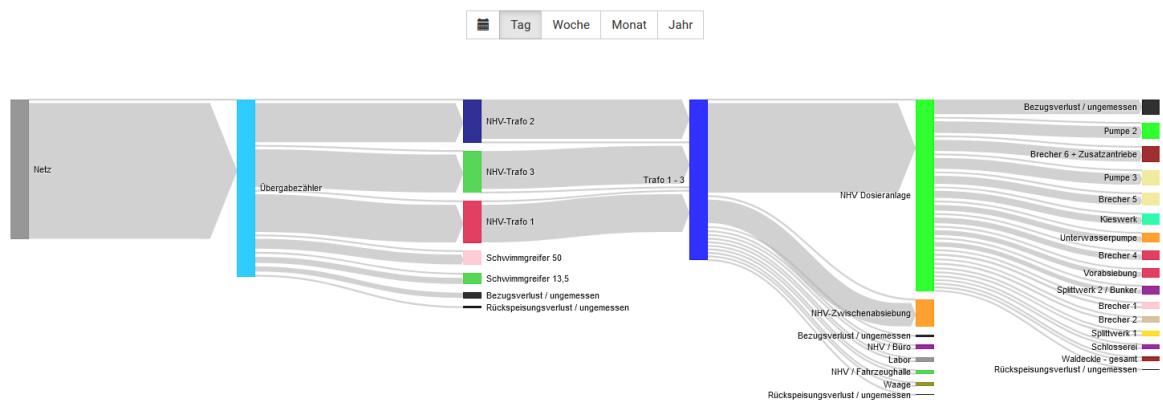


Abbildung 25 Topologische Darstellung der Messstellen bei Hermann Peter KG Niederrimsingen



Montag, 8. Juni 2020

Abbildung 26 Energiefluss-Diagramm bei Hermann Peter KG Niederrimsingen

- Einrichtung von Nutzendenzugängen für Mitarbeitenden von Hermann Peter sowie für Projektpartnerinnen und Projektpartner
- Entwicklung und Release des Software-Features „Alarmer“ für die Alarmierung via Email bei: Datenerfassungsausfall an einer Messstelle und Über- oder Unterschreitung von individuell definierbaren Schwellwerten auf einzelne Messkanäle

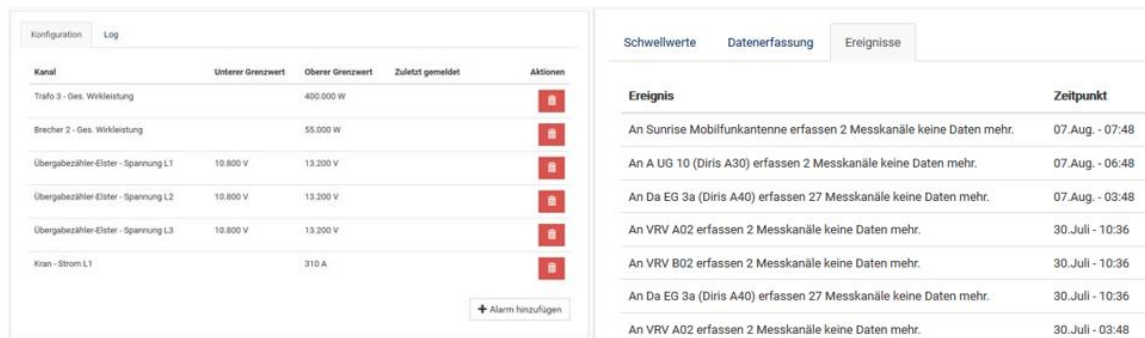


Abbildung 27 Konfiguration von Schwellwert-Alarmen in der Software

- Entwicklung und Release des Software-Features „Energie-Kennzahlen“ für die spezifische Darstellung von Energieverbräuchen pro individuell definierbares Produkt je Messstelle (z.B. kWh/Tonne Kies)

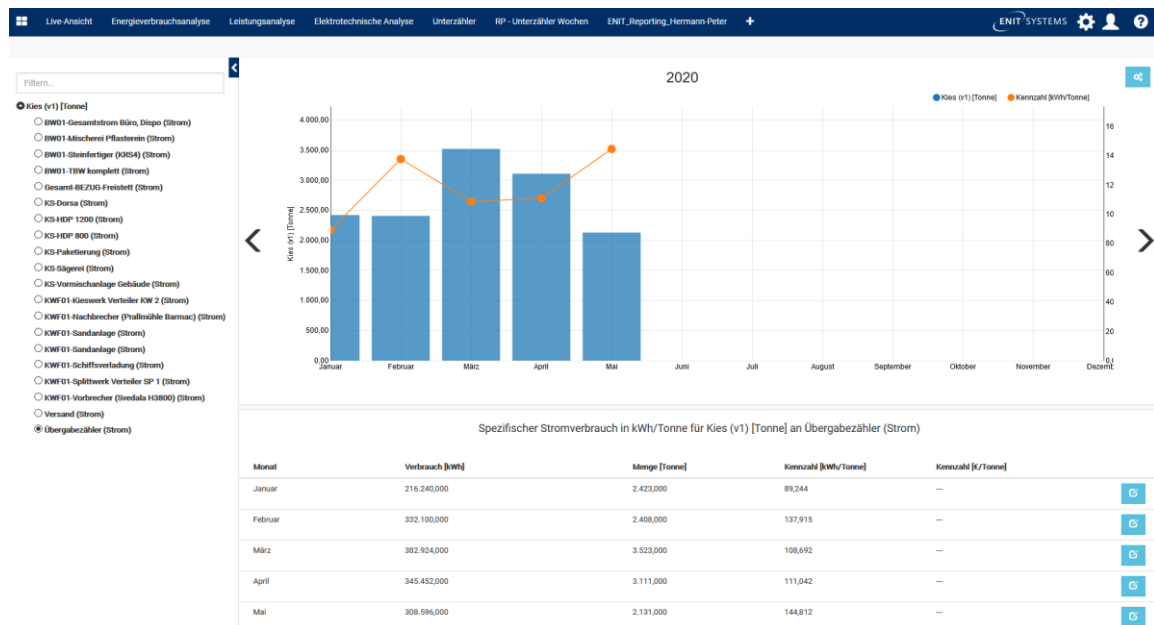


Abbildung 28 App für Energie-Kennzahlen in der Software

- Entwicklung und Release des Software-Features „Virtuelle Messkanäle“, die durch die Berechnung mittels mathematischer Operatoren aus erfassten Messkanälen erstellt werden können (à nicht gemessene Anlagen lassen sich in der Software berechnen und darstellen)

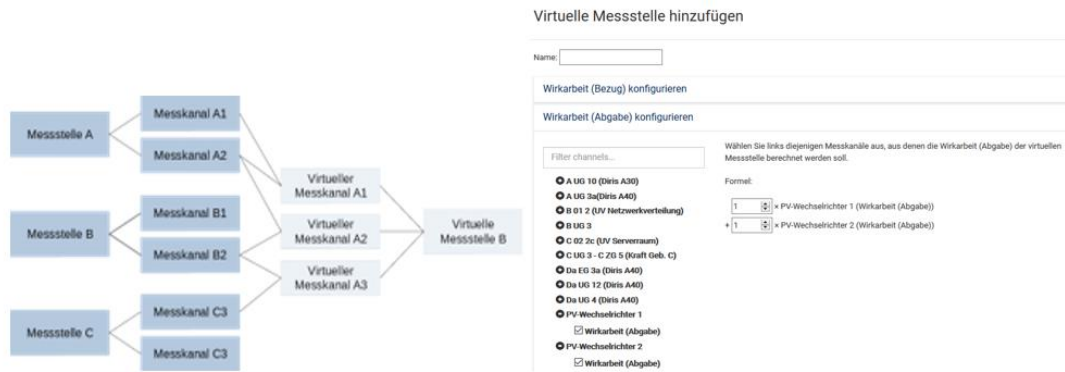


Abbildung 29 Konfiguration von virtuellen Messkanälen in der Software

AP 1.2. Umsetzung der Case Study 1: Flexibilitäterschließung auf dem Campus des Fraunhofer ISE

Die Flexibilitätpotentiale am Campus des Fraunhofer ISE wurde mit Hilfe des Energiesystemoptimierungsmodells DISTRICT untersucht. Für diese Analyse muss der gesamte ISE Campus im Modell abgebildet werden. Dazu wurden zunächst die die Messdaten mit den installierten Erzeugungstechnologien und den vorliegenden Rechnungsdaten plausibilisiert. Die Datenplausibilisierung erwies sich als äußerst schwierig, da die Messdaten unterschiedlichste Datenlücken aufwiesen und Zähler nicht vollständig zugeordnet waren. Zusätzlich war die Implementierung des geplanten Messsystems deutlich im Verzug was vor allem an Budgetänderungen und Personalmangel lag. Erschwert wurde die detaillierte Messung des ISE Campus durch eine sehr langfristig gewachsene Struktur der Gebäudeversorgung. Daher wurde an unterschiedlichen Stellen auf eine ungefähre Ableitung der Daten zu einzelnen Gebäuden zurückgegriffen, damit die Analyse noch innerhalb der Projektlaufzeit durchgeführt werden konnte.

Durch das interne Gebäudemanagement wurde neben den installierten Technologien auch die elektrischen, Wärme- und Kälteverbindungen zwischen den Gebäuden abgefragt. Der finale Überblick zur energetischen Versorgung des Fraunhofer ISE Campus ist in nachfolgender Abbildung zu sehen.

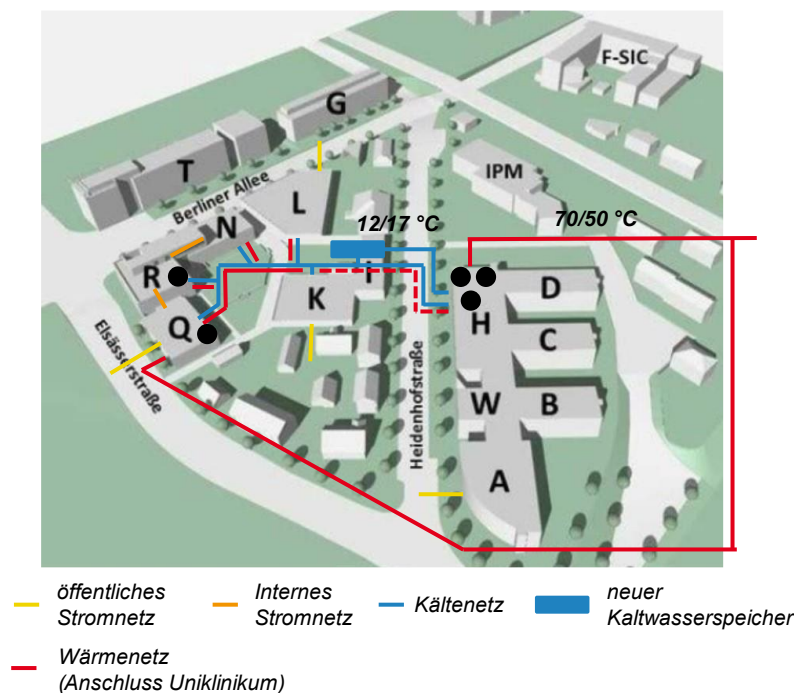


Abbildung 30 Übersicht Fraunhofer ISE Campus

Auf Grundlage des entwickelten technischen Gebäudeplanes und den bereinigten Daten wurde versucht unterschiedliche Prozesse zu definieren, die für eine detaillierte Flexibilitätsbetrachtung in Frage kommen. Hier kämen grundsätzlich sowohl Energieversorgungstechnologien (bspw. Dampfkessel oder Kältemaschinen) oder einzelne Prozesse (bspw. Reinraumbelüftung oder große Einzelmaschinen) in Frage. Allerdings lassen sich keine geeigneten Prozesse oder Technologien für eine Flexibilitätsbetrachtung identifizieren. Dies hat drei Gründe. Zunächst gibt es am Fraunhofer ISE nur wenige große einzelne Prozesse. Die überwiegende Mehrheit der Anlagen sind klein und werden darüber hinaus nicht vom, zum Zeitpunkt der Projektdurchführung, implementierten Messsystem erfasst. Auf der Energieerzeugungsseite gibt es direkt auf dem Campus nur Kälteerzeugungstechnologien. Die Wärmeversorgung erfolgt weit überwiegend durch das Wärmenetz was durch die Universitätsklinik Freiburg versorgt wird und worauf das Fraunhofer ISE keinen Einfluss hat.

Die Analyse der Flexibilitätspotentiale wurde daher vor allem auf den Speicherbetrieb des neu installierten Kältespeichers und eine mögliche Installation eines Wärmespeichers fokussiert. Als weitere Randbedingung der Optimierung sollte das Ziel der Fraunhofer Gesellschaft berücksichtigt werden, bis zum Jahr 2030 klimaneutral zu sein. Für das Energiesystem des Fraunhofer ISE bedeutet dies eine Dekarbonisierung des Energiesystems bis zum Jahr 2030. Vor diesem Hintergrund wurden fünf Szenarien mit unterschiedlichen Fokussen entwickelt und mit Hilfe des Energiesystemoptimierungstools DISTRICT analysiert. Da die Fraunhofer Gesellschaft eine Dekarbonisierung bis zum Jahr 2030 anstrebt, werden im Folgenden vor allem die Ergebnisse des »CO₂-Neutralität« Szenarios vorgestellt.

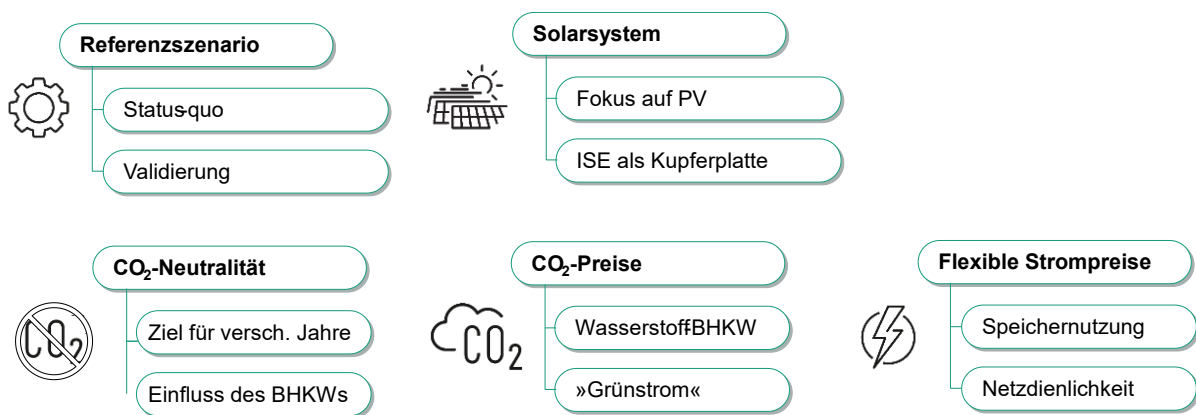


Abbildung 31 Definierte Szenarien für die Optimierung

Um eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, werden zunächst die Ergebnisse des Referenzszenarios präsentiert. Mit diesem Szenario kann der Status quo plausibilisiert werden und die Realitätsnähe des Modells überprüft werden. Nachfolgende Abbildungen zeigen die Strom-, Wärme- und Kältebereitstellung für den Status quo im Jahresverlauf.

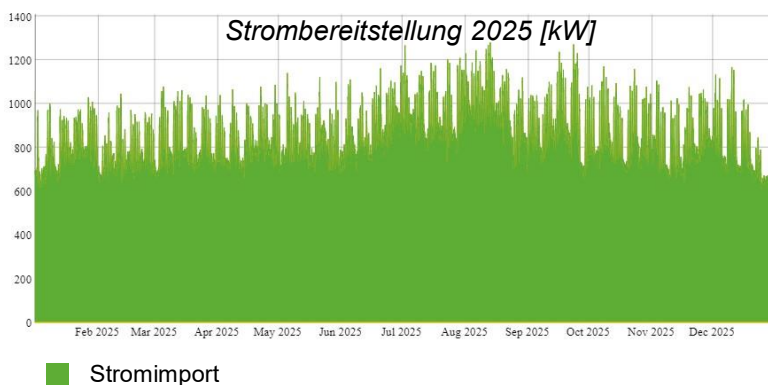


Abbildung 32 Strombereitstellung im Status quo

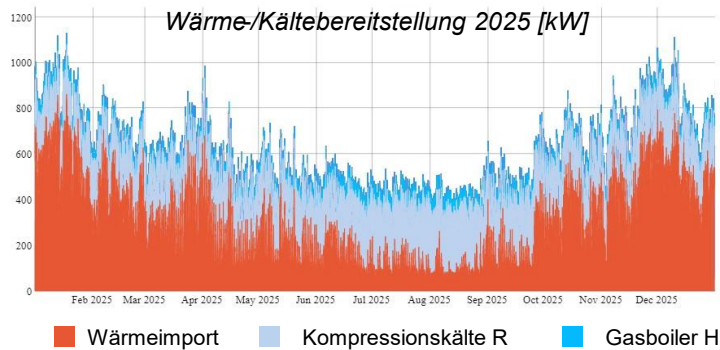


Abbildung 33 Wärme- und Kältebereitstellung im Status quo

Der Strombedarf des Campus wird durch den Bezug von Netzstrom gedeckt. Die Wärmeversorgung erfolgt überwiegend über das Wärmenetz, während für einige Prozesse, die höhere Temperaturen benötigen, ein Gaskessel im Hauptgebäude genutzt wird. Die Kälteerzeugung wird überwiegend über eine Kältemaschine im R-Gebäude sichergestellt. Dieser Anlagenbetrieb entspricht nicht ganz der Realität, da, wie in Kapitel AP 1 beschrieben, normalerweise die Kühlung über eine freie Kühlung bzw. die Kompressionskältemaschine des H-Gebäudes erfolgt. Allerdings konnte dieser Betrieb auf Grund der fehlenden Daten nicht sinnvoll im Modell abgebildet werden. Sowohl die Wärme als auch die Kälte werden zentral bereitgestellt und über das Campus-interne Wärme- bzw. Kältenetz verteilt. Für den Status quo werden die Kältespeicher noch nicht vom Modell genutzt, da die Speicher neu installiert wurden und daher das aktuelle Energiesystem noch ohne diese Speicher voll funktionsfähig ist. Außerdem wurden keinerlei Flexibilitätsbetrachtungen für den Status quo getätigt. Die im Modell berechneten gesamten Energiesystemkosten entsprechen den durch Rechnungen nachgewiesenen Kosten mit einer Abweichung von weniger als 5 %. Für eine umfassende Analyse wurde das PV Potential auf den Dächern des Fraunhofer ISE Campus abgeschätzt. Dazu wurden übliche Flächenbedarfe für PV Anlagen auf Flachdächern angesetzt (10 m² pro kW_p)⁸. Durch diese Annahmen ergibt sich ein PV Potential von 205 kW_p. Dieses Potential wird in allen Szenarien, die mit DISTRICT untersucht wurden, von dem Modell voll ausgeschöpft.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen wieder die Energiebereitstellung für den Fraunhofer ISE Campus, dieses Mal für einen optimierten Betrieb im Jahr 2030 unter der Randbedingung dass der gesamte Campus CO₂-neutral betrieben werden muss (»CO₂-Neutralitätsszenario«).

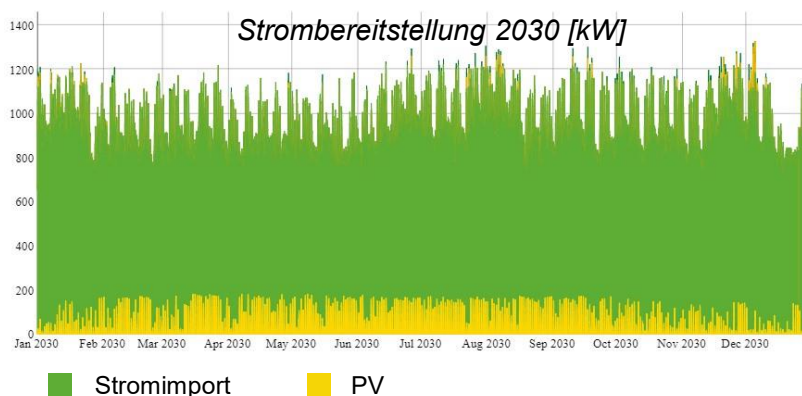


Abbildung 34 Strombereitstellung im Szenario CO₂-Neutralität im Jahr 2030

⁸ Joshi, S.; Mittal, S.; Holloway, P.; Shukla, P.R.; Ó Gallachóir, B.; Glynn, J. High resolution global spatiotemporal assessment of rooftop solar photovoltaics potential for renewable electricity generation. Nat. Commun. 2021, 12, 5738. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25720-2>.

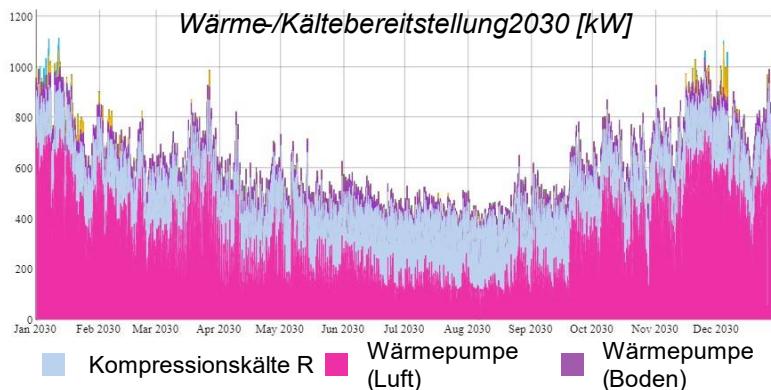


Abbildung 35 Wärme- und Kältebereitstellung im Szenario CO₂-Neutralität im Jahr 2030

Die Strombereitstellung erfolgt weiterhin weitüberwiegend über einen Netzbezug von erneuerbarem Strom, während die installierten PV Kapazitäten einen kleinen Teil des Strombedarfs decken. Auf der Wärme- und Kälte-Seite erfolgt ein Wechsel vom Fernwärmenetz hin zu Wärmepumpen (Installation von 981 kW_p), da für dieses Szenario keine CO₂-Neutralität des Fernwärmenetzes angenommen wurde. Die benötigte Kälte wird auch weiterhin über Kompressionskältemaschinen bereitgestellt, da durch einen CO₂-neutralen Bezug von Netzstrom eine CO₂-neutrale Kälteversorgung sichergestellt ist. Die Gesamtsystemkosten belaufen sich für dieses Szenario auf 1.501.759 € p.a. Die Investitionskosten sind über die Annuität auf den betrachteten Zeitraum verteilt. Zusätzlich sind zukünftige Kosten abgezinst.

Die Strombereitstellung für das CO₂-Neutralitätsszenario zeigt, dass mit den lokalen PV-Potentialen keine Stromüberschüsse erzeugt werden, die ggf. durch den Betrieb der Kompressionskältemaschinen und einer Einspeisung in die Kaltwasserspeicher genutzt werden könnten. Der Betrieb des Speichers im Einklang mit bspw. flexiblen Strompreisen wäre aber denkbar. Eine Analyse mit flexiblen Strompreisen hat hier zunächst keine Speicheraktivitäten gezeigt. Dies kann aber vor allem an zu konservativen Annahmen bezüglich der Speichereffizienz und den Kältebedarfen des Fraunhofer ISE liegen. Diesbezüglich sind weitere Forschungsarbeiten nötig.

Die Ergebnisse wurden, zusammen mit den anderen Case Study Ergebnissen, auf den Berliner Energietagen 2022 vorgestellt. Hierzu wurde ein „FlexGeber Abschlussworkshop“ veranstaltet und mit dem Publikum diskutiert. Darüber hinaus sollen die Ergebnisse im Zuge einer Journalveröffentlichung oder als Konferenzbeitrag präsentiert werden.

AP 1.3: Umsetzung der Case Study 2: Flexibilitäterschließung bei Taifun (Nichtwohngebäude mit Industriebetrieb)

Mit der ersten Bestandsanalyse und Errichtung des Messsystems (siehe Messkonzept Taifun) wurden Analysen des bestehenden Energiesystems, der geplanten Erweiterungen und möglicher Potentiale in Hinblick auf Effizienz und Flexibilität durchgeführt.

Für die Flexibilitäterschließung erfolgte eine Identifikation von Gerätealternativen und Effizienzpotentialen, sowie Abbildung der bisherigen Anlagen in DISTRICT. Bedingung war das Vorliegen von Messdaten zu Strom, Wärme und Kälte-Lastprofilen in mindestens stündlicher oder viertelstündlicher Auflösung mit Angabe der jeweiligen Leistung je Zeitschritt oder Energiemenge je Einzelverbraucher. Neben den Messdaten sind technische Betriebsdaten zu Anlagenleistungen, Effizienzen, Verlusten erhoben worden und auch die Kostenstruktur der Versorgungsanlagen, Netzstrukturen sowie Prozessen wurde abgestimmt und ermittelt.

Analyse der standortabhängigen Effizienz- und Flexibilitätpotentiale

Im Weiteren sind verschiedene technische Potentiale am Standort erläutert. Dabei liegt ein Fokus auf den Erzeugungstechnologien vor Ort, die einen flexibleren Einsatz oder Erzeugung ermöglichen. Mögliche untersuchte Lösungen für Strom, Wärme und Kältetechnologien sind nach ihren technischen,

ökonomischen, regulatorischen und praktischen Aspekten beleuchtet worden und fließen in die Modellierung des gesamten Energiesystems ein. Dabei wurden weitere benötigte Daten zur Abbildung des Energiesystems ermittelt, sowie Annahmen zur Entwicklung getroffen, die im Weiteren ausgeführt werden.

Produktionsprozesse

Größere bestehende Prozessanlagen wurden auf mögliche Effizienzgewinne durch Austausch mit neueren Geräten sowie bereits geplante Erweiterungen überprüft. Ziel des Vergleichs war es die Effizienz der mengenmäßig-größten Verbraucher zu verbessern und Spitzenlasten zu verringern. Dabei waren die hohen Anforderungen an die Produktionsqualität zu erhalten. Identifizierte Anlagen mit Verbesserungspotential waren die Fritteuse, die Dampfkesselanlagen, sowie Hochdruckdampfheizungen. Ein weiteres Augenmerk lag auf dem möglichen zeitlichen und energetischen Verschiebungspotential der Anlagen.

Tabelle 7 Auszug aus der Bewertung von Effizienzmaßnahmen bei Prozessanlagen

Bauteil	Gerät in Verwendung	Effizientere marktverfügbare Geräte	Kommentar
Bratanlage/ Fritteuse	AGF 650 / 6000 – E (DH) Bratanlage, ALCO Foodmachines, elektr. Beheizung Bandbreite: 650 mm Garlänge: 6.000 mm Heizleistung: 216 kW Motorenleistung: 19 kW Bratzeit: 31 - 270 sec	DRL3000E und DRL3000G Bratanlage von HOJA Leistung: 280 - 550 kg/h mit NGT bis 1.100 kg/h Bandbreite: 600 mm Garlänge 2.450 mm Motorenleistung: 52 kW	Neuanlagen mit geringeren Spitzenleistungen
Dampfkesselanlage 99980	Dampfkesselanlage, Hergestellt im Jahr 2005 Dampferzeugung 1.250 kg/h Wärmeleistung 818 KW Max. Druck 10 bar	Universaldampfkessel U-HD, Bosch 175 bis 3.200 kg/h Satttdampf, 16 bar bis 204 °C, Öl oder Gas	
Dekanter	Dekanter 4000 von GEA Westfalia Separator gMaster CF 4000, Zweiphasen-Dekanter Nennleistung: 37 kW	Foodec- Sortiment von Alfa Laval als Alternative: Datenblätter für verschiedene Modelle: Foodec400 hat einen Trommeldurchmesser von 400 -> mögliche Alternative	Je nach Modell variiert die Nennleistung des Foodec-Gerätes stark.
Tiefziehverpackungsmaschine	Tiefziehverpackungsmaschine, Multivac R240, Maschine 142, 2012	Tiefziehverpackungsmaschine, Multivac R245 Abzugslänge (mm): < 700 Ziehtiefe (mm): < 150	Ohne technischen Datenblätter zur

	Durchschn.Leistungsaufnahme: 9 kW	Leistung (Takte/min): < 25	Tiefziehverpackungsmaschine
Ofen mit Hochdruckdampfheizung	ASR 3617, Maurer Atmos El. Gesamtanschluss: 11 kW Heizleistung: 32,2 kW, 51 kg/h Kühlung: 4.6 kW	ASR 3611, Maurer Atmos mit ähnlicher Dampfheizungsleistung und 30 kW Heizleistung, 50 kg/h verfügbar El. Gesamtanschluss: 5.9 kW Kühlung: 4.6 kW	

Quelle: Erhebung durch Taifun /ISE

Mit dem Ausrollen der Messeinrichtungen wurden erst im Laufe des Projektes die wichtigen Großverbraucher mess- und erfassbar, die kleineren Anlagen konnten jedoch nur aggregiert betrachtet werden. Daher war eine Zuordnung der Effizienzmaßnahmen durch die Änderung der Produktionsprozesse, Änderung des Schichtbetriebs und Änderung kleinerer Anlagen nicht möglich.

Im weiteren Ablauf des Messprozesses im Projekt wurden weitere folgende Arbeiten vorgenommen:

- Identifikation noch fehlender Messpunkte nach der ersten Zuordnung und Messung
- Integration der Verbraucher und Zuordnung zu Messstellen ist größtenteils erfolgt
- Prüfen der Messergebnisse durch Taifun anhand von vorherigen Messungen und Kenntnissen
- Problembehebung bei Messstellen
- Erneute Plausibilitätsprüfung der Messdaten

Nur durch die fortlaufende Aktualisierung der Messsysteme, das auch mit der Schaffung eines Energie- und Messtechnik-Stelle einherging, ist eine Zuordnung der Prozesse zu den Energiemengen und Anlagen möglich gewesen. Dies war mit erheblichem Aufwand verbunden. Die Erhebung war der erste Schritt zur Erschließung der Potentiale, der durch eine Bearbeitung der Messdaten zur Umsetzung im DISTRICT-Modell und anschließender Analyse ergänzt wurde.

Pinch Analyse

Mit einer Pinch Analyse wurde das thermische Verschiebepotential auf niedrigere Temperaturniveaus untersucht. Ziel war es dabei, die bestehenden Prozessbedarfe und ihre mögliche Temperaturabsenkung zu identifizieren. Ergebnis der Analyse war die Erhebung der Prozessverschiebungspotentiale. Zur Verwendung der Pinch-Ergebnisse für die mögliche Flexibilitätsbereitstellung wurde eine modellbasierte Szenarioanalyse durchgeführt, bei der die Prozesse mit vorhandenen Messdaten verwendet werden konnten.

Grid Diagram			Interval	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Stream Name	Heat Flow (kW)	mCp (kW/K)	Shifted Temp (°C)	100	95	85	75	65	63	55	50	45	40	35	30
Kompressor I	15,8	0,632	HOT					•	-	-	-	-	-	▶	
Kompressor II	15,8	0,632	HOT					•	-	-	-	-	-	▶	
Kompressor III	27,4	1,096	HOT					•	-	-	-	-	-	▶	
Kompressor VI	27,4	1,096	HOT					•	-	-	-	-	-	▶	
Molkekühler	83	5,533333333	HOT							•	-	-	-	▶	
Milchkühler	103	6,866666667	HOT								•	-	-	-	▶
Heizung Büro Süd B8	3	0,15	COLD				◀	-	-	-	•				
Fußbodenhgz. OG Verwitg.	55	5,5	COLD									◀	-	-	•
Büros Galerieebene (= "Büro FE	8	0,8	COLD									◀	-	-	•
Heizkörper EG Verwaltung B8	16,5	0,825	COLD				◀	-	-	-	•				
Fußbodenhgz. EG Verwaltung E	25	2,5	COLD									◀	-	-	•
WW Stufe 1	175	3,888888889	COLD				◀	-	-	-	-	-	-	-	•
WW Stufe 2	175	8,75	COLD		◀	-	-	•							
RLT 6 Kantine B8	40	2	COLD				◀	-	-	-	•				
RLT 4 Lüftung Nord	144	7,2	COLD		◀	-	-	•							
RLT 3 West Separates Schema	170	8,5	COLD		◀	-	-	•							
RLT 5 Lüftung Gruppe Mitte	168	5,25	COLD		◀	-	-	-	•						
Absorptionskälte 1	400	26,66666667	COLD	◀	-	-	•								
Absorptionskälte 2	219	14,6	COLD	◀	-	-	•								
Absorptionskälte 3	219	14,6	COLD	◀	-	-	•								

Abbildung 36 Auszug aus der Pinch Analyse

PV & Solarthermie Potential

Im Rahmen einer Potentialanalyse wurde auf dem Gelände von Taifun die Dach- und Fassadenflächen zur Aufstellung von Solarthermie und Photovoltaik analysiert.

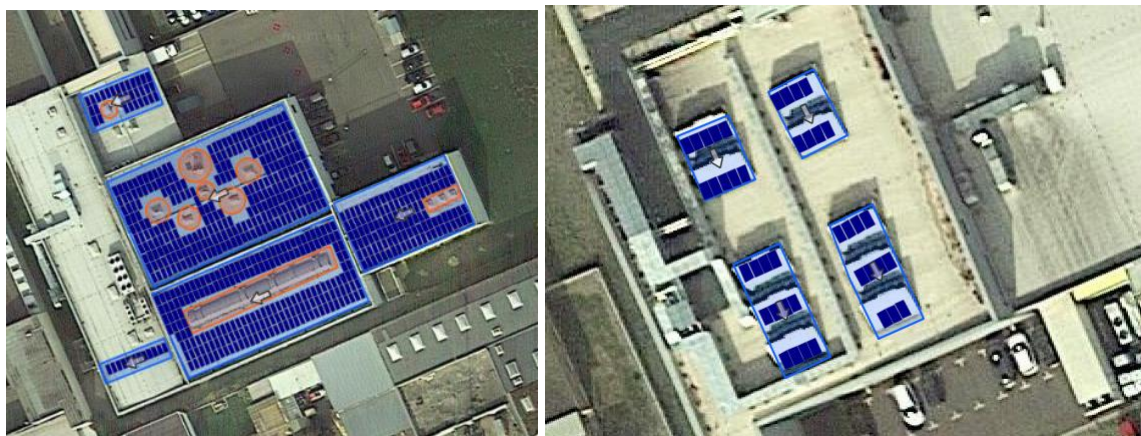


Abbildung 37 PV Potentiale auf den B10 und B8 Gebäudedachflächen für Ost-West ausgerichtete PV Anlagen

In Abbildung 37 sind exemplarisch mögliche Aufständerungen von Photovoltaikanlagen auf zwei Gebäudedächern dargestellt. Durch die Ost-West Ausrichtung von 644 PV Modulen könnte eine installierte Kapazität von 225 kW bei 5 ° Neigung und einem Azimut von 66//246 erschlossen werden. Dabei würde die Anlage 90 % der Dachfläche des B10 Gebäudes bedecken mit einer Modulfläche von 1.315 m².

Tabelle 8 Abschätzung der PV Potentiale und Kosten

B10 Potential	Ost-West Ausrichtung B10	Süd Ausrichtung B8
Technisches Potential [GWh/h]	213.779	17.878 kWh
Kapazitätsfaktor	10,80 %	13,00 %
Energieintensität	949 kWh/kW	1.135 kWh/kW
Performance ratio	0,74	0,78
Investitionskosten	1.480 €/kW _p	1.480 €/kW _p
LCOE (nominal)	10,14 ct/kWh	8,59 ct/kWh
LCOE (real)	7,52 ct/kWh	6,74 ct/kWh
Payback period	13,2 Jahre	10,5 Jahre
Discounted payback period	15,5 Jahre	11,6 Jahre
Kapital Kosten	333.565 €	23.308 €
Eigenkapital	133.426 €	9.323 €
Fremdkapital	200.139 €	13.985 €

Zusätzlich zur PV Anlage wurde in Kombination der Einsatz eines Batteriespeichers untersucht.

BHKW Potential

Die Anforderungen an ein mögliches BHKW sind durch die Produktion bestimmt. Für den Standort Taifuns kommen mehrere zusätzliches BHKWs der Blockleistungsgröße von 240 kW_{el} / 280 kW_{th} in Frage. Dazu wurde die Kopplung mit einer Adsorptionskältemaschine untersucht. Die möglichen Anlagen wurden für die Modellierung auf Basis dieser Größen mit elektrischen Effizienzen von 36 % und thermischen Effizienzen bei Vollast von 56 % modelliert und eine optimale Größenauslegung und der ökonomische Einsatz mit erwartbaren Kosten überprüft. Dabei wurde auf die regulatorischen Bedingungen zur Vollbenutzungsstunden und EEG-Umlagen berücksichtigt.

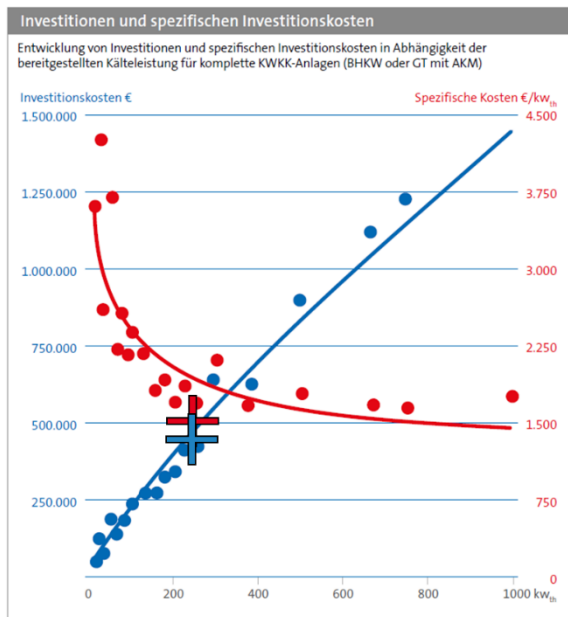


Abbildung 38 Einordnung der BHKW Kosten in Anlehnung an BHKW Benchmark ASUE 2018

Für die Ermittlung der möglichen Potentiale von BHKWs am Standort wurden 9 Typen von BHKW untersucht. Dabei lag das Augenmerk für Taifun auf 240 kW BHKW Blöcken. Größere BHKW mit Leistungen über 1 GW haben dabei spezifische Investitionskosten von ca. 900 - 1.200 €/kW_{th}, bei kleineren Anlagen liegen die spezifischen Investitionskosten über 1.200 €/kW_{th}, eine Auswertung des ASUE von 2018 mit BHKW Daten aus 2016 zeigt höhere vergangene Kosten auf.

Die Teillasteffizienzen der Gaskessel/BHKW konnten nicht berücksichtigt werden. In Abhängigkeit der Last ermöglicht DISTRICT zwar den Teillastbetrieb mit fixen Teillasteffizienzen. Zur Verwendung der Teillasteffizienzen müssen diese für bestehende Anlagen ermittelt werden. Dabei spielen auch die Höhe der Bereitschaftsverluste so wie die Leistungsregelung eine Rolle. Aufgrund ungewissen Teillasteffizienzen bei den bestehenden Gaskesseln konnte keine Bewertung aufgrund der Teillasteffizienzen in die Modellierung einfließen. Bei Taifun wurde aufgrund der Untersuchung die Möglichkeit zu Betriebsverbesserung erkannt. Dazu sind weitere Messungen und interner Austausch notwendig. Die Datenblätter der Hersteller stellen diese Daten jedoch nur unvollständig zur Verfügung und behindern damit den flexiblen Einsatz der bestehenden Gaskessel.

Da die Platzverwendung bei Taifun konkurriert und die Installation von BHKW, PTX, sowie Kesseln mit hohem Flächenbedarf verbunden ist, wurden Annahmen zu maximaler Flächennutzung abgestimmt. Die maximalen Flächenpotentiale für Versorgungsanlagen sind auf 2 - 3 BHKW Blöcke innerhalb der Gebäude begrenzt, mit der Möglichkeit zur Erweiterung auf eine Dachanlage. Auch der Platz für eine Absorptionskälteanlage hat eine Begrenzung von ca. 1 t/m² Dachfläche. Dabei gibt es weitere Begrenzungen der technischen Potentiale durch Einschränkung der zur Verfügung stehenden Freiflächen sowie eine Einschränkung der Schallemissionen auf dem Produktionsstandort auf unter 40 dB, die für die Einordnung der Flexibilitätsmaßnahmen zu berücksichtigen sind.

Wärmepumpen Potential

Am Standort gibt es bisher keine Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung. Der Kältebedarf wird durch Kälteerzeuger sowie einem Wärmetauscher mit Kühlmedium Grundwasser (ca. 15 °C, maximale Anwärmung auf 20 °C) bereitgestellt. Weitere Potentiale wurden für die Erweiterung der Grundwasserquelle für Wärmenutzung sowie eine Erdsonde auf dem Gelände untersucht. Dazu besteht die Möglichkeit eine Hochtemperaturwärmepumpe zur Unterstützung der Prozesswärme zu installieren.

Das Potential für Wärmepumpen aus bodennaher Erdwärme ist auf die Potentialfläche von 50 x 70 m Freifläche begrenzt. Darauf wäre die Installation eines Erdwärmekollektors möglich. Kriterien zur Begrenzung der Entzugsleistung von Erdwärmekollektoren sind im BDH Informationsblatt NR. 43 beschrieben: Die

Frostgrenze des Oberbodens bei ca. 50 - 70 cm darf bei Wärmeentzug der Erdsonde oder des Kollektorfelds mit Abstand von 1,5 m maximale Eisradien von ca. 50 cm bilden, um den natürlichen Wasserabtransport nicht zu unterbrechen. Damit sind bei einer Entzugsleistung von 50 W/m² (basiert auf feuchtem Erdreich, PE Rohren mit einem Abstand von 150 cm) und Volllaststunden von 1.800 h auf den 3.500 m² ca. 175 MWh Wärmeenergie entziehbar. Eine Erdwärmepumpe von 95 kW könnte installiert werden.

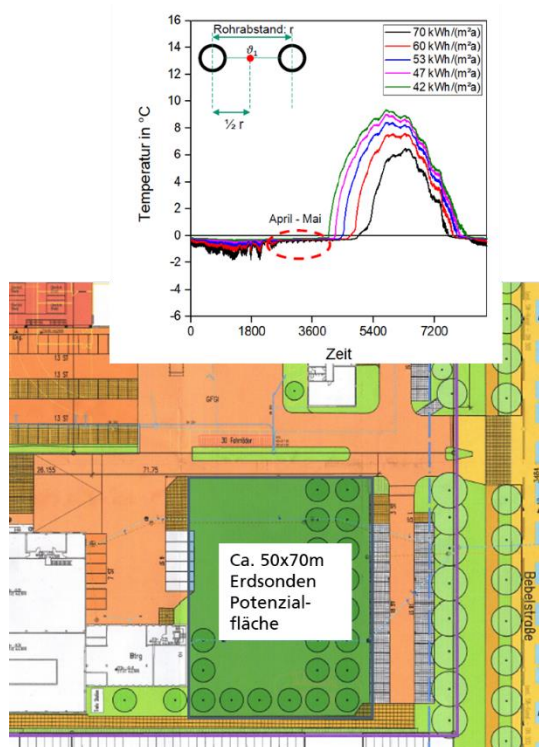


Abbildung 39 Abschätzung des Erdsondenpotentials auf dem Taifun Gelände

Mit einem Grundwasserbrunnen wird bereits Wärme/Kälte aus dem Grundwasser bezogen, die Wärme ist durch die maximale Entzugsleistung und Menge der Genehmigung begrenzt. Nach Prüfung wurde eine Erweiterung der Quelle ausgeschlossen.

Das Potential für Hochtemperaturwärmepumpen (HT-WP) ist abhängig von der Einbindung in das Wärmesystem. So könnte eine HT-Wärmepumpe in den Kondensat Rücklauf der Dampfbereitstellung eingebunden werden oder direkt auf Erzeugungsseite zur Wärmebereitstellung eingesetzt werden. Entscheidend sind dabei die technischen Restriktionen der erreichbaren Vorlauftemperaturen der HT-WP, der angestrebte Temperaturhub, sowie die Bezugsquelle. Am Standort gibt es keine Niedertemperatur-Wärmequelle außerhalb der Produktion die sich als Quelle erschließen ließe, mit ausreichender Abwärmennutzung oder externer Abwärme wäre eine HAT-WP technisch umsetzbar.

Zielbild und Szenarienaufbau

Zur Bewertung der Flexibilität bei Taifun ist ein Bewertungsrahmen erarbeitet worden. Dieser umfasst ein Zielbild aus der Perspektive des Unternehmens sowie abgestimmte Entwicklungen und Annahmen über externe Faktoren und ist in Szenarien eingeschlossen.

Ergebnisse der Abstimmung mit Taifun über verwendete Daten aus dem Produktionsrahmen, externen Faktoren, Netzentgelten, Bezugskosten, Flächenverfügbarkeit, und Emissionsminderungszielen:

Energiebezugsmengen: In Abstimmung mit Taifun wurde eine Entwicklung der geplanten Import-Energiemengen aus Strom und Gas auf Basis eines Produktionsplans für alle Jahre bis 2030 entwickelt und abgestimmt. Dabei ist aufgrund von Produktionswachstum von einem starken Zuwachs der

Produktionskapazitäten und damit einhergehenden Energiemengen vorausszusehen. Dabei unterstellt die Prognose keine wesentliche Veränderung des Aufbaus der Produktionsanlagen sowie der Erzeugung. Die mögliche Veränderung wurde in der Szenarienanalyse näher untersucht. Der Stromverbrauch hat einen Anteil von 34 % am Gesamtenergieverbrauch aus Strom und Gas im Jahr 2019.

Bezugskosten: Die Brennstoffpreise für Gas liegen auf einem typischen Niveau für ein mittelständigen Industriebetrieb um 3 ct/kWh. Für die Szenarien ist eine Preisänderungen der Brennstoffpreise auf Basis eines wachsenden CO₂-Emissionspreis bis 2030 von 60 €/t vorgesehen. Der Zuwachs des Gaspreises auf Basis des BEHG beträgt damit 2,2 ct/kWh bis 2030. In Betracht kommen in der Szenarienanalyse eine Veränderung des CO₂ bzw. des Bezugspreises, die in einer Sensitivität betrachtet wurden.

