



Schlussbericht

Integrale Energieeffizienzpotenzialanalyse
zur Senkung des Primärenergiebedarfs und
Lastflexibilisierung in bestehenden Gewerbegebieten

Vorhaben O3FK0038A/B
der Nationalen Klimaschutzinitiative des BMU

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Karlsruhe, 29. März 2019

Auftraggeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)

Abwicklung

Projektträger Jülich (PTJ)

Zuwendungsempfänger

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Moltkestr. 30, 76133 Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Marco Braun | marco.braun@hs-karlsruhe.de

in Zusammenarbeit mit:

IREES GmbH – Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien

Schönfeldstraße 8, 76131 Karlsruhe

Dr. Jan Steinbach

Vorhabentitel

Integrale Energieeffizienzpotenzialanalyse zur Senkung des Primärenergiebedarfs und Lastflexibilisierung in bestehenden Gewerbegebieten

Kurzform

„Interflex4Climate“

Bewilligungszeitraum

01.01.2016 bis 31.01.2019

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Marco Braun, Hochschule Karlsruhe

Markus Bohlayer, Hochschule Karlsruhe

Markus Fleschutz, Hochschule Karlsruhe

Dr. Jan Steinbach, IREES GmbH

Natalja Ashley-Belbin, IREES GmbH

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
Zusammenfassung	6
Teil I: KURZE DARSTELLUNG DES PROJEKTES	10
1 Aufgabenstellung	10
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	10
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	11
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand	14
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	15
Teil II: EINGEHENDE ERGEBNISDARSTELLUNG	16
1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen.....	16
1.1 Projekthintergrund	16
1.1.1 Initiatoren, Beteiligte und Projektmanagement	16
1.1.2 Ansatz des Projektes.....	16
1.2 Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	18
1.2.1 Vorgehensweise bei der Gewinnung von Multiplikatoren	18
1.2.2 Erarbeitete Softwaretools zur Analyse	20
1.2.3 Vorgehen bei der Energiesystemanalyse	23
1.2.4 Energieanalysen in den einzelnen Gebieten	26
1.2.5 Geschäftsmodellentwicklung und Betreiberidentifikation.....	57
1.2.6 Evaluation und Monitoring.....	60
1.2.7 Schlussfolgerung.....	61
1.3 Gegenüberstellung der Projektergebnisse mit den vorgegebenen Zielen	63
1.3.1 Beitrag zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung.....	64
1.3.2 Innovationscharakter.....	64
1.3.3 Mobilisierungs- und Breitenwirkung	65
1.3.4 Projektinterne Ziele (Meilensteine)	66
2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	67
3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	67
4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	67
5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	68
6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	69
6.1 Wissenschaftliche Artikel.....	69
6.2 Wissenschaftliche Präsentationen	70
6.3 Jahreskonferenzen	71
6.4 Leitfaden.....	73