Die Strombezugskosten liegen im mittleren deutschen Industriepreisband IB (< 20 MWh) bei ca. 20 ct/MWh und sind für die Szenarien nach Basis-, Spitzen- und Mengenkosten aufgeteilt. Für die Bewertung mit variablen Strompreisen wurde eine EEX Strombeschaffung mit variablen Strompreisprognosen für 2025 und 2030 verwendet.

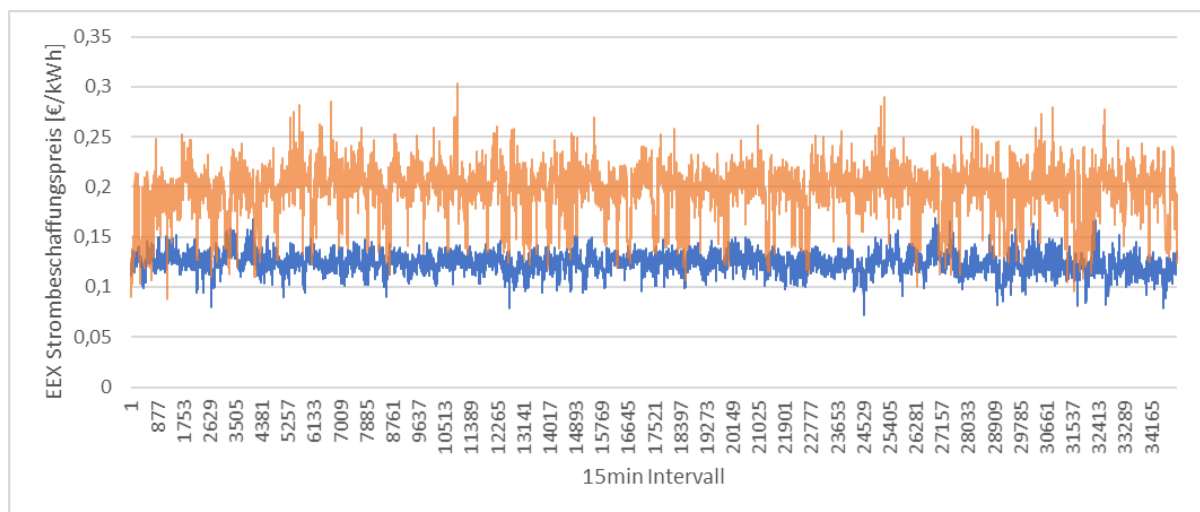


Abbildung 40 Inputparameter Strompreisentwicklung im Jahr 2025 und 2030

Emissionsminderungsziele: Taifun strebt ein klimaneutrales Produktionssystem an. Zurzeit werden die SCOPE 1 & 2 Emissionen und weitere Emissionen im Klimabericht erfasst. Die verbleibenden 3.200 t CO₂ Emissionen werden durch eine Teilnahme an Klimaschutzprojekten über ClimatePartner kompensiert. Die Kompensationskosten werden mit einem Preis von 6 €/tCO₂ simuliert.

Flächenverfügbarkeit: Auf dem Gelände des Produktionsstandortes gibt es eine begrenzte Flächenverfügbarkeit für die Installation von erneuerbarem Strom und Wärmeerzeugungsanlagen (siehe Kapitel Potentiale). Dazu kommen die Räumlichkeiten für die Erzeugung der Strom, Dampf, Wärme und Kälteanlagen, die zum Teil auf den Gebäudedachflächen untergebracht sind. Auch hier ist die Fläche für Neuanlagen stark begrenzt. Die Möglichkeit zum Austausch bestehender Anlagen mit gleicher Leistungsklasse auf der gleichen Fläche wird angenommen.

Datenerhebung aus neuem Energiemanagementsystem und Umsetzung der Nachfrageprognose

Mit der Datenerhebung aus dem neuen Messsystem wurden die wichtigen Verbraucher bzw. Verbrauchergruppen viertelstundenscharf darstellbar. Während weiter kleinere Messungenauigkeiten behoben, waren für 4 Monate Prozessdaten nachvollziehbar und plausibel gemessen. Die neue Datenerhebung wurde zur Umsetzung der Nachfrageprognose für die Jahre 2025 und 2030 verwendet. Einzelne fehlende Datenpunkte sind interpoliert.

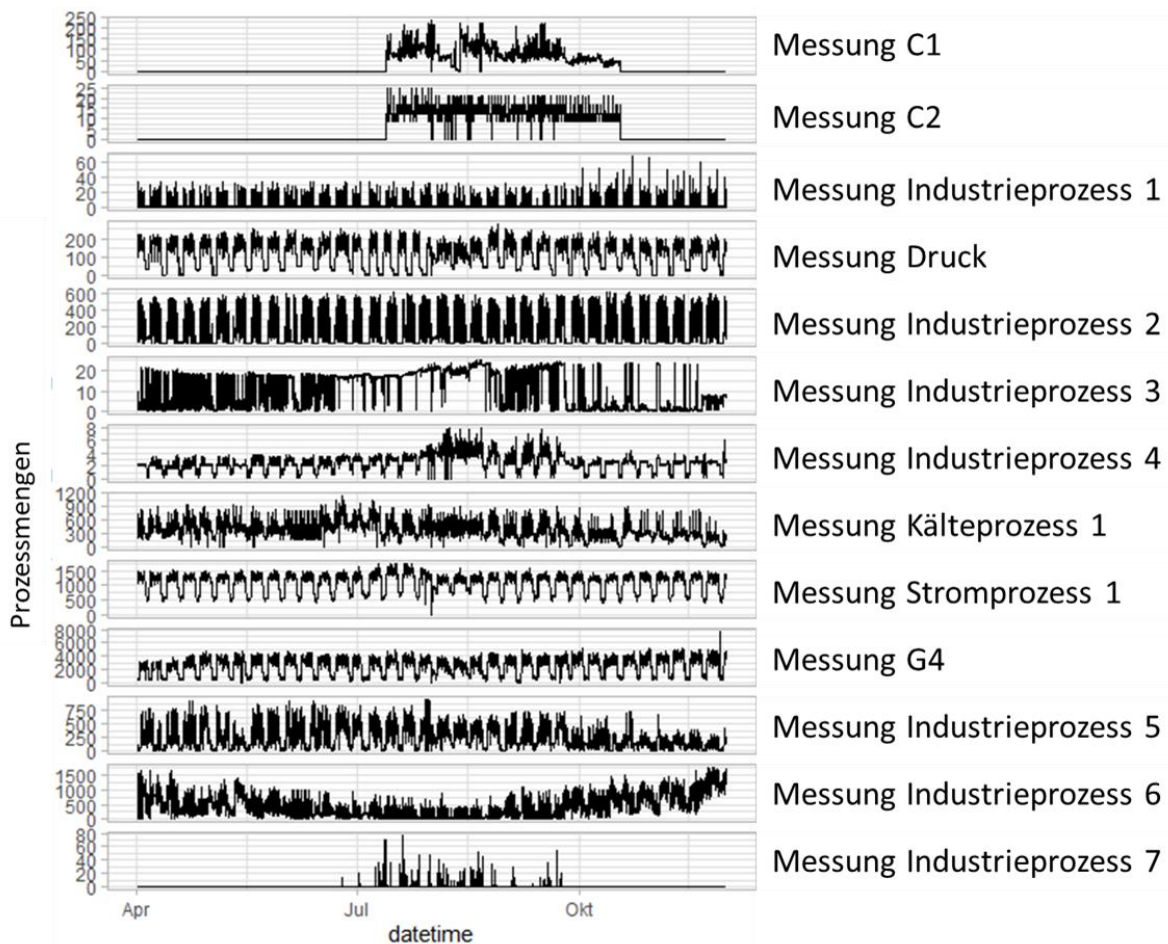


Abbildung 41 Darstellung der Prozessmessdaten anonymisiert für vier Monate viertelstündlich nach Prozess

Die Beauftragung eines Ingenieurbüros durch Taifun zur Erstellung von technischen Planungen zur Umsetzung des BHKW mit Absorptionskältemaschine, der PV Anlage sowie weiterer Änderungen war erst auf Basis der neuen Messdaten von 2020/2021 möglich.

Erarbeitung der Szenarien

Im Rahmen der Flexibilitätserschließung bei Taifun wurde gemeinsam mit dem Fraunhofer ISE eine Bewertung der Flexibilitätsoptionen durch eine Energiesystemmodellierung durchgeführt. Im Rahmen der Modellierung sind für verschiedene Jahre Szenarien erarbeitet und ausgewertet worden.

Um eine sektorengerkoppelte Modellierung des Energiesystems durchzuführen, wurde ein Clustering in 19 räumlich getrennte Teile des Taifun Standortes vorgenommen. Für jedes dieser Cluster wurde die spezifische Energienachfrage der verschiedenen Energietypen und Erzeugungstechnologien ermittelt und in 15 min Auflösung in das Modell eingearbeitet.

Referenzszenario zur Plausibilität für 2020 (2020 REF)

Um das aufgebaute Energiesystemmodell für den Standort bewerten und plausibilisieren zu können, wurde ein Referenzszenario basierend auf den Messdaten von 2020 erarbeitet. Dabei konnten die Daten aus dem neuen Messsystem für das Jahr 2020 anfangs nur teilweise verwendet werden. Dies ergab für die Bewertung eine begrenzte Aussagekraft, da vor allem für die Herbst und Wintersaison Messdaten fehlten und keine Messdaten für das Gesamtjahr vorlagen. Die Hochrechnung der bestehenden Daten auf das gesamte Jahr war aufgrund einiger saisonalen Produktionsprozesse und damit verbundenen stark variierenden Wärme- /Kältenachfragen nicht sinnvoll. Die modellierten Technologien aus Erzeugung und Nachfrage entsprechen für das Referenz Szenario dem IST-Zustand im Jahr 2020 soweit bekannt. Mit dem Modell wurde eine Betriebsoptimierung ohne die Möglichkeit des Zubaus von Anlagen vorgenommen und

mit Taifun auf Plausibilität überprüft. Im Referenzszenario gibt es keine CO₂ Preise auf Brennstoffbezug und die Berechnung wurde mit den realen Gas- und Strombezugspreisen durchgeführt.

Szenario „2020 REF“

Referenzszenario mit Betriebsoptimierung der bestehenden Anlagen ohne Ausbau

Investitionsszenario für 2025

Annahmen:

- Preisänderungen der Brennstoffpreise auf Basis der Änderung der geplanten CO₂-Emissionspreise mit Zuwachs des Gaspreises um 1,1 ct/kWh im Jahr 2025 auf 0,045 €/kWh
- Kein Sinken des Strompreises durch EEG-Umlagesenkung, zum Zeitpunkt nicht eindeutig bezifferbar für 2025, daher Annahme, dass der gleicher Strombezugspreis wie im Jahr 2020 plus Inflation von 2 % vorliegt
- Keine Änderung der Wetter oder Temperaturbedingungen
- Nachfrageänderung aller Prozesse außer der Quellenverwendung mit Verdopplung der Nachfrage
- EEX Preisszenario 2025

Szenario „2025 FREE“

Freier Ausbau aller Technologien zu einem techno-ökonomischen Optimum

Strategische Szenarien für 2030

Allgemeine Annahmen:

- Nachfrageveränderung aus Prognose von TT für Strom/Gas mit dreifachem Anstieg zu 2020
- Prozentuale Veränderung auf alle Prozesse außer der Quellenverwendung
- Strompreisentwicklung: Sinken der EEG-Umlage, leichter Anstieg der Netzentgelte, freiwillige CO₂ Kompensationskosten
- Steigende CO₂ Emissionszertifikatskosten

Szenario „2030 FREE“

Freier Ausbau aller Technologien zu einem techno-ökonomischen Optimum

Szenario „2030 FREE VarEL“

Freier Ausbau aller Technologien zu einem techno-ökonomischen Optimum mit Strommarktteilnahme (Anteil der Strombeschaffungskosten auf EEX Preis Basis)

Szenario „2030 CO₂ Neutral“

Begrenzter Ausbau fossiler Technologien, CO₂-Neutralitätsziel bis 2030, CO₂ freier Wasserstoff mit ausreichender Wasserstoffverfügbarkeit und 100 %-H₂-BHKW Potential sind gegeben

Szenario „2030 FREE WP“

Nur Ausbau von Wärmepumpen Technologien mit Marktverfügbarkeit von Hochtemperaturwärmepumpen sowie PTX Lösungen für die Dampfbereitstellung im Jahr 2030

Einschätzung Taifun Tofu GmbH zu Flexibilitätsrahmen

Der im Oktober 2018 durchgeführte 2. Tagesworkshop zum Thema Flexibilisierung, der vom IWU initiiert wurde, hat bei allen Beteiligten dazu beigetragen ein größeres Verständnis über Mechanismen am Strommarkt sowie über Anforderungen und Zusammenhänge einer zukünftigen Flexibilisierung zu bekommen. Wie ein Plan der Flexibilisierung für die Zukunft aus Sicht der Netzbetreibenden bzw. der

Bundesnetzagentur aussehen sollte, konnte den Beteiligten nicht aufgezeigt werden, da es zum Zeitpunkt der Erstellung noch keine Veröffentlichung eines solchen Planungsinstrumentes gibt. Ohne diese Ausrichtung ist es Taifun als Unternehmen nicht möglich sich strategisch auf ein entsprechendes Szenario einzustellen.

Szenarienanalyse

In der Fallstudie Taifun Tofu wurden die wirtschaftliche Umsetzung verschiedener Optionen mit Flexibilitätspotentialen für die Jahre 2020, 2025, 2030 untersucht. Schwerpunkt war die Identifizierung des wirtschaftlichen Potenzials der erneuerbaren Energien und des Einsatzes eines geplanten BHKW mit Absorptionskälteanlage. Zur Plausibilisierung gab es drei Projekttreffen zwischen Fraunhofer ISE und Taifun, sowie vier Treffen zur Szenario-Auswertungen und kleineren Austausch zur Beantwortung offener Fragen.

Analyse zum Referenzszenario:

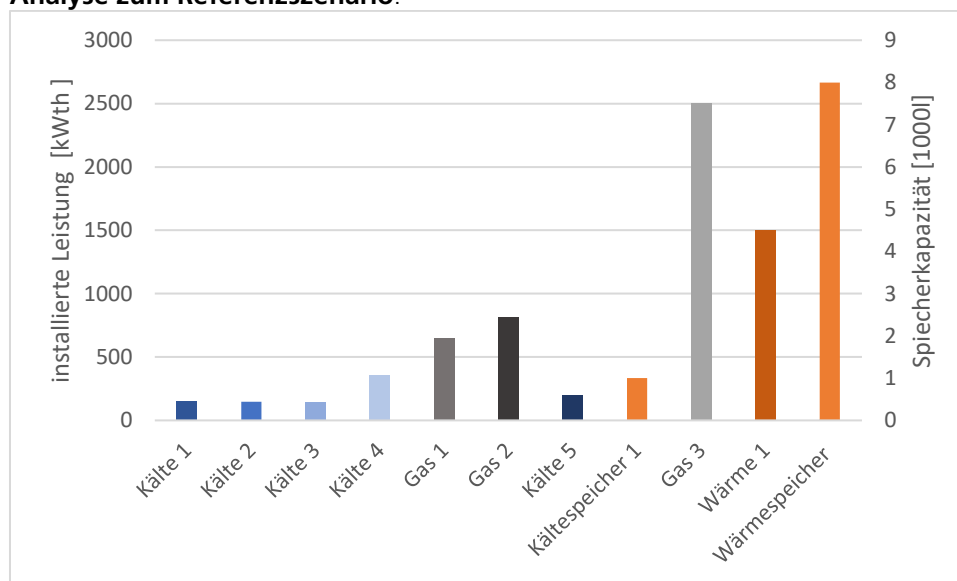


Abbildung 42 Installierte Erzeugungskapazität im Referenzszenario

In der Abbildung 42 ist die bestehende installierte Erzeugungsleistung bei Taifun nach Kälte, Wärme und Dampf aufgezeigt. Diese bestehende Leistung wird in den folgenden Szenarien als Bestand bezeichnet, eine Änderung des Systems ist im Referenzszenario nicht erlaubt. Das Energiesystem dominiert sind die mit Gas betriebenen Dampf und Wärmekessel.

Der Betrieb des Energiesystems ist im Verhältnis 2:1 von der Wärmenachfrage zur Stromnachfrage dominiert. Wie in einer stündlichen Betriebsgrafik der Strom- bzw. Wärmebilanz aus Erzeugung (obere Hälfte und positives Vorzeichen) und Nachfrage (untere Hälfte und negatives Vorzeichen) in Abbildung 43 und Abbildung 44 dargestellt, gibt es einen großen allgemeinen Strom bzw. Dampfbedarf, der nicht genauer zuordenbar ist. Dazu kommen die größeren Produktionsprozesse mit einzelner Zuordnung (z.B. die Fritteuse in orange). In der Wärmebilanz ist zeitgleich auch die Kälteversorgung und Bereitstellung dargestellt.

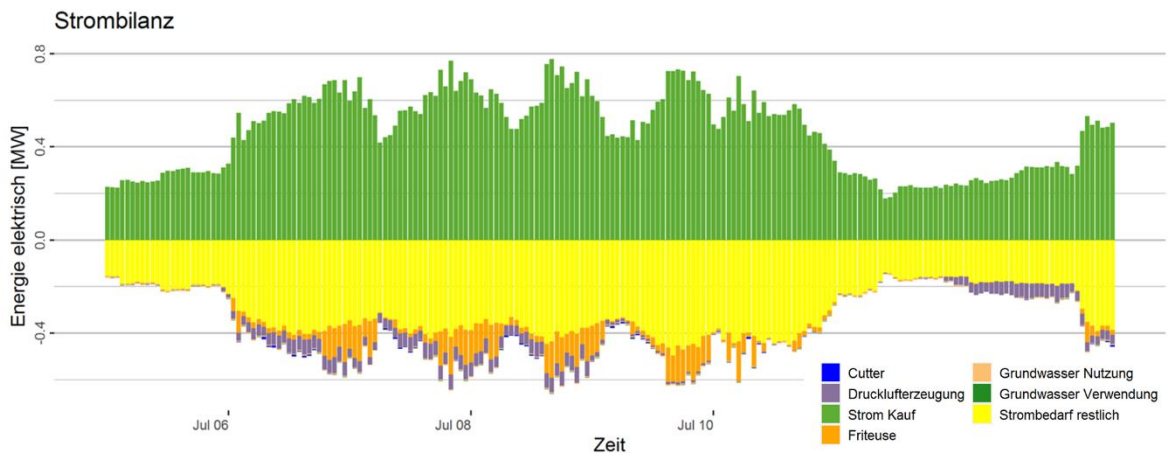


Abbildung 43 Wochenausschnitt aus der Strombilanz je nach Erzeuger (obere Hälfte) & Nachfrage (untere Hälfte) im Referenzszenario

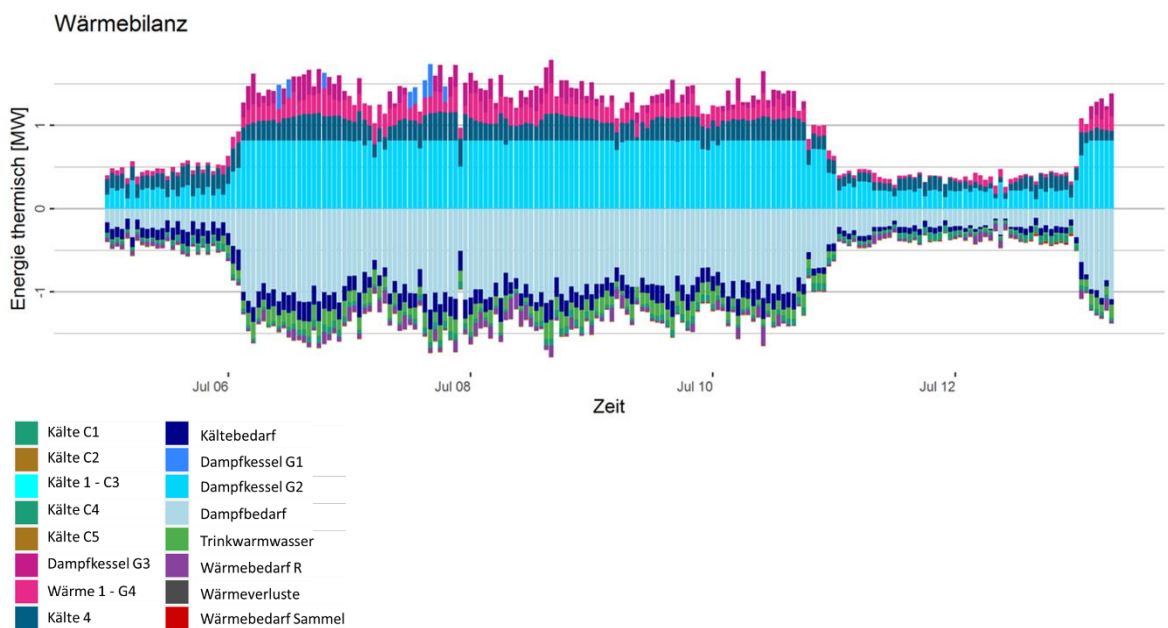


Abbildung 44 Wochenausschnitt aus der Wärmebilanz je nach Erzeuger (obere Hälfte) & Nachfrage (untere Hälfte) im Referenzszenario

Analyse der Taifun Case Study der kurzfristigen Investitionsentscheidungen im Jahr 2025 Szenario mit freiem Ausbau

Im Ergebnis in Abbildung 45 ist deutlich die hohe BHKW Verwendung sichtbar. Die Investition und der Einsatz mehrerer BHKW Blöcke von einer gesamten Leistung von 1,2 MW kombiniert mit einer 370 kW Adsorptionskälteanlage ist im Szenario 2025 untersucht. Deutlich ist in der Betriebsbilanz der dominierende Anteil des BHKWs an der Stromversorgung sowie der hohe Anteil an der Wärmeversorgung sichtbar. Zusätzlich wird ein Ausbau der PV Kapazitäten vorgenommen, die neu installierte PV Leistung maximiert die Dachflächenpotentiale. Dabei liegen die Kosten der Fassadenpotentiale über einer wirtschaftlichen Nutzung.

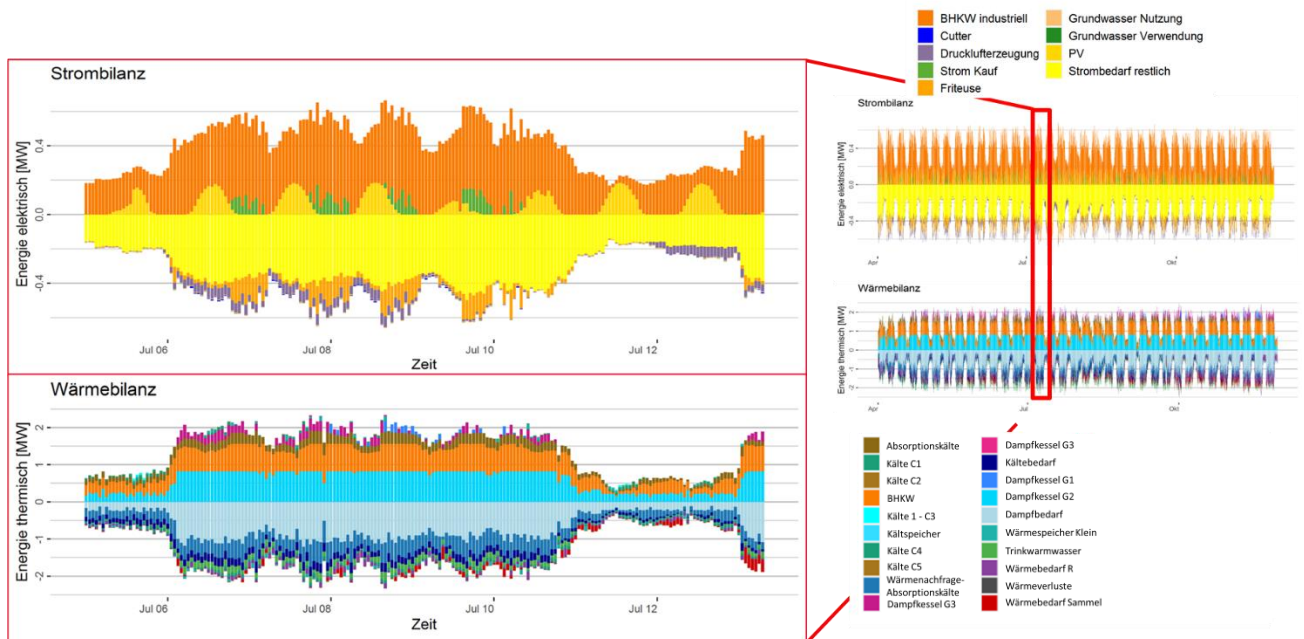


Abbildung 45 Wochenausschnitt aus der Strom- & Wärmebilanz je nach Erzeuger (obere Hälfte) & Nachfrage (untere Hälfte) im 2025 FREE Szenario

Das BHKW versorgt zusätzlich einen Teil des Prozesswärmebedarfs, ersetzt jedoch nicht die Gaskessel zur Dampfversorgung. Die Adsorptionskältemaschine ersetzt die Kälteversorgung anteilig. Der Betrieb des BHKWs ist in der rechten Seite der Abbildung über einen Betriebshorizont von 3 Monaten schematisch dargestellt.

Vergleich der Taifun Case Study Szenarien FREE und CO₂ Neutral

In den Szenarien FREE und CO₂Neutral sind gleiche Annahmen über den zukünftigen Energiebedarf getroffen. Die Rahmenbedingungen besonders hinsichtlich der Verfügbarkeit von fossilen Technologien sind jedoch grundsätzlich unterschiedlich. In beiden Szenarien wird die Verfügbarkeit von Wasserstoffkesseln und BHKW angenommen. Hochtemperaturprozesse sind erst ab 2025 bzw. 2030 für großskalige Leistungen der Wärmepumpen sowie Power-to-Heat Technologien verfügbar.

Vergleich der Versorgungstechnologien: Die Abbildung 46 zeigt die Struktur der Energieerzeugungstechnologien zur Versorgung von Taifun Tofu in den Szenarien FREE und CO₂ Neutral. Es ist deutlich erkennbar, dass für eine CO₂-neutrale Energieversorgung deutlich größere Leistungen und erhebliche Power-to-Heat Anlagen notwendig sind, da das Potenzial für Hochtemperaturwärmepumpen auf dem Werksgelände begrenzt ist. Weiterhin wird zur Kälteerzeugung stets eine Adsorptionskälteanlage zugebaut, z.T. werden zusätzliche neue strombetriebene Kälteanlagen zugebaut, um die steigende Nachfrage zu decken. Wärmespeicher sind ausreichend vorhanden und können flexibel eingesetzt werden. Insgesamt ist zu sehen, dass aufgrund der Prognose des Nachfrageanstiegs in allen Szenarien große Investitionen in Kapazitäten über 1 MW getätigt werden, was sich auch in den Kosten aller Szenarien widerspiegelt.

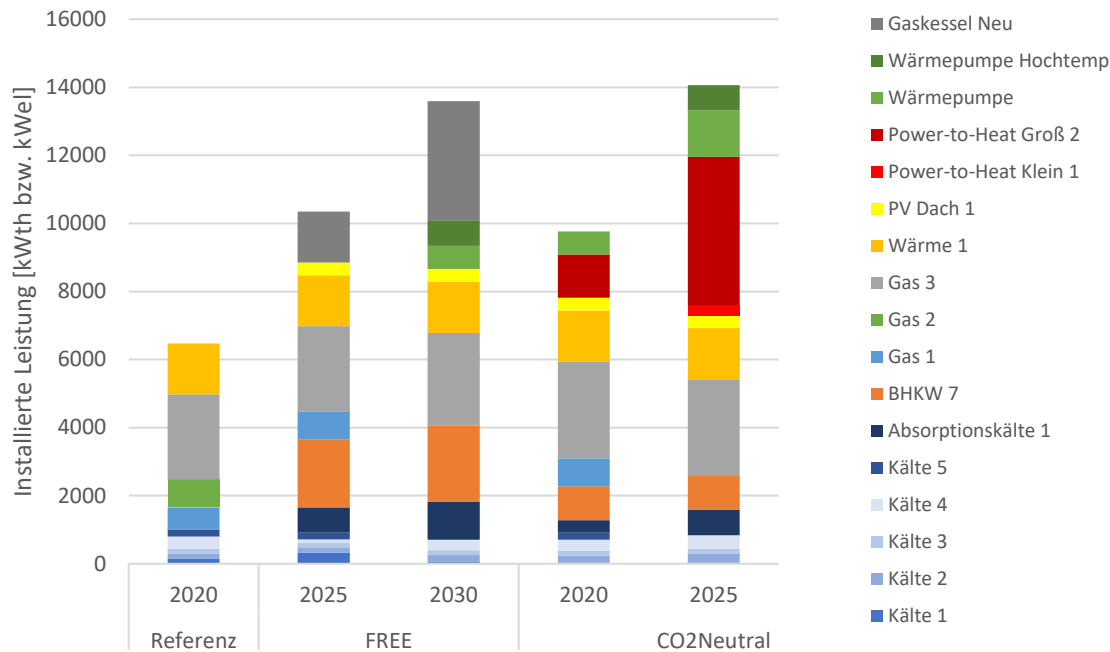


Abbildung 46 Technologiezubau in den Szenarien Referenz und CO₂-Neutral

Neben dem Zubau der Wärmeversorgungstechnologien erfolgt in allen Szenarien ein Zubau von Photovoltaikleistung bis an die Grenze des Dachflächenpotenzials. D.h., es werden alle verfügbaren Dachflächen ausgenutzt. Die Möglichkeit zu weiterem Potenzial (Parkplätze, Fassaden, etc.) sollte untersucht werden, wenn der erneuerbarer Eigenversorgungsanteil erhöht werden soll. Zur Spitzenlastdeckung erfolgt teilweise ein Zubau von Batteriespeichern.

Tabelle 9 beinhaltet die Kostenverteilung der Szenarien für 2030. Daraus sind folgende Punkte ableitbar:

- Der Zubau von Versorgungstechnologien ist maßgeblich von der Entwicklung der Strom und Wärmepreisen (des Gas-Strom-Preis-Verhältnisses), sowie der CO₂ Zertifikatspreise abhängig
- Bei vollem Umstieg auf eine CO₂-neutrale Produktion ohne Gaseinsatz gibt es eine deutliche Kostensteigerung
- CO₂-Neutralität kann nur durch Kompensationen lokaler Gasverbrennung, Nutzung von Wasserstoff oder den Bezug von CO₂ freiem Ökostrom erreicht werden
- Es ist insgesamt ein hoher Investitionsbedarf vorhanden, um der steigenden Energienachfrage gerecht zu werden

Variable Stromtarife können die Gesamtkosten im System bei flexibler Erzeugungs- und Nachfrageanpassung mit Speichern reduzieren.

Tabelle 9 Kostenverteilung in den Szenarien 2030

2030	2030 FREE	2030 CO₂ Neutral	2030 FREE VarEL	2030 WP
Gesamtkosten €/a	2.668.073	5.853.428	2.070.355	5.470.034
Fixkosten €/a Anlagen	33.813	35.414	26.034	34.130
Brennstoffkosten €/a	1.981.531	0	933.342	0
Strombezugskosten €/a	0	5.676.660	762.683	5.330.473
CO ₂ -Kosten €/a	506.290	0	248.602	0
Annuitäten aus Investitionen €/a	146.437	141.353	99.693	105.429
CO ₂ Emissionen in t	7.671	0	3.766	0

Betriebsvergleich

Der Betrieb des FREE Szenarios ähnelt stark der Beschreibung in Abbildung 45, der Einsatz des BHKWs mit Erdgas dominiert die Erzeugung von Wärme zusammen mit Dampferzeugung aus Gaskesseln. Im Gegensatz ergibt sich im Szenario CO₂Neutral eine Dampferzeugung durch elektrische Verdampfung in Kombination mit Wärmepumpen sowie Hochtemperaturwärmepumpen wie in Abbildung 47 beispielhaft für eine Winterwoche dargestellt. Zusätzlich dazu versorgt eine Absorptionskältemaschine den Kältebedarf. Stärker als im FREE wird im CO₂Neutral Szenario der Wärmespeicher stunden- und stundenblockweise eingesetzt. In den hohen Lastspitzen sorgt ein elektrischer Spitzenlastkessel mit einem BHKW für zusätzliche Wärme. Ein H₂-Dampfkessel wird in seltenen Stunden zur Spitzenlastdeckung hinzugezogen.

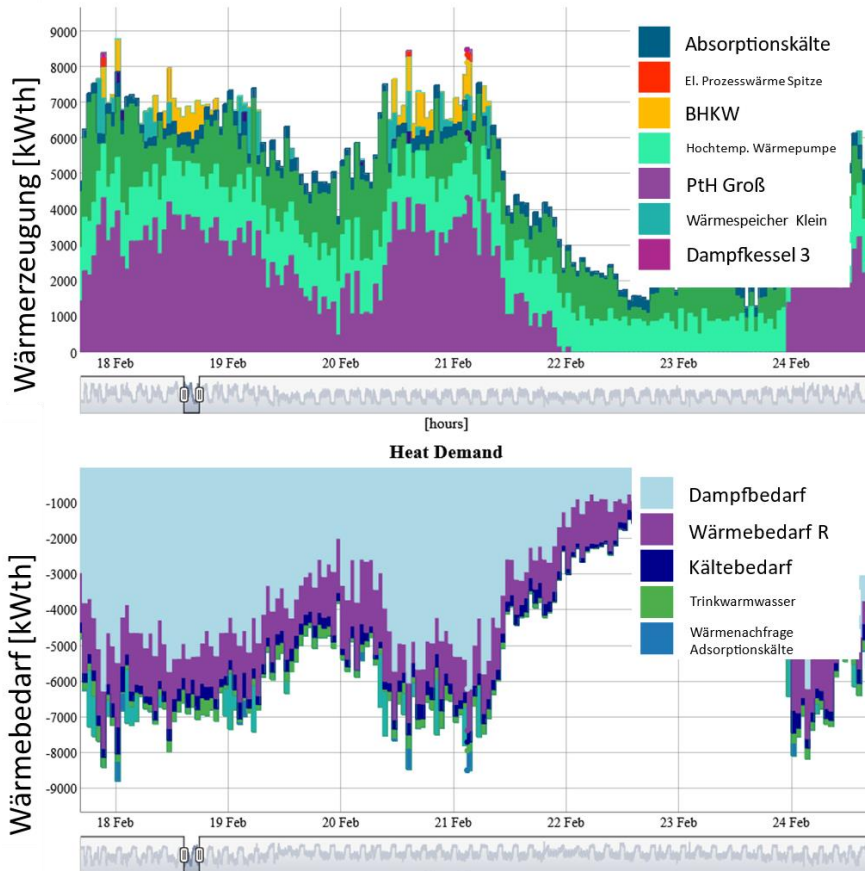


Abbildung 47 Wochenausschnitt aus der Wärmebilanz nach Erzeuger (obere Hälfte) & Nachfrage (untere Hälfte) im Jahr 2030 im CO₂Neutral Szenario

Speicherverwendung

Die Ergebnisse zeigten den Einsatz kleiner Batterie Lithium Ionen in Kombination mit der PV Anlage zur Maximierung der PV Leistung, wenn diese z.B. über das Wochenende nicht voll ausgenutzt wurde. Aus der Optimierung ergibt sich kein wirtschaftlicher Nutzen der NiLar Batterien, die mit geringeren Depth-of-Discharge geringere Einsatzzeiten ermöglichen. Durch hohe Energienachfrage ohne hohe Überschüsse gibt es einen großen Anreiz für weitere große Wärmespeicher im Modell im Szenario CO₂ Neutral. Ein Kältespeicher mit 100 m³ könnte systemdienlich betrieben werden. Die Absorptionskältemaschine könnte einen Teil der mit Ammoniak betriebenen Kälteanlagen ersetzen, die Kühlhäuser können dabei als Kältespeicher fungieren.

Untersuchung des wirtschaftlichen Einsatzes von Wärmepumpen mit Nutzung der vorhandenen Grundwasserquelle

Die vertiefende Untersuchung von 9 Wärmepumpenvarianten für den Einsatz bei Taifun [Rodriguez-Bedoya „Heatpumps as flexibility options in the industry sector and its profitability, Offenburg, 2020] zeigt, dass der Einsatz von Luft/Sole-Wärmepumpen durch höhere Stromkosten weniger rentabel ist als der Einsatz eines BHKW zum Stand 2020, dieser jedoch in Kombination mit Power-to-Heat Kesseln die Versorgung prinzipiell übernehmen kann. Mit Ersatz der Wärmeversorgung durch Luftwärmepumpen könnten die Energiesystemkosten im Jahr 2030 bis zu doppelt so hoch ausfallen im Vergleich zum Betrieb eines BHKW, wenn von einem gleichbleibenden Strom zu Gaspreis Verhältnis ausgegangen wird. Die Grundwasserwärmepumpen Erweiterung bis zur Kapazitätsgrenze des Brunnens wird als ökonomisch sinnvoll befunden. Eine Unabhängigkeit vom Gaseinsatz und CO₂-Neutralität mit Ökostrom kann damit erzwungen werden.

Flexibilität und Einfluss des Stromtarifdesigns

Aus Basis des Szenarios zu CO₂ Neutralität und freien Ausbaus wurde die Systemflexibilität untersucht. Als Bewertungsindikatoren wurden die Gesamtkosten, die Strombezugskosten, die Flexibilitätsbereitstellung und der Market Impact Coefficient hinzugezogen. Das Benchmark zur Untersuchung verschiedener Tarife stellt jeweils das „2030 FREE“ sowie „CO₂ Neutral“ Szenario dar.

In Abbildung 48 sind die drei Preisbestandteile aus 1) Umlagen und Steuern, 2) Netzentgelte und 3) Strombeschaffung dargestellt. Die Netzentgelte sowie Strombeschaffung werden variiert. Dabei wird für die Netzentgelte eine Veränderung nach Grund-, Arbeits- sowie Leistungspreis vorgenommen (Der Arbeitspreisanteil wird zusätzlich gestuft untersucht). Die Strombeschaffung wird mit fixem und zeitvariablen Arbeitspreis betrachtet. In Abbildung 49 sind die unterschiedlichen zeitlichen resultierenden Arbeitspreise dargestellt, so gibt eine Bandbreite an Tarifen von einem konstanten Preis in Tarif „PV F FR“ bis zu einem hochvariablen Tarif „FV G TR“.

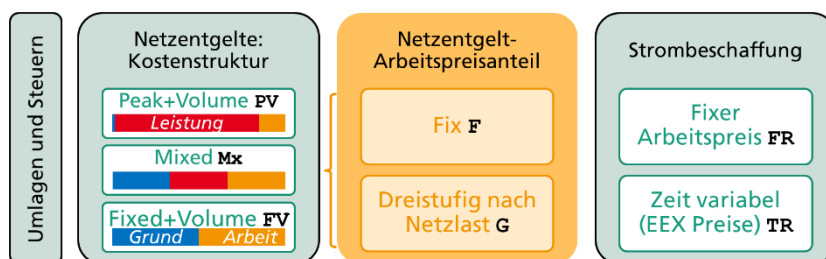


Abbildung 48 Aufbau und untersuchte Stromtarifbestandteile⁹

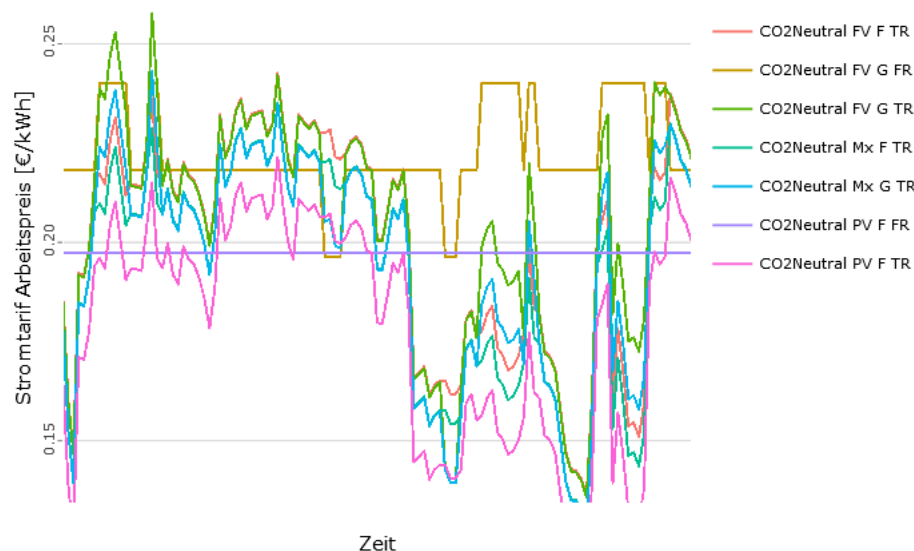


Abbildung 49 Auszug aus der zeitlichen Veränderung der Arbeitspreise nach Tarifen für das CO₂ Neutral Szenario

In Abbildung 50 sind die Gesamtsystemkosten und in Abbildung 51 die erfolgte Lastverschiebung für unterschiedliche Stromtarife dargestellt in den Szenarien FREE und CO₂ Neutral dargestellt. Im Vergleich zum Benchmark zeigt sich in den Kosten keine große Veränderung der Kostenstruktur innerhalb der Szenarien. Allerdings zeigt sich ein gegenläufiger Effekt auf die Gesamtkosten für die unterschiedlichen Tarife zwischen den Szenarien, sprich die im FREE Szenario günstigeren Tarife sind im CO₂ freien Szenario weniger vorteilhaft und umgekehrt. Dies ist mit der anderen Versorgungsstruktur zu erklären, da im CO₂ FREE

⁹ Wanapinit, Natapon; Thomsen, Jessica (2021): Synergies between Renewable Energy and Flexibility Investments: A Case of a Medium-Sized Industry. In Energies 14 (22), p. 7753. DOI: 10.3390/en14227753.

mehr Wärme über Strom erzeugt wird und damit höhere Verbräuche und Spitzenlasten auftreten. Dies wiederum führt zu höheren Kosten bei Tarifen mit hohen Spitzenlastzahlungen.

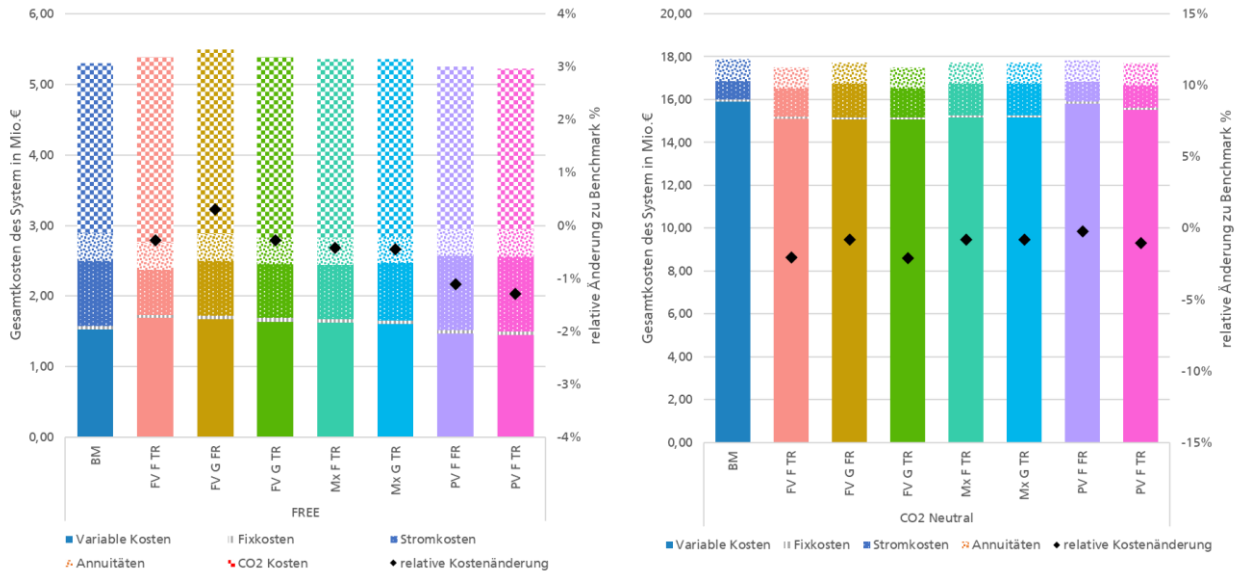


Abbildung 50 Veränderung der Gesamtenergiesystemkosten in Szenario FREE und CO₂Neutral bei unterschiedlichen Stromtarifen

Bei der Lastverschiebung in Abbildung 51 für unterschiedliche Stromtarife dargestellt hingegen sieht man, dass diese mit variablen Preisbestandteilen ansteigen und von einem Wegfall der der Spitzenlastbasierten Komponente profitieren. Im System des CO₂Free Szenario werden ähnliche Mengen über das Jahr verschoben, allerdings mit zum Teil deutlich höheren Leistungen als im FREE Szenario. Dies zeigt, dass auch bei einem anderen Versorgungssystem die Menge des Flexibilitätspotenzials nicht erheblich ansteigt, sondern maßgeblich von der Nachfrage definiert wird. Zur Hebung des Potenzials über ökonomische Anreize sind variable Tarifkomponenten unabdingbar. Deren Wirkung kann durch eine Umstrukturierung der Netzentgelte noch verstärkt werden.

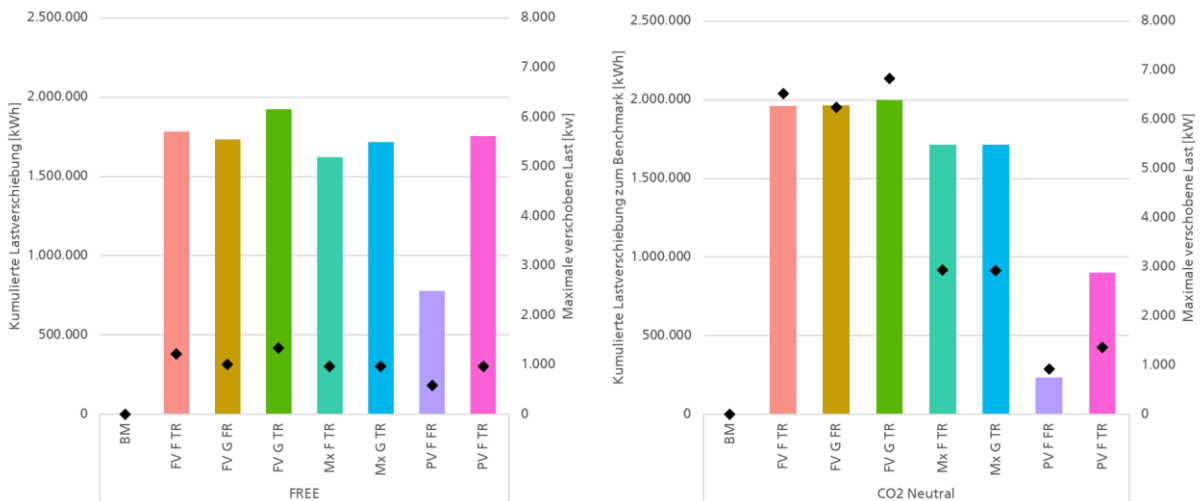


Abbildung 51 Bereitgestellte Flexibilität als verschobene Last zum Benchmark Case in Szenario FREE und CO₂Neutral

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass variable Stromtarife die Nutzung von Flexibilitäten innerhalb des lokalen Versorgungssystems anreizen können. Die aktuelle Struktur der Netzentgelte mit hohen Leistungspreisen ist dafür nicht geeignet. Stattdessen empfiehlt es sich, für einen Flexibilitätsanreiz die Netzentgelte über die Anschlusskosten, statt Leistungspreise zu finanzieren. Förderlich sind zeitvariable

Arbeits- bzw. Beschaffungspreise. Dabei beeinflusst die Gestaltung der Preissignale die Flexibilitätsbereitstellung, so sind dreistufige Netzentgelt-Preise für Taifun nicht zielführend und mehrstufige verbrauchsgruppenspezifische Preise zu empfehlen. Variable Tarife fördern eine starke Marktorientierung dann, wenn die Möglichkeit zur Reaktion durch Last oder Erzeugungsveränderung gegeben ist. Dabei begünstigen Tarife ohne Leistungspreise ein flexibles System.

Zusammenfassung

Flexibilitätserschließung und Ergebnisse der Untersuchung:

- Die erneuerbaren Energiepotenziale am Standort sind gering, sollten jedoch aus wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten maximiert werden. Ein Ausbau von 225 kW PV Kapazität mit Batteriespeicher ist vorgesehen
- Die Technologieoption eines BHKW mit Absorptionskälteanlage ist zum Stand 2021 wirtschaftlich und kann die größte Flexibilität bereitstellen
- Die Erweiterung einer Grundwasserwärmepumpe ist möglich
- Die Elektrifizierung der Produktionsanlagen ist deutlich teurer als bestehende Gaskesselanlagen zum Stand 2021, bis 2030 ist ein Ausbau von Erzeugungsanlagen notwendig
- Es gibt produktionsseitig keine Möglichkeit zum Einsatz von einfachem Demand-Side-Management
- Der Anteil des Gebäudeenergiebedarfs im Vergleich zum Produktionsbedarf ist sehr gering, die Auswirkungen von Gebäudesanierungen auf den Gesamtenergiebedarf unter 1 %
- Eine effizientere Regelung der Kessel und genaue Untersuchung der Teillasteffizienzen ist sinnvoll
- Die Wärmerückgewinnung sollte weiter verbessert werden und Temperaturniveaus wo möglich abgesenkt werden
- Die Installation einer Hochtemperaturwärmepumpe kann wirtschaftlich sinnvoll sein und es sollten thermodynamische Untersuchungen der Einbindung vorgenommen werden
- Dynamische Stromtarife können begrenzt Flexibilität im System auf Erzeugungs- und Speicherseite anreizen, diese sind jedoch stark von den Produktionsprozessen abhängig

AP 1.4: Umsetzung der Case Study 3: Flexibilitäterschließung bei Hermann Peter KG (Nichtwohngebäude mit Industriebetrieb)

Analyse der realisierbaren erneuerbaren Energie- und Flexibilitätpotenziale

Die Analyse der Potentiale für erneuerbare Energien und Flexibilität sind ein wesentlicher Schritt bei der Evaluierung von angemessenen Geschäftsmodellen zur Erschließung der lokalen Potentiale. Entscheidend sind die realisierbaren Potentiale, die verbleiben nach dem von den technischen Potentialen die Einschränkungen auf Grund von gesetzlichen Vorschriften, der Gebäudebestand und die Gebäudenutzung berücksichtigt werden. Die erneuerbaren Potentiale (Photovoltaik und Windenergie) wurden anhand von Flächenanalysen und Interviews mit den Betriebsverantwortlichen bestimmt. Die Potentiale für Solarthermie und Wärmepumpen wurden nicht näher betrachtet, da die Nachfrage nach Niedertemperaturwärme und deren Energiekosten an beiden Standorten sehr gering ist—im Vergleich zur Stromnachfrage bzw. deren Kosten.

Die Flexibilitätpotenziale wurden anhand einer Literaturrecherche und einer technischen Begutachtung bestimmt. Dabei wurde angenommen, dass an beiden Standorten ein modernes Energiemanagementsystem vorhanden ist, das sowohl Energietechnologien als auch flexible Produktionsprozesse überwachen und intelligent regeln kann. Im Folgenden wurden die Ergebnisse der Analyse vorgestellt. Der Standort Freistatt befindet sich direkt am Rhein. Auf dem Gelände sind verschiedene Betriebe der Firma untergebracht. Hierzu gehören das Kieswerk, das Betonwerk sowie das Kalksandsteinwerk. Der Baggersee verfügt über einen offenen Zugang zum Rhein, was dazu führt, dass der Ausbau einer Windenergieanlage oder einer schwimmenden PV-Anlage nicht möglich ist. Dem zur Folge sind Dach-PV-Anlagen die einzige Möglichkeit für die Firma in erneuerbare Energien zu investieren. Da die drei genannten Betriebe intelligent steuerbar sind, sind Flexibilitätpotenziale aus technischer Sicht gegeben. Von den vorhandenen Betrieben wurde das Betonwerk, wegen seiner geringen Stromnachfrage und aufgrund eines Mangels an Messpunkten in der Modellierungsphase, nicht weiter analysiert.

Beim Standort Niederrimsingen handelt es sich um ein geschlossenes Gelände, auf dem die Firma ein Kieswerk betreibt. Auch an diesem Standort ist der Ausbau von Windenergieanlagen nicht möglich. Grund dafür ist die geografische Nähe zur Gemeinde und dem daraus resultierenden gesetzlichen Rahmen der einen Ausbau verhindert. Anders als in Freistatt können in Niederrimsingen schwimmende PV-Anlagen auf dem Baggersee installiert werden. Es wird angenommen, dass 10 % der gesamten Fläche des Baggersees hierfür genutzt werden dürfen. Zusammen mit der Dachfläche der Gebäude beträgt das gesamte PV-Potenzial 10,1 GW_p.

An diesem Standort können Flexibilitätpotentiale durch mehrere Materiallager realisiert werden, die es erlauben einzelne Produktionsprozesse unabhängig von anderen zu betreiben. Die Materiallager sind im Durchschnitt nicht vollausgelastet, was eine weitere Flexibilisierung ermöglicht. Für die modellbasierte Untersuchung wird angenommen, dass der Betrieb der einzelnen Prozesse verschiebbar ist, unter der Bedingung, dass die tägliche Produktionsquote erfüllt wird. Da das Kieswerk Niederrimsingen über ausreichende Energie- und Flexibilitätpotenziale verfügt, wurden die detaillierten Untersuchungen für die HP-Fallstudie auf diesen Standort fokussiert. Zusätzlich ist anzumerken, dass ein erheblicher Teil der lokalen GHG-Emissionen auf den Produkttransport, der ausschließlich durch Diesel-LKW vollzogen wird, zurückzuführen ist. Dieser primär regionale Transport könnte zukünftig durch Wasserstoff-LKW dekarbonisiert werden.

Identifizierung zukünftiger Mechanismen zur Potenzialerschließung

Für gewerbliche Akteure steht der Erhalt der eigenen Wettbewerbsfähigkeit im Vordergrund. Anders als bei Firmen die Nischenprodukte anbieten, können Firmen aus der Rohstoffbranche, Kosten für nachhaltigen Maßnahmen nicht auf die Produktpreise umlegen. Verschiedene Konzepte zur Potenzialerschließung wurden auf Basis der Literaturrecherche und projektinternen Expertendiskussionen identifiziert. Für die modellstützende Untersuchung wurden die Konzepte ausgewählt, die Potentiale für systemische Dienstleistungen, ökologische Nachhaltigkeit und eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit ermöglichen.

Die Investition in erneuerbare Energien (EE) kann zwei verschiedene Zwecke erfüllen. Zum einen die Erwirtschaftung von zusätzlichem Einkommen durch die Einspeisung von Strom in das Stromnetz und zum anderen die Reduzierung des Strombezugs durch den Selbstverbrauch. Zur Erfüllung des ersten Zwecks empfiehlt es sich ein neues firmeninternes Unternehmen zu gründen, dessen Kerngeschäft der

Stromverkauf ist. Da eine solche Neugründung von der Geschäftsleitung nicht erwünscht ist, ist in diesem Fall der primäre Zweck der EE-Investition die Reduzierung des Strombezugs. Laut der langfristigen Vision der Europäischen Kommission soll Wasserstoff (H₂) zukünftig auch regional hergestellt werden. Falls die eigene H₂-Nutzung, die aus selbsterzeugtem Strom produziert wird, erlaubt ist, kann durch Investitionen in erneuerbare Energien nicht nur der Strombezug, sondern auch der externe Brennstoffbezug reduziert werden.

Flexibilitätspotenziale können durch verschiedene Wege erschlossen werden. Flexible Verbraucher können ihre Potenziale über Reservemärkte und Strommärkte vermarkten und Vereinbarungen zu abschaltbaren Lasten mit Netzbetreibern treffen. Diese bestehenden Marktmechanismen sind aber für große Akteure, wie beispielsweise große zentrale Erzeuger oder energieintensive Unternehmen, ausgelegt. Kleine und mittlere Unternehmen besitzen die technischen und finanziellen Voraussetzungen nicht um an diesen Märkten teilzunehmen. Aus diesem Grund wird die direkte Partizipation in bestehenden Mechanismen nicht weiter untersucht. Ein vielversprechender Mechanismus der auch kleineren dezentralen Akteure die Vermarktung von Flexibilitätspotenzialen ermöglichen kann sind zeitvariable Stromtarife. Netzbetreiber und Energieversorger können die Strompreise flexibel gemäß Engpässen des Stromnetzes bzw. anhand Strombeschaffungskosten variieren. Verbraucher können so selbst entscheiden, ob sie ihren Betrieb an das Preissignal anpassen und für diese angebotene Flexibilität vergütet werden oder ob sie ihren Betrieb unverändert lassen. Darüber hinaus können Flexibilitäten dazu genutzt werden den EE-Selbstverbrauch zu erhöhen. Verbraucher könnten beispielsweise ihre Nachfrage auf Zeiten mit EE-Überschuss verschieben. Abbildung 52 zeigt das vorgeschlagene Energieversorgungskonzept für die Untersuchung.

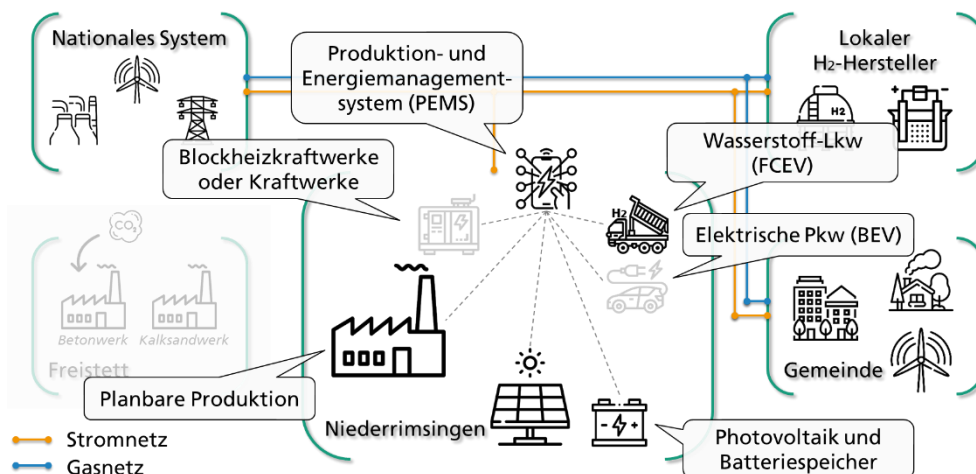


Abbildung 52 Zukünftiges Energieversorgungskonzept für den Standort Niederrimsingen

Fragestellungen und Beschreibung der Szenarien

Die modellgestützte Untersuchung zielt darauf, die folgenden Fragestellungen zu beantworten:

1. Wie können die erneuerbaren Energie- und Flexibilitätspotenziale in der Fallstudie, einem flexiblen Industriebetrieb, genutzt werden?
 - a. Welche Auswirkungen auf Scope 1 und 2 GHG-Emissionen haben verschiedene Investitionsstrategien?
 - b. Welche Vorteile und Nachteile hat die kostengünstigste Strategie für das Unternehmen?
2. Wie lassen sich die zukünftigen Stromtarife gestalten, um die Flexibilitätsdienstleistungen optimal anzureizen?
 - a. Wie würde ein flexibler Industriebetrieb auf zeitvariable Strompreise reagieren?

- b. Wie wirken sich die von Tarifen angereizten Betriebsänderungen auf die drei Dimensionen, Reduktion der Stromerzeugungskosten, Vermeidung von Engpässen in einem Verteilnetz und Reduzierung der energiebedingten GHG-Emissionen, aus?

Die Untersuchung wurde in drei Arbeiten aufgeteilt:

1. Das veröffentlichte Paper¹⁰ „Synergies between Renewable Energy and Flexibility Investments: A Case of a Medium-Sized Industry“ adressiert die erste Frage für das Kieswerk am Standort Niederrimsingen und schlägt ein Energieversorgungskonzept für das Jahr 2030 vor.
2. Das sich noch in der Begutachtung befindende Paper¹¹ „Find the balance: how do electricity tariffs incentivize different system services from demand response?“ adressiert die zweite Frage für dasselbe Kieswerk.
3. In der Arbeit¹² „Modellbasierte Untersuchung von Demand Side Management durch optimale Produktionsplanung bei zeitvariablen Strompreisen“ wurde das Kalksandsteinwerk am Standort Freistett für die Rahmenbedingungen der zweiten Frage analysiert.

Für die einzelnen Fragestellungen wurden verschiedene zu modellierende Szenarien erstellt. Die Szenarien, die die erste Frage adressieren, orientieren sich an den Investitionen des Energieversorgungskonzeptes. Das Konzept zielt darauf ab, die PV-Potenziale maximal auszunutzen und die Strom- und Brennstoffnachfrage zu bedienen. Hierfür wird angenommen, dass die Produktion des Kieswerks flexibilisiert und dass der Produkttransport durch H₂-LKW dekarbonisiert wird. Das Modell optimiert dabei ohne jegliche Restriktionen die installierte PV- und Batterieleistung und die Wasserstoffherzeugung aus PV-Überschussstrom. Das bedeutet, dass es theoretisch möglich ist, dass einige Technologien möglicherweise nicht installiert werden und die Wasserstoffherzeugung nicht genutzt wird.

Für die zweite Frage wurden Szenarien anhand von Vorschlägen aus einem akademischen Diskurs konzipiert. Der Fokus der Arbeit wird auf folgende zwei Kritiken gelegt: 1) Die aktuellen verbrauchsbasierten Stromtarife für kleine und middle Verbrauchende reichen nicht aus, um die Kosten gerecht und Kostenoptimal aufzuteilen, vor allem zwischen den klassischen Konsumenten und den Prosumenten. 2) Mit ihren Festpreisen bieten diese Tarife keine Anreize zur Anpassung des Betriebs an den aktuellen Zustand des Energiesystems.

In den Szenarien werden verschiedene prospektive Tarife untersucht, die anhand der folgenden Änderungen ausgestaltet wurden: die Erhöhung der Pauschalkomponente auf Kosten der Spitzenlastkomponente, der Verzicht auf die Spitzenlastkomponente und die Einführung der zeitvariablen volumenbezogenen Preise, die die reale Strombeschaffungskosten oder die Wahrscheinlichkeit der Netzengpässe abbilden.

Zentrale Erkenntnisse

In diesem Abschnitt werden die zentralen Erkenntnisse aus den drei obengenannten Arbeiten in Bezug auf die Fragestellungen zusammengefasst. In Anschluss daran werden die aus den Ergebnissen abgeleiteten Empfehlungen aufgelistet.

1. Für den Standort Niederrimsingen bietet die Reduzierung des Stromimports durch die Nutzung lokaler Stromerzeugung das höchste Potenzial. Die potenzielle PV-Erzeugung reicht aus, um die Stromnachfrage tagsüber zu decken. In der Nacht und in Wintermonaten sind Stromimporte allerdings weiterhin nötig. Aufgrund der guten Planbarkeit der Produktion und der kurzfristigen Flexibilität wurde die Produktion auf Stunden mit hoher PV-Erzeugung verschoben. Mit Hilfe von regionaler H₂-Herstellung und Speicherung auf Basis des erzeugten PV-Stroms kann die Firma erheblich den Kraftstoffimport reduzieren und wirtschaftlich ohne staatliche Förderung in H₂-LKW investieren.

¹⁰ Wanapinit, Natapon; Thomsen, Jessica (2021): Synergies between Renewable Energy and Flexibility Investments: A Case of a Medium-Sized Industry. In *Energies* 14 (22), p. 7753. DOI: 10.3390/en14227753.

¹¹ Wanapinit, Natapon; Thomsen, Jessica; Weidlich, Anke (2022): Find the balance: how do electricity tariffs incentivize different system services from demand response? Currently under review by the journal *Sustainable Energy, Grids and Networks*

¹² Dick, Oleg (2020): Modellbasierte Untersuchung von Demand Side Management durch Optimale Produktionsplanung bei zeitvariablen Strompreisen. Url: https://fhg-primo.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/1ao8Inn/FHG_ISE_SUNRISEMARCISE9026

- a. Jede Investitionsstrategie, die zu einer synergistischen Nutzung von Energie- und Flexibilitätspotenzialen führt, hat die Verringerung der Emissionen zu Folge.
 - b. In der kostengünstigsten Strategie investiert die Firma in PV, Flexibilisierung der Produktion, H₂-LKW und H₂-Erzeugung aus eigenem Überschussstrom. Die Vorteile sind Energieautarkie, reduzierte Kosten und eine erhöhte Nachhaltigkeit des Betriebs, die zu Wettbewerbsvorteilen führen könnten. Der Hauptnachteil ist die Abhängigkeit von fluktuierender PV-Erzeugung, die 60 % der Gesamtenergieversorgung beträgt.
2. Flexible Verbrauchende reagieren auf die Tarife in ihrer Gesamtheit, obwohl einzelne Komponenten von unterschiedlichen Akteuren, u.a., Netzbetreibende und Energieversorger, in einem liberalisierten Energiesystem gestaltet werden. Eine optimale Flexibilitätserschließung für das Gesamtsystem kann durch eine koordinierte Tarifgestaltung erfolgen. Zum Beispiel sollte in Zeitpunkten mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für Engpässe in einem Verteilnetz, das Flexibilitätspotential für den Netzbetreibende eingesetzt werden und nicht für einen Energieversorger.
- a. Der untersuchte Industriebetrieb kann auf die täglichen Preissignale reagieren. Bei einem Tarif mit Leistungspreisen ist es kostenoptimal für die Firma, sich primär auf die Reduzierung der Spitzenlast zu fokussieren. Allerdings reagiert der Betrieb damit kaum auf zeitvariable Preise und ist dadurch weniger systemdienlich.
 - b. Im systemdienlichsten Tarif orientiert sich der Betrieb hauptsächlich an den Strompreisen des zentralen Marktes. Bspw. wurde der Stromverbrauch von Stunden mit hohen Preisen (Grenzkosten) auf Zeiten mit niedrigen Preisen verschoben. Da die niedrigen Preise mit emissionsarmer erneuerbarer Energieeinspeisung und die hohen Preise mit hohem Strombedarf korrelieren, ist ein solcher Betrieb auch für die Vermeidung von Netzengpässen und für die Emissionsreduzierung zweckmäßig.

Die folgenden Empfehlungen wurden von den Ergebnissen abgeleitet:

- Die Einführung der zeitvariablen Strompreise, die durch Marktpreise gestaltet werden, ist eine betrachtungswürdige Maßnahme zur Erschließung der Flexibilitätspotenziale von Verbrauchenden.
- Diese Tarife an sich reichen nicht aus, um Netzengpässe deutlich zu reduzieren.
- Erneuerbare Energiepotenziale sind für die Eigenstromnutzung wirtschaftlich. Für eine Überschussnutzung im Transportsektor, durch Elektrolyseure, ist in den kommenden Jahren aber noch finanzielle Unterstützung notwendig.
- Neuartige regionale Geschäftsmodelle, die bspw. gezielt von Steuern befreit werden, könnten zu einer natürlichen Adoption von emissionsarmen Kraftstoffen führen.

AP 2: Entwicklung eines Tools zur Planung, Steuerung und Vermarktung netzdienlicher Gebäude und Liegenschaften in dezentralen Energiesystemen

AP 2.1: Erfassung von Energieflüssen in der Industrie / GHD-Betrieben

Im Zuge dieses APs soll das in AP 1 erstellte Messkonzept auf die individuellen Anlagen sowie Zähler- und Messeinrichtungen der Case Studies angewendet werden. Die Umsetzung des Messkonzeptes und die Bereitstellung der Daten wurde bereits in AP 1 beschrieben. Es sei daher auf den entsprechenden Abschnitt verwiesen.

AP 2.2: Analyse des Gebäudebestandes und der technischen Maßnahmen in den Case Studies

Die Analyse des Gebäudebestandes und der technischen Maßnahmen zur Hebung von potenziellen Flexibilitätspotenzialen wird in den APs 1 und 4 beschrieben. Es sei daher auf die entsprechenden Abschnitte dieses Abschlussberichts verwiesen.

AP 2.3: Analyse von Änderungen des Nutzerverhaltens und Optimierung der Organisationsprozesse zur Schaffung von Flexibilität

Ziel dieses Arbeitspaketes innerhalb des FlexGeber-Projektes war die Initiierung und Begleitung eines Prozesses zur Identifikation und (idealerweise späteren) Realisierung von Effizienz-, Erneuerbaren- und Flexibilitätspotenzialen in den Industriebetrieben Taifun-Tofu GmbH (Lebensmittel) und Hermann Peter KG (Baustoffe). Dazu haben die Forschenden jeweils in einem Workshop relevante Akteure zusammengebracht und Wissen zur Bestimmung und Bewertung von Flexibilitäten aus technischer, rechtlich-politischer sowie strukturell-organisatorischer Sicht erarbeitet und vermittelt. Gemeinsam klärten sie, welche Informationen in welchem Format für Unternehmen erforderlich und relevant sind, um Flexibilitätsoptionen identifizieren und umsetzen zu können. Insgesamt gliedert sich die methodische Vorgehensweise in vier zentrale Arbeitsschritte: Vor-Ort-Begehungen bei den Reallaboren, Identifikation technischer Hotspots, Akteursworkshop sowie abschließende Auswertung. Der vorliegende Teilbericht¹³ dokumentiert diesen Prozess und fokussiert auf die Identifikation von möglichen Effizienz-, Erneuerbaren- und Flexibilitätsoptionen und der Erfassung von Hemmnissen, die einer Umsetzung von Maßnahmen zur Erschließung der Potenziale bei den Praxispartnern entgegenstehen. Da die Workshops vornehmlich auf die Unternehmen Taifun-Tofu und Hermann Peter ausgerichtet waren, fokussiert dieser Bericht auf Hemmnisse, die diese Unternehmen bzw. Unternehmen dieser Branchen betreffen. Darüber hinaus ist ein Kapitel zu Hemmnissen, die sich aus dem Demonstrationsvorhaben des Fraunhofer ISE-Campus (Ausbau des Kältenetzes und Installation von Kältespeichern) ableiten, ist in diesem Bericht enthalten.

AP 2.4: Aufbau der Methodik und Toolentwicklung zur Darstellung der Optimierungs- und Vermarktungsprozesse in den Case Studies

Ziel des Arbeitspakets ist die Entwicklung und Umsetzung einer anwendungsfreundlichen Applikation (App), die Energieeffizienz und Flexibilität in der dezentralen Ebene fördert. Die App soll es Nutzenden ermöglichen sich zunächst selbstständig mit einem typischen Energiesystem vertraut zu machen und die Auswirkungen unterschiedlicher Technologieoptionen zu verstehen (Zielgruppe: Menschen, die bisher wenig Kontakt zu Energiesystemen hatten). Im nächsten Schritt soll die App es diesen Nutzenden ermöglichen ihr eigenes Energiesystem einfach zu erfassen und einordnen zu können. D.h. es soll dem Nutzenden ermöglicht werden selbstständig das eigene Energiesystem in Relation zu typischen Energiesystemen einer vergleichbaren Gruppe zu bewerten. Außerdem soll die App den Nutzenden Maßnahmen an die Hand geben, um das eigene Energiesystem zu verbessern. Dabei sollen sowohl einfache Maßnahmen („quick wins“) als auch komplexere Maßnahmen (bspw. PV-Installation) beschrieben werden.

Die App ist entsprechend der Ziele in drei Module gegliedert und ist unter folgendem Link abrufbar: <https://flexgeberinfospace.ise.fraunhofer.de/>.

Im ersten Modul, dem „Engager Modul“, wird das Interesse der Nutzenden geweckt. Hierzu kann der Nutzende aus einer Reihe von beispielhaften Gruppen auswählen und sich typische Strom- bzw. Wärmebedarfe für diese Gruppe anzeigen lassen. Dann kann der Nutzende aus typischen Technologieoptionen wählen und deren Auswirkungen auf das beispielhafte Energiesystem werden in der App gezeigt. Dadurch soll den Nutzenden verdeutlicht werden welche Auswirkungen die verschiedenen Technologien auf das eigene Energiesystem haben könnten und darüber das Interesse an den weiteren Modulen geweckt werden. Nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft die Ergebnisse für ein zwei Personenhaushalt im Ruhestand, der eine PV Anlage installiert.

¹³ Wuppertal Institut 2019: Hemmnisanalyse zu Änderungen des Nutzerverhaltens und Optimierung der Organisationsprozesse zur Schaffung von Flexibilität in gewerblich und industriell genutzten Gebäuden. Download unter: <https://epub.wupperinst.org/front-door/index/index/docId/7963>

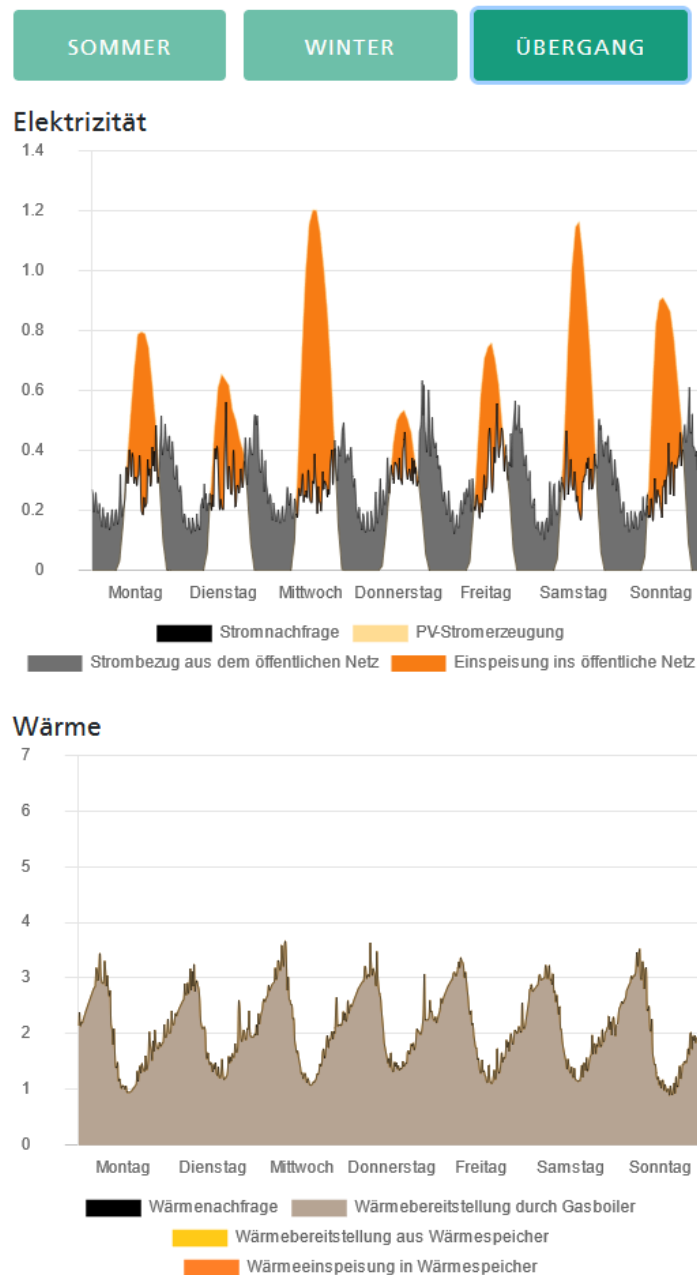


Abbildung 53 Beispielhaftes Ergebnis für das Engager Modul

Für das Engager Modul wurden „typische“ Lastgangdaten benötigt, die zur Darstellung der Gruppen verwendet werden. Dafür wurden Kriterien erarbeitet, anhand derer ein Lastprofil charakterisiert bzw. in verschiedene Cluster von Standardlastprofilen eingeordnet werden kann:

- Verschiedene Sektoren/Wirtschaftszweige
- Verschiedene Schichtbetriebe (1-, 2-, 3-Schichtbetriebe)
- Verschiedene Wochenendbetriebe (mit/ohne Wochenendbetrieb)
- Zusammenstellung von 31 Lastgängen aus Industriebetrieben (außerhalb der Daten der Case Studies des FlexGeber Projektes) mit dem Ziel, reale Lastgangdaten für verschiedene Lastgangs-Cluster bereitzustellen, um die Erarbeitung von Standardlastprofilen zu stützen. Aufgrund einer nicht

abgeschlossenen gesonderten Datennutzungsvereinbarung für diese projekt-externen Daten konnte die Zusammenstellung nicht in das Projekt einfließen und verbleibt als eine ENIT-interne Aufwandsleistung. Die zusammengestellten Lastgänge erfüllen folgende Kriterien:

- Zählerstände der gesamten Energiebezüge in 5-Minuten Auflösung (Ziel war mindestens eine 15-Minuten Auflösung)
- Daten über den max. Zeitraum von Januar 2018 bis Juni 2019 (Ziel war: 3 "Jahreszeiten" Sommer, Winter, Übergangszeit sollen abgebildet werden können)
- Verschiedene Sektoren/Wirtschaftszweige
- Verschiedene Schichtbetriebe (1-, 2-, 3-Schichtbetriebe)
- Verschiedene Wochenendbetriebe (mit/ohne Wochenendbetrieb)

	ohne Wochenendbetrieb			mit Wochenendbetrieb		
	1-Schicht	2-Schicht	3-Schicht	1-Schicht	2-Schicht	3-Schicht
Herstellungsbetriebe	1	1	1		1	1
Metallgewerbe		1	3			1
Holzgewerbe		2			2	1
Papier- u. Druckgewerbe		1			1	1
Backgewerbe		1			2	1
Fleischereien/Metzgereien		2	1		1	1
Restliche Nahrungsmittelgewerbe		1				3

Abbildung 54 Übersicht und Anzahl von gesammelten Industrie-Clustern

Auf Grund der fehlenden Datennutzungsvereinbarung musste auf andere, standardisierte Lastprofile zurückgegriffen werden und die Anzahl an beispielhaften Gruppen reduziert werden. Die Daten wurden in ein einheitliches Format gebracht und in die App-Datenbank eingepflegt. Diese App-Datenbank wurde im Zuge der Appentwicklung entworfen und angelegt. Die Datenbank ermöglicht die modulare Erweiterung der App.

Das zweite Modul, als „KPI-Analyse“ bezeichnet, erlaubt es den Nutzenden den IST-Zustand ihres Systems mit durchschnittlichen Werten ihrer Nutzergruppe zu vergleichen. Dazu werden Key Performance Indikatoren (KPIs) verwendet. Der Nutzende muss dafür wieder seine typische Nutzergruppe auswählen und sein aktuelles Energiesystem anhand einer schematischen Darstellung beschreiben. Nachfolgende Abbildung zeigt diese schematische Darstellung.

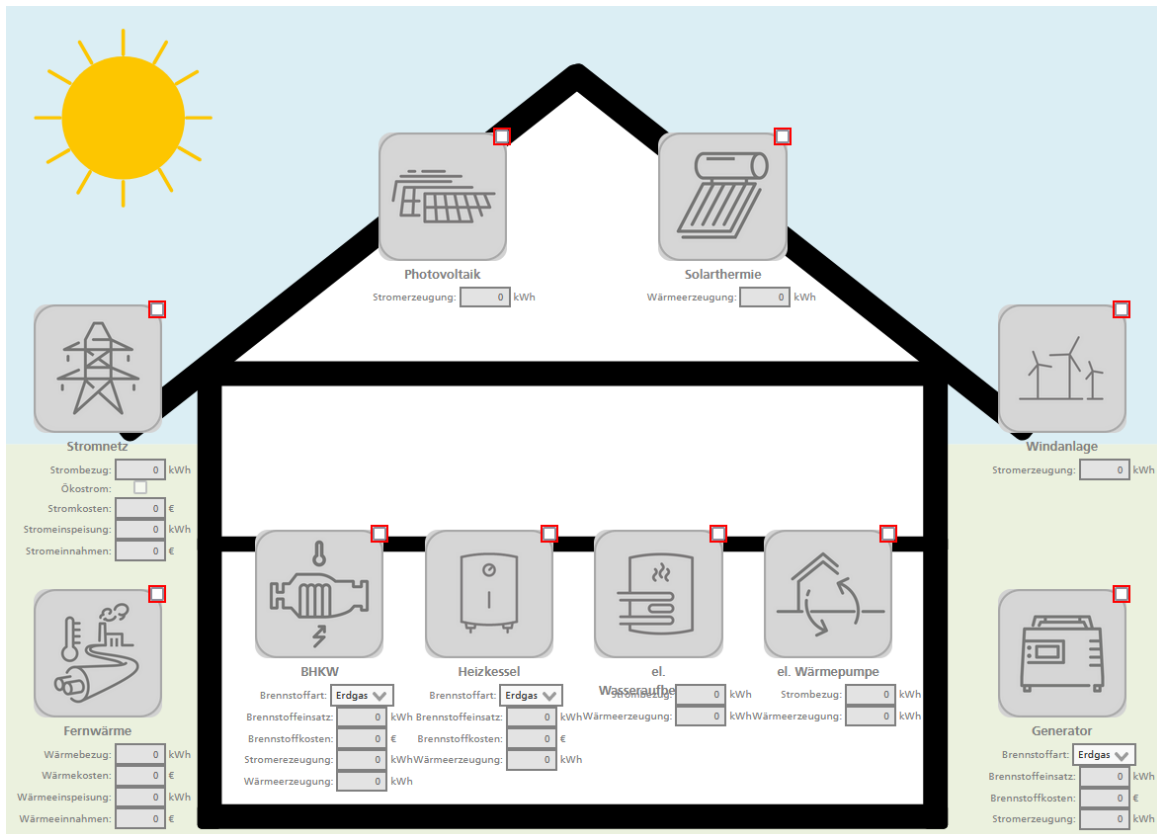


Abbildung 55 KPI-Modul Energiesystemdarstellung

Nach dem das aktuelle Energiesystem schematisch dargestellt ist und die eigene Nutzergruppe ausgewählt wurde, werden im unteren Teil des Moduls die eigenen KPIs mit den KPIs der ausgewählten Nutzergruppe verglichen. Nachfolgende Abbildung zeigt diesen Vergleich beispielhaft.

Energiekosten (Euro/a/Bett)

KPI: 225

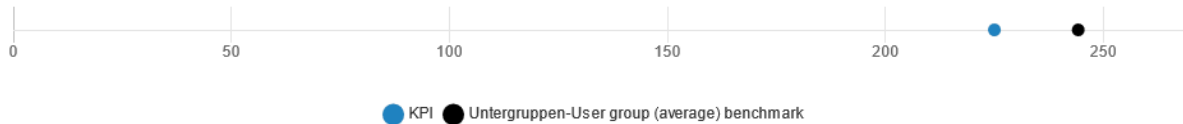


Abbildung 56 KPI-Benchmarkvergleich für die Nutzergruppe „Krankenhaus“

Dazu wurde von ENIT testweise die Bildung und Auswertung von Kennzahlen durchgeführt (Energieverbrauch/Fläche und Energieverbrauch/Mitarbeitende) um das Konzept zu prüfen und die erwartbaren Ergebnisse abzuschätzen. Nachfolgende Abbildung zeigt diese KPI Abschätzung.

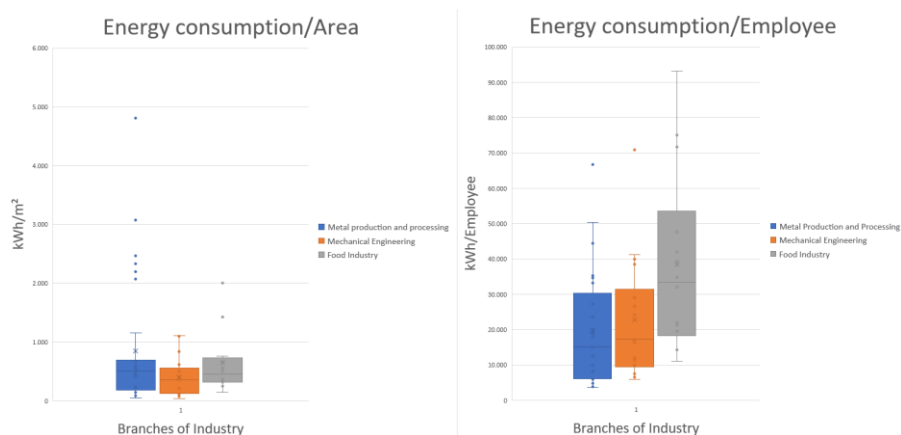


Abbildung 57 Auswertung von Energiekennzahlen basierend auf einem Kunden-Daten Set

Da die verwendeten Daten allerdings nicht von den Case Studies des FlexGeber Projektes stammen und eine entsprechende Datennutzungsvereinbarung nicht vereinbart werden konnte, konnten diese Daten nicht verwendet werden. Daher wurde eine eigene Methodik entwickelt, die anhand von öffentlich zugänglichen Daten Benchmark-KPIs für verschiedene Nutzergruppen erstellt. Die verwendeten Daten wurden ebenfalls aufbereitet und die App-Datenbank entsprechend erweitert.

Das dritte Modul („Empfehlungsportal“) soll jedem Nutzenden die Möglichkeit geben sich über unterschiedliche Maßnahmen zu informieren, um das eigene Energiesystem zu verbessern. Dabei wird auch auf die KPIs aus Modul 2 verwiesen und ein Nutzender kann die Empfehlungen nach bestimmten KPIs filtern. ENIT hat in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISE eine Sammlung von Handlungsempfehlungen in einem Katalog entwickelt, mit jeweils zugehörigen:

- Qualifizierungskriterien
- Handlungsempfehlung relevant für 1-, 2-, 3-Schicht Betriebe; mit/ohne Wochenendbetrieb
- Handlungsempfehlung relevant für bestimmte Fragestellungen und sonstige Kriterien wie Benefits, Energiewirtschaftliche Optimierung, Kostenreduktion (lokal), Erhöhte Energieeffizienz (lokal, global), Erhöhte Versorgungssicherheit (global)
- Bewertung „Flexibility Readiness/Potential“

Nachfolgende Abbildungen zeigen die ausgearbeiteten Empfehlungen.

Beschreibung

Anschluss eines Messsystems an den RLM Zählers

Eine Messung am Übergabezähler des Messstellenbetreibers ist durch den Anschluss eines Messsystems mit optischem Tastkopf wie dem ENIT Agent möglich. Daraus ergeben sich genauere Erkenntnisse über den Energieverbrauch.

Diese Erkenntnisse helfen, Standby-Lasten zu identifizieren und ggf. zu reduzieren sowie Zeitpunkte der Rückspeisung zu erkennen. Außerdem bilden sie die Grundlage für eine Identifikation des Trafo-Wirkungsgrades.

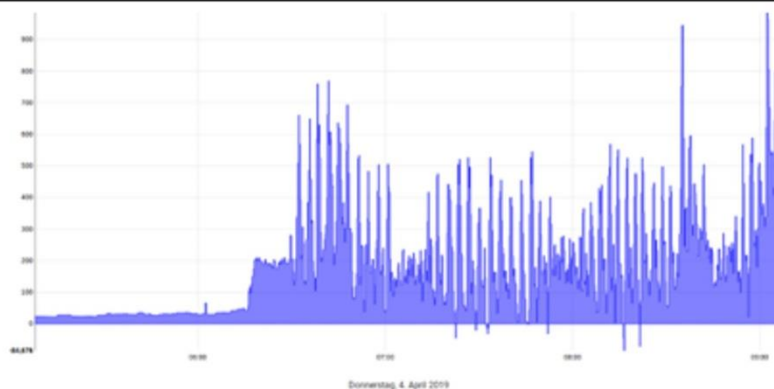


Beispiel: Kieswerk

- RLM gemessen und Energieverbrauch von mehr als 100.000 kWh / Jahr
- Bisherige Analyse der 15-Minuten Werte vom Messstellenbetreiber erlaubt keine gewinnbringende Schlussfolgerung
- Keine ausreichende Datengrundlage vorhanden und keine schlüssige Erklärung von einer konkreten Problemstellung möglich

Aus dem untenstehenden Chart sind folgende Erkenntnisse zu gewinnen:

- Der nächtliche Standby-Verbrauch beträgt vergleichsweise konstant ca. 25 kW.
- Im Betrieb führt ein hochfrequenter und volatiler Lastgang zum Energieverbrauch. Es finden sogar kurzzeitig unvergütete Rückspeisungen von bis zu 85 kW statt.



Action required: New Installation

Expected Effort: Low

Affected component : Datenerfassung am RLM Zähler

Affected KPIs : Energy Efficiency ↗ Self-Sufficiency → Flexibility ↗ Cost-Optimization ↑

Recommendation ID : 00000-01001; source : www.ABC.com

Abbildung 58 Anschluss eines Messsystems an den RLM Zähler

Beschreibung

Prüfung für Optimierung der BHKW Betriebsführung

Bereits anhand einer hochaufgelösten Messung der Wirkleistung am Punkt der Netzübergabe lassen sich i.d.R. Betriebszustände eines BHKWs ableiten. BHKWs erzeugen gewöhnlich auf einem konstanten Leistungsniveau, was sich auf den gesamten Netzbezug auswirkt. Die unterschiedlichen Betriebszustände des BHKWs lassen sich also in einem Offset in Höhe der Erzeugungsleistung ablesen. Hohe Lastwechsel in Höhe der Erzeugungsleistung deuten auf häufige Wechsel der BHKW Betriebsführung hin. Ein solcher Betrieb ist nach Möglichkeit zu vermeiden, da ein BHKW grundsätzlich technisch und wirtschaftlich auf einen möglichst dauerhaften Betrieb ausgelegt ist. Ist ein Optimierungspotential erkannt, sollte die Steuerung des BHKW überprüft werden und nach Möglichkeit angepasst werden.



Beispiel: Fleischerei

- Hohe Volatilität im Lastgang durch BHKW
- BHKW geht an und aus
- Aus Produktionssicht hohe und unvermeidbare Lastspitze

Aus dem untenstehenden Chart sind folgende Erkenntnisse ersichtlich:

- Während den ersten Tagen schaltet das BHKW ständig
- Während den mittleren Tagen läuft das BHKW durch
- Gegen Ende des Zeitraums läuft das BHKW nicht



Action required: Optimization

Expected Effort: High

Affected component : BHKW

Affected KPIs : Energy Efficiency ↗ Self-Sufficiency ↑ Flexibility ↗ Cost-Optimization ↑

Recommendation ID : 00000-01002; source : www.ABC.com

Abbildung 59 Prüfung für Optimierung der BHKW Betriebsführung

Beschreibung

Prüfung für Standby-Reduktion

Bereits anhand einer hochaufgelösten Messung der Wirkleistung am Punkt der Netzübergabe lassen sich häufig Rückschlüsse auf Standby-Lasten und deren Verbraucher machen. Besonders interessant sind dabei die Zeitfenster, zu denen kein Betrieb vorliegt – also häufig in den Nächten unter der Woche und am Wochenende.

Besonders gut können am Übergabezähler Verbraucher mit charakteristischem Lastprofil während der Standby-Zeiten identifiziert werden. Dazu gehören z.B. volatile Verbraucher, wie Kompressoren aber auch sehr konstante Verbraucher mit diskreten Lastniveaus, wie Lüftungsanlagen.

Mit Hilfe von Unterzählern an Verbrauchern kann die Standby-Last genau aufgeschlüsselt werden. Dann wird genau deutlich, welche Anlage wann außerhalb des Betriebs weiter gelaufen ist.

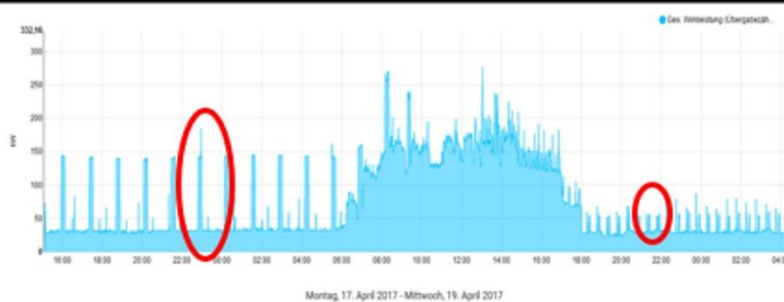


Beispiel: Betrieb in der Chemiebranche

- Es gibt einen Standby-Verbrauch, der sich z.T. aus hochfrequenten Lastwechseln oder charakteristischen Lastmustern zusammensetzt.