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Balkenplan (Zeitlicher Ablauf des Projektes)	12
Abbildung 2: Alternative Darstellung des zeitlichen Ablaufs des Projektes	13
Abbildung 3: Verteilung der Personenmonate aller Projektpartner auf die Arbeitspakete	14
Abbildung 4: Ablaufdiagramm des Projektes	17
Abbildung 5: Säulen des Projektes	18
Abbildung 6: Ablauf der Energiesystemanalyse	25
Abbildung 7: Checkliste der Phasen in der Unternehmensanalyse zu Projektende	26
Abbildung 8: Regionale Verteilung der analysierten Gewerbegebiete	26
Abbildung 9: Übersicht des Untersuchungsgebietes Beckum	28
Abbildung 10: Abgasstrom im Zementwerk, (1) vom Zyklonawärmetauscher kommend	29
Abbildung 11: Potentielle Netzstrukturen im Energieverbund	30
Abbildung 12: Schema der Modellierung des stromintensiven Zementmahlprozesses	31
Abbildung 13: Vergleich eines am Spotmarkt optimierten Produktionsplanes (unten) mit einem am HT/NT- optimierten Produktionsplan (oben)	32
Abbildung 14: Übersicht der untersuchten Unternehmen im Gewerbegebiet	33
Abbildung 15: Top Energy Modell der GUD bei Opel	34
Abbildung 16: Modell des Unternehmensverbundes in Rüsselsheim	35
Abbildung 17: Werft der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG	36
Abbildung 18: Unternehmensbegehung einer Werfthalle der FSG	37
Abbildung 19: Schema der Modellierung von Druckluft-, Wärme-, Stromsystem	38
Abbildung 20: Aufteilung des Untersuchungsgebietes Walzbachtal in sinnvolle Quartiere	41
Abbildung 21: Schematische Darstellung des Zementproduktionsprozesses und mögliche Wärmeauskopplungsmöglichkeiten(1-7)	42
Abbildung 22: Wärmebedarfsstruktur und Wärmelastgang der untersuchten Quartiere	42
Abbildung 23: Auslegung des Nahwärmenetzes	43
Abbildung 24: Übersicht des Untersuchungsgebietes Zaisenhausen	45
Abbildung 25: Ergebnisse Analyse Zaisenhausen	46
Abbildung 26: Übersicht des Untersuchungsgebietes Ispringen	48
Abbildung 27: Übersicht des Untersuchungsgebietes Steinbach (Baden-Baden)	50
Abbildung 28: Schema der Modellierung	51
Abbildung 29: Übersicht des Untersuchungsgebietes Markgröningen	56
Abbildung 30: Geschäftsmodellentwicklungsprozess für den Anwendungsfall „Industrielle Energieverbundlösungen“	58
Abbildung 31: Ablaufdiagramm der Implementierung industrieller Energieverbundlösungen durch EVUs	59
Abbildung 32: Impressionen der ersten Interflex4Climate Jahreskonferenz	72
Abbildung 33: Impressionen der zweiten Interflex4Climate Jahreskonferenz	73
Abbildung 34: Titelseite des Leitfadens „Überbetriebliche Nutzung industrieller Abwärme“	74

Abkürzungsverzeichnis

AP.....	Arbeitspaket
BHKW.....	Blockheizkraftwerk
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DSM.....	Demand Side Management
EE.....	Erneuerbare Energien
EMS.....	Energiemanagementsystem
GHD.....	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GWh.....	Gigawattstunden
HSKA.....	Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
IREES.....	Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien
IT.....	Informationstechnik
KWK.....	Kraft-Wärme-Kopplung
MILP.....	Mixed Integer linear Programming
MS.....	Meilenstein
PV.....	Photovoltaik
t.....	Tonnen
THG.....	Treibhausgas
THGE.....	Treibhausgas-Emissionen
WP.....	Wärmepumpe

Zusammenfassung

Ausgangssituation

Die Industrie ist in Deutschland verantwortlich für ca. 47 % des Gesamtstrombedarfs und für ca. 43 % des Gesamtwärmebedarfs. Ohne ein Mitwirken dieser Zielgruppe, können die Klimaschutzziele der Bundesregierung nicht erreicht werden. Die eingesetzte Energie muss zukünftig einerseits regenerativ bereitgestellt und andererseits möglichst effizient genutzt werden. Durch eine Flexibilisierung des Energiebezugs an der Systemgrenze von Industriekomplexen kann der Anteil erneuerbaren Stroms gesteigert und weitere Systemdienstleistungen erbracht werden.

Ziel des Projektes

Ziel des Projektes war es einerseits zu untersuchen, welche Vorteile und Potenziale die Kopplung verschiedener Unternehmen in einem Energieverbund bieten und andererseits, wie die Unternehmen durch Lastflexibilisierung die Integration von erneuerbaren Energien befördern können. Hierzu sollten exemplarisch deutschlandweit zehn Gewerbegebiete mit bis zu fünf benachbarten Unternehmen analysiert und hinsichtlich der Energieeffizienzsteigerung im Verbund und Lastflexibilisierung (Demand Side Management) untersucht werden. Die gewonnen Erkenntnisse, Handlungsmöglichkeiten und Effizienzpotenziale sollten durch das Kommunikationskonzept der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, um so die Diffusion und Übertragung in andere Städte sicherzustellen.