Aus dem untenstehenden Chart sind folgende Erkenntnisse ersichtlich:

- Am Morgen fällt die Last-Charakteristik eines großen Kompressors im Standby auf.
- Am Abend sind diese Lastwechsel reduziert.



Action required: Optimization

Expected Effort: Medium

Affected component : Kompressoren, Ventile, nicht-frequenzgeregelte Anlagen

Affected KPIs : Energy Efficiency ↑ Self-Sufficiency → Flexibility ↗ Cost-Optimization ↑

Recommendation ID : 00000-01003; source : www.ABC.com

Abbildung 60 Prüfung für Standby-Reduktion

Beschreibung

Prüfung für Lastspitzen-Reduktion

Bereits anhand einer hochaufgelösten Messung der Wirkleistung am Punkt der Netzübergabe lassen sich die Zeitpunkte und Höhen der aufgetretenen Lastspitzen ablesen und daraus schon erste Schlüsse ziehen. Häufig treten Lastspitzen zu ähnlichen Tageszeitpunkten oder gleichen Betriebszuständen auf.

Mit Hilfe von Unterzählern an großen oder volatilen Verbrauchern lässt sich außerdem die Zusammensetzung der Lastspitze erkennen.

Sofern gewisse Lasten aus dieser Zusammensetzung zeitlich verschiebbar sind, lassen sich durch eine angepasste Betriebsführung hohe Lastspitzen vermeiden.

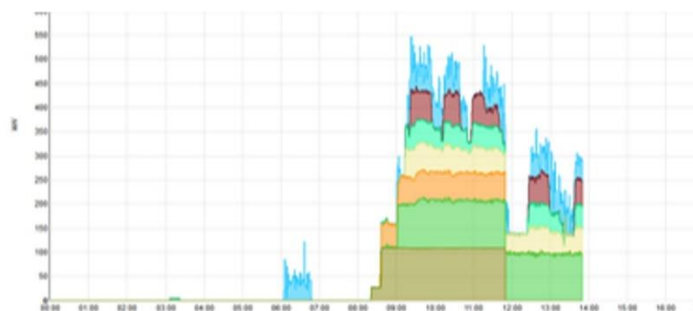


Beispiel: Herstellungsbetrieb Metallbranche

- Bei einer Prüfung der Stromrechnung werden unverhältnismäßig hohe Kosten für die Lastspitze identifiziert.
- Die Höhe der Lastspitze übertrifft die gewöhnliche Betriebslast bei Weitem.

Aus dem untenstehenden Chart sind folgende Erkenntnisse ersichtlich:

- Die Lastspitze tritt in den Zeitfenstern auf, wenn der volatile blaue und der volatile braune Verbraucher gleichzeitig eingeschaltet sind.



Action required: Optimization

Expected Effort: High

Affected component : Verbraucher mit verschiebbaren Lasten

Affected KPIs : Energy Efficiency → Self-Sufficiency → Flexibility ↑ Cost-Optimization ↑

Recommendation ID : 00000-01004; source : www.ABC.com

Abbildung 61 Prüfung für Lastspitzen-Reduktion

Beschreibung

Trafo-Abschaltung bei Betriebspause

Transformatoren werden zum Zeitpunkt ihrer Installation optimal ausgelegt. Werden in den Folgejahren die angeschlossenen Produktionsanlagen vergrößert oder Lastreduktion durch Einsatz effizienterer Anlagen vorgenommen, so rutscht der Trafo häufig in einen ineffizienten Betriebspunkt.

Genau dies geschieht auch häufig am Wochenende: Aufgrund von fehlender Betriebslast arbeitet der Trafo nicht im Auslegungspunkt. Je nach Kennlinie kann dies schnell zu signifikanten Energieverlusten führen.

Die Effizienz der Transformatoren ermittelt man am einfachsten über eine Einzelmessung. Der Vergleich des vorgeschalteten Übergabezählers und der nachgelagerten Messpunkte kann binnen kurzer Zeit Ineffizienzen aufzeigen.

Dann gilt zu prüfen, ob bei Betriebspause einer der Trafos ausgeschaltet werden kann, sodass die restlichen Trafos wieder mit besserer Effizienz laufen.

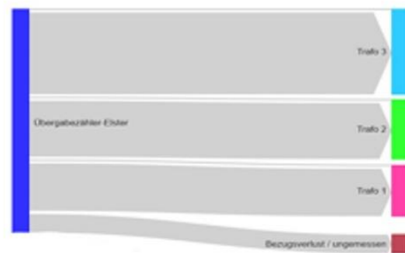


Beispiel: Lebensmittelproduktion

- Es gibt mehrere Trafos, die mit einer Parallelschaltung eine oder gekoppelte Sammelschienen speisen.
- Die Infrastruktur ist über viele Jahre gewachsen und alt.
- Die Produktionskapazität wurde reduziert.

Aus dem untenstehenden Chart sind folgende Erkenntnisse ersichtlich:

- Die Bilanz aus der Messung am Einspeisepunkt und den Trafo-unterseitigen Messungen liefert die Trafoverluste als ungemessenen Bezugsverlust.
- Nach einer Trafoabschaltung kann direkt geprüft werden, ob ein geringerer Bezugsverlust aus erhöhter Effizienz resultiert.



Action required: Optimization

Expected Effort: Low

Affected component : Transformatoren

Affected KPIs : Energy Efficiency \uparrow Self-Sufficiency \rightarrow Flexibility \rightarrow Cost-Optimization \uparrow

Recommendation ID : 00000-01005; source : www.ABC.com

Abbildung 62 Trafo-Abschaltung bei Betriebspause

Beschreibung

<u>Prüfung der Stromrechnung</u>	
<p>Zentraler und häufig wichtigster Punkt des Energieverbrauchs sind aus unternehmerischer Sicht die Kosten für die benötigte Energie. Damit liegt ein erster Ansatzpunkt für die Optimierung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Kosten im Prüfen der i.d.R. monatlichen Stromrechnung.</p> <p>Bei der Prüfung sollte sichergestellt werden, dass die aufgeführten Verbräuche mit den Zählerständen konform gehen und diese korrekt abgerechnet werden.</p> <p>Besonderes Augenmerk sollte dabei auf die gewöhnlich drei kostenrelevanten Komponenten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bezug von Wirkarbeit (der „Energieverbrauch“) • Bezug von Blindarbeit • Lastspitze <p>gelegt werden.</p>	
	
<p>Beispiel: Hersteller von Kunststoffspritzgussteilen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nach dem altersbedingten Wechsel des Übergabezählers durch den Messstellenbetreiber ändern sich die monatlichen Energiekosten signifikant. • Über die Höhe und den Zeitpunkt des Auftretens der abrechnungsrelevanten Lastspitze ist keine Kenntnis vorhanden. 	
<p>Aus der Gegenüberstellung der Stromrechnung mit Zählerdaten sollten grundsätzlich folgende Fragen zu beantworten sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Welche Energiemenge wird monatlich aus dem Netz bezogen? • Welche Energiemenge wird ggf. monatlich in das Netz zurückgespeist? • Wie hoch ist der Energiepreis (Cent/kWh) inkl. Steuern und Abgaben aber exkl. Leistungspreis und Fixkosten? • Fallen Kosten für Blindarbeit an und falls ja, wie hoch lag der Betrag der kostenpflichtigen Blindarbeit über dem Freibetrag? • Wie hoch war die Lastspitze aus dem Rechnungsmonat? • Wie hoch ist die abrechnungsrelevante Lastspitze und wann genau trat diese auf? • Wie hoch ist der Leistungspreis (Euro/kW und Jahr)? 	
	
<p>Action required: Check Expected Effort: Low Affected component: Stromrechnung Affected KPIs: Energy Efficiency → Self-Sufficiency → Flexibility → Cost-Optimization ↑</p>	
<p>Recommendation ID : 00000-01006; source : www.ABC.com</p>	

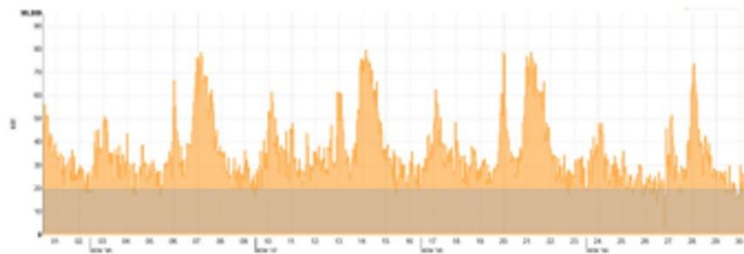
Abbildung 63 Prüfung der Stromrechnung

Beschreibung

Auslegung eines Blockheizkraftwerkes

Ein BHKW erzeugt Wärme und Strom gleichzeitig vor Ort, somit kann der Strom- und Wärmebedarf durch Eigenproduktion teilweise oder ganz gedeckt werden. Durch den hohen kombinierten Wirkungsgrad von 80-90% können sich Einsparungen beim Primärenergieverbrauch im Vergleich zur getrennten Versorgung von Strom- und Wärmebedarf mit konventionellen Methoden ergeben. Wird der Strom direkt vor Ort verbraucht und nicht eingespeist, wird dadurch das Stromnetz entlastet. Da BHKWs sehr flexibel einsetzbar sind eignen sie sich, um das fluktuierende Angebot der erneuerbaren Energien auszugleichen.

Es gibt verschiedene Förderprogramme, die die Installation eines BHKWs finanziell unterstützen.

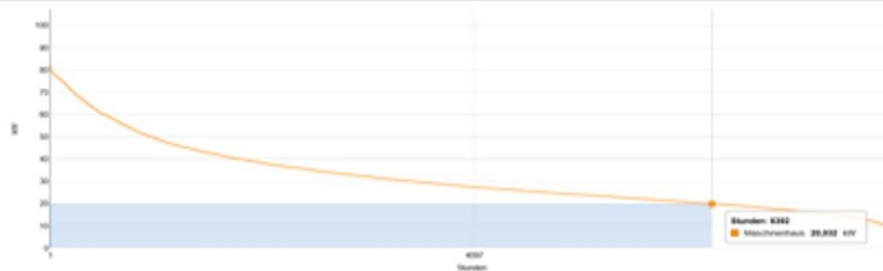


Beispiel: Therme

- Hohen Wärmebedarf in Kombination mit einer hohen elektrischen Grundlast

Die Auslegung von einem BHKW richtet sich i.d.R. wärmegeführt nach dem Wärmebedarf, kann aber im Einzelfall davon abweichen.

Mit einem vorhandenen Lastgang und einer Sortierung nach Last (siehe Darstellung unten) lässt sich schnell absehen, wie viele Volllastbetriebsstunden sich mit einem BHKW bestimmter Größe erreichen lassen.



Action required: New Installation

Expected Effort: High

Affected component: BHKW, Eigenerzeugung

Affected KPIs: Energy Efficiency → Self-Sufficiency ↑ Flexibility ↑ Cost-Optimization ↑

Recommendation ID : 00000-01008; source : www.ABC.com

Abbildung 64 Auslegung eines Blockheizkraftwerkes

Beschreibung

Prüfung der Blindstrom-Kompensation

Manche Anlagen benötigen nicht nur Wirkarbeit zum Funktionieren, sondern auch Blindarbeit (z.B. zum Aufbau eines elektromagnetischen Feldes bei einem Asynchronmotor). Dabei pendelt diese Blindarbeit zwischen dem Energieversorger und dem Abnehmer und belastet das Stromnetz. Deshalb stellt der Netzbetreiber Blindarbeit, die über einen definierten Freibetrag hinaus geht in Rechnung.

Der Freibetrag beträgt i.d.R. 50% der bezogenen Wirkarbeit. Darüber hinaus gehende Blindarbeit taucht dann auf der Stromrechnung auf.

Dies lässt sich mit einer Anlage zur Blindstrom-Kompensation vor dem Punkt der Netzübergabe vermeiden. Fällt diese aus oder ist diese zu klein dimensioniert, fallen die entsprechenden Kosten für die Blindarbeit beim Netzbetreiber an.



Beispiel: Fleischerei

- Auf der Stromrechnung tauchen plötzlich Kosten für Blindarbeit auf
- Es gibt bereits eine Blindstrom-Kompensation.

Aus dem untenstehenden Chart sind folgende Erkenntnisse ersichtlich:

- In den Monaten Januar bis November verblieb die Blindarbeitsmenge jeweils unterhalb des Freibetrags von 50% der Wirkarbeitsmenge.
- Im Dezember ist die Blindstrom-Kompensation ausgefallen, was dazu geführt hat, dass Blindarbeit kostenpflichtig wird.



Action required: Maintenance

Expected Effort: Low

Affected component: Kompensationsanlage

Affected KPIs: Energy Efficiency ↗ Self-Sufficiency → Flexibility ↗ Cost-Optimization ↑

Recommendation ID : 00000-01007; source : www.ABC.com

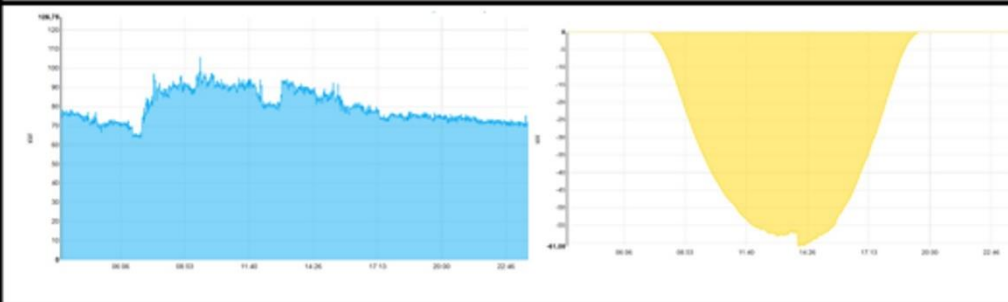
Abbildung 65 Prüfung der Blindstrom-Kompensation

Beschreibung

Auslegung einer Photovoltaik-Anlage

Für viele produzierenden Industriebetriebe kann es sich lohnen ihren Strombedarf zumindest zum Teil selbst zu erzeugen. Das trifft insbesondere auf Industriebetriebe zu, die mit ihren Anlagen (ggf. auch durch neue zusätzliche Anlagen) an die Kapazitätsgrenze ihrer elektrischen Anschlussleistung kommen oder einen Strompreis zahlen, der deutlich über den Stromgestehungskosten (inkl. Berücksichtigung der Investitionskosten) aus einer Eigenerzeugungsanlage liegt.

Eine Photovoltaik-Anlage kann energiewirtschaftlich sinnvoll sein, was in einer Wirtschaftlichkeitsberechnung geprüft werden kann. Häufig deckt sich der produktionsbezogene Energiebedarf zeitlich mit dem Erzeugungsangebot aus der Photovoltaik. Auch sind mögliche Installationsflächen häufig auf Industriegebäuden vorhanden.

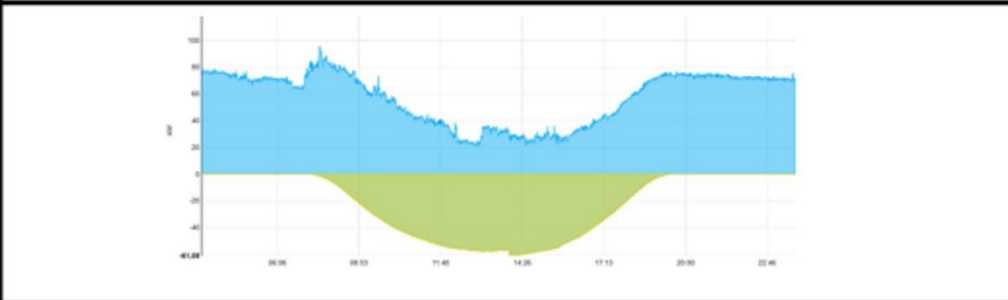


Beispiel: Maschinenbaubetrieb

- Zahlt einen Strompreis von 18 Cent/kWh
- Freie Verfügbarkeit von großer Dachfläche
- Tägliche Produktion, häufig mit Höchstlasten um die Mittagszeit

Idealerweise kann man bei der PV-Auslegung auf eine Datengrundlage zurückgreifen, die den Lastgang des Bedarfs möglichst gut darstellt. Somit kann bei der Berechnung die Größe der PV-Anlage so gewählt werden, dass der Eigenverbrauchsanteil der Erzeugung optimiert wird und unnötige Rückspeisungen minimierte werden.

Die untenstehende Grafik zeigt die Stapelung der Bedarfslastkurve (blau) und der PV-Erzeugungslastkurve (gelb). Es resultiert ein verminderter Bezug aus dem Netz des Stromversorgers.



Action required: New Installation

Expected Effort: High

Affected component: PV, Eigenerzeugung

Affected KPIs: Energy Efficiency → Self-Sufficiency ↑ Flexibility ↑ Cost-Optimization ↑

Recommendation ID : 00000-01009; source : www.ABC.com

Abbildung 66 Auslegung einer Photovoltaik-Anlage

Beschreibung

Auslegung eines Batteriespeichers

In der Diskussion zur Ausgestaltung der Energiewende sind Batteriespeicher schon länger ein Thema. Angesichts der fallenden Preise für Lithium-Ionen-Batterien und andere Technologien hat die Entwicklung nochmal deutlich an Fahrt aufgenommen. Was im Kleinen für Haushalte mit Solaranlage und im Großen als Kraftwerk und Beitrag zur Netzstabilität schon länger funktioniert, findet inzwischen auch in Gewerbe und Industrie vermehrte Anwendung.

Dabei gibt es ein paar Nutzen, die Batteriespeicher liefern können:

- Den Eigenverbrauch erhöhen – Durch zeitliche Entkoppelung von Bedarf und selbst erzeugter Energie.
- Lastspitzenabsenkung – Beim Peak shaving wird mit Hilfe einer Batterie der Lastgang „vergleichsmäßig“ (siehe Problemstellung in der Abbildung unten).
- Energiewirtschaftliche Potentiale heben – mit Hilfe einer Batterie kann das Erreichen von atypischer Netznutzung unterstützt werden.
- Stromversorgung sichern – mit Hilfe einer Batterie ggf. hohe Anforderungen an eine unterbrechungsfreie Stromversorgung unterstützen.



Beispiel: Metallbaubetrieb

- Die vergleichsweise groß dimensionierten Photovoltaik-Anlage führt in Kombination mit einer geringen Grundlast am Wochenende und an Feiertagen zu hohen Rückspeisungen in das Netz des Stromversorgers
- Mit einem Batteriespeicher können diese Energiemengen zeitlich entkoppelt selbst genutzt werden.

Idealerweise kann man bei der Batterie-Auslegung auf eine Datengrundlage zurückgreifen, die den Lastgang des Bedarfs möglichst gut darstellt. Somit können Simulationsprogramme mit den individuellen Betriebsdaten eine Amortisationsrechnung mit verschiedenen Batterieparametern durchrechnen und energiewirtschaftlich bewerten.



Action required: New Installation

Expected Effort: High

Affected component: Batterie, Speicher

Affected KPIs: Energy Efficiency → Self-Sufficiency ↑ Flexibility ↑ Cost-Optimization ↑

Recommendation ID : 00000-01010; source : www.ABC.com

Abbildung 67 Auslegung eines Batteriespeichers

Beschreibung

Optimierung der Effizienz von thermischen Verbrauchern

Im Zusammenhang mit thermischen Verbrauchern, wie Heizungen oder Öfen, finden sich häufig noch Einsparpotenziale von Ressourcen durch die Optimierung der Effizienz. Besonderer Fokus sollte dabei auf die Temperaturniveaus und die Einschalt Dauern gelegt werden. Ist es möglich diese an die tatsächlichen Anforderungen anzupassen, lässt sich die Effizienz schnell um einige Prozentpunkte steigern.



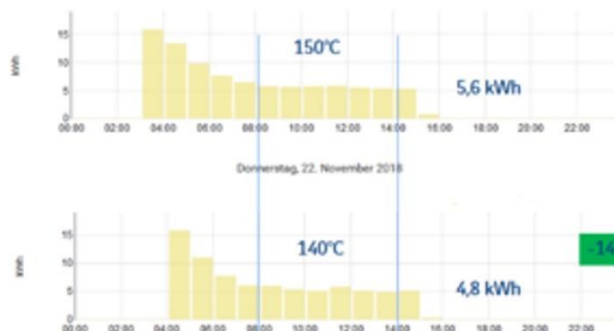
Beispiel: Betrieb in der Kunststoffverarbeitung

- Das Temperaturniveau von beheizten Leitungen betrug 150°C.
- Einfache Versuche haben gezeigt, dass die Funktion der Leitungen unverändert gegeben ist, wenn das Temperaturniveau um 10°C gesenkt wird. Die Energieersparnis übersteigt mit 14% die Reduktion des Temperaturniveaus.

Für mögliche Effizienzoptimierungen von thermischen Verbrauchern sind detaillierte Kenntnisse über diese Verbraucher und deren Prozesse von zentralem Bestandteil. Es sollte genau geklärt werden

- welche Funktion durch den thermischen Verbraucher sicher gestellt werden soll
- welche Parameter der Regelung möglich sind

In Kombination dieser beiden Punkte kann dann geprüft werden, wie weit die Parameter Temperaturniveau und Einschaltdauer herunter geregelt werden können, bei Erhaltung der geforderten Funktion. Wird ein Potenzial aufgedeckt, kann es möglicherweise sehr einfach und kostengünstig gehoben werden.



Action required: Optimization

Expected Effort: Low

Affected component: Heizung, Öfen

Affected KPIs: Energy Efficiency ↑ Self-Sufficiency → Flexibility ↗ Cost-Optimization ↑

Recommendation ID : 00000-01011; source : www.ABC.com

Abbildung 68 Optimierung der Effizienz von thermischen Verbrauchern

Die App-Datenbank wurde auch für dieses Modul entsprechend erweitert und alle Daten des Modul 3 in diese Datenbank eingepflegt.

Das grundlegende Konzept der App und die entwickelte Datenbank wurden genutzt um, mit Hilfe eines externen Dienstleisters, eine Webapplikation zu entwickeln und umzusetzen. Dazu wurden die Daten aus der Datenbank in ein Format transformiert, das einfach und ohne große Ladezeiten von einer Website verarbeitet werden kann. Die entwickelte Webapplikation wurde anschließend auf einen Fraunhofer ISE Server überführt und von da aus gehostet.

AP 2.5: Testen und prüfen Tools

Die in AP 2.4 entwickelte Webapplikation wurde bei einem Präsenstermin in Darmstadt vorgestellt und Feedback von den beteiligten Projektpartnern eingeholt, dabei wurde vor allem das Feedback von den Partnern aus der Wirtschaft berücksichtigt. Das gesammelte Feedback wurde zusammen mit dem externen Dienstleister in die Webapplikation integriert (siehe Webapplikation, AP 2.4).

Das veranschlagte Budget war allerdings für die (professionelle) Umsetzung des gesamten Feedbacks zusammen mit dem externen Dienstleister nicht möglich. Daher konnten nicht alle notwendigen Iterationschleifen beendet werden.

AP 3: Potential von Technologien und Prozessen zur Flexibilisierung des Gebäudesektors in den Bereichen GHD und Industrie

Ziel der Untersuchungen in AP 3 des Vorhabens war es, das Flexibilitätspotenzial, welches der Bestand der Nichtwohngebäude dem Stromnetz potenziell zur Verfügung stellen kann, zu quantifizieren. Hierzu wird folgende Definition zugrunde gelegt: die Begriffe „Flexibilitätsleistung“ bzw. „Flexibilitätsenergie“ werden in Analogie zu den Begriffen Regelleistung bzw. Regelenergie, die im Kontext der Stromnetzstabilisierung verwendet werden, folgendermaßen definiert:

- **Positives Flexibilitätspotenzial (pFP):** Flexibilitätsleistung /-energie wird bei **Strommangel im Netz** benötigt, dem durch das Abschalten von Verbrauchern bzw. das Zuschalten von Erzeugern entgegengewirkt werden kann.
- **Negatives Flexibilitätspotenzial (nFP):** Flexibilitätsleistung /-energie wird bei **Stromüberschuss im Netz** benötigt, dem durch das Zuschalten von Verbrauchern bzw. Abschalten von Erzeugern entgegengewirkt werden kann.

Im Gegensatz zu den bekannten Begriffen Regelleistung bzw. Regelenergie¹⁴ beinhalten die hier definierten Begriffe jedoch keine Aussage über die Aktivierungsdauer und die Dauer der Verfügbarkeit der jeweiligen Serviceleistung.

Weiter soll das Potenzial unabhängig von der konkreten Nutzung des Gebäudes betrachtet werden. Folglich werden die internen Prozesse nicht berücksichtigt, sondern lediglich der Energieaufwand für Heizung und Kühlung werden betrachtet. Um als Flexibilitätsoption für das Stromnetz bei gleichzeitiger Einhaltung der Komfortanforderungen im Gebäude in Frage zu kommen, müssen die Erzeuger mit dem Stromnetz gekoppelt sein und über Speichermöglichkeit verfügen. Demnach gehen - jeweils mit einem Pufferspeicher versehen - folgende Technologien in die weitere Betrachtung ein:

- Heizung
 - a. Elektrische Wärmepumpe (WP)
 - b. Blockheizkraftwerk (BHKW)

¹⁴ siehe z.B. die Definitionen von Regelenergie und deren Unterarten (Primär-, Sekundär- und Minutenreserve) unter www.nextkraftwerke.de/wissen/regelenergie

- Kühlung
 - a. Kaltwassersätze (Chiller)

Das grundsätzliche Vorgehen ist in Abbildung 69 visualisiert: Ausgangspunkt ist eine repräsentative Stichprobenerhebung im Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland, welche unter Federführung des Instituts Wohnen und Umwelt im Rahmen des Vorhabens ENOB:dataNWG¹⁵ durchgeführt wurde. Diese lieferte erstmals Daten zur Struktur sowie zu Stand und Dynamik der energetischen Eigenschaften der Gebäudehüllen und der Wärme- und Kälteversorgung. Die Daten wurden in einer Typologie der Nichtwohngebäude zusammengefasst. Auf dieser Basis wurde dann durch das Wuppertal Institut eine Hochrechnung zum NWG-Bestand und dem dann zur Heizung bzw. Kühlung eingesetzten Technologiemix für das Jahr 2045 durchgeführt, so dass die aktuellen Klimaziele der Treibhausgasneutralität in diesem Bereich erfüllt werden. Die so generierten Daten dienen als Eingangsdaten für eine am Fraunhofer ISE entwickelte zeitreihenbasierte Methodik zur Flexibilitätsbewertung. Im Ergebnis stehen Flexibilitätspotenziale aufgeschlüsselt nach Gebäudekategorie und Technologie für das Ausgangsjahr 2015 sowie 2045 zur bereit. Nachfolgend sind die einzelnen Schritte ausführlicher beschrieben, detailliert ist das Vorgehen im Anhang in Abbildung 88 dargestellt.

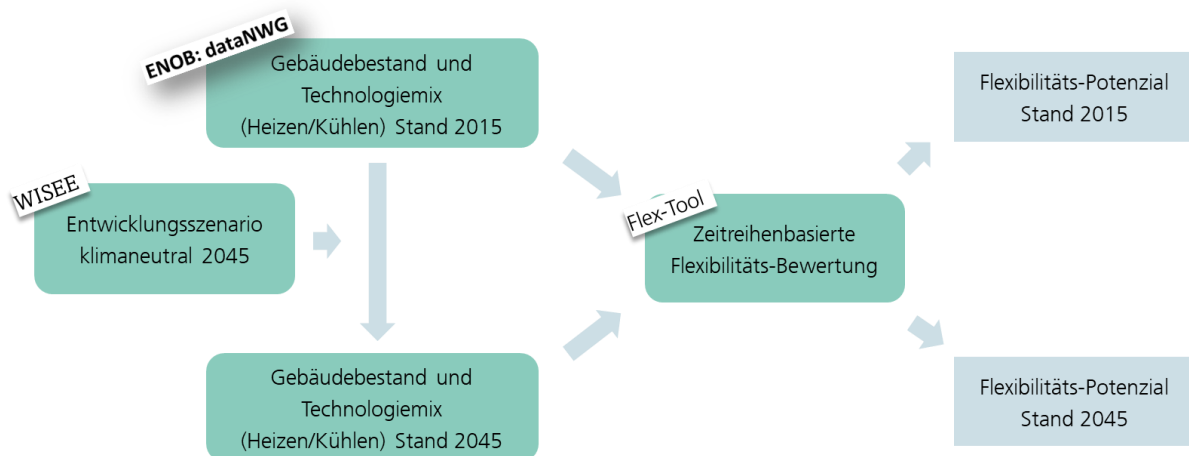


Abbildung 69 Methodik zur Flexibilitätsbewertung

Modell des Bestands der Nichtwohngebäude und Technologiemix im Jahr 2015 (ENOB:dataNWG)

Gebäudetypologien sind eine bewährte Form, den Status eines Gebäudebestands kompakt zu beschreiben. Darüber hinaus sind sie eine flexible Option der Datenaggregation für Gebäudebestandsmodelle, weil sie verschiedene Datenquellen einbeziehen können. Wir unterscheiden zwei Arten von Gebäudetypen:

- Reale Beispielgebäude, die meist in der Energieberatung genutzt werden und
- Synthetische mittlere Gebäude für Modelle des Gebäudebestands.

Die Gebäudetypen, die aus den Daten von ENOB:dataNWG abgeleitet wurden, sind synthetische mittlere Gebäude. Ihre Merkmalsausprägungen sind erwartungstreue Stichprobenmittelwerte aus einer repräsentativen Stichprobenerhebung im Zeitraum 2018 bis Mitte 2019. Aus dem Stichprobenansatz resultiert eine Unsicherheit, die durch die Stichprobenvarianz bestimmt werden kann.

¹⁵ ENOB:dataNWG : Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude - Primärdatenerhebung zur Erfassung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland, Forschungsprojekt im 6. Energieforschungsprogramm des BMWi, Förderkennzeichen 03ET1315 (www.datanwg.de)

Die Gesamtheit der Gebäudetypen mit ihren jeweiligen Merkmalen und Häufigkeiten dient im Projekt FlexGeber als Modell für den Bestand der GEG-relevanten¹⁶ Nichtwohngebäude in Deutschland im Jahr 2015. Die Dynamik der energetischen Modernisierung wird in jährlichen Modernisierungsraten abgebildet. Ebenso wurden aus ENOB:dataNWG Daten zum Mix der relevanten Wärme- und Kälteerzeuger, wie elektrische Wärmepumpen, BHKWs und Kompressionskältemaschinen, abgeleitet.

Die Typologie stellt 33 Gebäudetypen bereit, differenziert nach 11 Gebäudekategorien und 3 Baualtersklassen mit den jeweiligen absoluten Häufigkeiten der GEG-relevanten Nichtwohngebäude von Gebäudetyp i , die als erwartungstreue Summenschatzer $\hat{N}_{GEG,i} \pm \hat{\sigma}(\hat{N}_{GEG,i})$ inklusive des Standardfehlers aus der Stichprobe hochgerechnet wurden (siehe Tabelle 10). Insgesamt wurden $1,981 \pm 0,152$ Mio. GEG-relevante NWG ermittelt, davon etwa ein Drittel Produktionsgebäude, ein Sechstel Büro u.ä., ein Achtel Beherbergung und Verpflegung.

Tabelle 10 Struktur der Typologie der Nichtwohngebäude, differenziert nach 11 Gebäudekategorien und 3 Baualtersklassen (BAK), am Beispiel des Merkmals absolute Häufigkeit

Gebäudetyp i Absolute Häufigkeit $\hat{N}_{GEG,i} \pm \hat{\sigma}(\hat{N}_{GEG,i})$ und Fallzahlen $\langle n_i \rangle$ (ENOB:dataNWG Schätzung 1.3.13)	Altbau (BAK-A) (vor 1978) [Tsd.]	Zwischenbau (BAK-B) (1979 - 2009) [Tsd.]	Neubau (BAK-C) (nach 2010) [Tsd.]	Gesamt [Tsd.]
I. Dienstleistungsgebäude	751 ± 84 <2.522>	426 ± 63 <1.269>	(45 ± 47) <149>	1.222 ± 115 <3.940>
1. Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude	190 ± 31 <632>	106 ± 27 <351>	(11 ± 6) <31>	307 ± 45 <1.014>
2. Gebäude für Forschung und Hochschullehre	(12 ± 7) <63>	(8 ± 4) <51>	(3 ± 2) <16>	23 ± 9 <130>
3. Gebäude für Gesundheit und Pflege	24 ± 8 <110>	33 ± 12 <70>	(5 ± 3) <13>	63 ± 15 <193>
4. Schule, Kindertagesstätte und sonstiges Betreuungsgebäude	87 ± 12 <806>	58 ± 27 <290>	(9 ± 6) <33>	154 ± 31 <1.129>
5. Gebäude für Kultur und Freizeit	92 ± 18 <349>	41 ± 19 <132>	(8 ± 6) <20>	141 ± 28 <501>
6. Sportgebäude	51 ± 14 <231>	22 ± 6 <134>	(4 ± 4) <11>	78 ± 17 <376>
7. Beherbergungs- oder Unterbringungsgebäude, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude	202 ± 51 <227>	67 ± 32 <115>	(2 ± 1) <11>	270 ± 58 <353>
9. Handelsgebäude	93 ± 25 <104>	90 ± 26 <126>	3 ± 1 <14>	187 ± 39 <244>
II. Produktions- und Technikgebäude	395 ± 66 <542>	331 ± 54 <555>	32 ± 11 <66>	758 ± 88 <1.163>
8. Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude	365 ± 66 <501>	271 ± 46 <521>	30 ± 11 <64>	666 ± 82 <1.086>
10. Technikgebäude (Ver- und Entsorgung)	17 ± 7 <26>	53 ± 25 <25>	(0) <1>	70 ± 26 <52>
11. Verkehrsgebäude	(13 ± 7) <15>	(7 ± 6) <9>	(1 ± 1) <1>	22 ± 9 <25>
Gesamt	1.146 ± 110 <3.064>	757 ± 87 <1.824>	77 ± 16 <215>	1.981 ± 152 <5.107>
Angabe in Klammern ($y \pm \Delta y$) bedeutet, dass der Standardfehler $\geq 50\%$ oder die Fallzahl $n_i \leq 5$ ist.				

¹⁶ Als GEG-relevante NWG sind Gebäude bezeichnet, die nach Auswertung der Angaben der Befragten in der Stichprobenerhebung uneingeschränkt in den Anwendungsbereich des § 2 Abs. 1 GEG fallen.

Jeder Gebäudetyp ist durch einen Satz von Modelleingangsmerkmalen beschrieben, die neben der jeweiligen Häufigkeit des Typs als Variablen ein vereinfachtes Energiebilanzmodell beschreiben können, wie z.B. der U-Wert der Außenwand von Gebäudetyp i , $U_{AW,i}$ und die zugehörige Bauteilfläche. Diese Merkmale liegen als Stichprobenmittelwerte vor. Sie beruhen auf sogenannten Monitoringmerkmalen, die in der Erhebung direkt erfragt wurden, z.B. die Dämmstärke bei nachträglicher Dämmung, d_{nd} , und auf baualters-typischen Pauschalwerten aus der Fachliteratur¹⁷, z.B. den U-Werten von Bauteilen zum Zeitpunkt der Errichtung, $U_{AW,0}$. Absolute Werte der verschiedenen Teilwärmeverluste und –gewinne können als Produkt der jeweiligen Modelleingangsmerkmale und der absoluten Häufigkeiten bestimmt werden.

Auch der Technologiemitx der Wärme- und Kälteerzeuger im Erhebungszeitraum wird abgebildet. Etwa 8,5 % der GEG-relevanten Nichtwohngebäude haben zentrale Kälteanlagen, davon sind über 90 % elektrisch betriebene Kompressionskältemaschinen. In nur 2,4 % der GEG-relevanten Nichtwohngebäude sind elektrische Wärmepumpen, in 2,6 % BHKW als Hauptwärmerezeuger installiert.

Hochrechnung zum NWG-Bestand und Technologiemitx 2045 (WISEE)

Mit Hilfe des EDV-gestützten Systems „HEAT“ (**H**ousehold **E**nergy and **A**ppliances **m**odelling **T**ool) wurden die für typisierte Anwendungen ermittelten Flexibilitätspotenziale auf den gesamten Nichtwohngebäudebestand der Jahre 2015 und 2045 hochgerechnet. HEAT ist eine Software-Entwicklung des Wuppertal Institutes und dient der Projektion, der Emissionsbilanzierung bzw. dem Monitoring im Wohngebäudesektor. Das EDV-Tool enthält neben einer differenzierten Haushaltsgeräteseite zur Ermittlung des Strombedarfes auf der Wärmeseite eine bauteilspezifische Modellierung des Gebäudebestands. Diese unterteilt nach 64 Gebäude-Grundtypen und berücksichtigt, neben Einsparmaßnahmen im Heizungs- und Warmwasserbereich, allein auf der Nutzenergieseite bis zu 400 gebäudeseitige Einsparmaßnahmen, die detailliert in Bezug auf ihre energetischen Auswirkungen, ihren Materialeinsatz sowie ihre Kosten modelliert werden. Die im HEAT-Modell durchgeführten Klima- und Energieanalysen—sowie bei Bedarf auch zusätzlich Ressourcenbetrachtungen (z.B. für Bilanzierung von Bau- und Dämmstoffen)—können auch als Teil einer erweiterten gesamtheitlichen Szenarienanalyse, z.B. im WI-eigenen Systemmodell WISEE verwendet werden.

Im Rahmen des FlexGeber-Projektes wurde das ursprünglich für den Wohngebäudesektor (WG) bottom-up konzipierte HEAT-Modell bezüglich der Gebäudetypologie mit Hilfe der vom IWU ermittelten Forschungsdatenbank ENOB:dataNWG auf den Nichtwohngebäudesektor (NWG, ebenfalls bottom-up) erweitert. Die bisherige vereinfachte Top-Down-Bilanzierung des Raumwärmebedarfes für NWG im Sektor GHD (Gewerbe, Dienstleistung, Handel) über sog. Betriebskennzahlen wie Beschäftigte, Quadratmeter Handelsfläche oder Bruttosozialprodukt kann dadurch zukünftig erheblich differenzierter und näher an der Realität abgebildet werden.

¹⁷ Loga, Tobias; Großklos, Marc; Müller, André; Swiderek, Stefan; Behem, Guillaume (2021). MOBASY Realbilanzierung: Verbrauch, Bedarf und Vergleich. Darmstadt: IWU.

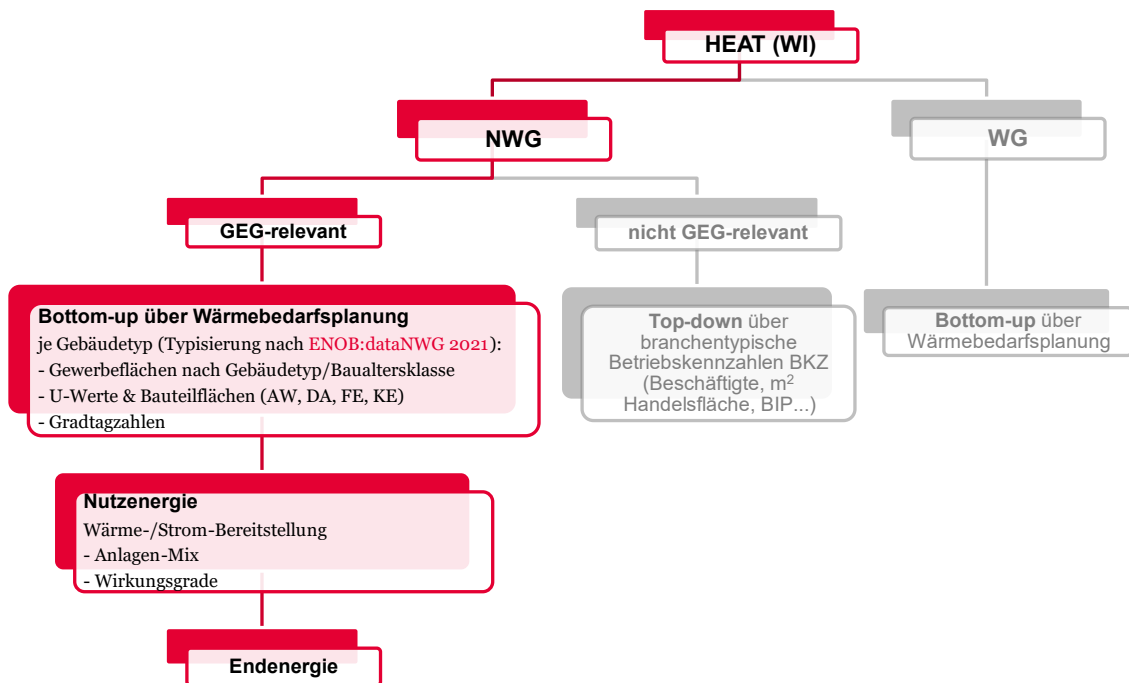


Abbildung 70 Bottom-up-Erweiterung des WI-Bilanzierungsmodells HEAT für den Bereich Nichtwohngebäude durch Einbindung der ENOB:dataNWG-Daten des IWU

In Abstimmung mit dem ISE und dem IWU wurden für die FlexGeber-Szenarien (Bestandsentwicklung GHD bis 2045) folgende relevante Parameter festgelegt:

- Gebäudebestand, Neubau und Abrissraten
- Demographische Parameter für die Triggerung der Energiebilanz und der Bevölkerungs- sowie Gebädeflächenentwicklung
- Sanierungsraten und Sanierungstiefen
- Anteile verschiedener Heizungs- bzw. Kühltechnologien und Einsatz verschiedener Energieträger, d.h. Entwicklung der Wirkungsgrade/Heizungsmix (Erneuerungs-Zyklen, Alter der Heizungsanlagen / Möglichkeiten zur Nutzung von regenerativen Energien auf Dachflächen).

Dabei wurden auch Erkenntnisse der—relativ stark aggregierten—NWG-Typologie aus dem Projekt „Klimaneutraler Gebäudebestand 2050 (KlineG)¹⁸ berücksichtigt. Die Ergebnisse (Gebäudemerkmale wie Flächen, U-Werte, etc.) aus der Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude (ENOB:dataNWG), deren Gebäudetypologie den NWG-Bestand in 11 Gruppen unterteilt, wurden in das HEAT-Modell integriert und somit ein eigenes neues NWG-Modul entwickelt.

Für die Modellierung durch das ISE wurden noch eine Aufteilung in Gebäudezonen (gemäß der im Vorhaben TEK2Go des IWU) vorgenommen und Lastprofile für den deutschen Referenzstandort Potsdam generiert. Dabei wurden zwei Wetterdatensätze verwendet: die Testreferenzjahre für 2015 und 2045 des DWD, um den Einfluss des sich verändernden Klimas zu berücksichtigen.

Klimaneutral-Szenario 2045

Nachfolgend werden die wichtigsten Parameter des für die Hochrechnung in das Jahr 2045 angewandten Klimaneutral-Szenarios dargestellt. Abbildung 71 zeigt die Verschiebung der Anteile der Baualterklassen (BAK), die sich durch die angenommene Neubautätigkeit und energetische Sanierung ergibt.

¹⁸ Siehe Bericht des BMVBS (Deilmann & et. al., 2013)

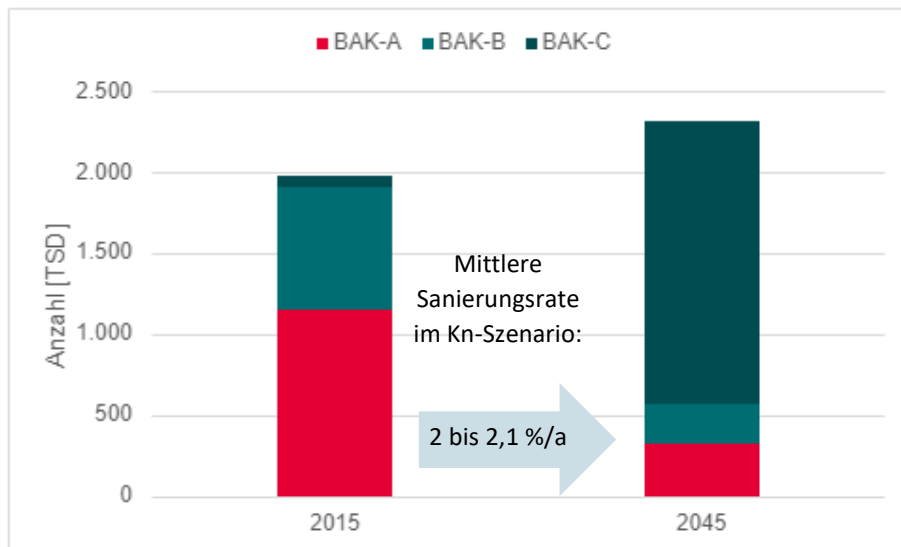


Abbildung 71 Verschiebung der Anteile der Baualterklassen (BAK) im Klimaneutral-Szenario durch Neubautätigkeit und energetische Sanierung (BAK-A: bis 1978 / BAK-B: 1979 bis 2009 / BAK-C: ab 2010)

Die Differenzierung der *Baualterklassen* nach Gebäudetypologie und deren Veränderung zwischen 2015 und 2045 ist in Tabelle 11 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die spezifischen Nutzenergiebedarfe der jeweiligen BAK zeitunabhängig sind, lediglich die Verteilung der Gebäude auf die Klassen ändert sich im Zeitverlauf.

Tabelle 11 Entwicklung der Baualterklassen nach Gebäude-Hauptfunktion (Klimaneutral-Szenario)¹⁹

Typologie (Gebäude-Hauptfunktion)	Spez. Nutzenergiebedarf (RW) [kWh/m ² a]			Anzahl in 2015 [TSD]				Anzahl in 2045 [TSD]			
	BAK-A	BAK-B	BAK-C	BAK-A	BAK-B	BAK-C	Summe	BAK-A	BAK-B	BAK-C	Summe
1) Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude	92,9	49,0	39,8	190	106	11	307	49	34	342	425
2) Gebäude für Forschung und Hochschullehre	123,9	78,3	74,3	12	8	3	23	4	3	26	33
3) Gebäude für Gesundheit und Pflege	104,6	65,4	50,4	24	33	5	63	5	10	46	60
4) Schule, Kindertagesstätte und sonstiges Betreuungsgebäude	120,5	99,8	71,4	87	58	9	154	26	18	202	246
5) Gebäude für Kultur und Freizeit	150,2	108,4	75,9	92	41	8	141	29	13	143	185
6) Sportgebäude	125,6	88,7	80,9	51	22	4	78	19	8	100	127
7) Beherbergungs- oder Unterbringungsgebäude, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude	151,0	113,9	72,5	202	67	2	270	54	24	52	129
8) Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder	129,2	80,3	60,7	365	271	30	666	104	80	569	753
9) Handelsgebäude	35,2	5,1	0,4	93	90	3	187	27	31	146	204
10) Technikgebäude (Ver- und Entsorgung)	89,7	16,7	5,7	17	53	0	70	5	19	70	94
11) Verkehrsgebäude	99,3	86,2	59,0	13	7	1	22	5	3	50	57
Summe Gebäude:				1.146	757	77	1.981	325	243	1.745	2.313

In dem Szenario wird für die NWG bis 2045 ein Flächenzuwachs gemäß Branchenwirtschaftsentwicklung von 13 % sowie das Anwachsen der mittleren *energetischen Sanierungsrate* von unter 1 % pro Jahr auf rund 2 % pro Jahr angenommen. Die *Sanierungseffizienz* wird in dem Szenario über Sanierungsklassen gemäß Tabelle 12 definiert.

¹⁹ Struktur der Gebäude: IWU 2020 / Spezifische Energiebedarfe: ISE 2021 / Modellierung 2045: WI 2022

Tabelle 12 Annahmen zu Sanierungsraten und Sanierungseffizienz im Klimaneutral-Szenario

	IST	Klimaneutral (Kn)		
	2015	2030	2045	2050
Gewerbeflächen-Bedarf [1.000 m² BGF] ⁽¹⁾	3.503.446	-	3.960.469	-
- darunter Neubau (ab 2015)	0%	-	15,4%	-
Mittlere jährliche Sanierungsrate [%/a] ⁽²⁾	~ 0,7 bis 0,9 %	~ 2,0 bis 2,1 %		
Sanierungs-Effizienz:				
Verteilung auf Sanierungsklassen SK [%] ⁽³⁾	2015	2030	2045	2050
SK 1: 3% unter spez. BAK-Wert	64%	0%	0%	0%
SK 2: 18% unter spez. BAK-Wert	35%	0%	0%	0%
SK 3: 40% unter spez. BAK-Wert	1%	80%	47%	33%
SK 4: 15 kWh/m² absolut	0%	20%	53%	67%

Hinweise:

- 1) Flächenentwicklung aus Branchenwirtschaftsentwicklung (plus 13 % bis 2045)
- 2) im Szenario gemittelt im Zeitraum 2015 und 2045
- 3) Prozentwerte bezogen auf die jeweiligen spez. Nutzenergiewerte der BAK-Klassen A, B und C (vom ISE)

Als weiterer wichtiger Parameter geht der *Heizungsanlagenmix* in die Szenarioberechnung ein. Hier werden nur die stromrelevanten Technologien Wärmepumpe, BHKW und Chiller berücksichtigt. Da die Wärmepumpe eine zentrale Klimaschutztechnologie darstellt, ergibt sich der in Abbildung 72 zu erkennende sehr starke Zuwachs der Wärmepumpenanteile (Faktor 20,4). Dahingegen fällt der Zuwachs beim Chiller (Faktor 3) und BHKW (10 %) deutlich geringer aus. Da gleichzeitig durch Effizienzgewinne (Gebäudehülle und Umwandlungsverluste) der Endenergieverbrauch stark sinkt, nimmt der Endenergiebedarf der Wärmepumpe nur um den Faktor 5,2 zu, während der Endenergiebedarf von BHKW und Chiller – trotz relativem Ausbau – um 70 bzw. 20 % sinkt.

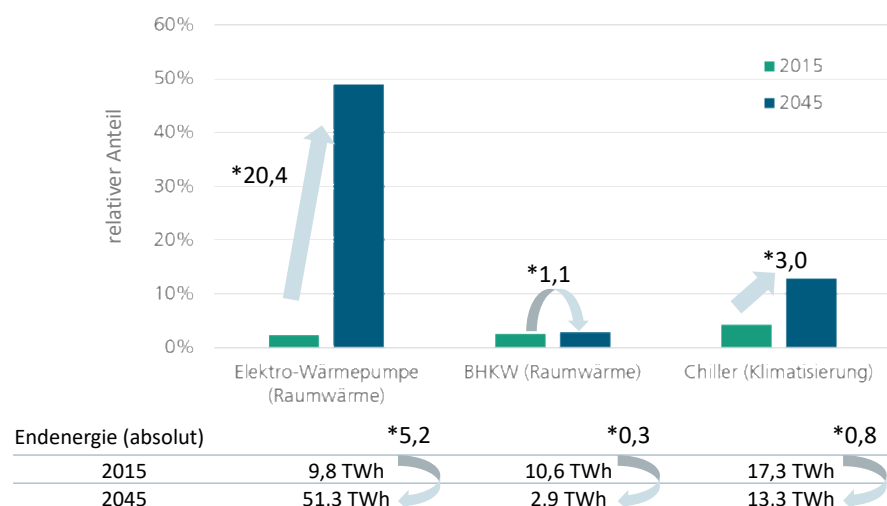


Abbildung 72 Veränderung der Anteile der Flex-Technologien am Technologiemitx und Veränderung der kumulierten Endenergiebedarfe im Klimaneutral-Szenario

Ermittlung des Flexibilitätspotenzials (Flex-Tool)

Das Flexibilitätspotenzial wird einzeln für jede Gebäudekategorie und jede Baualtersklasse bestimmt. Das Vorgehen besteht aus vier Schritten:

1. Erstellung von Lastprofilen

Für jede Gebäudekategorie und Baualtersklasse wurde ein stündliches Profil der Heiz- und Kühllast generiert. Die Profile wurden mit dem im Projekt synGHD²⁰ entwickelten Lastprofilgenerator erzeugt. Dafür wird in einem ersten Schritt die Anwesenheit von Personen und die Auslastung der Geräte für jede Zone eines Gebäudes mittels einer Markovkette simuliert. Die Übergangswahrscheinlichkeiten sind dabei Poisson-verteilt mit vorgegebenem Erwartungswert aus der Schweizer Norm SIA 2024. Aus den so bestimmten Auslastungen wird im zweiten Schritt das elektrische Profil je Nutzungszone berechnet. Die Anwesenheit von Personen geht über die Nutzung des Lichtes ein, welche nicht-linear von der Personenanzahl und der Globalstrahlung abhängt, sowie über die Lüftungsanlage, falls diese eine belegungsabhängige Regelung hat. Die Regelung der Lüftungsanlage ist je Nutzungszone in der SIA 2024 Norm bestimmt. Die Auslastung der Geräte wird direkt mit dem vorgegebenen Verbrauchswert aus der SIA 2024 Norm multipliziert. Schließlich wird das thermische Lastprofil nach dem vereinfachten Stundenverfahren aus der DIN EN ISO 13790 Norm berechnet. Dafür werden alle relevanten thermischen Flüsse in dem Modell berechnet und sobald die Innenlufttemperatur die Grenzwerte für Heizen oder Kühlen unter- bzw. überschreitet, wird die Differenz als Heizbedarf oder Kühlbedarf ausgegeben. In die internen Gewinne fließen dabei das elektrische Profil und die Anwesenheit von Personen ein.

Als Klimadaten wird dabei das Testreferenzjahr²¹ des Deutschen Wetterdiensts für 2015 bzw. 2045 für den deutschen Referenzstandort Potsdam berücksichtigt.

2. Dimensionierung der Versorgungssysteme

Anhand des Heiz- bzw. Kühllastprofils kann dann für jeden Anwendungsfall ein passendes Versorgungssystem ausgelegt werden. Das Vorgehen hierfür unterscheidet sich je nach Technologie.

Wärmepumpe (WP):

Standardmäßig wird Luft als Wärmequelle für die Wärmepumpe angesetzt. Die Anlage wird auf einen Bivalenzpunkt von - 5 °C ausgelegt (ideal dimensioniert, d.h. stufenlos skalierbare Leistung). D.h. über dieser Außentemperatur kann die Wärmepumpe den Heizwärmebedarf vollständig decken, darunter unterstützt bei Bedarf ein Heizstab. Der Pufferspeicher wird so dimensioniert, dass er eine Mindestlaufzeit von 20 Minuten bei einer Temperaturspreizung von 5 Kelvin sicherstellt.

Blockheizkraftwerk (BHKW):

Die Heizleistung des BHKW wird analog zur Wärmepumpe dimensioniert. Gegenüber der aktuell üblichen Dimensionierung hat das tendenziell eine größere Dimensionierung zur Folge, welche dem Ziel, dem Stromnetz Flexibilität zur Verfügung zu stellen, förderlich ist. Der Speicher wird so dimensioniert, dass er 60 Minuten Mindestlaufzeit bei einer Spreizung von 10 Kelvin sicherstellt.

Kaltwassersatz (Chiller):

Standardmäßig werden luftgekühlte Kaltwassersätze zur Kühlung vorausgesetzt. Die Anlage wird auf die maximale Kühllast ausgelegt (ideal dimensioniert, d.h. stufenlos skalierbare Leistung). Der Pufferspeicher wird so dimensioniert, dass er eine Mindestlaufzeit von 20 Minuten bei einer Temperaturspreizung von 5 Kelvin sicherstellt.

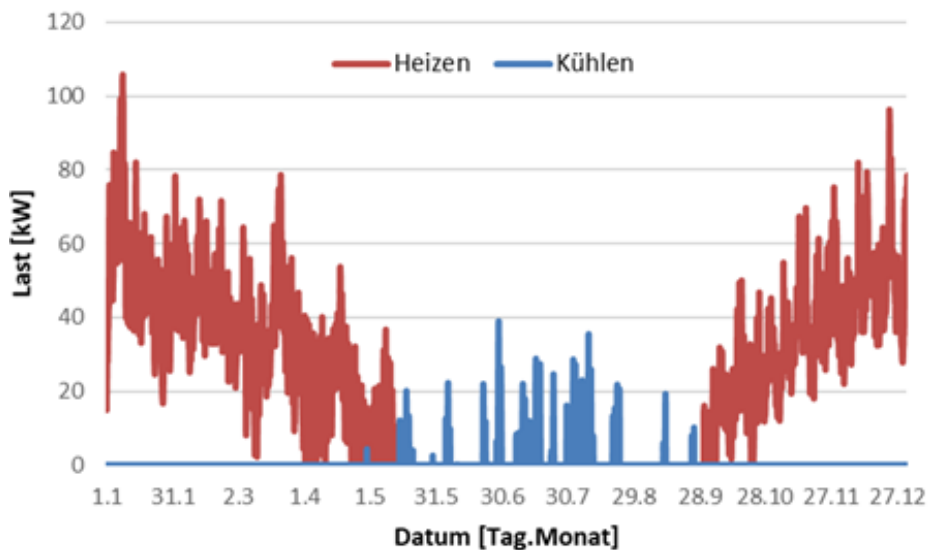
3. Jahressimulation des Standardbetriebs

Im nächsten Schritt wird für jedes Lastprofil mit jeder Erzeugertechnologie eine Jahressimulation durchgeführt. Dadurch werden für jede Technologie über das Jahr gemittelte Kennzahlen wie bspw. die

²⁰ <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/synghd.html>

²¹ <https://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/testreferenzjahre.html?nn=507312>

Jahresarbeitszahl ermittelt. Daneben wird auch ein typisches Betriebsprofil der Erzeuger generiert, welches die Grundlage für die nachfolgende Ermittlung des Flexibilitätpotenzials darstellt.



**Abbildung 73 Exemplarischer Verlauf der Heiz- und Kühllasten im angesetzten Verwaltungsgebäude der mittleren Bau-
altersklasse am Referenzstandort Potsdam**

Für die Jahressimulationen wurde ein vereinfachtes Rechenwerkzeug in Python aufgesetzt. Dabei wird jede Kernkomponente (Erzeugertechnologien, Speicher) durch ein vereinfachtes Modell abgebildet und das System so betrieben, dass die aus den Jahresprofilen eingelesenen stündlichen Lasten gedeckt werden. Diese Simulationen werden in einer Schrittweite von 15 Minuten durchgeführt. Als Klimadaten werden wiederum die o.g. Testreferenzjahre für den Standort Potsdam übernommen.

Alle Speicher werden mit fünf Temperaturknoten abgebildet und mit den in IEA SHC Task 32 entwickelten volumenabhängigen Parametern, die die thermischen Verluste bestimmen, simuliert²².

Die Wärmepumpen werden mit der in Abbildung 74 dargestellten Kennlinie in der Simulation abgebildet.

²² The Reference Heating System, the Template Solar System of Task 32 - A Report of IEA Solar Heating and Cooling programme - Task 32 "Advanced storage concepts for solar and low energy buildings", May 2007, abgerufen am 27.07.2022 von https://task32.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/task32-Reference_Heating_System.pdf

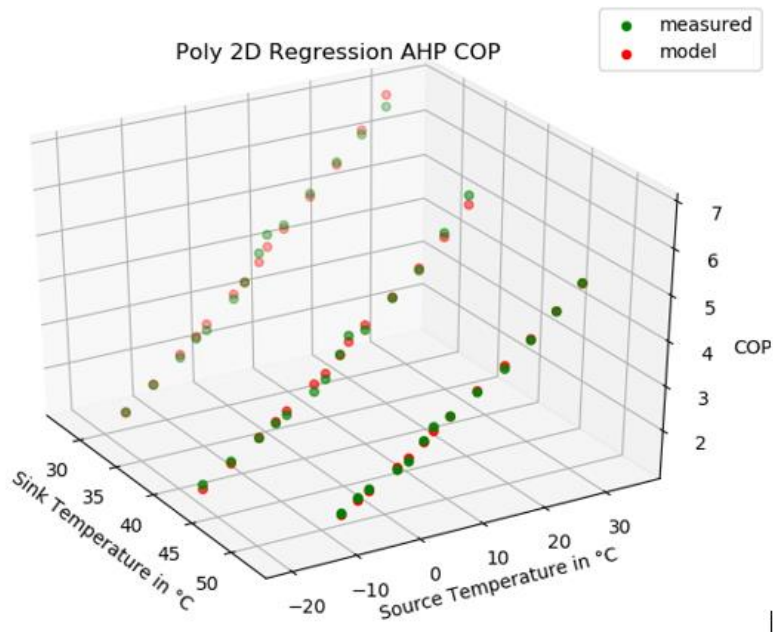


Abbildung 74 Vergleich der zugrunde gelegten Kennlinie für den Wärmepumpen-COP mit gemessenen Daten

Der angesetzte elektrische Wirkungsgrad des BHKW ist abhängig von dessen Heizleistung; der entsprechende Zusammenhang wurde abgeleitet aus Informationen der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.²³ Der thermische Wirkungsgrad wird als konstanter Wert von 57 % angenommen. Das temperaturabhängige Verhalten der Kaltwassersätze wird mit einer aus Messdaten abgeleiteten Gleichung beschrieben²⁴.

4. Bestimmung des Flexibilitätspotenzial gegenüber dem Standardbetrieb

Die Funktionsweise des Algorithmus zur Bestimmung des Flexibilitätspotenzials wird zunächst exemplarisch und vereinfacht beschrieben. Im Beispiel wird die Heizlast durch eine Wärmepumpe mit einer angenommenen temperaturunabhängigen Heizleistung von 36 kW und einem konstanten COP von 3 versorgt. Entkoppelt sind Erzeuger und Last durch einen Speicher mit 12 kWh Kapazität (bspw. ~ 2 m³ Wasser mit 5 K Spreizung). Für eine Heizlast, die primär nachts vorliegt – z.B. durch höhere Außentemperaturen und Einstrahlung tagsüber – ist das Betriebsprofil der Wärmepumpe sowie der Speicherladezustand in Abbildung 75 dargestellt.

²³ Wirkungsgrade von BHKW mit unterschiedlichen Leistungen, 2015, abgerufen am 27.07.2022 von https://www.asue.de/block-heizkraftwerke/grafiken/wirkungsgrade_von_bhkw_mit_unterschiedlichen_leistungen

²⁴ Evaluierung der Chancen und Grenzen von solarer Kühlung im Vergleich zu Referenztechnologien : EvaSolK ; Schlussbericht - öffentlicher Teil, 2012, abgerufen am 27.07.2022 von https://www.tib.eu/en/search?tx_tibsearch_search%5Baction%5D=download&tx_tibsearch_search%5Bcontroller%5D=Download&tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIB-KAT%3A782734855&cHash=d00c2077f70b4fc20c58a1fc27108bd7#download-mark

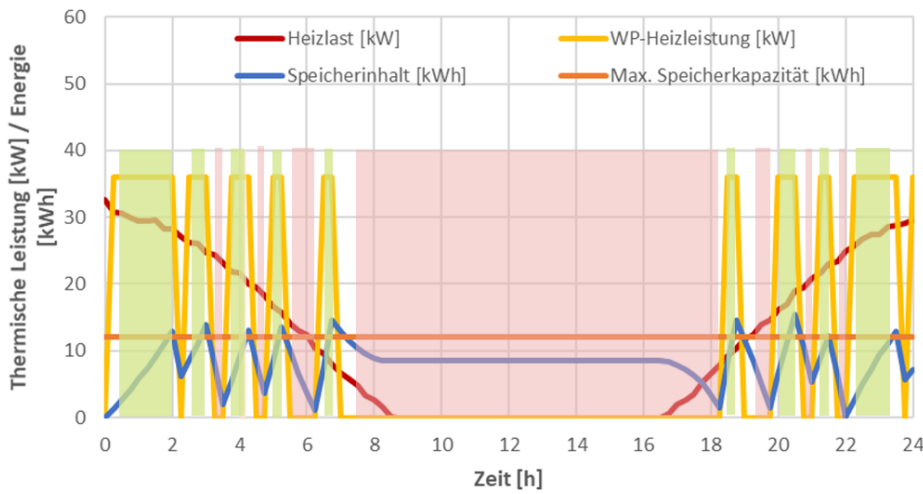


Abbildung 75 Betriebsprofil eines Wärmepumpensystems an einem Beispieltag

Da die Heizlast unter der Heizleistung der Wärmepumpe liegt, arbeitet diese taktend. Der Speicher deckt den Bedarf während der Betriebspausen der Wärmepumpe. Zeiträume, zu denen Flexibilitätspotenzial bereitgestellt werden kann, werden im Verhältnis zu diesem Betriebsprofil identifiziert: Negatives Flexibilitätspotenzial (eine zuschaltbare Last) kann die Wärmepumpe grundsätzlich dann zur Verfügung stellen, wenn a) die Wärmepumpe nicht in Betrieb ist und b) der Speicher noch nicht vollständig beladen ist (rot hinterlegte Zeiträume). Die Wärmepumpe würde dann den Speicher für eine Lastversorgung zu einem späteren Zeitpunkt beladen.

Dagegen bietet die Wärmepumpe positives Flexibilitätspotenzial (eine abschaltbare Last), wenn a) die Wärmepumpe im Ausgangsfall in Betrieb ist und b) der Speicher zumindest teilweise beladen ist (grün hinterlegte Zeiträume). Die Last könnte dann bei ausgeschalteter Wärmepumpe für einen gewissen Zeitraum aus dem Speicher gedeckt werden.

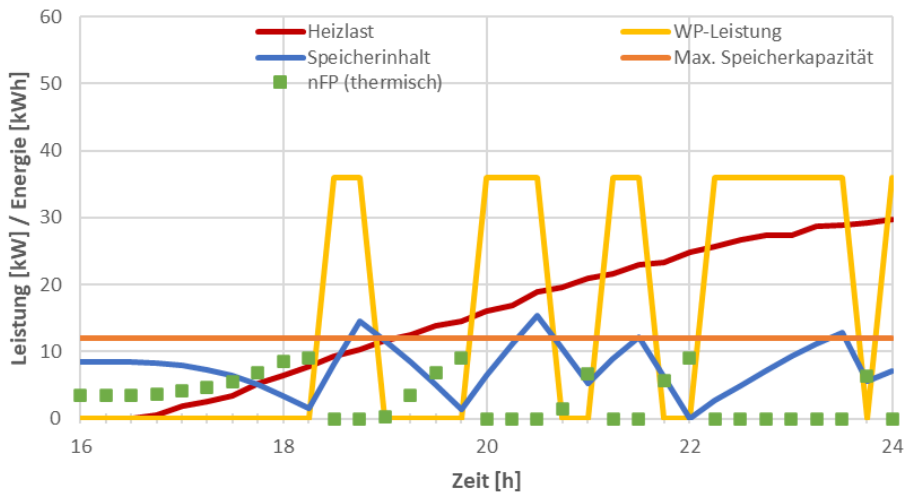


Abbildung 76 Veranschaulichung des pro Zeitschritt verfügbaren (thermischen) negativen Flexibilitätspotenzials (Tagesausschnitt)

Das zu jedem Zeitschritt verfügbare positive Flexibilitätspotenzial (Reduktion der Last für das Stromnetz, zunächst in Form von thermischer Energie) ist mit der gespeicherten Energiemenge gleichzusetzen. Hingegen berechnet sich das negative Flexibilitätspotenzial (zusätzliche Energieaufnahme) aus der Differenz aus maximaler Speicherkapazität und aktuellem Speicherfüllstand (grüne Punkte in Abbildung 76). Um die Werte in Form thermischer Energie in – für das Stromnetz nutzbare – elektrische Energie umzurechnen, müssen sie mit dem COP der Wärmepumpe bei den jeweiligen Randbedingungen umgerechnet werden. Für den Fall von negativem Flexibilitätspotenzial ist dies in Abbildung 77 veranschaulicht. Während der

Nacht-, Morgen- und Abendstunden besteht in den Betriebspausen der Wärmepumpe grundsätzlich die Möglichkeit, sie in Betrieb zu setzen. Die Differenz aus maximaler Speicherkapazität und aktuellem Speicherfüllstand ergibt die jeweilige aufnehmbare thermische Energiemenge. Der konstante Wert um die Tagesmitte ergibt sich daher, dass hier kein Heizbedarf besteht, so dass die Wärmepumpe inaktiv ist und aus dem im Beispiel verlustfrei angenommenen Speicher. Die für den Tag resultierenden Flexibilitätspotenziale sind in der rechten Grafik als Dauerlinie aufgetragen und von thermischer (grün) in elektrische (grau) Energie umgerechnet. Der Mittelwert über den Betrachtungszeitraum – im Beispiel ein Tag, bei der eigentlichen Analyse ein vollständiges Jahr – fließt dann in die globale Flexibilitätswertung ein.

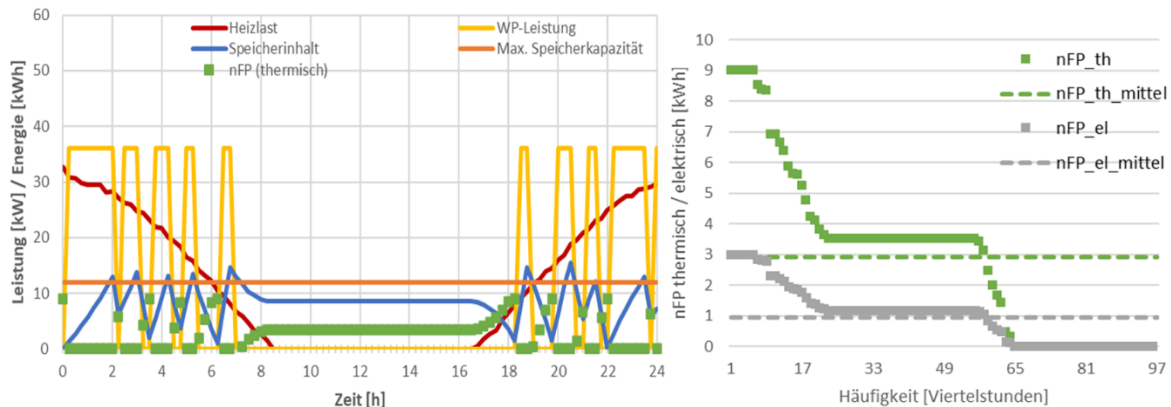


Abbildung 77 Umrechnung von thermischen in elektrische Flexibilitätspotenziale sowie Mittelwertbildung

Das Vorgehen für das positive Flexibilitätspotenzial und die übrigen Erzeugertechnologien ist grundsätzlich analog. Zu beachten ist, dass das BHKW ein Stromerzeuger ist und im Betrieb im Gegensatz zu Wärmepumpe und Kaltwassersatz positives Flexibilitätspotenzial bereitstellt (und umgekehrt). Gegenüber dem hier vereinfacht beschriebenen Vorgehen, beinhaltet der tatsächlich angewandte Berechnungsalgorithmus („Flex-tool“) folgende Unterschiede:

- Die Berechnung erfolgt nicht statisch aus der Basis-Simulation, sondern es wird für jeden Zeitpunkt, zu dem Flexibilitätspotenzial besteht, eine eigene 24 h-Simulation gestartet; somit lassen sich auch Speicherverluste und die temperaturabhängige Effizienz der Erzeuger berücksichtigen
- Die Speicherkapazität im Heizfall wird nicht als konstant angesetzt. Beim netzdienlichen Beladen kann der Speicher um 10 K überhitzt werden; wird der Erzeuger zur Netzunterstützung abgeschaltet und die Last aus dem Speicher gedeckt, kann dieser um 2 K unterkühlt werden.

Ergebnisse der Hochrechnung der Flexibilitätspotenziale für Nichtwohngebäude in Deutschland für die Jahre 2015 und 2045

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Hochrechnung der Flexibilitätspotenziale für den Nichtwohngebäudebestand für die Jahre 2015 und 2045 (im Klimaneutral-Szenario) zusammengefasst. Die Werte sind für die drei betrachteten Technologien Elektro-Wärmepumpe (WP), Blockheizkraftwerk (BHKW) sowie Chiller (zentrale kaltwasserbasierte Kühlsysteme zur Klimatisierung) ausgewiesen. In der Tabelle sind von links nach rechts jeweils für das betrachtete Jahr und für die drei betrachteten Technologien folgende Parameter dargestellt:

- der **Technologieanteil** am gesamten Technologiemitmix in % (bezogen auf den Gesamt-Endenergiebedarf von 407.930 im Jahr 2015 bzw. 104.910 GWh im Jahr 2045)²⁵

²⁵ Dies entspricht einer sehr starken Endenergiereduktion (inkl. Prozesswärme und sonstiger Anwendungen) von 74%, die insbesondere durch die Kombination aus energetischer Sanierung (Gebäudehülle) und hoher Umwandlungseffizienz von Wärmepumpen (im Vergleich zu Gaskesseln) erreicht wird.

- die nachgefragte **Endenergie** in GWh/a Strom (WP, Chiller) bzw. Gas (BHKW)
- der Momentanwert des (über den gesamten Gebäudebestand aggregierten) negativen bzw. positiven **Flexibilitätpotenzials pro Ladezyklus** in GWh für den (theoretischen) Fall eines 100 %-Technologieanteils der jeweiligen Technologie, hochgerechnet aus einem mittleren Potenzial pro Gebäude eines Typs, das theoretisch jederzeit vom Heizsystem (innerhalb der Heizperiode bei der WP bzw. dem BHKW) bzw. vom Kühlsystem (innerhalb der Kühlperiode beim Chiller) zur Verfügung gestellt werden kann²⁶
- der aggregierte Jahreswert des Flexibilitätpotenzials über alle max. theoretisch verfügbaren Lade- bzw. Entladevorgänge des thermischen Speichers eines Jahres in GWh/a
- der **Anteil** dieses theoretischen Jahreswertes für **Flexibilitätpotenzials** bezogen auf die nachgefragte Endenergie in %.

Die Anzahl der **theoretisch maximal möglichen Lade- bzw. Entladezyklen** berechnet sich aus dem Jahresstromverbrauch der Erzeugertechnologien geteilt durch das mittlere Flexibilitätpotenzial.

Tabelle 13 Ergebnisübersicht für die Flexibilisierungspotenziale für negative (nFP) und positive (pFP) Regelenergie in den Jahren 2015 und 2045 (Klimaneutral-Szenario)

		NEGATIVE Flexpotenziale ⁽⁴⁾			POSITIVE Flexpotenziale ⁽⁴⁾				
		Technologie-Mix ^(1/2)	Endenergie-Nachfrage ⁽³⁾	Mittelwert pro Ladevorgang (@100%-Mix) ⁽⁵⁾	Summe über alle max. theoretisch möglichen Ladevorgänge im Jahr (@realer Mix)		Mittelwert pro Ladevorgang (@100%-Mix) ⁽⁵⁾	Summe über alle max. theoretisch möglichen Ladevorgänge im Jahr (@realer Mix)	
		[%]	[GWh]	[GWh]	[GWh/a]	[%-Endenergie]	[GWh]	[GWh]	[%]
2015	Elektro-Wärmepumpe (Raumwärme)	2,4%	9.790	19,0	815	8,3%	3,2	146	1,5%
	BHKW (Raumwärme)	2,6%	10.606	13,8	734	6,9%	85,5	4.299	40,5%
	Chiller (Klimatisierung)	4,3%	17.337	1,5	177	1,0%	0,27	43	0,2%
	SUMME:		37.734		1.727	4,6%		4.488	11,9%
2045	Elektro-Wärmepumpe (Raumwärme)	48,9%	51.289	11,5	7.503	14,6%	1,5	1.027	2,0%
	BHKW (Raumwärme)	2,8%	2.885	6,7	230	8,0%	50,5	1.564	54,2%
	Chiller (Klimatisierung)	12,8%	13.376	2,0	1.006	7,5%	0,59	370	2,8%
	SUMME:		67.550		8.738	12,9%		2.962	4,4%

Quellen/Anmerkungen:

- 1) Daten WP- und BHKW-Anteil 2015 aus ENOB:dataNWG (IWU 2022)
- 2) Chiller: Anteil an zentralen Kälteanlagen mit Kältespeicher (Daten: ISE 2022)
- 3) Endenergiebilanz für Strom (WP, Chiller) bzw. Gas (BHKW) aus WI-WISEE GHD-D für Basisjahr 2015 und Kn-Szenario 2045
- 4) Basisdaten für Hochrechnung aus ISE-FlexTool
- 5) Regelenergie (positiv/negativ) pro Ladezyklus, nach Gebäudetyp (Anzahl der Gebäude)
- 6) Entwicklung der Technik-Verteilung aus Klimaneutral-Szenario Kn (WI-HEAT)

In den folgenden Abbildungen werden als zentrale Ergebnisse die aggregierten Flexibilisierungspotenziale des Jahres 2015 mit denen des Jahres 2045 (im Klimaneutral-Szenario) jeweils nach Technologien (Abbildung 78) bzw. nach Gebäudekategorie (Abbildung 79) geordnet verglichen.

²⁶ Potenzial Deutschland [GWh] = Integral mittleres Potenzial pro Gebäude [kWh] * Anzahl Gebäude der jeweiligen Klassen

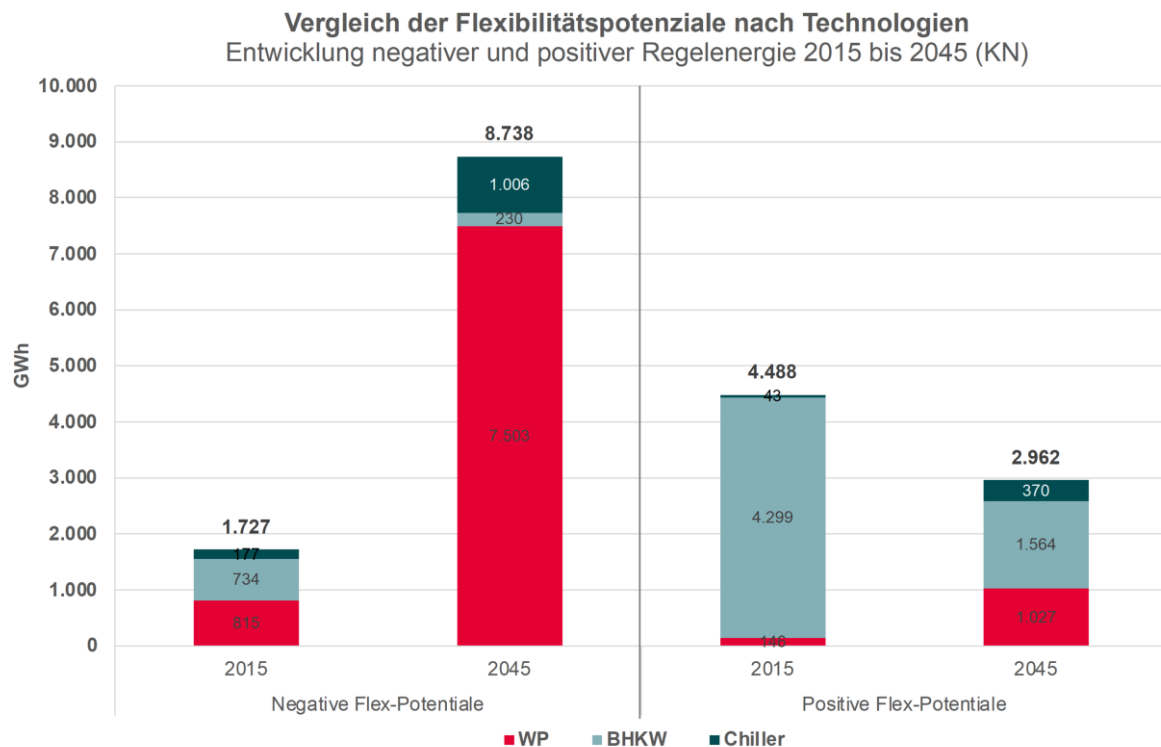


Abbildung 78 Vergleich der Flexibilisierungspotenziale (GWh) für die Jahre 2015 und 2045 nach Technologien

Insgesamt und in absoluten Zahlen steigen die negativen Flexibilisierungspotenziale (nFP) im Zeitverlauf erheblich, nämlich um den Faktor 5,1 während die positiven Flexibilisierungspotenziale (pFP) um 30 % sinken.

Zu erkennen ist, dass die Wärmepumpe in beiden Jahren (2015: 47 % und 2045: 86 %) bei den negativen Flexibilisierungspotenzialen dominiert. Als zentrale Klimaschutztechnologie bei der Erzeugung von Niedertemperaturwärme kann sie durch ihre angenommene sehr starke Wachstumsdynamik im Technologiemix von 2,4 % im Ausgangsjahr auf 48,9 % in 2045 (s. Tabelle 13) bei den positiven Flexibilisierungspotenzialen zwar ihren Anteil von 3 % auf 35 % erhöhen. Dennoch dominieren in beiden Jahren hier die BHKWs mit Anteilen von 96 % (2015) bzw. 53 % (2045).

Offensichtlich können beide Technologien das größte Flexibilitätspotenzial bereitstellen, wenn sie gegenüber dem Basis-Betriebsprofil angeschaltet werden und den Speicher beladen. Grund dafür ist die Annahme, dass der Wärmespeicher in diesem Fall um 10 K Überladen werden kann, was im Falle der Wärmepumpe einer Verdreifung der thermischen Kapazität (unter Inkaufnahme eines reduzierten COP), im Falle des BHKW einer Verdopplung entspricht. Die zulässige Unterkühlung um 2 K im gegenteiligen Fall (wenn der Erzeuger zur Netzunterstützung ausgeschaltet und die Last aus dem Speicher versorgt wird) haben naheliegenderweise einen kleineren Einfluss.

Die Chiller können nur geringfügig, nämlich mit 10 bzw. 12 % (nFP) und 1 bzw. 12 % (pFP) zur Flexibilität beitragen. Dies liegt zum einen an der vergleichsweise geringen Durchdringung des Gebäudebestands. Zum anderen verhindert die Nähe zum Gefrierpunkt, dass die Kapazität durch Unterkühlung nach unten gesteigert werden kann. Aufgrund der geringen Temperaturdifferenzen zum Raum ist auch eine Kapazitätserhöhung durch Überhitzung nicht ohne nennenswerte Komforteinbußen möglich.

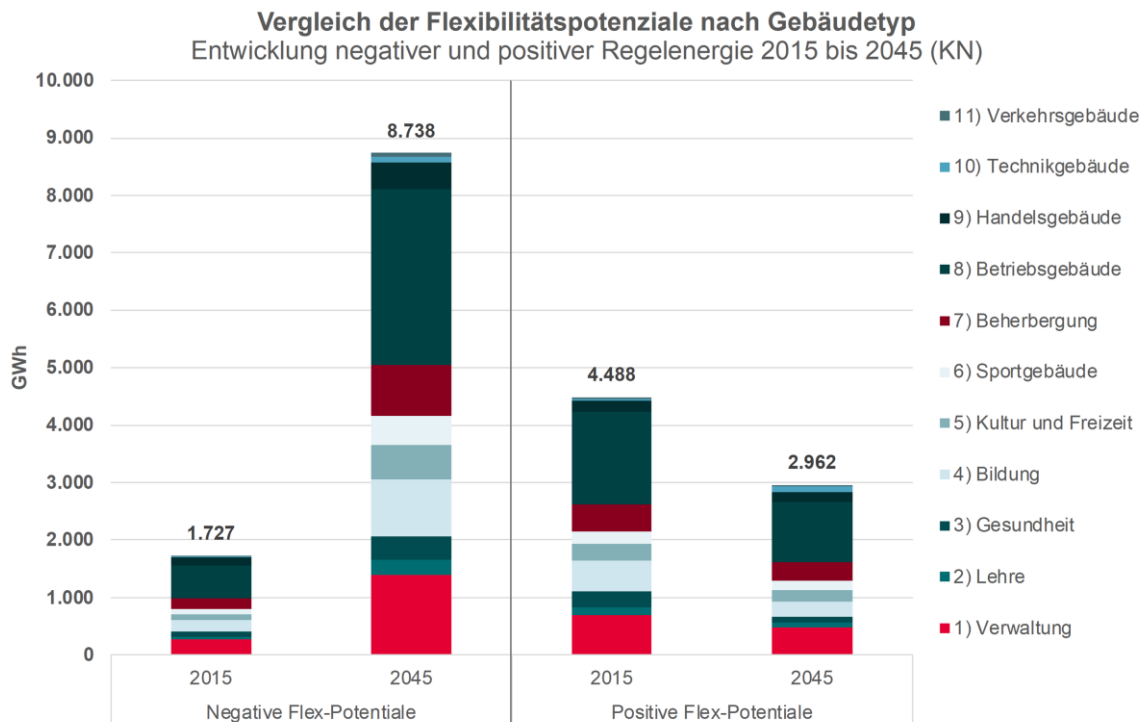


Abbildung 79 Vergleich der Flexibilisierungspotenziale (GWh) für die Jahre 2015 und 2045 nach Gebäudekategorie

Der Beitrag der einzelnen Gebäudekategorien lässt sich direkt auf deren Anzahl und, in geringerem Maße, mittlere Größe zurückführen. Somit zeigt sich die hohe Relevanz von Betriebsgebäuden (nFP: 33 % (2015) und 35 % (2045) / pFP: 36 % (2015) und 38 % (2045) sowie von Verwaltungsgebäuden (nFP: 16 % (2015) und 16 % (2045) / pFP: 15 % (2015) und 15 % (2045)).

Weitere Abbildungen mit den aggregierten negativen (nFP) und positiven (pFP) Flexibilisierungspotenzialen für die Jahre 2015 und 2045 (im Klimaneutral-Szenario) jeweils nach Technologien bzw. nach Gebäudekategorie geordnet, sind im Anhang 3.2. (Seite 117) dargestellt.

Bedeutung des Flexibilitätspotenzials im deutschen Nichtwohngebäudebestand

Die Residuallast ist ein Maß für die Deckung der momentan im Netz nachgefragten elektrischen Leistung durch erneuerbare Energieerzeugung. Die Residuallast P_R ergibt sich aus der Differenz der verbraucherseitig nachgefragten momentanen Leistung P_N und der gleichzeitig angebotenen Leistung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien P_{EE} :

$$P_R = P_N - P_{EE}$$

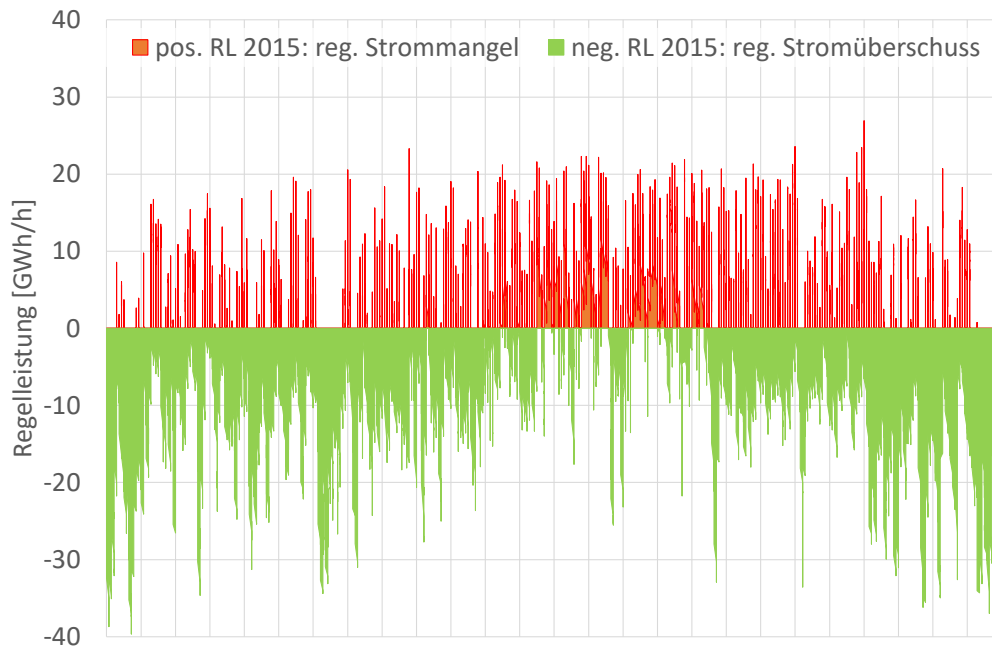


Abbildung 80 Residuallastgang im Jahr 2015 (Quelle: ISE REMod)

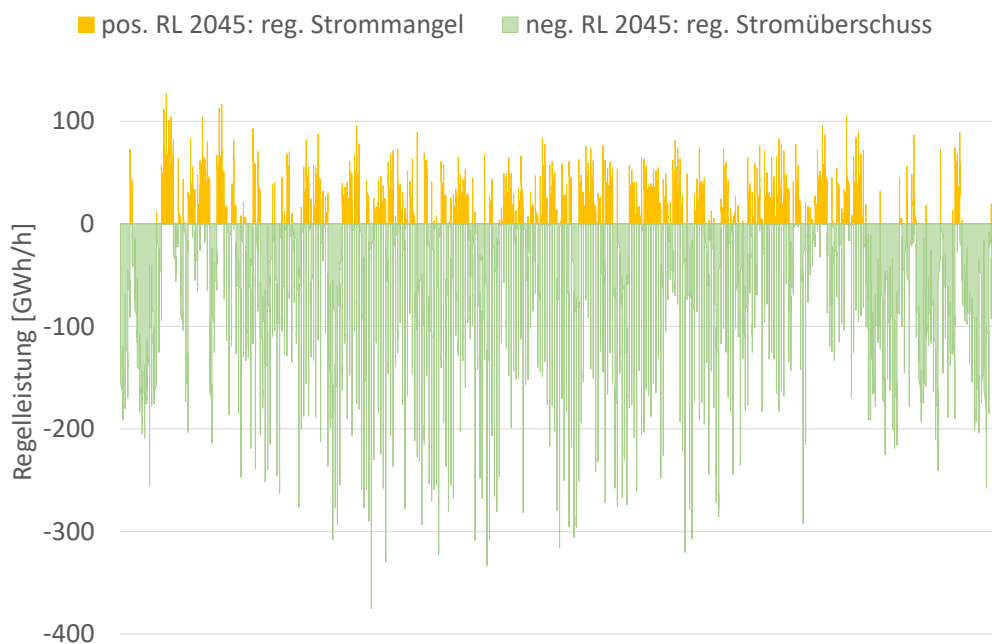


Abbildung 81 Modell des Residuallastgangs im Jahr 2045 (Quelle: ISE REMod)

Im Verhältnis zu der aktuell (Referenzjahr 2015) über das Jahr kumulierten erforderlichen Residualenergie von rund +31 TWh (positive RE) bzw. - 55 TWh (negative RE) könnten die derzeit verbauten stromgebundenen Erzeuger folglich theoretisch mit rund 4,5 TWh pFP 14,5% bzw. mit rund 1,7 TWh nFP 3,1% bereitstellen (vgl. Tabelle 13. Von den im REMod -Referenzszenario für 2045 prognostizierten kumulierten Residualenergiebedarfen von rund +93 TWh (positive RE) bzw. - 580 TWh (negative RE) können mit dem angesetzten Entwicklungsszenario theoretisch mit rund 3,0 TWh pFP 3.2% bzw. mit rund 8,7 TWh pFP 1.5% gedeckt werden. Nicht berücksichtigt ist hier die starke Saisonalität des Flexibilitätspotenzials – so kann im Winter mutmaßlich ein deutlich höherer Anteil gedeckt werden, während die Chiller im Sommer einen geringeren Beitrag leisten können.

Tabelle 14 Vergleich der positiven und negativen Flexibilitätpotenziale mit den entsprechenden Residualenergien

Deckungsgrad	2015	2045
pos. FP/RE	14,5 %	3,2 %
neg. FP/RE	3,1%	1,5 %

Zu beachten ist auch, dass nur der Heiz- und Kühlbedarf im Bestand der GEG-relevanten Nichtwohngebäude in die Szenarien eingeflossen ist. Der Wohngebäudebestand stellt eine Energiebezugsfläche von ähnlicher Größenordnung dar. Ebenso ist davon auszugehen, dass die Warmwasserbereitung ein erhebliches Flexibilitätpotenzial bietet, das zudem geringeren saisonalen Schwankungen unterliegt.