Methodisches Vorgehen

Die **Gewinnung von Unternehmen** zur Teilnahme am Projekt stellte eine große Herausforderung dar, welche nur durch eine klare Kommunikations- und Öffentlichkeitsarbeit überwunden werden kann. Hierzu wurde ein Kommunikationskonzept entwickelt, welches vorsah in geeigneten Regionen zunächst die Multiplikatoren (Gemeinde, Wirtschaftsförderung, Klimaschutzbeauftragte, Energieagentur) anzusprechen und zu gewinnen. Diese verfügen meist über gute Kontakte in die Unternehmen und pflegen eine vertrauensvolle Beziehung. Die Multiplikatoren sprechen die Unternehmen an und laden, bei Interesse, zu einer unverbindlichen Informationsveranstaltung ein. Das Projektteam informiert hierbei durch Präsentationen und Diskussionsrunden und überzeugt die Unternehmen am Projekt teilzunehmen. Um die Energiesysteme der Unternehmen zu verstehen und die Daten aufzunehmen werden Vorort-Begehungen mit den Energieverantwortlichen der Unternehmen durchgeführt.

Durch **mathematische Modellierung** werden die Ist-Energiesysteme der Unternehmen abgebildet. Hierzu werden kommerzielle Simulations- und Optimierungsumgebungen eingesetzt. Die Energie-

systeme werden mit physikalisch motivierten Grey-Box-Modellen beschrieben. Ausgehend von diesem Ist-Energiesystem können verschiedene Betriebs- und Strukturvarianten simuliert und bewertet werden. Alternativ können mögliche Strukturerweiterungen auch als Entscheidungsvariablen in einem Optimierungsmodell berechnet werden. Hierdurch werden Effizienz-Maßnahmen identifiziert und hinsichtlich ihrer ökologischen und ökonomischen Leistungsfähigkeit bewertet.

Die **Geschäftsmodellentwicklung** begegnet den Hemmnissen der Unternehmen, diese Potenziale zu heben. Im Einzelnen sind das Informationsdefizite - insbesondere über die Höhe der Potenziale - als auch Risiken bezüglich der Finanzierung sowie der Versorgungs- und Abnahmesicherheit.

Die **Diffusion und Übertragung** der Ergebnisse auf andere Regionen werden durch eine breit aufgestellte Öffentlichkeitsarbeit gewährleistet. Als Medien dienen hierzu, die Projekthomepage, Informationsmaterialien, Jahreskonferenzen, Vorträge auf Konferenzen und Messen sowie Publikationen. Außerdem wurde im Rahmen des Projektes ein Leitfaden erstellt, der Kommunen bei der Identifikation und Entwicklung von sinnvollen, überbetrieblichen Energieverbundlösungen unterstützt.

Ergebnisse

Der Aufwand in der Gewinnungsphase überstieg deutlich die geplanten Kapazitäten. In der Gewinnungsphase wurden zunächst 70 Multiplikatoren angesprochen. Von diesen Kontakten wurde die Kommunikation mit über 50 Multiplikatoren fortgeführt, um eine Projektteilnahme abzustimmen. In 11 Gebieten wurden hierbei über 40 Unternehmen untersucht. Darüber hinaus wurde die Energiebedarfsstruktur in 11 Quartieren untersucht um Verbundpotenziale auch zwischen industriellen Unternehmen und Wohnbezirken zu identifizieren.

Insgesamt wurden 21 Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz identifiziert, modelliert und hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und ökologischer Auswirkungen bewertet. In der Summe haben diese Maßnahmen einen Investitionsumfang von etwa 20 Mio. Euro und ein Reduktionspotenzial von ca. 24.000 Tonnen CO₂/Jahr. Das Investitionsvolumen der identifizierten Einzelmaßnahmen reicht hierbei von 5.000 Euro bis hin zu 2,4 Mio. Euro und die durchschnittliche Amortisationszeit beträgt 4,3 Jahre. Diese Potenziale resultieren aus den Abwärmepotenzialen, den Effizienzpotenzialen in der Erzeugung und Wandlung unterschiedlicher Energieformen (Druckluft, Wärme, Kälte, Strom), den Ausgleichseffekten im Verbund und dem Einsatz regenerativer Energien.