AP 4: Markt- und Betreibermodelle für unterschiedliche Akteure zur Steuerung und Regelung der flexiblen Interaktion von Gebäuden der Sektoren GHD und Industrie mit dem Energiesystem

AP 4.1: Datenrecherche zu Marktdaten, energiewirtschaftliche Daten & Maßnahmen

Als Grundstein für die modellbasierte Optimierung der verschiedenen Energiesysteme innerhalb von AP 4, erfolgte zunächst eine ausführliche Datenrecherche. Die Recherche umfasste geeignete Technologien für die Industrie und GHD als auch Gebäude. Für die Prognose von zukünftigen, flexiblen Strommarktpreisen, wurden Zeitreihen auf Grundlage der EEX Preisfluktuation und Netzengpässen entwickelt. Die recherchierten bzw. erzeugten Daten wurden aufbereitet und in eine Datenbank integriert, die für die Energiesystemoptimierung verwendet werden konnte. Auf Grundlage der recherchierten Daten wurde in Zusammenarbeit mit den anderen Verbundpartnern verschiedene Zukunftsszenarien entwickelt, die ebenfalls in die Energiesystemoptimierung einfließen.

AP 4.2: Rechtliche Rahmenbedingungen

Ziel des AP 4.2 war die Darstellung der rechtlichen Rahmenbedingungen für gebäudebezogene Flexibilitätsoptionen und die Möglichkeiten, dieses auch mit Blick auf bestehende und zukünftige Geschäftsmodelle zu heben. Die Ausarbeitungen waren als rechtswissenschaftliche Basis für die Bearbeitung weiterer Arbeitspakete vorgesehen und stellen so die regulatorische Grundlagenarbeit für das Projekt FlexGeber dar. Mit der Bearbeitung des AP 4.2 war das IKEM betraut.

Screening und Verfolgung der Rechtsentwicklung

Für die Umsetzung des Forschungsfrage wurden zunächst die für den Strombezug des stromintensiven Gewerbes bzw. der stromintensiven Industrie grundsätzlich relevanten Vorschriften zusammengetragen. Dies wurde durch ein Screening des für die Case Studies und die Ausgestaltung von Betreibermodellen relevanten Rechtsrahmens realisiert. Dabei wurde insbesondere das gesamte Energiewirtschaftsrecht, aber auch gebäude- und gebäudeenergiebezogene Rechtsquellen ausgewertet. Im Ergebnis ist so ein umfangreicher Überblick über die im Einzelfall und für das Projekt insgesamt maßgeblichen Rechtsrahmen entstanden.

Auf dieser Grundlage wurden auch Hemmnisse und Privilegien herausgearbeitet, die vor dem Hintergrund des Forschungsvorhabens wesentlich sind. Für die Akteure aus GHD und Industrie handelt es sich exemplarisch um

- EEG-Begrenzungsfälle nach den besonderen Ausgleichsregelungen und Eigenversorgung, insbesondere die Nutzung hocheffizienter KWK-Anlagen in Eigenversorgung
- Stromsteuerprivilegien für bestimmte Prozesse des Produzierenden Gewerbes
- Netzentgeltprivilegien für intensive/atypische Netznutzung

- Privilegien im Rahmen von netzentgeltgekoppelten veranlassten Kostenpositionen (z. B. KWK-Umlage)

Die ermittelten Regularien aus dem Screening stellten weiterhin den Ausgangspunkt dar für die fortlaufende Verfolgung von rechtlichen und rechtswissenschaftlichen Entwicklungen mit Bezug zu den ermittelten Rechtsnormen. Das IKEM hat hierzu stetig Neuerungen im Rechtsrahmen auf Relevanz für das Forschungsvorhaben geprüft. Ein Schwerpunkt bildete dabei die Neuerungen im Gebäudeeinsparrecht durch den langjährigen Versuch, mit einem Gebäudeenergiegesetz einen konsistenten Rechtsrahmen zu schaffen. Durch die verzögerte Einführung waren verschiedentlich neugefasste Entwürfe zu sichten und zu bewerten. Diese wurden teilweise auch für die Projektpartnerinnen und Projektpartner aufbereitet und in Form eines Vermerks zur Verfügung gestellt (vgl. Anlage C zum 3. Zwischenbericht).

Studie „Rechtliche Rahmenbedingungen für Flexibilitätsoptionen für gewerbliche genutzte Gebäude und deren Auswirkungen auf drei Anwendungsfälle“

Kern der Bearbeitung des Arbeitspakets ist die Studie „Rechtliche Rahmenbedingungen für Flexibilitätsoptionen für gewerbliche genutzte Gebäude und deren Auswirkungen auf drei Anwendungsfälle“, die im Januar 2020 vollständig fertig gestellt wurde (vgl. Anlage A zum Zwischenbericht vom Juni 2020).

Die Studie gliedert sich in drei wesentliche Bestandteile. Im ersten Abschnitt wird der Flexibilitätsbegriff und seine Klassifizierungen Netz-, System- und Marktdienlichkeit rechtswissenschaftlich eingeordnet. Der zweite Teil widmet sich der Darstellung des Rechtsrahmens für die Umsetzung von Flexibilität und mithin der rechtlichen Implikationen für die Errichtung und den Betrieb von Flexibilitätsoptionen. Im dritten Teil werden die ermittelten rechtlichen Grundlagen mit den drei Anwendungsfällen im Projekt FlexGeber zusammengeführt. Dabei werden sowohl die im Projektrahmen geplanten Maßnahmen analysiert als auch ein darüber hinausweisendes Flexibilitätspotenzial.

Für die finale Fassung der Studie war eine umfassende Überarbeitung und Aktualisierung der bisherigen Ausarbeitungen notwendig. Insbesondere durch Energiesammelgesetz, NABEG 2.0-Novelle, das Gesetz zur Neuregelung von Stromsteuerbefreiungen sowie zur Änderung energiesteuerrechtlicher Vorschriften sowie die Innovationsausschreibungsverordnung sind Änderungen im Normenbestand erfolgt, welche auf die bisherigen Ausarbeitungen zurückwirken. Daher waren insbesondere im Kapitel zum Überblick über den allgemeinen Rechtsrahmen für Flexibilitätsvorhaben in gewerblich genutzten Gebäuden an zahlreichen Stellen Neuerungen in der abstrakten Normendarstellung als auch den Bewertungen hinsichtlich ihrer Anreizwirkung für flexibles sowie netz- und systemdienliches Verhalten einzuarbeiten. Auch waren die dargestellten Daten auf Aktualität zu prüfen und etwa bei den Anteilen der verschiedenen Strompreisbestandteile am Gesamtstrompreis auf den aktuellen Stand zu bringen.

Die Studie wurde bis Ende 2018 für die Einordnung des Flexibilitätsbegriffs (Kapitel 2) entsprechend fortlaufend aktualisiert und an neue Rechtsstände angepasst. Die übrigen Teile der Studie sind auf dem Rechts- und Sachstand von Ende 2019.

Einordnung des Flexibilitätsbegriffs

In dem ersten Abschnitt wurde zunächst der Begriff „Flexibilität“ unter Darstellung und Analyse von zwei wesentlichen Definitionsansätzen eingeordnet. Ausgehend von dem Begriff wurde im nächsten Schritt die üblicherweise verwendeten Arten von Flexibilität (netz-, system- und marktdienlich) auf ihre rechtliche Einordnung hin untersucht. Mit diesen werden Verhaltensweisen beschrieben, welche unterschiedlichen Arten von Flexibilität darstellen und somit zur Einordnung der Wirkung von Flexibilitätsoptionen herangezogen werden können. Die rechtliche Untersuchung resultiert in einheitlichen Begriffsverständnissen für diese drei Begriffe.

Ziel war es demnach, den inhaltlichen Gehalt der Begrifflichkeiten Netz-, Markt- und Systemdienlichkeit ausgehend vom energiewirtschaftsrechtlichen Kontext herauszuarbeiten. Dies war erforderlich, weil den Begriffen bis heute kein einheitliches rechtliches Begriffsverständnis zugrunde liegt. Die Determinierung der Begriffe wurde zunächst von den allgemeinen Grundsätzen des Energiewirtschaftsrechts (vgl. § 1 EnWG) her erschlossen. Eine stärkere Annäherung an die Bedeutung der Dienlichkeiten erfolgte insbesondere durch das Aufgreifen der existierenden flexibilitätsrelevanten Vorschriften mit juristischen

Auslegungsmethoden (Wortlautinterpretation, Sinn und Zweck der Vorschrift, Gesetzgebungshistorie, Systematik).

Teilweise ergab sich im Zuge der wissenschaftlichen Untersuchung des Rechtsrahmens die Notwendigkeit, die ursprünglich vorgesehenen Systematik und Inhalte an die gewonnenen Erkenntnisse anzupassen. Dies betrifft insbesondere die Einordnung der Netz-, System- und Marktdienlichkeit als Bewertungsmaßstab für Flexibilität. Dieser Ansatz wurde im Zuge der Herleitung einheitlicher Begriffsverständnisse aufgegeben.

Die rechtswissenschaftliche Auslegung der im Screening des Rechtsrahmens aufgefundenen Normen und Gesetzesmaterialien legen keine Eignung als Bewertungsmaßstab für Flexibilität nahe. Die gesetzlichen Nennungen der Begriffe stellen insbesondere auf ein Verhalten ab, welches zunächst losgelöst vom Flexibilitätsbegriff zu verstehen ist. Daher werden die Begriffe im Sinne der juristischen Abfolge als Tatbestände gewertet, an welche sich unterschiedliche Rechtsfolgen knüpfen. In der Folge ist es naheliegender, die Netz-, System- und Marktdienlichkeit in Kombination mit Flexibilitätsoptionen als unterschiedliche Arten von Flexibilität zu werten.

Im Ergebnis der Arbeiten in diesem Abschnitt wurden drei Begriffsbestimmungen ermittelt, die auf Grundlage der Verwendung der Begriffe im Rechtsrahmen, aber auch dem hergebrachten und üblichen Gebrauch im energiewirtschaftlichem Kontext Bestand haben können:

Netzdienlichkeit: Verhalten, das geeignet ist, die Erfüllung der gesetzlichen Übertragungs- oder Verteilungsaufgaben der Betreibenden von Elektrizitätsversorgungsnetzen zu fördern. Das ist der Fall, wenn durch die Bereitstellung einer Flexibilitätsoption in dem jeweils von dem Betreibenden eines Elektrizitätsversorgungsnetzes verantworteten Netz – unter Berücksichtigung des Kooperationsgebots –

- der regulierte Betrieb des Netzes (z.B. in Netzengpassituationen) erleichtert wird oder
- eine ursprünglich erforderliche Optimierung, Verstärkung oder Ausbau des Netzes vermieden oder eine weiterhin erforderliche Optimierung, Verstärkung oder Ausbau des Netzes erleichtert werden.

Systemdienlichkeit: Verhalten, das geeignet ist, die ÜNB bei der Wahrnehmung der Systemverantwortung zu unterstützen. Das ist der Fall, wenn es dem Erhalt von Netzspannung, -frequenz oder -stabilität dient, insbesondere durch

- den Einsatz von Regelenergie,
- den Einsatz abschaltbarer und zuschaltbarer Lasten,
- den Einsatz von Kapazitäts- und Netzreserve,
- die Schwarzstartfähigkeit einer Anlage sowie
- die Fähigkeit zur Blindleistungseinspeisung,

und die Ausübung des Netznutzungsrechts der meisten Netznutzenden ermöglicht und fördert.

Marktdienlichkeit: Verhalten, das den Betrieb einer Flexibilitätsoption an einem Preissignal orientiert, das sich an einem Strommarkt in einem freien und unverfälschten Wettbewerb bilden kann und dieses Preissignal für alle Akteure wirksam wird, sowie der Ausgleich aller Bilanzkreise zu jeder Viertelstunde durch die Bilanzkreisverantwortlichen womit der jederzeitige Ausgleich von Angebot und Nachfrage begünstigt wird.

Die genannten Begriffsbestimmungen können dabei durch Einsatz als gesetzliche Legaldefinition weitergehende Grundlage für konsistentere Regelungen sein. Diese Definitionen dienen aber zunächst im Rahmen der Studie der einheitlichen Bewertung von Flexibilität in der folgenden abstrakten Darstellung des Rechtsrahmens für Flexibilitäten in gewerblich genutzten Immobilien.

Umsetzung von Flexibilität

Der Leitfaden stellt sodann – gegliedert nach den maßgeblichen Akteuren Elektrizitätserzeuger und Letztverbrauchenden – den relevanten Rechtsrahmen mit einem Bezug zu Flexibilität im gewerblichen Gebäudesektor dar. Als dritte Säule werden die Infrastrukturen berücksichtigt, die Flexibilität ermöglichen und begleiten. Dabei erfolgt jeweils eine Darstellung des wesentlichen Inhalts der Rechtsnormen. In der

anschließenden Analyse wird die jeweilige Rechtsnorm auf ihre Ermöglichung oder Unterstützung von Flexibilität hin untersucht. Weiterhin wird geklärt, ob die gesetzliche Bestimmung ein bestimmtes netz-, system- und/oder marktdienliches Verhalten anregt oder begünstigt. Dabei wird auf die im vorangegangenen Abschnitt hergeleiteten Begriffsverständnisse abgestellt. Als Ergebnis ergibt sich eine Übersicht zu den Rahmenbedingungen für Flexibilitätsoptionen im rechtlichen Status quo. Dabei werden auch betriebswirtschaftliche Aspekte und der angestrebte vermehrte Einsatz Erneuerbarer Energien thematisiert.

In der **erzeugungsseitigen Betrachtung** stehen die rechtlichen Rahmenbedingungen für EE- und KWK-Stromerzeuger im Mittelpunkt. Dabei adressiert die Studie insbesondere die Themen Netzanschlussanspruch, Einspeisevorrang, Härtefallregelungen sowie die Zahlungsansprüche nach EEG und KWKG. Dabei wurde deutlich, dass die Regelungen stets auf eine Förderung von erneuerbarem und KWK-Strom durch Abnahme- und Zahlungsgarantien abzielen. Ein dienliches Verhalten der Stromerzeuger ist dabei in aller Regel nicht vorgesehen. Dies führt dazu, dass eine Bereitstellung von Flexibilität in der Regel nur bei individuellem Abweichen von den vorgesehenen Garantien und Ansprüchen möglich ist. Daraus erwachsen häufig wirtschaftliche Nachteile für die Anlagenbetreibenden, da entsprechende Anreize zur Flexibilitätsbereitstellung in der Regel nicht vorgesehen sind.

Es wurden jedoch vereinzelte Ausnahmen ermittelt, die als Anreize für Flexibilität dienen sollen. Dabei handelt es sich namentlich um Flexibilitätszuschlag und Flexibilitätsprämie bei der Stromerzeugung aus Biogas aus dem EEG sowie die Regelung zur vertraglichen Verpflichtung von KWK-Anlagen zur Reduzierung der Wirkleistungseinspeisung unter gleichzeitiger Nutzung von PtH. Auch wird ein marktlich orientiertes Verhalten durch die fixe Marktprämie im Rahmen der Innovationsausschreibungen (in Abgrenzung zur gleitenden Marktprämie als Regelfall der EEG-Förderung) anreizt.

Weiterhin wird durch den zukünftigen sog. erweiterten Redispatch grundsätzlich allen Erzeugungsanlagen mit einer Leistung ab 100 kW, sowie generell bei einer Fernsteuerbarkeit der Anlagen, im Redispatchfall ein netz- und systemdienlicher Einsatz dieser Anlagen durch die Netzbetreibenden vorgegeben. Eine Marktdienlichkeit ist dabei jedoch nicht gegeben.

Abweichend verhält es sich bei der Teilnahme am Regelleistungsmarkt. Die Bereitstellung von positiver als auch negativer Regelleistung stellt ein systemdienliches Verhalten zur Frequenzhaltung dar, welches aufgrund der Nutzung eines regulierten Marktes auch marktorientiert erfolgt. Dabei werden sowohl Elektrizitätserzeuger als auch -letzterverbrauchenden adressiert.

Im Fokus der Analyse des Rechtsrahmens **aus Sicht der Letztverbrauchenden** stehen der Strompreis und die für diesen maßgeblichen staatlichen Strompreisbestandteile. Der Preis ist wesentlich für die Wirtschaftlichkeit von Flexibilitätsoptionen und mithin von großem Einfluss auf das Strombezugsverhalten. Die staatlich veranlassten Preisbestandteile sind dabei vorrangig zu betrachten, da hier der Gestaltungsspielraums des Gesetzgebers am größten ist und diese einen großen Anteil am Gesamtstrompreis ausmachen.

Die rechtliche Betrachtung hat ergeben, dass diese Strompreisbestandteile regelmäßig keine Dienlichkeit voraussetzen oder Flexibilität schaffen. Der Rechtsrahmen bietet im Bereich der Letztverbrauchenden jedoch stellenweise Anreize, um Voraussetzungen für Flexibilität und dienliches Verhalten zu schaffen. Das betrifft einerseits Privilegierungen von Speichern als wesentliche Flexibilitätsoption sowie von Elektrolyseuren im Rahmen der Stromsteuer und der Netzentgelte. Weiterhin ist § 14a EnWG anzuführen, welcher Verbrauchsanlagen der Steuerung durch den VNB auf freiwilliger vertraglicher Grundlage unterwirft. Der VNB erhält so die Möglichkeit, die gebundenen Anlagen netz- und systemdienlich zu steuern, womit eine Flexibilität im Bereich DSM entsteht. Der Anlagenbetreibende hat im Gegenzug ein reduziertes Netzentgelt zu zahlen. Hierzu ist einschränkend anzumerken, dass die Regelung nur für Verbrauchsanlagen in der Niederspannung gilt und darüber hinaus eine vielfach angekündigte konkretisierende Rechtsverordnung seit Jahren nicht erlassen wird.

Die EEG-Umlage als Umverteilung der Kosten für den Ausbau erneuerbarer Energien sieht hierfür einerseits Eigenversorgungsprivilegien vor, die einen Entfall bzw. eine Reduzierung der Umlage unter engen Voraussetzungen vorsehen. Diese Voraussetzungen können netzdienlich sein durch die Verringerung des Netzausbaubedarfs bei dezentraler Eigenversorgung mit planbarer Überschusseinspeisung ins Netz. Allerdings wird für die Privilegierung keine Flexibilität vorausgesetzt, sondern sie wird als starres Modell gefahren. Eine ähnliche Bewertung erfolgt für das Speicherprivileg, welches Härten durch Doppelbelastung mit EEG-Umlage bei Ein- und Ausspeicherung (mehrere Letztverbräuche) aus. Grundsätzlich können Speicher durch gezielte Stromentnahme bzw. verzögerte Rückverstromung netzdienlich arbeiten. Das Speicherprivileg setzt dennoch nicht zwingend Flexibilität voraus oder reizt diese an.

Durch die Stromsteuer soll ein sparsamer Umgang mit Elektrizität angereizt werden. Auch hier kann privilegierter Selbstverbrauch durch zunehmende Dezentralisierung und verringerten Netzausbaubedarf grundsätzlich netzdienlich sein. Auch hier wird Flexibilität aber nicht vorausgesetzt.

Durch die Netzkosten allozierende Netznutzungsentgelte sind insbesondere Privilegierungen für atypisches und azyklisches Nutzendenverhalten vorgesehen (§ 19 StromNEV). Diese knüpfen jedoch an ein altes Verständnis der Netzdienlichkeit unter der Prämisse der gleichbleibenden und planbaren Stromerzeugung an. Diese Prämisse ist an einer fossilen linearen Erzeugungsstruktur durch Bandlastkraftwerke ausgerichtet.

Für ein volatiles erneuerbares Energiesystem, welches von fluktuierenden Energieträgern geprägt ist, kann diese Prämisse als überholt gewertet werden. So fördert die Privilegierung Flexibilität bei azyklischem Nutzendenverhalten, ohne dabei die tatsächliche Netzdienlichkeit in den Blick zu nehmen.

Auch die Netzentgeltprivilegierung von Stromspeichern ist wie bei der EEG-Umlage einerseits grundsätzlich positiv zu werten, da Speicher durch gezielte Stromentnahme und verzögerte/planbare Rückverstromung netzdienlich wirken und flexibel fahren können. Allerdings wird auch im Rahmen der Netzentgeltprivilegierung ein netzdienliches und flexibles Verhalten nicht vorausgesetzt.

Für die weiteren netzentgeltgekoppelten Umlagen sind weitere Privilegierungen nicht erkennbar, bzw. gelten nur für stromintensive Unternehmen. Anreize für netzdienliches oder flexibles Verhalten ergeben sich daraus nicht.

Etwas anders gilt grundsätzlich für das marktorientierte Verhalten. Eine marktliche Optimierung beim Strombezug ist grundsätzlich möglich und geeignet, im Zusammenspiel von Dargebot und Nachfrage ein an der Knappheit ausgerichtetes Bezugsverhalten anzureizen. Einschränkend ist zu berücksichtigen, dass das marktliche Strompreissignal je nach Verbrauchersegment nur einen Bruchteil der Gesamtkosten ausmacht. Durch die hinzutretenden staatlich induzierten Preisbestandteile wird das Preissignal teils deutlich überlagert und verwässert. Dementsprechend ist die gegebene Marktdienlichkeit beim Letztverbrauch nur mit Einschränkungen anzunehmen.

Im dritten Abschnitt im Kapitel zur Umsetzung der Flexibilität wird der **Rechtsrahmen für Flexibilität ermöglichende und begleitende Infrastrukturen sowie entsprechende Förderprogramme** exkursartig dargestellt. Demnach finden sich die für das sog. Gebäudeeinsparrecht relevanten Vorschriften sich im EEWärmeG, EnEG, EnEV sowie im Entwurf des GEG²⁷. Ziel ist es, durch Einsparmaßnahmen die Energieeffizienz von Gebäuden zu erhöhen und den verbleibenden Energiebedarf möglichst weitgehend durch Einsatz erneuerbarer Energien zu decken. Die Regelungen betreffen dabei in der Regel nur Neubauten. Die Energieeinsparpflichten führen zu einem geringeren Energiebedarf und können grundsätzlich dienlich wirken. Allerdings verringert sich das Flexibilitätspotenzial der Gebäude bei geringerem Energiebedarf gleichermaßen.

KWK-Anlagen, Wärme- und Kältenetze sowie Wärme- und Kältespeicher werden nach dem KWKG gefördert, so dass hierbei die Errichtung flexibilitätsmöglichender Anlagen und Infrastrukturen angereizt wird. Insbesondere die Förderbedingungen für innovative KWK-Systeme stellen weitgehende Anforderungen an die Anlage als Flexibilitätsoption. In der Ausschreibung werden technische Voraussetzungen für eine flexible Fahrweise der Anlagen verlangt, ohne dass jedoch eine tatsächlich marktorientierte Anlagenfahrweise notwendig ist.

Über die Förderung des KWKG bestehen weitere staatliche Förderprogramme, die eine Errichtung und Umrüstung von Wärmeinfrastruktur vorantreiben wollen. Auch in diesem Rahmen wird vielfach nur die Schaffung von Voraussetzungen für Flexibilität angereizt (beispielsweise die Errichtung flexibel steuerbarer Anlagen oder Speichertechnologien). Eine Anknüpfung an konkrete flexible Verhaltensweisen ist dabei jedoch in der Regel nicht vorgesehen.

Bei der Errichtung von Anlagen und Infrastruktur sind ferner die bauplanungs- und ordnungsrechtlichen Regelungen sowie ggf. Planfeststellungsanforderungen und umweltfachliche Vorprüfungen zu berücksichtigen.

²⁷ Durch das Inkrafttreten des GEG ist zwischenzeitlich der Rechtsrahmen an dieser Stelle angepasst worden. Da sich mit der neuen Rechtsgrundlage nur in Teilen inhaltliche Anpassungen ergeben und im Wesentlichen der bestehende Regelungsgehalt fortgeführt wird, gelten die getroffenen Aussagen und Bewertungen in weiten Teilen fort.

Flexibilisierungsoptionen für die Anwendungsfälle

Das dritte Kapitel der Studie widmet sich den drei Anwendungsfällen aus dem Projekt FlexGeber (Fraunhofer ISE, Taifun-Tofu GmbH und Hermann Peter KG) und der Übertragung der Erkenntnisse aus den rechtlichen Analysen auf diese exemplarischen Praxisfälle. Ziel war es, durch die Anwendung des Rechtsrahmens auf praktische Konstellationen die Eignung für dienliche Flexibilität zu ermitteln bzw. die gewonnenen abstrakten Bewertungen aus dem vorangegangenen Kapitel zu verifizieren. Die Case Studies liefern dafür den Anknüpfungspunkt im gewerblich genutzten Gebäudebereich.

Die Betrachtung widmet sich dabei zunächst den Rahmendaten des jeweiligen Anwendungsfalles in knapper Form, um einen Eindruck von dessen Unternehmensstruktur zu vermitteln. Sodann werden die im Rahmen des Projekts geplanten Flexibilitätsmaßnahmen vorgestellt, welche im Folgenden auf ihre rechtlichen Implikationen hin untersucht werden. Abschließend wurde für jeden Anwendungsfall auf Grundlage der Arbeiten des *Wuppertal Instituts* aus dem AP 2.3 ein über den Maßnahmenrahmen im *FlexGeber*-Projekt hinausgehendes Flexibilitätspotential untersucht und der rechtliche Rahmen auch für diese angedachten Maßnahmen dargestellt.

Grundlage hierfür war die Ermittlung des zugrunde zulegenden Sachverhalts. Dieser wird einerseits durch die vorhandene Struktur der Anwendungsbetriebe bestimmt, so dass entsprechende Rahmendaten (allgemeine und energiewirtschaftliche Betriebskennziffern, Lagepläne, Versorgungsstruktur, etc.) zu beschaffen waren. Die Datenbasis wird durch umfangreiche Fragebögen, andere projektinterne und externe Unterlagen, durch die Angaben in den Interviews bei den Begehungen des Wuppertal Institut, eigene Recherchen und einzelfallbezogene Rücksprache mit den Anwendungsfällen erstellt. Auch die Ergebnisse der allgemeinen Darstellung wurden für die Erarbeitung des Inhalts des Fragebogens herangezogen. Alle drei Case Studies haben umfangreiche Angaben zu den unternehmensbezogenen Daten gemacht (z.B. derzeit bezogene Strommenge, Betriebsweise und Größenordnung von Anlagen zur Eigenversorgung, Umfang und Art der Netznutzung sowie der Einsatz von erneuerbaren Energien). Die erhobenen Daten sind in die rechtliche Bewertung der Flexibilitätsoptionen für die jeweiligen Anwendungsfälle eingegangen, wobei auch die konkreten baulichen und anlagentechnischen Voraussetzungen und Planungen zu berücksichtigen waren.

Im Ergebnis wird deutlich, dass sich das Resultat aus dem Grundlagen-Teil der Studie bestätigt, wonach der geltende Rechtsrahmen die Vorhaltung von Flexibilität, aber insbesondere deren netz- und systemdienliche Bereitstellung unzureichend adressiert. Folglich waren in der bisherigen Analyse wenig Anreize für die praktischen Anwendungsfälle zu ermitteln, die ein flexibles Verhalten anreizen würden.

Demnach sind eine Vielzahl der bestehenden und in Teilen für die Anwendungsfälle wohl auch eingreifenden Privilegierungen (z.B. Recht auf vorrangigen Netzanschluss und Stromabnahme, individuelles Netzentgelt § 19 Abs. 2 StromNEV, Begrenzung der § 19 StromNEV-Umlage) gerade nicht geeignet, um ein flexibles und netz- oder systemdienliches Verbrauchs- oder Erzeugungsverhalten anzureizen.

Aufgrund des Strommarktdesigns kann hingegen ein erhöhter Anreiz für eine marktorientierte Flexibilitätsbereitstellung angenommen werden. So kann der Strompreis potenziell mit der Preiskurve eine entsprechende Änderung im Verbrauchs- oder Erzeugungsverhalten anregen. Allerdings wird das Signal des Strommarktes durch die staatlich veranlassten Strompreisbestandteile weitgehend überlagert und kommt aufgrund statischer Tarifmodelle selten bei dem einzelnen Letztverbrauchenden an. Außerdem kann eine rein marktorientierte Betriebsweise den Erfordernissen des lokalen oder übergeordneten Netzes entgegenlaufen. Es erweist sich als problematisch, dass netz- oder systemdienliche Verhaltensweisen nicht systemisch über den Strompreis bzw. einzelne Bestandteile des Strompreises honoriert werden.

In Teilen besteht dabei ein Widerspruch zu den vorgesehenen Betreibermodellen. So sind Eigenversorgungskonstellationen zwar in Teilen mit Privilegien—etwa bei der EEG-Umlage bedacht. Allerdings fallen andere Zuschüsse, etwa der Zuschlag nach dem KWKG oder für innovative KWK-Anlagen, bei fehlender Netzeinspeisung in der Regel aus der Betrachtung.

Andere dienliche Ansätze, wie etwa die systemdienliche Bereitstellung von Regelleistung scheitert teilweise an der Notwendigkeit der von den Anwendungsfällen nicht gewünschten Teilnahme an umfangreichen Präqualifizierungsverfahren und anschließenden Ausschreibungen. Hier könnten Pooling-Modelle jedoch einen verstärkten Anreiz bieten, um entsprechende Leistungen etwa über einen Direktvermarkter zur Verfügung zu stellen.

Demnach liegen die flexibilitätsrelevanten Anreize dabei nach wie vor primär bei der Herstellung der notwendigen Voraussetzungen für Flexibilitätsbereitstellung. Die Anreizwirkung lässt bei dem nächsten

notwendigen Schritt, der tatsächlichen Bereitstellung von Flexibilität über die strommarktliche Optimierung hinaus, deutlich nach. Dementsprechend werden langfristig tragfähige flexibilitätsbezogene Geschäftsmodelle erheblich gehemmt.

Anreize bestehen vorrangig bei der Eigenversorgung (ggf. intern flexibilisiert durch Speicher) und der Errichtung von Wärme- und ggf. Kälteinfrastruktur. Die meisten im Projektrahmen vorgesehenen Maßnahmen führen dabei überwiegend nur zu einer internen, marktlichen und ggf. netzentgeltrelevanten Optimierung des Strombezugs in den Anwendungsfällen.

Ein systemdienlicher Einsatz des gehobenen Flexibilitätspotenzials ist häufig im Rahmen der Bereitstellung von Regelleistung denkbar, ggf. unter Einsatz eines Aggregators. Ob die hierfür nötigen technischen Voraussetzungen vorliegen, wäre jedoch vertieft zu prüfen und ggf. sodann das Präqualifikationsverfahren der ÜNB zu durchlaufen.

Fazit

Das Fazit der Studie kommt zu einem überwiegend kritischen Ergebnis hinsichtlich der Eignung des Rechtsrahmens, Flexibilitäten anzureizen. Demnach ist der Rechtsrahmen weder in der theoretischen Betrachtung (Kapitel 3) noch bei der praxisorientierten Darstellung der Auswirkung der rechtlichen Rahmenbedingungen auf die Anwendungsfälle (Kapitel 4) umfassend geeignet, das Flexibilitätspotential gewerblich genutzter Gebäude tatsächlich zu heben. Einzig hinsichtlich einer internen und ggf. marktlich wirksamen Flexibilisierung bestehen deutliche Vorteile für die jeweiligen Unternehmen.

Im Ergebnis bedarf es jedoch eines novellierten Rechtsrahmens, der umfassend die Notwendigkeit der Errichtung von Flexibilitätsoptionen und auch deren netz- und systemdienlich ausgerichtetem Einsatz anreizt. Dieser müsste konsequent und in sich schlüssig darauf ausgerichtet werden, die Bedingungen für die Errichtung, aber insbesondere auch für den Einsatz von Flexibilitätsoptionen signifikant zu verbessern. Gleichzeitig sollten Vorgaben, die ein flexibilitätsfeindliches Verhalten privilegieren, abgebaut und ggf. mit Negativanreizen belegt werden.

Steckbriefe

Es wurde in der Darstellung insbesondere zu den Anwendungsfällen in der Studie Wert darauf gelegt, dass die Ausführungen gerade auch für Nicht-JuristInnen gut zugänglich sind. Die Studie hat nach den Rückmeldungen der betrachteten Unternehmen hilfreiche Hinweise geben können, da die Rechtslage – insbesondere auch im fokussierten Bereich der KWK-Anlagen – unübersichtlich ist.

Um die Zugänglichkeit und Verwertbarkeit für die Projektpartnerinnen und Projektpartner nochmal zu erhöhen, wurden die Ergebnisse der Studie in Steckbriefe für die einzelnen Anwendungsfälle zusammengefasst. Diese dienen dazu, die Bewertungen der Studie für die Kommunikation im Konsortium in einer übersichtlichen und an den Erfordernissen der Praxis ausgerichteten Form darzustellen.

Ad hoc-Zuarbeit

Außerdem wurde das ISE im Februar 2018 mittels einer Ad-hoc-Zuarbeit bei der Planung einer hocheffizienten KWK-Anlage im Anwendungsfall „Taifun-Tofu“ unterstützt. Gegenstand der Ad-hoc-Zuarbeit war die Klärung offener Fragen zu den rechtlichen Rahmenbedingungen für die Installation einer hocheffizienten KWK-Anlage und deren Förderfähigkeit nach dem KWKG. Daneben wurde zu Fragen einer energiesteuerrechtlichen Behandlung bestimmter Energieträger Stellung genommen. Schließlich stellten sich Fragen dazu, inwiefern die Nutzung der KWK-Anlage zur Erfüllung von Energieeinsparpflichten geeignet ist oder energiewirtschaftsrechtlich berücksichtigungsfähige bilanzielle Treibhausgasmindepotenziale ausgeschöpft werden können.

Eine weitere Ad-hoc Zuarbeit erfolgte zur EEG-Umlageprivilegierung und zur Höhe des KWK-Zuschlags einer hocheffizienten KWK-Anlage bei Eigenversorgung (vgl. Anlage B zum Zwischenbericht Juni 2019).

Poster „Staatlich veranlasste Strompreisbestandteile“

Um die teils schwer überschaubare Struktur der staatlich veranlassten Strompreisbestandteile für die eigene Bearbeitung, aber auch für die Projektpartnerinnen und Projektpartner zu erleichtern wurde ein

posterartige Übersicht über diese Preisbestandteile erstellt (vgl. Zwischenberichte Dezember 2018 und Juni 2020). Diese stellt die Grundlagen für die Zahlungspflicht für die einzelnen Preisbestandteile EEG-Umlage, KWK-Umlage, Stromsteuer, Konzessionsabgabe, Netzentgelte, Offshore-Netzumlage, § 19 StromNEV-Umlage, Abschaltbare-Lasten-Umlage und Umsatzsteuer dar und differenziert dabei die Konstellationen mit oder ohne vorhandenem Netzstrombezug. Kernelement bildet die knappe Darstellung der möglichen Privilegierungen, die je Abgabe-/Umlagenart in Anspruch genommen werden können. Diese werden mit ihren wesentlichen Kern-Voraussetzungen (zur Wahrung der Übersichtlichkeit nicht abschließend) sowie der Rechtsgrundlage aufgeführt.

Letztlich ermöglicht die Darstellung auch eine erste Orientierung zu der Relevanz der Privilegierung. Anhand der jährlich bezogenen Strommengen werden die drei Bereiche Haushalte, GHD und Industrie unterschieden und jede Privilegierung entsprechend ihrer Relevanz für die unterschiedlichen Sektoren mittels Icons gekennzeichnet.

AP 4.3: Modellierung in einem Optimierungsmodell

Die Modellierung im DISTRICT Optimierungsmodell ist in den Case Studies des Kapitels AP 1 ausführlich beschrieben. Eine Übersicht der Modellentwicklung gibt die Arbeiten wieder:

Zunächst wurde der Aufbau der Datenbanken für die Case Studies mit den anfangs vorhandenen Daten begonnen. Aufgrund der Verzögerung bei der Ausbringung der Messsysteme hat sich der Beginn der Modellrechnungen für die Case Studies stark verzögert, da die Messdaten die Grundlage für diese bilden. Für die Berechnungen sind Messdaten über einen Zeitraum von mindestens sechs Monaten erforderlich. Insbesondere für die ISE und Taifun Tofu Case Studies führte dies zu einer deutlichen Verspätung des Arbeitsbeginns. Weiterhin waren für den Beginn der Arbeiten die detaillierten Gebäudedaten der Case Studies notwendig, die aufgrund z.T. fehlender Pläne nur teilweise vorlagen.

Das Energiesystem des Fraunhofer ISE wurde auf Grundlage der bereitgestellten Daten analysiert und ein Datenbankkonzept zur Implementierung der Daten in DISTRICT entwickelt. Das abgebildete Energiesystem wurde in Rücksprache mit den Technologieverantwortlichen weiter angepasst, um das Optimierungsmodell näher an die Realität heranzuführen. Weiterhin wurde ein Konzept zur Darstellung der Energiesysteme in DISTRICT entwickelt und umgesetzt.

Entwicklungsarbeit in DISTRICT:

- Energieeffizienzmaßnahmen wurden im Modell erfolgreich umgesetzt
- Das Demand Side Management in der Modellierung wurde auf die Industriebedingungen angepasst, hierbei erfolgte insbesondere eine Einbindung prozessbedingter, nicht-energetischer Restriktionen
- Das Modell wurde für die Case-Study Taifun Tofu um die Funktion der Wärmerückgewinnung ergänzt
- Das Modell wurde um die Betrachtung von Prozesskälte ergänzt. Hierfür wurde das Modell für die ISE Case Study um ein Kältenetz und Kältetechnologien wie Kältemaschinen erweitert.

Für die entwickelten Optimierungsszenarien wurden entsprechende DISTRICT Datenbanken erstellt, der Modellaufbau getestet und die Optimierung der verschiedenen Szenarien durchgeführt.

Zu Beginn des Projektes war DISTRICT in der Lage, Nachfrageflexibilität in Form von Lastverschiebung zu betrachten, wobei die Lastverschiebung wie ein virtueller Speicher abgebildet war. Diese Abbildung charakterisiert Flexibilität anhand ihres ursprünglichen Nachfrageprofile und des Zeithorizontes, in dem eine Verlagerung der Nachfrage nach vorne oder hinten möglich ist. Diese Methodik ist unter Umständen für die aggregierte Betrachtung mehrerer ähnlicher Prozesseinheiten geeignet. Dennoch ist sie für einzelne Prozesse mit komplexen und spezifischen Betriebsbedingungen nicht ausreichend. Da es im Projekt

notwendig ist, verschiedene flexible Produktionsprozesse im Detail zu modellieren, wurde ein generisches Prozessmodell entwickelt und veröffentlicht²⁸.

Die Entwicklung bezieht sich auf das Konzept, dass jeder Prozess neben der Energienachfrage vergleichbare Komponenten und Betriebsentscheidungen im Prozess aufweisen, wie bspw. die Speicherbarkeit des Gutes oder der notwendige Output in einer Periode. Daraus wurde ein abstrakter Prozess mit allgemeingültigen Betriebsparametern abgeleitet, der eine physikalische und eine organisatorische Ebene umfasst. Dadurch beinhaltet das Modellergebnis direkt auch alle möglichen Fahrpläne eines Prozesses unter Berücksichtigung energetischer, produktionsprozessbedingter und organisatorischer Kriterien. Abbildung 82 zeigt die Komponenten im entwickelten Prozessmodell in zwei miteinander verbundenen Ebenen: der physikalischen und der organisatorischen Ebene. In der physikalischen Ebene werden der Transport, die Speicherung und die Konvertierung der Energie und Materialien abbildet. Die organisatorische Ebene bezieht sich auf die betriebsbezogenen Entscheidungen und möglichen Anpassungen, wie z.B., Arbeitsstunden, Betriebsplan, und Produktionsziele.

Das Prozessmodell wurde als ein ganzzahliges lineares Optimierungsmodell formuliert und direkt in DISTRICT integriert. Durch die Integration kann DISTRICT einzelne Prozesse detaillierter berücksichtigen. Die Modellierung dieser gültigen Betriebsparameter und Fahrpläne entsprechen auch der Modellierung der Flexibilitätspotenziale.

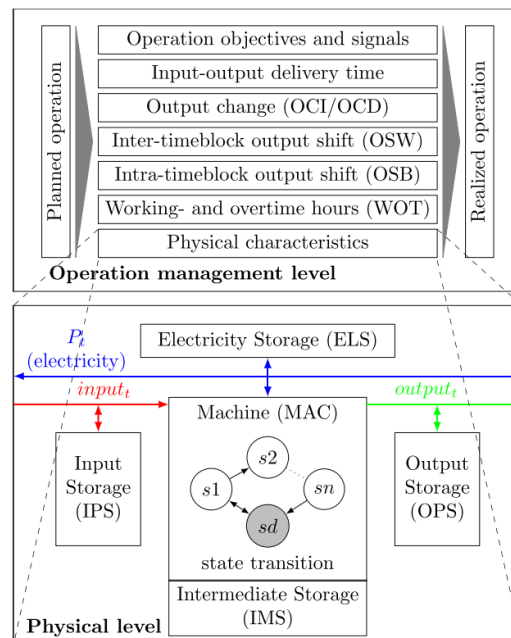


Abbildung 82 Darstellung eines abstrakten Prozessmodells

²⁸ Wanapinit, Natapon; Thomsen, Jessica; Kost, Christoph; Weidlich, Anke (2021): An MILP model for evaluating the optimal operation and flexibility potential of end-users. In Applied Energy 282, p. 116183. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.116183.

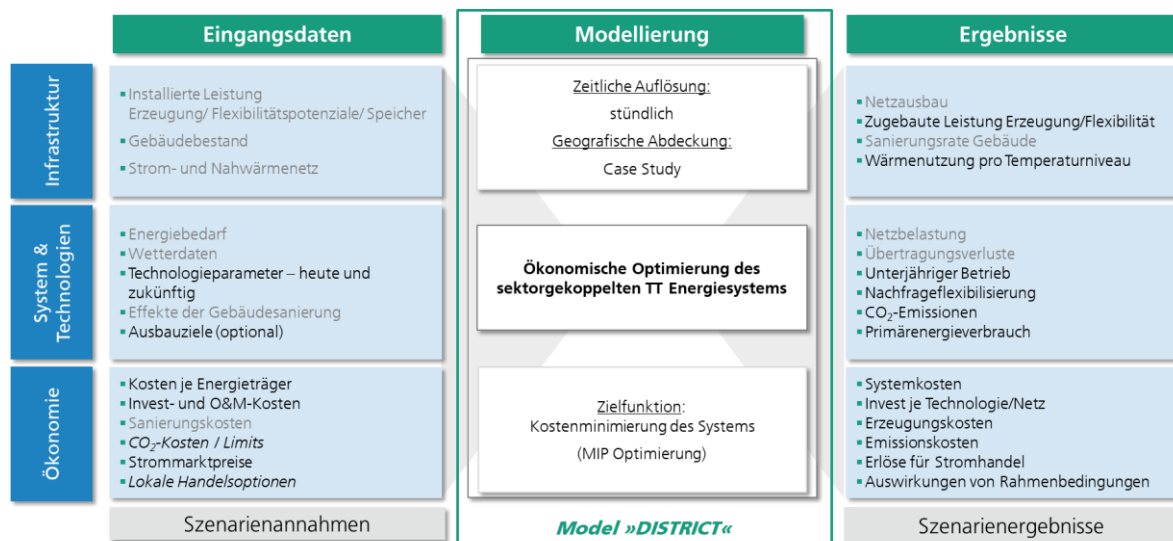


Abbildung 83 Dimensionen des DISTRICT Modells in der Case Study Taifun Tofu

Weitere Case spezifische Arbeiten:

Das DISTRICT Modell wurde für die Case Study am Fraunhofer ISE dahin gehend erweitert, dass unterschiedliche Strom-, Wärme- und Kältenetze die gleichen Gebäude bzw. Regionen versorgen kann. Dadurch kann die ISE-spezifische Versorgungssituation realitätsnäher dargestellt werden. Weiterhin wurde der parallele Bezug von Energieträgern zu unterschiedlichen Preisen implementiert. Die Ergebnisse der Modellrechnungen finden sich in AP 1.2.

Eine intensive Bearbeitung der Messdaten von Taifun Tofu zur möglichst korrekten Darstellung des vorliegenden Energiesystems war nötig, sowie eine Anpassung der Modelldatenbank und Integration der bearbeiteten Messwerte. Eine Analyse des Energiesystems aus Unternehmenssicht wurde für den Bestand (Referenz), kurzfristige Investitionen, sowie langfristige strategische strukturelle Veränderungen in Szenarien durchgeführt. Dabei ist eine Bewertung der Erweiterungsmaßnahmen, insbesondere der Einsatz von BHKW-Absorptionskältemaschinen Kombination, Batteriespeicher und PV-Anlage unter Berücksichtigung der Produktionsveränderung im Hinblick auf Energieeffizienz, CO₂-Reduktionsziele, Flexibilität und die Wirtschaftlichkeit, erfolgt. Die Anwendung einer Tarifstruktur zur Flexibilitätsanreizung auf Taifun wurde untersucht. In einer Analyse ist die strategische Entwicklung zu einer wirtschaftlichen CO₂-Neutralität bei hohem Elektrifizierungsgrad und hoher Wärmenachfrage untersucht worden. Die Ergebnisse hierzu finden sich in AP 1.3.

Basierend auf der Fallstudie Hermann Peter Niederimsingen wurden die Potenziale der preisbasierten Flexibilitätsnutzung für verschiedene Dienstleistungen – Markt-, Netz und Systemdienstlichkeit – mit DISTRICT untersucht. Dafür wurde eine Einschätzung der Technologiepotenziale in Niederrimsingen erarbeitet, sowie die mögliche Lastverschiebung in den unterschiedlichen Prozessen. Um eine Indikation für ökonomische Flexibilitätspotenziale zu erhalten, wurden unterschiedliche Tarifmodelle analysiert, die im Gegensatz zur Gegenwart fluktuierende Preisbestandteile enthalten, wie bspw. ein variables Netzentgelt. Daraus konnte zum einen ein potenzieller Flexibilitätsansatz bewertet werden, zum anderen auch die unterschiedlichen Preiskomponenten und deren Nutzen für Flexibilität einer ersten Analyse unterzogen werden. Die Ergebnisse wurden in einem Journal Artikel veröffentlicht²⁹.

Hinsichtlich einer Dekarbonisierung des Standortes Niederrimsingen wurden basierend auf AP 1 drei mögliche technische Maßnahmen identifiziert: Ausbau der Energietechnologien (PV und Batterie), Modernisierung des Produktion- und Energiemanagementsystems und Wechsel des Fuhrparks von fossilen Brennstoffen zu Wasserstoff betriebenen Fahrzeugen (FCEV).

²⁹ Wanapinit, Natapon; Thomsen, Jessica; Weidlich, Anke (2022): Find the balance: how do electricity tariffs incentivize different system services from demand response? Currently under review by the journal Sustainable Energy, Grids and Networks

Ein Energieversorgungskonzept wurde anhand der Faktoren Selbstversorgung, Wettbewerbsfähigkeit und der Nutzung der eigenen Erzeugungspotenziale konzipiert. Zudem wurde ein Szenario untersucht, in dem die Möglichkeit einer lokal mietbaren Wasserstoffproduktions- und -speicherkapazitäten unterstellt wird. Damit könnte ein Unternehmen Wasserstoff mit eigener überschüssiger Stromerzeugung produzieren lassen, ohne das Risiko der Investition in einen Elektrolyseur zu tätigen. Szenarien, die mit dem Konzept übereinstimmenden Investitionsentscheidung des Unternehmens repräsentieren, wurden untersucht und auch veröffentlicht³⁰.

AP 4.4 und 4.5: Modellrechnungen und Auswertung der Modellergebnisse – Entwicklung neuer Akteure & Betreibermodelle

Eine detaillierte Auswertung der Modellergebnisse jeder Case Study erfolgte im Kapitel zu AP 1. Es sei an dieser Stelle daher darauf verwiesen. Die Modellergebnisse und die Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen in AP 4.2. ergeben keine eindeutig ökonomisch vorteilhaften Betreibermodelle für Flexibilität. Die rechtlichen Hindernisse bei der Umsetzung von Flexibilität sind in die Entwicklung der Roadmap eingeflossen (vgl. AP 5.2.) und auch in AP 4.2. beschrieben. Die dort aufgeführten Handlungsempfehlungen geben Hinweise wie Betreibermodelle für Flexibilität entwickelt werden könnten.

Im Rahmen der Modellierung wurden trotz der rechtlichen Hemmnisse unterschiedliche Konzepte der Flexibilisierung von Energiesystemen untersucht. Allerdings stehen bei allen untersuchten Konzepten der Nutzen einer Nachfrageflexibilität in keinem Verhältnis zum Aufwand der Organisation oder möglichen Opportunitätskosten.

AP 5: Auswirkung von technischen und ökonomischen Flexibilitätsoptionen des Gebäudesektors auf das Energiesystem Deutschlands

AP 5.1: Techno-ökonomische Bewertung des Transformationspfads für das Energiesystem bis 2050 unter Berücksichtigung technischer und ökonomischer Flexibilitätsoptionen im Gebäudesektor, GHD und Industrie

Darstellung der Flexibilitätsbeiträge

Die Integration von fluktuierenden Erneuerbaren Energien (fEE) in das deutsche Energiesystem stellt uns vor die Herausforderung, deren fluktuierende Einspeisung mit der variierenden Stromverwendung in Einklang zu bringen. Da das Stromnetz, im Unterschied zu einem Gas- oder Wärmenetz, nicht als Energiespeicher fungieren kann, ist die Abstimmung von Stromerzeugung und Stromverbrauch wichtig, um die Netzstabilität zu gewährleisten.

In der nachfolgenden Analyse wird ein Referenzszenario der REMod Studie (Brandes et al. 2021) betrachtet. Um die Auswertung unabhängiger von temporären Wetterereignissen (also Ausreißern) zu machen, wurden die Werte über die Jahre 2041 - 2045 gemittelt. Abbildung 84 zeigt die Beiträge von Windenergie und Photovoltaik und die sich daraus ergebenden Stromüberschüsse und Strommangel. Anhand von „Summe fEE“ ist erkennbar, dass durch die Kombination aus Windenergie und Photovoltaik ein relativ guter saisonaler Ausgleich erreicht wird. Die Bilanzierung (in REMod) wird jedoch auf stündlicher durchgeführt, wo Energiemengen an Stromüberschuss und -mangel entstehen. Diese müssen durch Flexibilitäten im System gedeckt werden.

³⁰ Wanapinit, Natapon; Thomsen, Jessica (2021): Synergies between Renewable Energy and Flexibility Investments: A Case of a Medium-Sized Industry. In *Energies* 14 (22), p. 7753. DOI: 10.3390/en14227753.

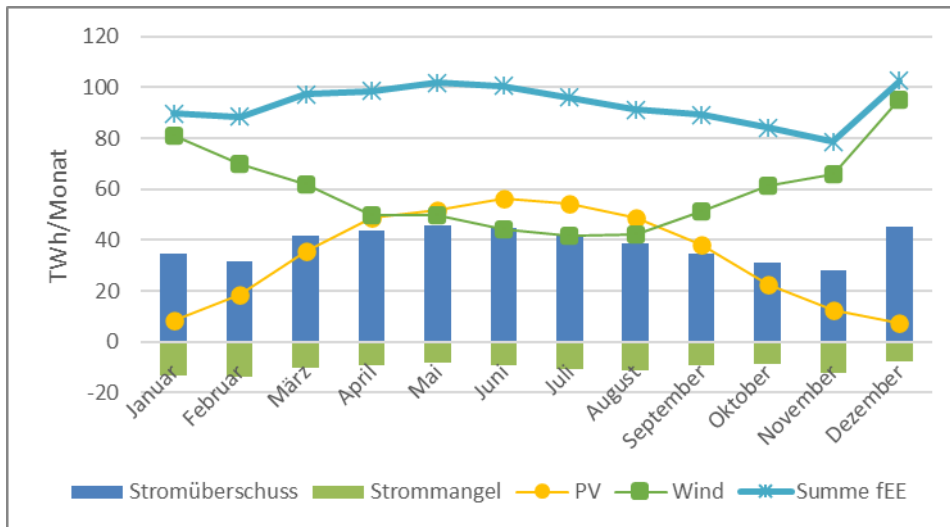


Abbildung 84 Übersicht von Einspeisung aus Wind- und Sonnenenergie und resultierende akkumulierte Stromüberschüsse und -mangel in den jeweiligen Monaten. Diese Zahlen sind gemittelt über die Jahre 2041-2045

Aus Abbildung 85 geht hervor, dass der Großteil an Überschüssen von Elektrolyseanlagen verwendet wird. Weiterhin wesentliche Anteile werden von stationären und mobilen Batterien und zur Wärmebereitstellung über Wärmepumpen im Niedrigtemperatur-Fernwärmenetz aufgenommen. Auch elektrische Heizelemente dienen der Stromaufnahme, um zu Zeiten sehr hoher Stromüberschüsse diesen dezentral in den Wärmespeichern der Heizungen in Wärme umzuwandeln und zu speichern.

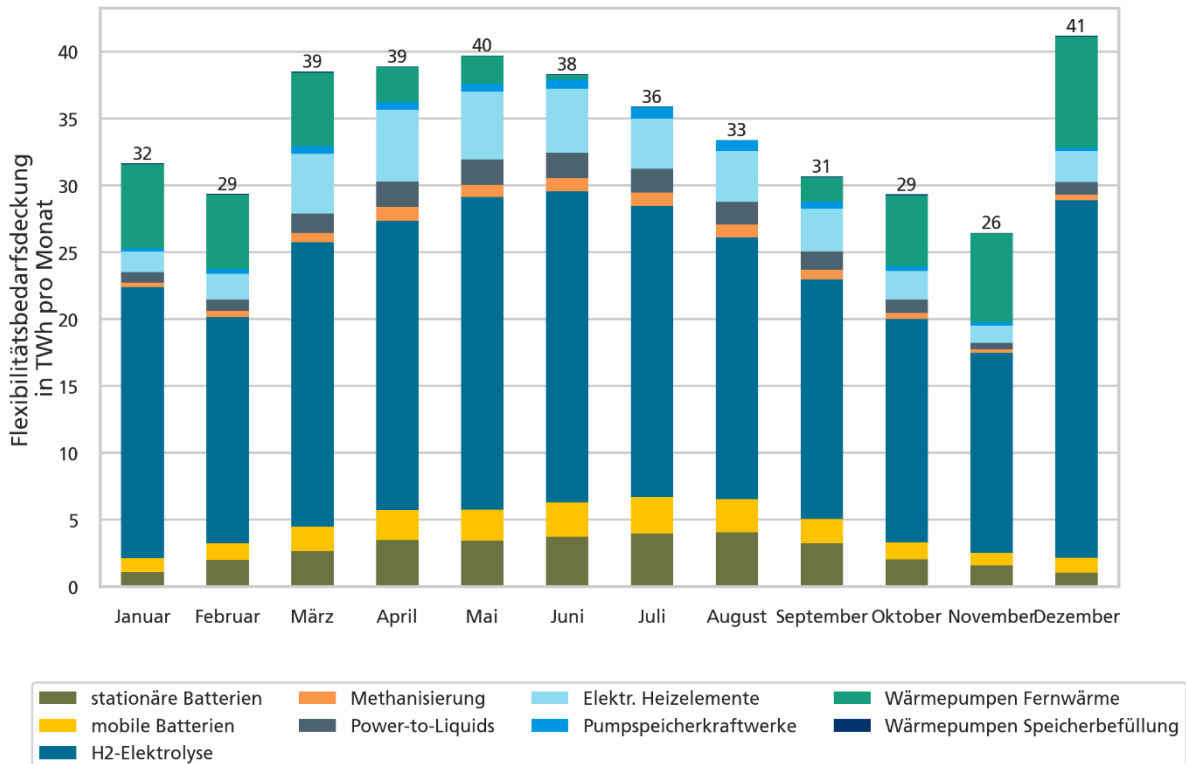


Abbildung 85 Übersicht der Flexibilitätsbeiträge der flexiblen Technologien bei Stromüberschuss. Diese Zahlen sind gemittelt über die Jahre 2041-2045

Bei Strommangel speisen die stationären und mobilen Batterien besonders stark während der Sommermonate ein, siehe Abbildung 86. Dies wird maßgeblich von Stromeinspeisungen von Gas- und Dampfkraftwerken ergänzt, weiterhin leisten Spitzenlastkraftwerke (CH₄-GT), Pumpspeicherkraftwerke und die Nutzung von Restwärme in Wärmespeichern (sodass die Wärmepumpe nicht betrieben werden muss und Stromeinsparungen entstehen) einen Ausgleichsbeitrag.

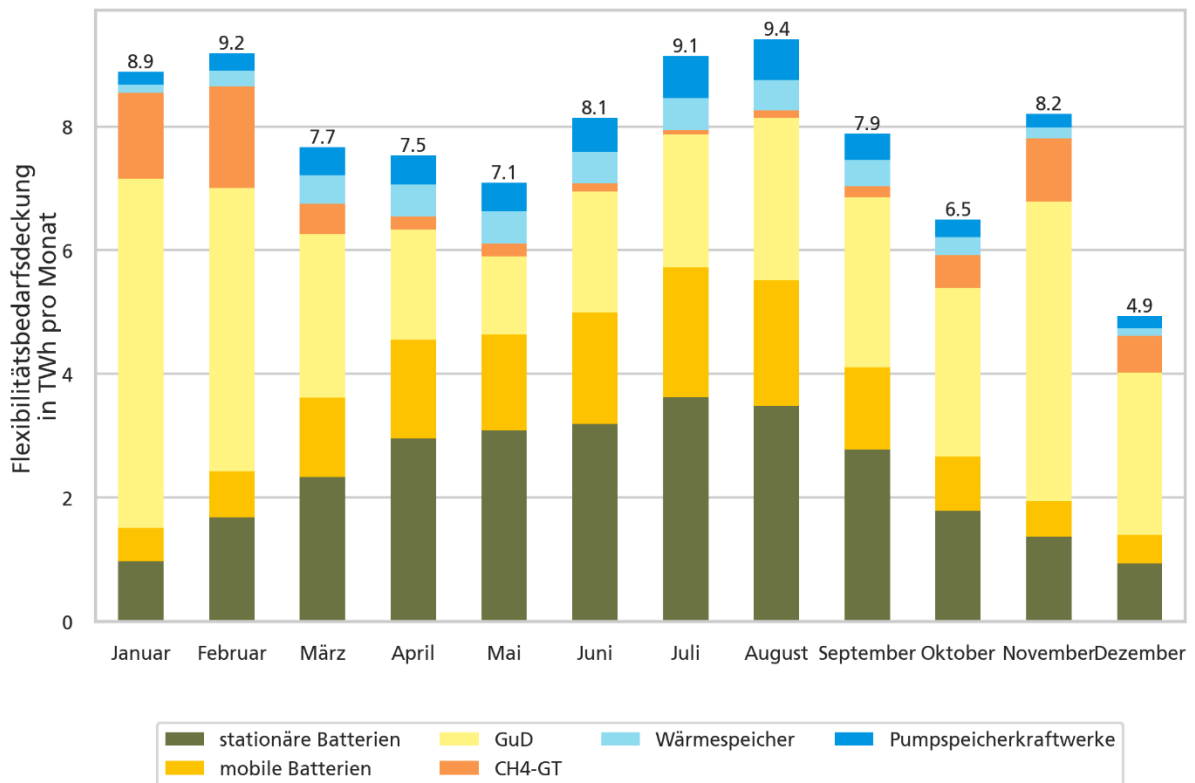


Abbildung 86 Übersicht der Flexibilitätsbeiträge der flexiblen Technologien bei Strommangel. Diese Zahlen sind gemittelt über die Jahre 2041-2045

Durch die Analyse der Flexibilitäten ist deutlich geworden, dass viele Technologien der Sektorkopplung im wesentlichen Maßstab zur Flexibilisierung des Energiesystems verwendet werden können. Da die Speicherung von Strom in Batterien sehr teuer ist, kann der flexible Betrieb der Sektorkopplungstechnologien ausgleichend eingesetzt werden, um fluktuierende Erneuerbare Energien in großem Maßstab im Energiesystem aufzunehmen.

Die empfohlene Sanierungsrate im Gebäudebereich wurde im Szenario *Referenz* für die kommenden Jahre auf über 1,5 % ermittelt, siehe Abbildung 87.

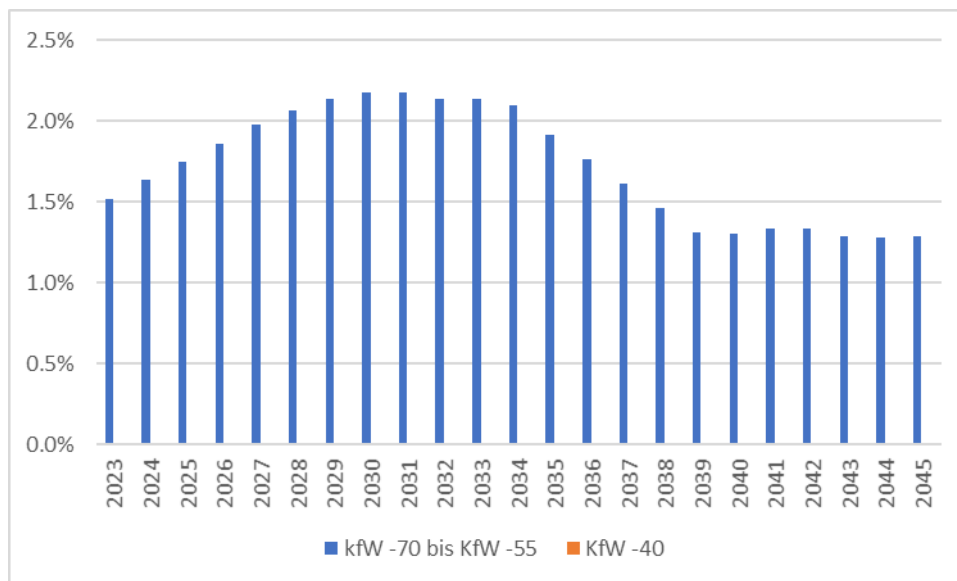


Abbildung 87 Berechnete Sanierungsrate für das Szenario Referenz des REMod-Studienupdates 2045

AP 5.2: Roadmap zur Ertüchtigung des Gebäudesektors als Flexibilitätsoption im Energiesystem und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen des abschließenden Arbeitspakets 5.2 war durch die Projektpartnerinnen und Projektpartner eine Handreichung zu erstellen, wie sich Flexibilitätspotentiale im Gebäudebereich und im GHD- und Industriesektor erschließen und bewirtschaften lassen. Aufgrund der Erkenntnisse aus der Projektlaufzeit wurde die ursprüngliche Forschungsfrage an dieser Stelle noch weiter gefasst und über die Maßgabe Flexibilität hinaus auf die beiden maßgeblichen Ziele Einsatz erneuerbarer Energien und Steigerung der Energieeffizienz erweitert. Diese beiden Punkte führen gemeinsam mit der im Fokus stehenden Flexibilität zu dem übergeordneten Ziel der Treibhausgasneutralität.

In Umsetzung des AP 5.2 wurde Anfang November ein zweitägiger Präsenz-Workshop in Darmstadt unter Beteiligung aller noch involvierten Projektpartnerinnen und Projektpartner durchgeführt. Ziel der Veranstaltung war, die gesammelten Erfahrungen aller im Projekt FlexGeber Involvierter zu aktivieren und für die abschließende Handreichung nutzbar zu machen. Dafür wurde zunächst eine gemeinsame Vision für treibhausgasneutrale Nichtwohngebäude identifiziert, um für die anschließende Pfadbeschreibung ein gemeinsames Ziel vor Augen zu haben.

Im zweiten Schritt wurde dann in Vorbereitung einer konzentrierten Roadmap ein Weg aufgezeigt, wie die Vision nach Auffassung der Projektpartnerinnen und Projektpartner Realität werden kann. In diesem Zuge wurden einerseits Rahmenbedingungen benannt, aber auch Einzelmaßnahmen vorrangig der politisch-regulatorischen Ebene und letztlich auch technologische sowie marktliche Entwicklungen.

Auf Grundlage der Arbeiten aus dem Workshop wurde das Papier „Erneuerbar, energieeffizient & flexibel – Vision und Roadmap für treibhausgasneutrale Nichtwohngebäude“ erstellt³¹.

Das Dokument enthält dabei neben allgemeinen Einführungen und Ausführungen zum gewählten methodischen Ansatz (Kap. 1 und 2) die von den Projektpartnerinnen und Projektpartner gemeinsam entworfene Vision für treibhausgasneutrale Nichtwohngebäude (Kap. 3). Dabei handelt es um ein zeitlich nicht festgelegtes Zukunftsszenario, wie und unter welchen Rahmenbedingungen das Fernziel treibhausgasneutrale Nichtwohngebäude erreicht worden ist. Sie stellt eine aus Sicht der Projektpartnerinnen und Projektpartner geeignete und wünschenswerte Utopie dar. Gleichzeitig dient sie methodisch als Grundlage für die Pfadbeschreibung durch die Roadmap.

Inhaltlich bildet die Vision ein breites Abbild verschiedener Ebenen und Akteure. So werden gesellschaftliche Rahmenbedingungen, wie ein genereller Bewusstseinswandel hin zu nachhaltigem, ganzheitlichem

³¹ IKEM und Wuppertal Institut 2022: Erneuerbar, energieeffizient & flexibel – Vision und Roadmap für treibhausgasneutrale Nichtwohngebäude. Download unter: www.ikem.de/publikation/vision-und-roadmap-fuer-treibhausgasneutrale-nichtwohngebäude bzw. <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/7962>

und langfristigem Denken dargestellt, aber auch Detailentwicklungen wie die Qualität und Verwertbarkeit eingesetzter Baustoffe.

Schwerpunkt liegt auf der Betrachtung der Unternehmen und Betriebe sowie ihrer Mitarbeitenden. Auch hier bilden geänderte Wertigkeiten den Ausgangspunkt für eine Vielzahl an Entwicklungen. So werden Produktionsprozesse grundlegend an Erfordernissen von erneuerbaren Energien, Effizienz und Flexibilität ausgerichtet. Dies wird durch entsprechende umfassende Digitalisierung ermöglicht. Die Ausrichtung erfolgt dabei jeweils branchen- und häufig unternehmensspezifisch. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Vor-Ort-Energieerzeugung.

Flexateure werden als neues Berufsbild eingeführt, um den beständig steigenden fachlichen Anforderungen durch die Energiewende entsprechende Fachkräfte entgegenzusetzen.

Die Vision stellt außerdem die Transformationsinstitution „Flex-Kümmerer“ vor und widmet einen großen Abschnitt der zukünftigen Modalitäten der Energieerzeugung. Die Darstellung der Vision schließt mit einer Erläuterung der politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen, die zum Zeitpunkt des Visionseintritts herrschen könnten.

In Kapitel 4 wird die grafische Umsetzung der Roadmap abgebildet. Dies wird ergänzt durch Erläuterungen, wie die Darstellung zu lesen ist sowie einzelner Aspekte, die aufgrund der stichwortartigen Struktur der Roadmap ggf. nicht aus sich heraus voll verständlich sind.

Das Papier endet mit der rechtlichen Analyse von zwei Einzelaspekten aus der Roadmap (Kapitel 5), die für die Umsetzung der Roadmap als besonders bedeutsam identifiziert wurden. Hier werden einerseits die rechtlichen Implikationen eines Begriffsverständnisses für dienliche Flexibilität dargestellt. Die Analyse bezieht sich dabei auf die im Rahmen des AP 4.2 erzielten Erkenntnisse zur unzureichenden Abbildung von werthaltiger Flexibilität im Rechtsrahmen, insb. schon grundlegend durch fehlende rechtliche Begriffsdefinitionen.

Zum zweiten wird der rechtliche Rahmen für die Stärkung der Rolle von Sanierungsfahrplänen aufgezeigt. Hierunter sind drei Punkte aus der Roadmap (Verpflichtung zur Erstellung von Sanierungsfahrplänen, förderseitige Anreizsetzung zur Umsetzung von gebäudeindividuellen Sanierungsfahrplänen sowie die verpflichtende Umsetzung der darin getroffenen Vorgaben).

AP 6: Wissenstransfer

Die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen sollen mit verschiedenen Akteuren aus den Bereichen der Energiewirtschaft, Gebäudetechnik, GHD/Industrie und den Strommärkten geteilt und diskutiert werden. Darüber hinaus sollen alle Ergebnisse aus dem Projekt durch unterschiedliche Veröffentlichungen dem Fachpublikum zugänglich gemacht werden. Eine Übersicht zu den bereits erfolgten und noch geplanten Veröffentlichungen ist in Kapitel 2.6. zu finden.

Neben den verschiedenen Veröffentlichungen wurden auch zwei Workshops geplant und veranstaltet. Der erste Workshop fand im Oktober 2018 statt. An diesem Workshop nahmen neben den Verbundpartnern auch Vertretende aus den Bereichen Energienetze, Energieversorgung und Energieberatung teil. Hier wurden die bisherigen Erkenntnisse aus den Bereichen Flexibilisierung und Flexibilität in der Industrie vorgestellt und diskutiert.

Die wissenschaftlichen (Teil)Ergebnisse aus AP 4 wurden auf folgenden wissenschaftlichen Konferenzen präsentiert: Enerday 2021, Dresden/online und International Energy Workshop 2022, Freiburg, DKV-Tagung 2020 (online).

Gegen Ende der Projektlaufzeit wurde ein Abschlussworkshop auf den Berliner Energietagen 2022 veranstaltet (<https://www.energiestage.de/home.html>). Hier wurden die Ergebnisse des gesamten Projektes in Zusammenhang gebracht und kondensiert präsentiert. Da die Veranstaltung im Rahmen der Berliner Energietage stattfand, war der Workshop einem breiten Fachpublikum zugänglich. Während und nach dem Workshop konnte das Publikum Fragen stellen und eigene Erfahrungen einbringen, die zu einer ausgiebigen Diskussion führten.

2.2 Notwendigkeit der Arbeit

Fraunhofer ISE

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist eine gemeinnützige Forschungsorganisation, deren Forschungsvorhaben auf „Non-Profit“ Basis im Auftrag von Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie der öffentlichen Hand durchgeführt werden.

Die Ergebnisse des Projektes haben deutlich gezeigt, dass auch nach Projektabschluss Flexibilität weder für Industrieunternehmen noch für eine Forschungsgesellschaft wie Fraunhofer eine ökonomisch nutzbare Technologieoption darstellt. Die Arbeiten wären daher ohne eine entsprechende Zuwendung nicht möglich gewesen, da ohne ökonomische Anreize für Flexibilität auch kein Unternehmen finanzielle Aufwendungen zur Erschließung von Flexibilität tätigen kann. Der vorgesehene Aufwand der Arbeiten hat sich durch Mehraufwand bei der Einführung der Messsysteme und in der Umsetzung der Bauarbeiten am ISE innerhalb des Projektes verschoben.

Insgesamt waren die Arbeiten notwendig, um die Themen Energieeffizienz, Dekarbonisierung von Liegenschaften und Potenziale von Flexibilität weiterzuentwickeln und Input zu möglichen Lösungspfaden zu entwickeln. Ohne eine Zuwendung wäre die Projektdurchführung nicht möglich gewesen.

ENIT Systems Energy IT GmbH

Die Förderung ist notwendig, da die Funktionen und der damit verbundene Implementierungsaufwand zur Umsetzung der Case Studies zur Identifikation neuer energiewirtschaftlicher Betreibermodelle signifikant höher ist als die Umsetzung eines üblichen Energiemanagementsystems.

Gerade bei den Case Studies im Kieswerk Hermann Peter oder bei Taifun fehlt ohne die Förderung die notwendige Detailtiefe der Datenerfassung, um entsprechend der Projektziele Auswertungen umsetzen zu können. ENIT implementiert durch die Förderung die notwendigen Schnittstellen und ermöglicht die Datenbereitstellung und Datenvisualisierung in den Demonstratoren.

Wuppertal Institut

Das Wuppertal Institut ist ein gemeinnütziges Forschungsinstitut. Es erhält zwar eine gewisse Grundfinanzierung vom Land Nordrhein-Westfalen, das Institut muss sich aber insgesamt überwiegend durch Drittmittel finanzieren. Dies gilt insbesondere für die Personal- und Sachkosten der Forschungsgruppen. Die Ziele und Arbeiten in diesem Forschungsprojekt sind sehr anspruchsvoll und bergen dementsprechend erhebliche Risiken für die Verbundpartner und das Wuppertal Institut. Die Arbeiten im Projekt tragen nicht zur Entwicklung von Produkten bei, die eine Refinanzierung der Aufwendungen nach sich ziehen könnten. Die erforderlichen Personal- und Sachmittel können auch nicht aus dem Haushalt des Wuppertal Instituts aufgebracht werden. Somit sind die Bearbeitung und Durchführung der Arbeiten ohne eine Zuwendung nicht darstellbar. Bei allen durchzuführenden Arbeiten kann jedoch auf bereits vorhandene Kompetenzen, Forschungsergebnisse und Erfahrungen am Wuppertal Institut aufgebaut werden. Zudem besteht ein gewisses Eigeninteresse an der Generierung langfristig nützlicher Daten und Erkenntnisse. Vor diesem Hintergrund ist eine Förderquote von 80 % für dieses Forschungsprojekt noch vertretbar.

Taifun-Tofu GmbH

Die Firma Taifun-Tofu GmbH sieht sich in der Bereitstellung der Produktionsinfrastruktur in Verbindung mit der Versorgungstechnik. Der Aufbau eines Messsystems mit der für das Projekt erforderlichen Genauigkeit würde die Firma für den eigenen Zweck nicht in diesem Maß betreiben.

Hermann Peter

Die Hermann Peter KG stellt die Räumlichkeiten, Anlagen und sonstige Ressourcen zur Datenerfassung zur Verfügung. Das bereits bestehende Messnetz muss weiter ausgebaut werden, damit eine vernünftige Datenerhebung realisiert werden kann. Die erforderlichen Maßnahmen würden ohne dieses Projekt nicht zu diesem Zeitpunkt und vor allem nicht in dieser Intensität realisiert werden. Eine Fallstudie wäre ohne Unterstützung nicht möglich.

Institut für Wohnen und Umwelt

Die Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung der Gesellschaft Land Hessen und Stadt Darmstadt. Das IWU ist sowohl im Bereich der Grundlagenforschung als auch in der anwendungsorientierten Forschung engagiert und legt großen Wert auf interdisziplinäre Arbeit. Neben der institutionellen Förderung durch die Gesellschafter finanziert sich das IWU über Drittmittelprojekte von der kommunalen bis zur europäischen Ebene.

Für das Teilprojekt „Daten und Tools zu Nichtwohngebäuden“ in FlexGeber bestätigen wir, dass Eigenmittel nur in der im Antrag ausgewiesenen Höhe zur Verfügung stehen. Ohne die beantragte Zuwendung kann das Teilprojekt nicht durchgeführt werden.

IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Das IKEM ist ein gemeinnütziges Forschungsinstitut, das als eingetragener Verein agiert und Forschungsvorhaben weit überwiegend im Auftrag der öffentlichen Hand durchführt. Der Erfolg des hier skizzierten Projekts hängt maßgeblich von einer fundierten rechtswissenschaftlichen Aufarbeitung des regulatorischen Rahmens ab, die insbesondere die Umsetzung der Case studies in der Praxis beeinflussen wird. Die rechtswissenschaftlich zu analysierenden Fragenkomplexe verursachen äußerst umfangreichen Prüfbedarf, der zudem in großen Teilen auf die Case studies zugeschnitten sein wird. Bei der Tätigkeit des IKEM handelt es sich insbesondere nicht um eine rechtsberatende Tätigkeit, für die eine anderweitige Vergütung vorgesehen ist. Eine sonstige wirtschaftliche Verwertung der überwiegend projektspezifischen Forschungsarbeiten ist kaum denkbar. Das IKEM ist deshalb unbedingt auf die Förderzahlungen für die Projektdurchführung angewiesen

2.3 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Fraunhofer ISE

Die Erweiterungen des Energiesystemmodells DISTRICT

Die Forschungsergebnisse und Modellentwicklungen können im Anschluss in Forschungsprojekten genutzt werden. Der Themenkomplex Dekarbonisierung der Industrie wird im Projekt IND-E fortgeführt, für das die Entwicklungen in FlexGeber eine wesentliche Rolle spielen. Die Erkenntnisse zur Flexibilität werden außerdem weiterhin Eingang in das deutschlandweite Systemmodell Remod finden.

Die Erkenntnisse zu möglichen Anreizstrukturen zur Flexibilität werden auch zukünftig im Dialog mit Stakeholdern genutzt, da davon ausgegangen wird, dass Flexibilität an Bedeutung gewinnen wird.

Die dazugehörigen Veröffentlichungen finden sich in Kapitel 2.6.

Durch die in FlexGeber aufgebaute Expertise ist das Fraunhofer ISE in folgenden Projekten mit verwandten Thematiken oder darauf aufbauenden Fragestellungen involviert:

- IND-E (Dekarbonisierungs und Elektrifizierungspotentiale in der deutschen Industrie Daten, Akteure und Modelle)
 - a. Ziel des Vorhabens ist es, die Energiesystemanalyse in dem Bereich der Industriemodellierung zu stärken und dabei akteursspezifische Einflussfaktoren auf Defossilisierungsmaßnahmen sowie politische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Die Analyse der Modellergebnisse und die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden zusammengefasst und synthetisiert, um eine mehrdimensionale Grundlage für die Entwicklung von Defossilisierungsstrategien der Industrie zu schaffen.
 - b. Geplante Laufzeit von 01.09.2020 – 31.08.2023, gesamte Förderquote: 2.080.826,91 €

ENIT Systems Energy IT GmbH

Die Entwicklungen der Software-Features im Rahmen von AP 1 für die beiden Use Cases 2 und 3 konnten einen deutlichen Mehrwert im Umgang mit Energiedaten nachweisen. So konnten bereits erste

Erfahrungen mit den Features gesammelt werden und auch Erkenntnisse für weiterführende Anschlussentwicklungen gewonnen werden.

- Zählerstands-Sprünge aufgrund von Zählerwechsel handhaben: Energiemengen werden gewöhnlich auf der Ebene der Rohdatenerfassung durch einen inkrementierenden Zählerstand festgehalten, der mit zugehörigem Zeitstempel abgespeichert wird. Im Fall der elektrischen Messstellen wird dies häufig mit Messkanälen zu bezogener und abgegebener Energie für Wirkarbeit und Blindarbeit, die jeweils einen Zählerstand enthalten, abgebildet. In einem neuen Stromzähler startet ein Zählerstand bei dem Wert „Null“ und zählt im Laufe seines Einsatzes inkrementierend hoch. Energieverbräuche können aus den Rohdaten der Zählerstände durch Differenzbildung zweier Zählerstände berechnet werden. Der so berechnete Energieverbrauch kann in einem Säulendiagramm visualisiert werden. Durch den Wechsel eines elektrischen Zählers wird auch der Zählerstand von einem neuen Wert anfangen zu zählen. Dieser neue Startwert des Zählerstands kann entweder niedriger sein (Fall 1: z.B. beim Austausch gegen einen neuen Zähler) oder höher sein (Fall 2: z.B. beim Austausch gegen einen bereits verwendeten Zähler), als der letzte erfasste Zählerstand. Die Folge davon ist ein Zählerstands-Sprung, der bei der Differenzberechnung für ein Intervall, was den Wechsel beinhaltet, entweder einen negativen Energieverbrauch liefert (Fall 1) oder einen falsch positiven Energieverbrauch liefert (Fall 2). In jedem Fall führen die Berechnung und Visualisierung zu einer Fehlinterpretation, die wir nun in der Software automatisch (Fall 1) oder manuell (Fall 2) abfangen.
- Schwellwert-Alarme auf einzelne Messkanäle und auf Datenerfassung: Die Möglichkeit automatisierte Alarmierungen zu erhalten ist ein wichtiger Schritt von einem Monitoring hin zu einer Handlung. Eine einfache Konfiguration in der Software bietet die Möglichkeit individuell (je Nutzenden, je Messstelle, je Messkanal) einen oberen und/oder unteren Schwellwert zu definieren, bei dessen Verletzung man via E-Mail benachrichtigt wird mit Information zu Messstelle, Schwelle, Wert, Uhrzeit. Eine Anpassung der Schwellen, bei z.B. zu sensibler Alarmierung, ist durch Konfiguration einfach möglich. Für eine kontinuierliche Datenerfassung mit möglichst wenig Datenlücken sorgt eine Alarmierung auf Datenerfassung. Diese löst aus, wenn ein regelmäßig angefragter Messkanal eines Stromzählers eine definierte Anzahl von Anfragen keine Antwort liefert. So können Probleme mit Zählern und Zählerkommunikation frühzeitig aufgedeckt und behoben werden.
- Energie-Kennzahlen App für die spezifische Darstellung von Energieverbräuchen pro individuell definierbares Produkt: Produktbezogene Energie-Kennzahlen bilden ein immer wichtiger werden der Anteil des Energiemanagements und werden auch in regulatorischen Anforderungen immer mehr gefordert. Eine Schwierigkeit in der Bildung liegt v.a. darin, verteilte Informationen zusammen zu bringen. So befinden sich Energieverbräuche bestenfalls im Energiemanagementsystem und Produktionsdaten in einem MES oder ERP System. Um einen ersten Schritt in Richtung produktbezogener Energie-Kennzahlen zu gehen, können nun in der EnPI App (Energy Performance Indicator Application) ein individuelles Produkt mit zugehöriger Einheit angelegt werden und Produktionszahlen manuell monatsweise eingetragen werden. Die App liefert dann eine Visualisierung, je Produkt und je Messstelle, für die Energie-Kennzahl in kWh/Produkteinheit. Dies liefert eine schnelle und einfache Möglichkeit erste Kennzahlen zu bilden und Transparenz im Jahresverlauf zu schaffen.

Virtuelle Messkanäle durch Berechnung aus erfassten Messkanälen: aus teilweise wirtschaftlichen und teilweise technischen Gründen werden nicht immer alle Verbraucher mit Stromzählern überwacht. Insbesondere im Energiefluss-Diagramm (Sankey-Diagramm) lassen sich häufig ungemessene Restströme solchen nicht-gemessenen Verbrauchern zuweisen. Diese können nun durch die Berechnung von erfassten Messkanälen gebildet und auch im Energiefluss-Diagramm dargestellt werden. Ein weiterer Anwendungsfall ergibt sich im Zusammenhang mit den Messkanälen Netzbezug, Eigenerzeugung, Rückspeisung, bei dem der virtuelle Bedarf berechnet werden kann, der zuvor nicht messtechnisch erfasst wurde.

Taifun Tofu

Durch das, innerhalb des Projekts aufgebaute Energie-Monitoring, ergeben sich indirekt wirtschaftliche Vorteile, da zu Entscheidungen für Maßnahmen zur Energieeinsparung und Energiekostenreduzierung bessere Datengrundlagen vorliegen. Für Taifun zeichnen sich zum aktuellen Zeitpunkt keine direkten

wirtschaftlichen Erfolgsaussichten ab. Zum einen konnten wegen dem Engpass in der Dampfversorgung bei der Erweiterung der Dampfzentrale die verzögerten Ergebnisse der Modellierungsmodelle nicht einfließen und zum anderen wird das präferierte Modell BHKW (Gas betrieben) mit Adsorptionskälteanlage, Solaranlage und Stromspeicher durch die veränderte Lage bei der Energieversorgung mit Gas nicht zur Umsetzung kommen können.

Aus dem Projekt konnte Taifun ein größeres Verständnis über Mechanismen am Strommarkt sowie über Anforderungen und Zusammenhänge einer zukünftigen Flexibilisierung bekommen, was für zukünftige Entscheidungen eine wichtige Grundlage darstellt.

Zudem können die Erkenntnisse in Gremien getragen werden in den Taifun aktuell aktiv mitwirkt. Da wären der Energieausschuss der IHK Südlicher Oberrhein und die Initiative Green Industriepark Hochdorf (GIP) in Freiburg zu nennen.

Da es zur Flexibilisierung aktuell am Markt keine Angebotsmodelle gibt und damit verbunden auch keine Anreize, sieht Taifun aktuell keine nächste Phase. Es hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse der Modellierungen, und die daraus abgeleiteten Lösung für Taifun, bedingt durch die kompl. veränderte Situation am Energiemarkt nicht mehr anwendbar sind. Anstatt Flexibilisierung rückt nun die Dekarbonisierung verbunden mit grundsätzlicher Energieeinsparung in den Mittelpunkt. Die Erkenntnisse über Zusammenhänge am Energiemarkt unterstützen Taifun bei zukünftigen Entscheidungen rund um die Energiefrage.

IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Die Ergebnisse des IKEM im Projekt „FlexGeber“ konnten und können fortlaufend in vielfältiger Weise durch das IKEM selbst, die Projektpartnerinnen und Projektpartner und Dritte genutzt werden.

Allgemein hat die Projektbearbeitung zum Aufbau und zur Vertiefung der energierechtlichen Expertise des IKEM beigetragen und als solchen großen Einfluss auf die Bildung von Know-how genommen. So können die erworbenen Kenntnisse über das Projekt hinaus in der Bearbeitung anderer Projekte, Stellungnahmen und Wissensvermittlung an Dritte in seiner Funktion als wissenschaftliches Institut eingesetzt werden.

Die erstellten Übersichten und textlichen Ausarbeitungen ermöglichen dabei zunächst einen institutsinternen Transfer über die mit der Bearbeitung befassten Personen hinaus. So können Zusammenhänge unmittelbar oder durch Lektüre auch Mitarbeitenden vermittelt werden, die nicht in das Projekt „FlexGeber“ involviert waren.

Durch die rechtlichen Ausarbeitungen wurde weiterhin ein Mehrwert für die anderen Projektpartnerinnen und Projektpartner erzielt. Dabei steht das zugängliche Darstellen von juristischen Zusammenhängen im Fokus. So sollen auch nicht im Energierecht erfahrene Akteure in die Lage versetzt werden, ein Grundwissen über die rechtlichen Zusammenhänge zu erlangen und darüber hinaus Vertiefungen an den praxisrelevanten Stellen zu erhalten. Dies wurde im Projektverlauf insbesondere durch die Steckbriefe, das Strompreisbestandteil-Poster sowie die Ad-hoc Zuarbeiten umgesetzt. Insgesamt war die Tätigkeit des IKEM mit Bezug zu den anderen Projektpartnerinnen und Projektpartner davon geprägt, entsprechende juristische Darstellungen für alle Beteiligten verständlich und nutzbar zu gestalten. So wurde insbesondere auch in der Darstellung der anwendungsfallbezogenen Punkte der Studie Wert auf eine zugängliche Darstellung und Ausdrucksweise gelegt.

Entsprechend des Verwertungsplan wurden die Erkenntnisse aus dem Projekt auch im politischen Diskurs zur Geltung gebracht. Beispielhaft ist die Veröffentlichung einer Stellungnahme zu einem Referentenentwurf des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)³² zu erwähnen. Auch wurde der Beschluss des GEG mit einer Pressemitteilung durch das IKEM eingeordnet.³³

Weitere Publikation im Zusammenhang mit dem Projekt „FlexGeber“ ist „Das Recht der erneuerbaren Energien zur Wärmeversorgung des Gebäudesektors“, welches in der IKEM-Schriftenreihe erschienen ist.³⁴ Durch die erzielte Expertise und zur Vertiefung bzw. Erweiterung der erlangten wissenschaftlichen Erkenntnisse war und ist das IKEM in weiter Projekte involviert, die thematisch verwandte Themen adressieren. Es sind beispielhaft zu nennen:

³² Abrufbar unter <https://www.ikem.de/stellungnahme-gebäudeenergiegesetz/>.

³³ Abrufbar unter <https://www.ikem.de/gebäudeenergiegesetz-verabschiedet/>.

³⁴ Weitere Informationen unter <https://www.ikem.de/publikation/das-recht-der-erneuerbaren-energien-zur-waermeversorgung-des-gebäude-sektors/>.

- AbwärmeBW – Studie zur Abwärmenutzung in baden-württembergischen Unternehmen im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg
- Innovative KWK – Rechtsrahmen und Novellierungsbestrebungen durch das Kohleausstiegsgesetz sowie die Integration von thermischen Speichern im Auftrag von Lumenion
- Wärmenetze 4.0 Moosburg, im Auftrag des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

2.4 Relevante Ergebnisse von dritter Seite

Die Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen sind in Abhängigkeit des gesamten Abschlusses des Projekts.

IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Aus eigener Anschauung ist das IKEM als Projektpartner in das Vorhaben **InnoNEX (innovative Versorgung von Wärmenetzen mit niederkalorischen Abwärmequellen und Matrixsteuerung für Wärmenetzmanagement)** involviert gewesen und hat hier an der Erstellung eines neuartigen Konzepts der Versorgung und des Betriebs von Wärmenetzen mitgewirkt. Dabei lagen dem Konzept die folgenden Maßgaben zugrunde: die Ausschöpfung bisher ungenutzter Exergie, Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen, verlustarme Wärmenetze mit dezentralen nutzenoptimierten Wärmepumpen beim Verbraucher, verbesserte Teillastverhalten des Wärmenetzes durch Vielzahl von Erzeugern, thermische und elektrische Energiespeicher zur Lastgangkompensation und Spitzenlastdämpfung, Rückspeisung von Kühlwärme der Nutzenden im Sommer in Saisonalspeicher, regenerative Versorgung der Wärmepumpen und Nutzung von Peak-Shaving-Ressourcen sowie Monitoring- und Managementsoftware für ganzjährige Lastoptimierung und proaktiven Netzbetrieb.

Das IKEM war im Rahmen des Projekts für die rechtswissenschaftliche Analyse zuständig und untersuchte diesbezüglich die rechtlichen Rahmenbedingungen der Wärmewertschöpfungskette, beginnend bei den Einsatzstoffen für die Wärmeerzeugung, über die Wärmeinfrastruktur bis hin zu den wertbildenden Faktoren des Wärmeprodukts. Demnach ist insbesondere in dem Infrastrukturaspekten auch in diesem Projekt nahezu zeitgleich mit dem Projekt „FlexGeber“ Fortschritt erzielt worden.

Mit der Wärmewende im Gebäudesektor befasste sich auch das **Kopernikus-Vorhaben Ariadne**. So wurden in diesem Rahmen „Maßnahmen und Instrumente für eine ambitionierte, klimafreundliche und sozialverträgliche Wärmewende im Gebäudesektor“ veröffentlicht, die einerseits eine Bestandsaufnahme darstellen. Andererseits werden im zweiten Teil der Veröffentlichung auch zukunftsgerichtet Instrumente analysiert und in Steckbriefen anhand verschiedener (auch rechtlicher) Kategorien bewertet.

Ebenso wurden Fortschritte in der Analyse und Bewertung des gebäude- und wärmebezogenen Rechtsrahmens erzielt sowie Anpassungsvorschläge unterbreitet in den **oben unter 2. genannten Projekten** unter IKEM-Beteiligung.

Während Vorgaben für BHKW im FlexGeber-Rahmen lediglich einen Schwerpunkt der rechtlichen Betrachtung darstellte, lag der Fokus des Forschungsauftrags **„Entwicklung des Investitionsumfelds im Bereich gewerblicher KWK-Eigenerzeugungsanlagen und Perspektiven für Förderstrategien“** des BMWK gerade auf dieser Kopplung von Strom- und Wärmeerzeugung. Die Analyse geht dabei jedoch vorrangig auf das Zusammenspiel der nationalen Förderregeln im KWKG und EEG mit europäischen Vorgaben, insbesondere der Beihilferechtsvorgaben. Demnach muss jeweils ein konkreter Förderbedarf für Beihilfen nachgewiesen werden. Hierfür waren die Auswirkungen der Überarbeitung der EU-Beihilfeleitlinien zu berücksichtigen und zu bewerten.

Das BMWK-Forschungsprojekt **„EnEff: Wärme: FW-Digital – Digitalisierung der Technik und Geschäftsprozesse in Wärmeversorgungssystemen“** widmet sich aktuell der Digitalisierung der Wärmeversorgung, wo ein Nachholbedarf gegenüber dem Stromsektor ausgemacht wird. Dabei spielen insbesondere auch personenbezogene Verbrauchsdaten eine Rolle, welche im Zentrum der rechtswissenschaftlichen Analyse stehen. Insofern wird hier im Gegensatz zum Vorhaben „FlexGeber“ insbesondere der Wärmesektor insgesamt ohne Fokus auf die Besonderheiten des GHD- und Industriesektors sowie Flexibilität im Stromsystem adressiert.

Ein weiteres BMWK-gefördertes Forschungsprojekt, **„Kommunale Wärmeleitplanung – Entwicklung eines neuen Planungsinstruments für die kommunale Wärmeleitplanung unter Verknüpfung**

von planungsrechtlichen und förderrechtlichen Elementen" (7. EFP), untersucht aktuell die Möglichkeiten für Kommunen, eine Wärmeleitplanung durchzuführen und schlägt hierfür geeignete Anpassungen vor. Das Vorhaben bewegt sich dabei vorrangig auf der administrativen kommunalen Ebene, während im Projekt „FlexGeber“ der Fokus auf dem Nichtwohngebäudesektor in GHD und Industrie liegt.

2.5 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Fraunhofer ISE

Tabelle 15 Übersicht Veröffentlichungen am Fraunhofer ISE

Jahr	Titel	Aktueller Status
2019	Wanapinit, Natapon; Weidlich, Anke; Thomsen, Jessica (2019): Promoting flexibility from prosumers through a generic characteristic flexibility model. 11. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien.	Konferenzbeitrag
2020	Wanapinit, Natapon; Saad Hussein, Noha; Kost, Christoph (2020): Incentivizing demand-side management, chances and risks for medium-sized industries. 16. Symposium Energieinnovation an der TU Graz.	Konferenzbeitrag
2020	Nienborg, Björn; Notheis, Moritz; Kurzlechner, Philipp; Seiz, Jana; Engelman, Peter (2020): Ein campusweites Kältenetz für einen gesteigerte Effizienz und netzdienlichen Betrieb, DKV-Tagung, online	Konferenzbeitrag
2021	Wanapinit, Natapon; Thomsen, Jessica; Kost, Christoph; Weidlich, Anke (2021): An MILP model for evaluating the optimal operation and flexibility potential of end-users. In Applied Energy 282, p. 116183. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.116183.	Veröffentlicht als Zeitschriftenaufsatz
2021	Wanapinit, Natapon; Thomsen, Jessica (2021): Synergies between Renewable Energy and Flexibility Investments: A Case of a Medium-Sized Industry. In Energies 14 (22), p. 7753. DOI: 10.3390/en14227753.	Veröffentlicht als Zeitschriftenaufsatz
2021	Fuchs, Nicolas; Thomsen, Jessica (2021): Food industry case study on the influence of CO ₂ pricing on the decarbonization and investment strategies into energy supply technologies; ENERDAY 2021 - 15th International Conference on Energy Economics and Technology. Online resource.	Konferenzbeitrag
2022	Wanapinit, Natapon; Thomsen, Jessica; Weidlich, Anke (2022): Find the balance: how do electricity tariffs incentivize different system services from demand response? Currently under review by the journal Sustainable Energy, Grids and Networks	Unter Begutachtung
2022	Thomsen, Jessica; Wanapinit, Natapon; Fuchs, Nicolas; Gorbach, Gregor (2022): Decarbonizing industrial small and medium enterprises: Novel solutions to the challenges, 40 th International Energy Workshop, MAY 25-27, 2022, Freiburg, Germany	Konferenzbeitrag

Institut für Wohnen und Umwelt

Hörner, M.; Bischof, J. (2022). Building Typology of the Non-residential Building Stock in Germany – Methodology and First Results. eceee Summer Study 2022 proceedings. ISSN: 2001-7960 (online). https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2022/7-policies-and-programmes-for-better-buildings/building-typology-of-the-non-residential-building-stock-in-germany-methodology-and-first-results/

IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Die im Rahmen des Projekts „FlexGeber“ durch das IKEM erstellten Publikationen wurden öffentlich zugänglich auf der Internetseite des Instituts veröffentlicht. Dabei handelt es sich um die im AP 4.2 erstellte Studie (gekürzt um das unternehmensspezifische Kapitel 4), das Poster zu den staatlich veranlassten Strompreisbestandteilen sowie die im AP 5.2 erstellte Handreichung mit Vision und Roadmap für einen treibhausgasneutralen Nichtwohngebäudebestand. Die Publikationen sind auf der Projektseite unter www.ikem.de/publikation/rechtliche-rahmenbedingungen-flexibilitaetsoptionen dauerhaft abrufbar.

Wuppertal Institut

Tabelle 16 Übersicht Veröffentlichungen am Wuppertal Institut

Jahr	Titel	Aktueller Status
2019	Vondung, Florin; Adisorn, Thomas; Schüwer, Dietmar; Witte, Katja: Hemmnisanalyse zu Änderungen des Nutzerverhaltens und Optimierung der Organisationsprozesse zur Schaffung von Flexibilität in gewerblich und industriell genutzten Gebäuden. https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/7963	Bericht
2022	Schüwer, Dietmar (2022): Die Dekarbonisierung des deutschen Energiesystems mit Flexibilitäten in Industrie und Gewerbe unterstützen - Der FlexGeber Abschlussworkshop. www.energietage.de/event/403-die-dekarbonisierung-des-deutschen-energiesystems.html	Konferenzbeitrag
2022	Metz, Jonathan; Schüwer, Dietmar: Erneuerbar, energieeffizient & flexibel: Vision und Roadmap für treibhausgasneutrale Nichtwohngebäude. https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/7962	Bericht

3. Anlagen

3.1 verwendete Literatur

Fraunhofer ISE

- BMWi. (2011). Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung.
- BMWi. (2014). Sanierungsbedarf im Gebäudebestand. Berlin.
- Bürger, V., Hesse, T., Quack, D., Palzer, A., Köhler, B., Herkel, S., & Engelmann, P. (2016). Klimaneutraler Gebäudebestand 2050 I, Umweltbundesamt (UBA); Laufzeit: 06/2013 – 10/2015. Dessau-Roßlau.
- dena. (2012). Ausbau- und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030, Deutsche Energieagentur GmbH (dena), Berlin.
- Diekman. (2007). Diekmann, J., Leprich, U., Ziesing, H.-J.: Regulierung der Stromnetze in Deutschland, Ökonomische Anreize für Effizienz und Qualität einer zukunftsfähigen Netzinfrastruktur, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf,.
- e-energy. (2013). E-Energy - Smart Energy made in Germany.
- Eggers, S.-H. (2013). KomMod as a tool to support municipalities on their way to become Smart Energy Cities.
- ENGIE Refrigeration GmbH: Quantum. Baureihen und Merkmale der energieeffizienten Kältemaschinen-Baureihe 2019. Internetadresse: https://www.engie-refrigeration.de/content/documents/DE/Broschueren/Quantum/DE_Quantum_Kaeltemaschine-von-ENGIE-Refrigeration.pdf. Zuletzt aufgerufen am 03.04.2020
- eTelligence. (2012). Hermsmeier, Brinker et al.: Abschlussbericht eTelligence. Neue Energien brauchen neues Denken, EWE AG, Oldenburg.
- ETSAP. (2015). ETSAP Energy technology systems analysis program. Abgerufen am 2015 von <http://www.iea-etsap.org/web/Markal.asp>
- Henning, H.-M., & Palzer, A. (2013). ENERGIESYSTEM DEUTSCHLAND 2050. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme.
- Klein, K., Kalz, D., & Herkel, S. (2014). Netzdienlicher Betrieb von Gebäuden.
- Ludewig, M.: Direkte Nutzung des Grundwassers - Nutzung oberflächennacher hydrothermalen Systeme. KIT 2011. Internet-adresse: www.agw.kit.edu/downloads/Studiengang/Hydrothermische_Nutzung.pdf. Zuletzt aufgerufen am 06.04.2020
- Nussbaumer, T.; Thalmann, S.; Jenni, A. et al.: Planungshandbuch Fernwärme 2017. Internetadresse: www.verenum.ch. Zuletzt aufgerufen am 03.04.2020
- Schulz. (2013). Flexibilitätsreserven aus dem Wärmemarkt im Auftrag des Bundesverbands Erneuerbare Energien. Bochum.
- TPE 150-200/4-S-A-F-A-BAQE 3X400 50HZ. Datenblatt. Internetadresse: https://www.lenntech.de/grundfos/TPE052/96382689/TPE-150-200-4-S-A-F-A_BAQE.html. Zuletzt aufgerufen am 01.08.2020
- UBA. (2013). Emissionen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase in Deutschland (ohne CO₂ aus LULUCF).
- Umweltenergiericht, S. (2013). Verbundprojekt Interaktion — „Analyse der Interaktion zwischen den Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Verkehr in Deutschland in Hinblick auf steigende Anteile fluktuierender Erneuerbarer Energien im Strom-bereich unter Berücksichtigung der europäischen Entwi.
- Urbaneck, T.: Kältespeicher. Grundlagen, Technik, Anwendung. Munich, Germany: Oldenbourg Verlag 2012
- VDE. (2013). Energietechnische Gesellschaft im VDE(ETG): Aktive Energienetze im Kontext der Energiewende, VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Frankfurt a.M.
- Weber. (2013). Regionale Marktplätze aus ökonomischer Sicht, Narem Abschlussworkshop, Essen,.

IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Für die Projektbearbeitung wurde maßgeblich auf Onlineresourcen über beck-online zurückgegriffen. Diese und weitere herangezogene Literatur sind im Folgenden aufgeführt.

- Altrock, Dr. Martin; Oschmann, Dr. Volker & Theobald, Prof. Dr. Christian et al. (2011). EEG Kommentar, 3. Auflage. München: Verlag C.H. Beck.
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB). (August 2019). Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2018. Abgerufen am 31. Januar 2020
- Assmann, Dr. Lukas; Peiffer, Dr. Max. (2018). KWKG Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz Kommentar. München: C.H. Beck.
- BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2018). BDEW-Strompreisanalyse Mai 2018, Haushalte und Industrie. Berlin: BDEW.
- bnNETZE GmbH. (2019). Netzzugangsentgelte Strom Preisblatt für den Netzzugang Strom (gültig ab 01.01.2019) der bnNETZE GmbH. Abgerufen am 31. Januar 2020 von [bnnetze.de/web/Downloads/Marktpartner/Lieferanten/Lieferanten-Strom/Netzentgelte/2019/bnNETZE_Preisblatt_Strom_2019_10-12-2018_endg%C3%BCtig.pdf](https://www.bnnetze.de/web/Downloads/Marktpartner/Lieferanten/Lieferanten-Strom/Netzentgelte/2019/bnNETZE_Preisblatt_Strom_2019_10-12-2018_endg%C3%BCtig.pdf)
- Boewe, D., & Greb, D. (2019). BeckOK EEG, 9. Edition. München: Verlag C.H. Beck.
- Britz, Prof. Dr. Gabriele; Hellermann, Prof. Dr. Johannes & Hermes, Prof. Dr. Georg. (2015). EnWG Energiewirtschaftsgesetz Kommentar, 3. Auflage. München: Verlag C.H. Beck.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt. (27. November 2019). Monitoringbericht 2019. Abgerufen am 31. Januar 2020
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. (Juli 2016). Leitfaden zur Eigenversorgung. Abgerufen am 31. Januar 2020
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. (3. April 2017). Flexibilität im Stromversorgungssystem - Bestandsaufnahme, Hemmnisse und Ansätze zur verbesserten Erschließung von Flexibilität. Abgerufen am 31. Januar 2020
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. (Juni 2018). Leitfaden zum EEG-Einspeisemanagement Version 3.0. Abgerufen am 31. Januar
- Bundesregierung. (28. September 2010). Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Abgerufen am 31. Januar 2020 von [archiv.bundesregierung.de/resource/blob/656922/779770/794fd0c40425acd7f46afacbe62600f6/energiekonzept-final-data.pdf](https://www.archiv.bundesregierung.de/resource/blob/656922/779770/794fd0c40425acd7f46afacbe62600f6/energiekonzept-final-data.pdf)
- Bundesregierung. (Oktober 2019). Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Abgerufen am 31. Januar 2020
- Klein, P., Gersch, D.-M., Jäger, P., Rätke, B., Ratschow, D., Rüsken, R., & Werth, P. (2020). Abgabenordnung einschließlich Steuerstrafrecht. München: Verlag C.H. Beck.
- Kment, Prof. Dr. Martin. (2019). Energiewirtschaftsrecht, 2. Auflage. Augsburg: Nomos Verlagsgesellschaft.
- Kondziella, D. H., Graupner, S., Bruckner, P. D., Doderer, H., Schäfer-Stradowsky, S., Koch, C., . . . Holst, D. J.-C. (April 2019). Marktdesign, Regulierung und Gesamteffizienz von Flexibilität im Stromsystem – Bestandsaufnahme und Herausforderungen. Abgerufen am 31. Januar
- Lehnert, W. (Januar 2012). Markt- und Systemintegration der Erneuerbaren-Energien: Eine rechtliche Analyse der Regeln zur Direktvermarktung im EEG 2012. ZUR, S. 4-17.
- Möhlenkamp, D., & Milewski, K. (2020). Energiesteuergesetz - Stromsteuergesetz - Kommentar. München: Verlag C.H. Beck.
- Möhlenkamp, Dr. Karen; Milewski, Knut. (2012). Energiesteuergesetz Stromsteuergesetz Kommentar. München: C.H. Beck.
- Prognos AG / Boos Hummel & Wegerich PartGmbH (BH&W). (Juni 2019). Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz – Evaluierung der Besonderen Ausgleichsregelung und der Umlagebefreiung von eigenerzeugtem und-genutztem Strom im EEG, i.A. BMWi. Abgerufen am 31. Januar 2020
- Schütte, Peter & Preuß, Malte. (2012). Die Planung und Zulassung von Speicheranlagen zur Systemintegration von Erneuerbaren Energien. Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (NVwZ), 535 ff.
- Statistisches Bundesamt. (April 2003). Klassifikation der Wirtschaftszweige - mit Erläuterungen, Ausgabe 2003. Abgerufen am 31. Januar 2020

- Statistisches Bundesamt. (Dezember 2008). Klassifikation der Wirtschaftszweige - Mit Erläuterungen - 2008. Abgerufen am 31. Januar 2020
- Stelter, Dr. Christian & Ipsen, Dr. Nils . (2016). Das Gesetz zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz). Zeitschrift für das gesamte Recht der Energiewirtschaft (EnWZ), 483 ff.
- Theobald, Prof. Dr. Christian & Kühling, Prof. Dr. Jürgen. (2019). Energierecht Kommentar, 104. Ergänzungslieferung. München: Verlag C.H. Beck.
- Theobald, Prof. Dr. Christian & Nill-Theobald, Dr. Christiane. (2013). Grundzüge des Energiewirtschaftsrechts - Die Liberalisierung der Strom- und Gaswirtschaft, 3. Auflage. München: Verlag C.H. Beck.
- Übereinkommen von Paris. (12. Dezember 2015). Abgerufen am 31. Januar 2020
- UBP. (August 2016). Machbarkeitsstudie – Wärme- und Stromversorgung Firma Hermann Peter KG, Breisach.
- Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW. (2007). TransmissionCode 2007 – Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber. Berlin: Verband der Netzbetreiber Verband der Netzbetreiber – VDN – e.V. beim VDEW.
- Wuppertal Institut (WI). (Februar 2019). Analysen zu Prozessen der Flexibilisierung des Gebäudesektors in Deutschland - Analyse von Änderungen des Nutzendenverhaltens und Optimierung der Organisationsprozesse zur Schaffung von Flexibilität auf Basis des Akteursworkshops vom 22. bis 23. Oktober 2018. Wuppertal.
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW). (Juni 2019). Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß § 65 EEG, Vorhaben IIc, Solare Strahlungsenergie, i.A. BMWi. Abgerufen am 31. Januar 2020

Wuppertal Institut

Deilmann, C., & et. al. (2013). Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen (BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2013, S. 121) [Studie im Auftrag des BMVBS]. Leibniz Institut. www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/bmvbs-online/2013/ON272013.html

3.2 Grafiken mit der Feinauswertung zu AP 3

Mit der vorliegenden NWG-Typologie (aus AP3.1) wurden auf Basis der REMod-D-Rechnungen des ISE ein Ausbaupfad der Heiz- und Kühltechnologien für ausgewählte Gebäude(-gruppen) des GHD-Sektors festgelegt. Für festgelegte Stützjahre (z.B. 2030, 2040, 2045) wurden dann vom ISE die entsprechenden hochaufgelösten Lastprofile generiert und anschließend das Flexibilitätspotenzial für die genannten Technologievarianten bestimmt.

Die aggregierten Ergebnisse aus den zeitaufgelösten Simulationsrechnungen des ISE³⁵ für einzelne technische Flexibilisierungsoptionen (Wärmepumpe, BHKW und Kompressionskältemaschine, jeweils mit Wasserspeicher) in ausgewählten Gebäuden wurden für die Jahre 2015 und 2045 vom ISE an das HEAT-Modell des WI übergeben. Auf dieser Basis hat das WI mit Hilfe des um das NGW-Modul erweiterte HEAT-Modells die Flexibilisierungspotenziale auf den gesamten Gebäudebestand Deutschland bis zum Jahr 2045 hochgerechnet.

Im Ergebnis werden die resultierenden, aggregierten Flexibilitätskennwerte

- Speicherkapazität,
- Leistung und
- Verfügbarkeit

³⁵ 66 typisierte Lastprofile erstellt für 11 Gebäudefunktionen x 3 Baualtersklassen x 2 Klimata (2015 und 2045)

für diese drei strombasierten und zusätzlich mit einem Pufferspeicher ausgestatteten Versorgungssysteme ausgewiesen:

- 1) Wärmepumpe (Heizung)
- 2) BHKW (Heizung)
- 3) Kaltwassersatz (Kühlung).

In der folgenden Abbildung 88 ist die Methode und die Zusammenarbeit zwischen IWU, ISE und WI grafisch dargestellt:

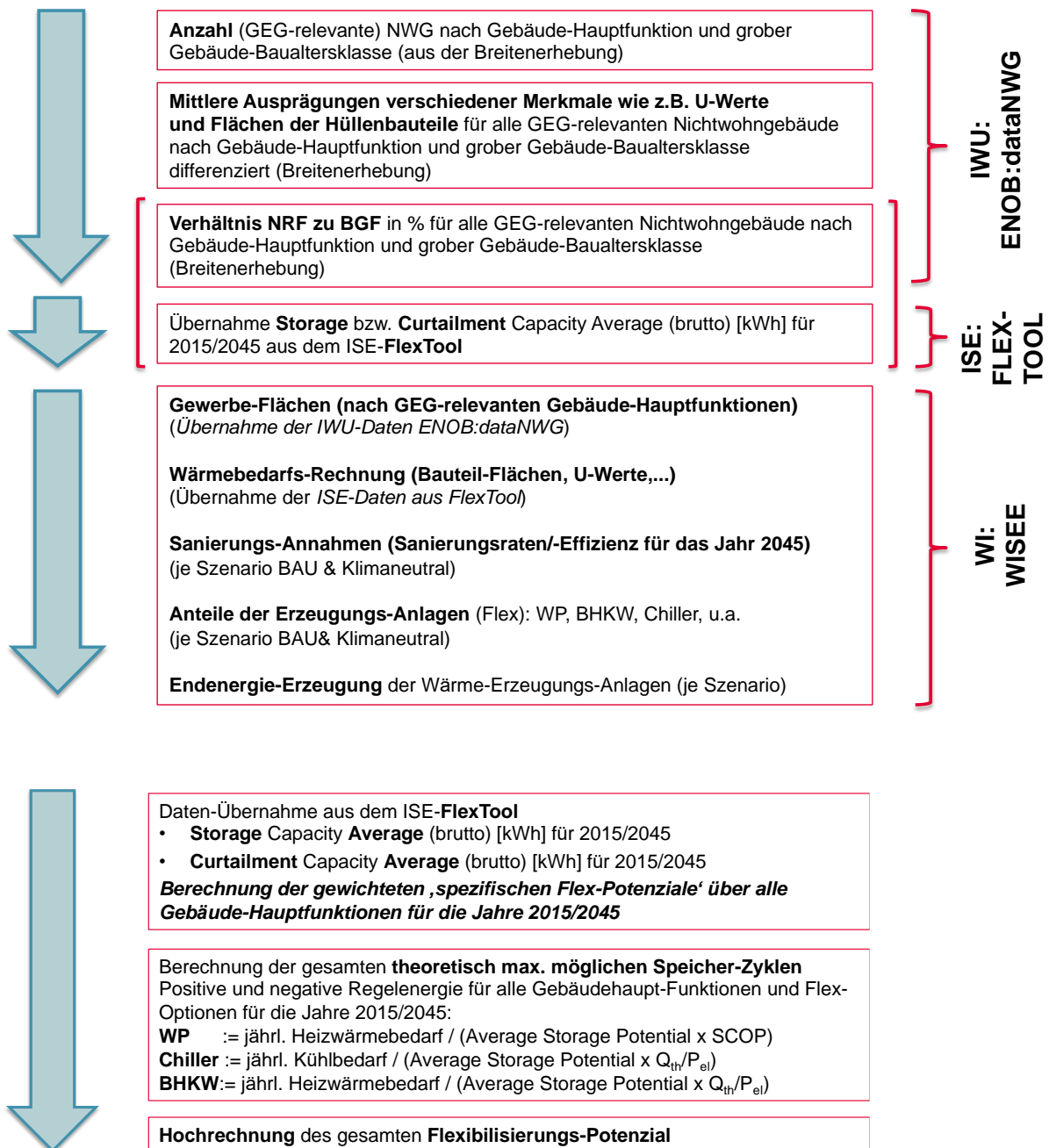


Abbildung 88 Darstellung der Modell-Methodik und Datenübernahmen im AP 3

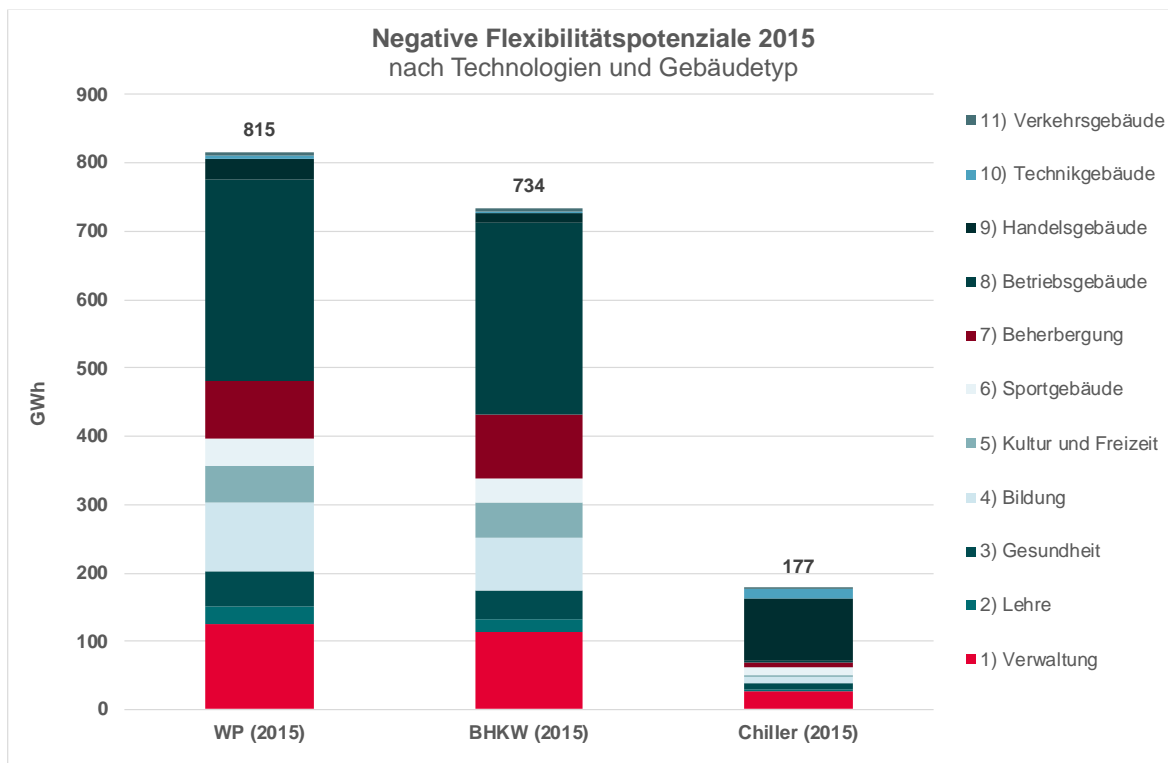


Abbildung 89 Negative Flexibilisierungspotenziale (nFP) in Gigawattstunden (GWh) für das Jahr 2015 nach Technologien und Gebäudekategorie

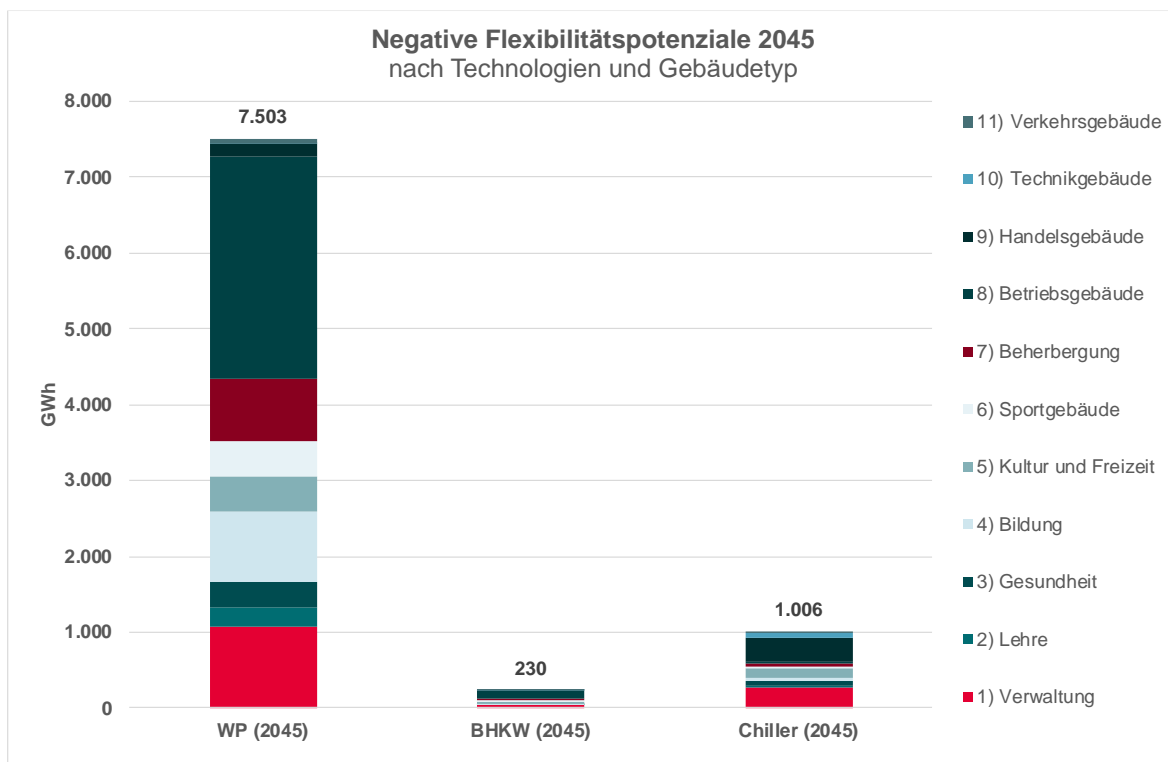


Abbildung 90 Negative Flexibilisierungspotenziale (nFP) in Gigawattstunden (GWh) für das Jahr 2045 (Klimaneutral-Szenario) nach Technologien und Gebäudekategorie

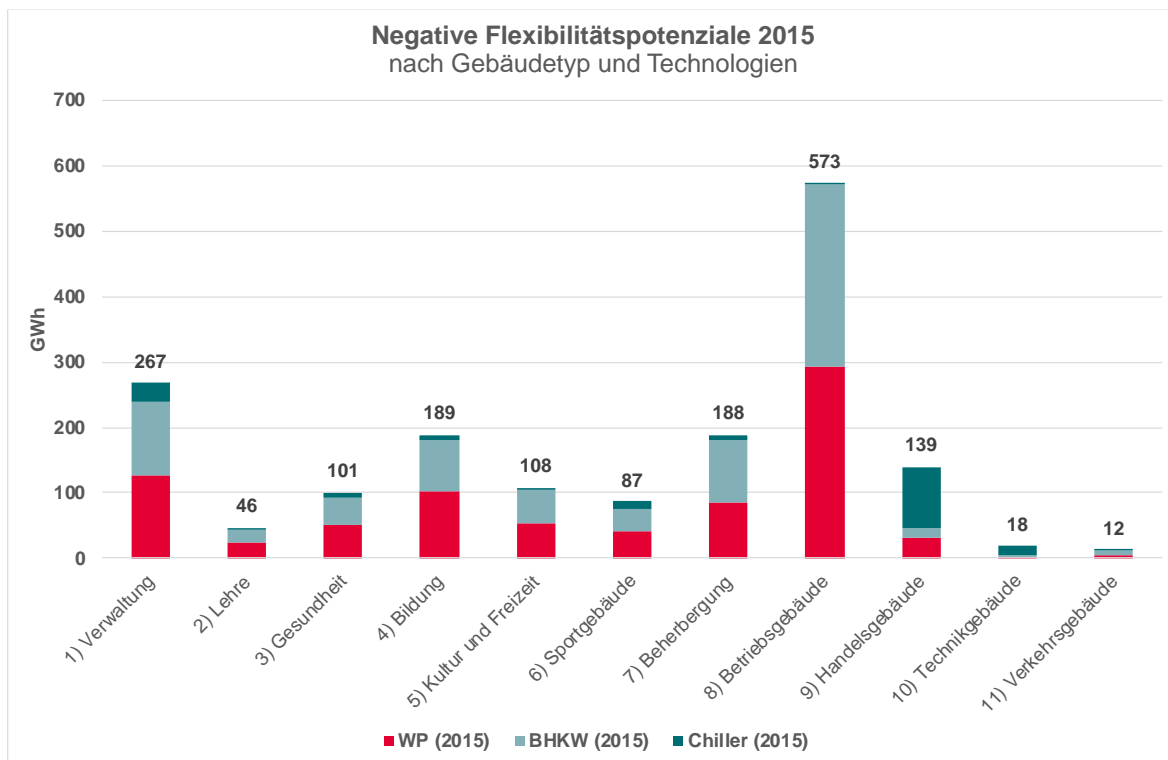


Abbildung 91 Negative Flexibilisierungspotenziale (nFP) in Gigawattstunden (GWh) für das Jahr 2015 nach Gebäudekategorie und Technologien

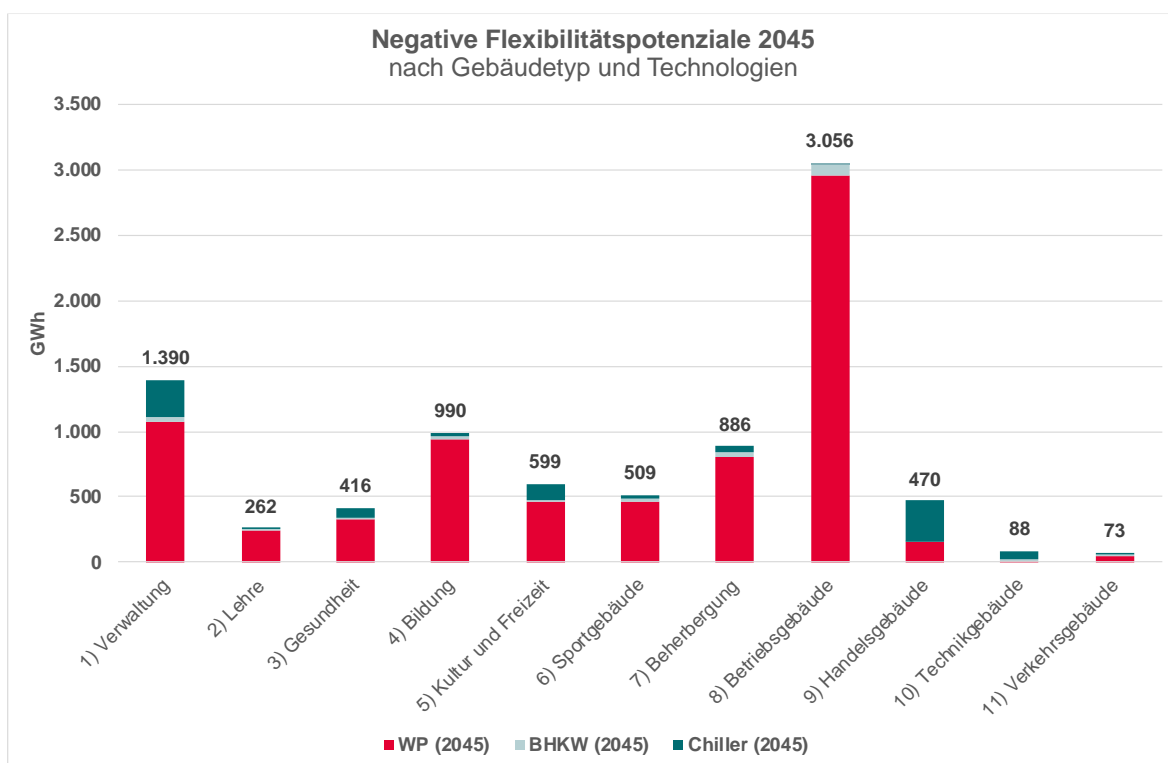


Abbildung 92 Negative Flexibilisierungspotenziale (nFP) in Gigawattstunden (GWh) für das Jahr 2045 (Klimaneutral-Szenario) nach Gebäudekategorie und Technologien

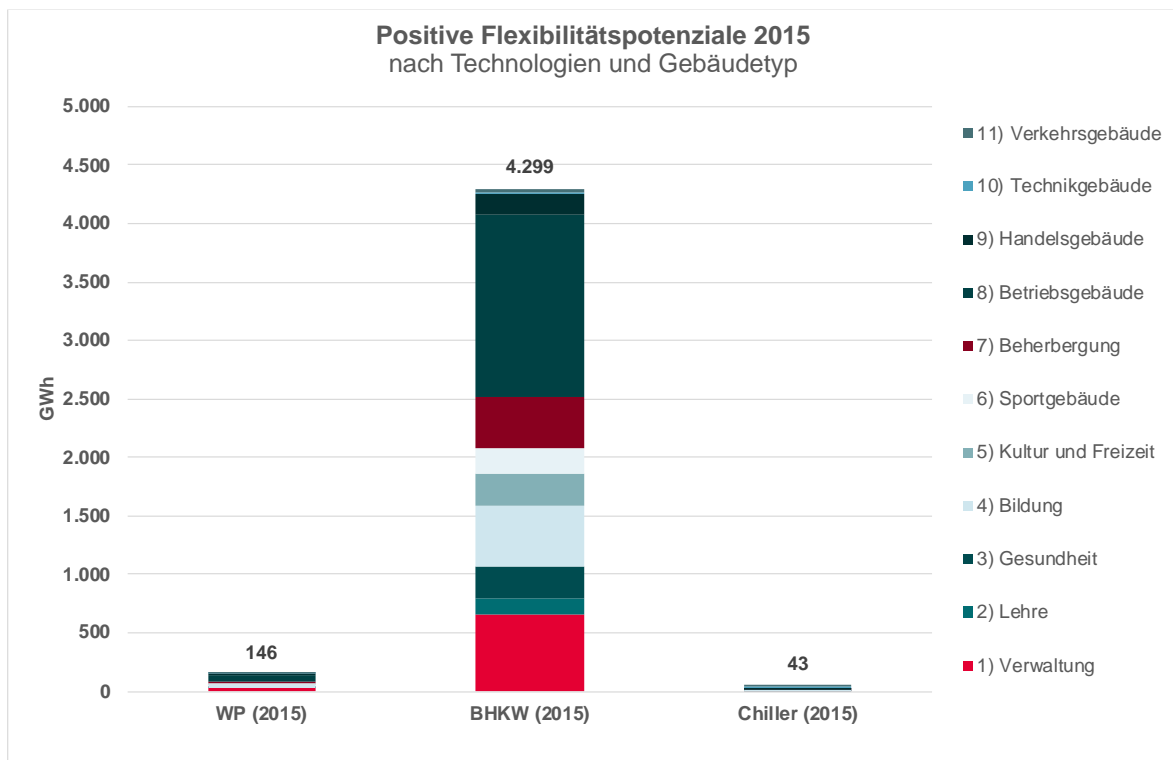


Abbildung 93 Positive Flexibilisierungspotenziale (pFP) in Gigawattstunden (GWh) für das Jahr 2015 nach Technologien und Gebäudekategorie

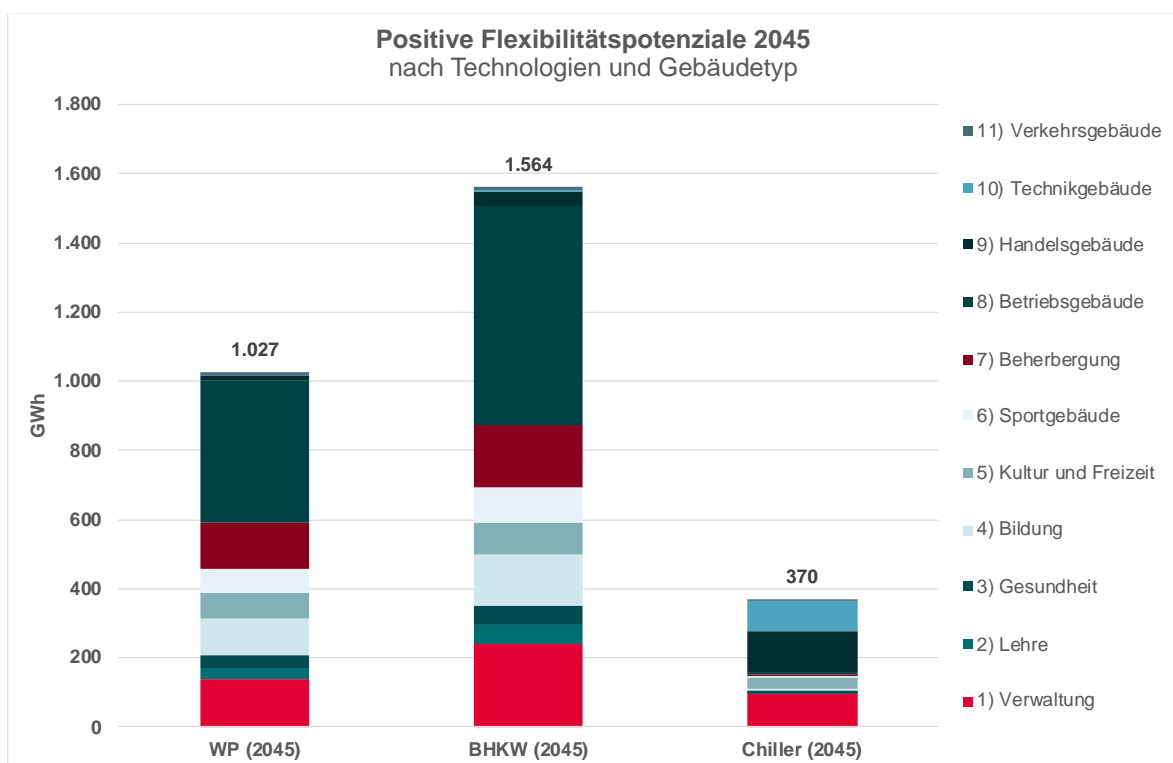


Abbildung 94 Positive Flexibilisierungspotenziale (pFP) in Gigawattstunden (GWh) für das Jahr 2045 (Klimaneutral-Szenario) nach Technologien und Gebäudekategorie

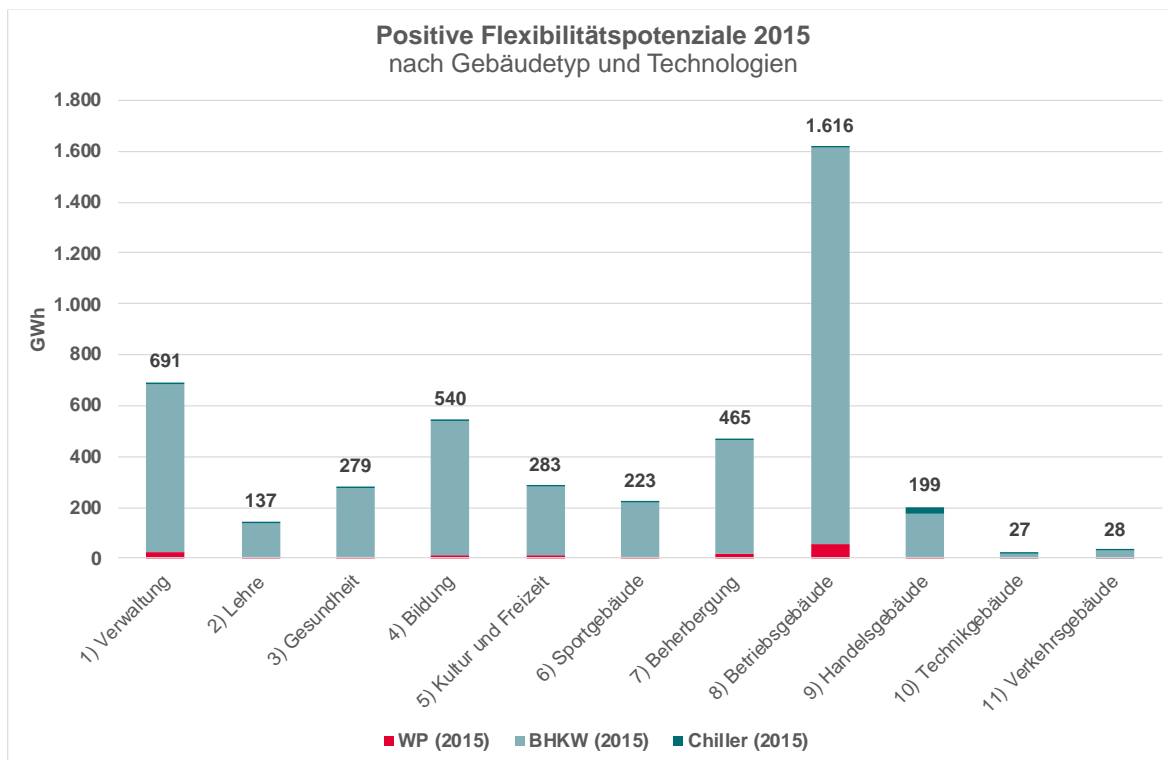


Abbildung 95 Positive Flexibilisierungspotenziale (pFP) in Gigawattstunden (GWh) für das Jahr 2015 nach Gebäudekategorie und Technologien

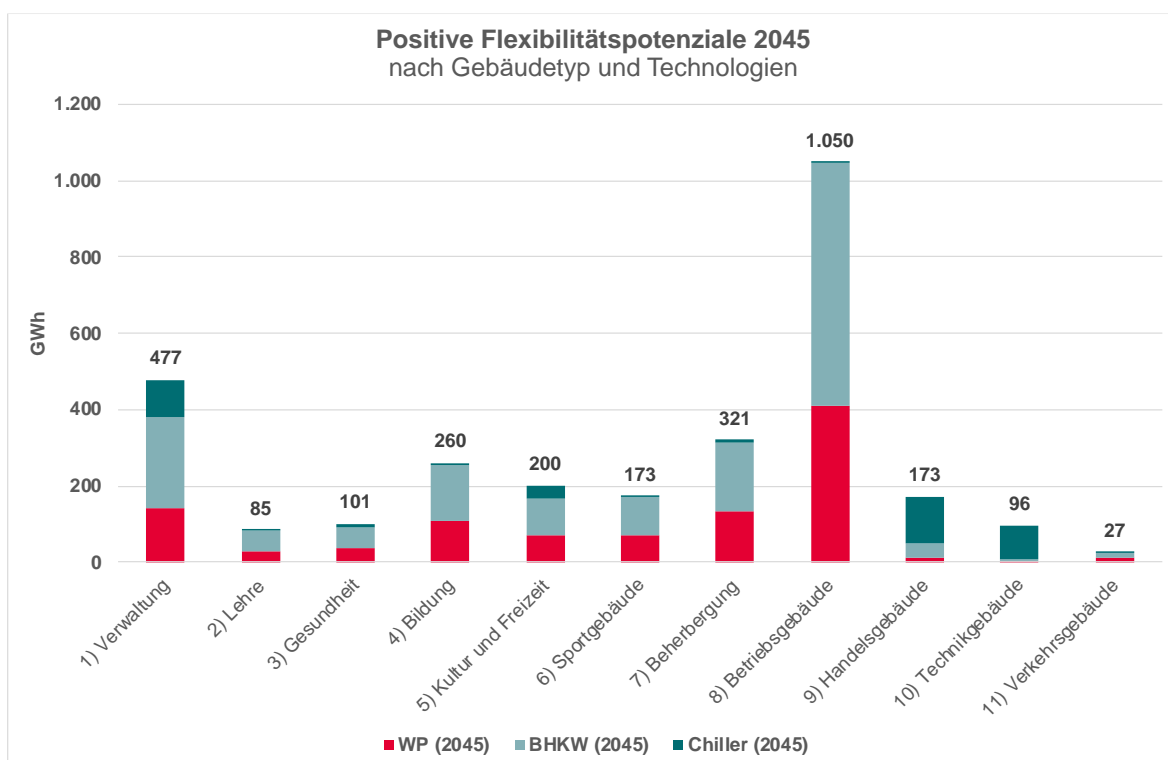


Abbildung 96 Positive Flexibilisierungspotenziale (pFP) in Gigawattstunden (GWh) für das Jahr 2045 (Klimaneutral-Szenario) nach Gebäudekategorie und Technologien