In sechs der untersuchten Gebiete wurden identifizierte Grobpotenziale zur Lastflexibilisierung detailliert untersucht. Potenziale ergaben sich durch die Flexibilisierung von Produktionsprozessen, der Beladung von elektrischen (Flurförder-)fahrzeugen, der Flexibilisierung von Energiewandlungsanla-

gen. Monetarisieren lässt sich diese Flexibilität auf dem Day-Ahead Spotmarkt, den Regelleistungsmärkten, zur Reduktion von Lastspitzen und gemäß der Verordnung der abschaltbaren Lasten. Der ökologische Wert der Systemdienstleistungen lässt sich schwer bewerten. Für die Bewertung der Emissionsreduktion, in Folge des optimierten Strombezugs an der Strombörse, wurde hingegen ein Tool entwickelt. Die gesamten Kostensenkungspotenziale, durch Lastflexibilisierungsmaßnahmen, belaufen sich hierbei auf etwa 1,1 Mio. Euro und die Emissionsreduktionspotenziale auf ca. 7.000 Tonnen CO₂-Äquivalent/Jahr.

In der Geschäftsmodellentwicklung wurden die Hemmnisse und fördernde Faktoren erarbeitet und Betreibermodelle mit Hilfe des Business-Modell-Canvas entwickelt. Im Wesentlichen wird klar, dass die Infrastruktur komplexerer Energieverbünde durch externe Akteure betrieben werden muss, welche Ihre Kernkompetenz im Aufbau und Betrieb von Energiesystemen sehen. Diese Akteure können die Systeme effizient betreiben, gewonnene Flexibilität vermarkten und die Versorgungssicherheit gewährleisten.

Zur Übertragung und Diffusion der Projektergebnisse wurden zwei Jahreskonferenzen durchgeführt. Insgesamt wurden 15 Vorträge auf Konferenzen, Fachtagungen und Kongressen gehalten und Ergebnisse oder erarbeitete Verfahren aus dem Projekt vorgestellt. Darüber hinaus wurden in Zusammenhang mit dem Projekt vier referierte Fachartikel publiziert. Zwei weitere Fachartikel befinden sich in der Vorbereitung zur Einreichung in referierten Fachzeitschriften. Im Projekt konnte darüber hinaus festgestellt werden, dass die meisten Hemmnisse durch eine engagiert handelnde Kommune als Projektkoordinator überwunden werden können. Aus diesem Grund wurde ein Leitfaden für Kommunen entwickelt, welcher diese bei der Identifikation und Durchführung von Energieverbundprojekten unterstützt.

Fazit

Energieverbünde bieten große ökonomische und ökologische Potenziale, deren Umsetzung mit dem derzeitigen Stand der Technik durchführbar sind. Jedoch steht der Entwicklung von Energieverbundprojekten eine Vielzahl von Hemmnissen gegenüber.

Hier kann das Projekt "Interflex4Climate" einen großen Beitrag leisten. Einerseits wurden im Projekt Hemmnisse aber auch fördernden Faktoren identifiziert, andererseits wurden Vorgehensweisen zur Überwindung dieser erarbeitet und im realen Umfeld erprobt. Darüber hinaus wurden Methoden und Verfahren entwickelt, um die optimale Zusammensetzung, das Design und den Betrieb von Energieverbänden mit mathematischen Modellen zu bestimmen.

Die Ergebnisse aus dem Projekt werden den einzelnen Zielgruppen über spezifische Kanäle zugänglich gemacht und die Diffusion und Übertragung des Projekts so auch über die Laufzeit hinaus sichergestellt.

Teil I: KURZE DARSTELLUNG DES PROJEKTES

1 Aufgabenstellung

Das Projekt Interflex4Climate hat zum Ziel Lösungsansätze für betriebsübergreifende Energiekonzepte in Gewerbe- und Industriegebieten zu entwickeln, Hemmnisse und fördernde Faktoren zu identifizieren und Unternehmen und Energiedienstleister in die Umsetzungsplanung zu bringen.

Um dies zu erreichen sollten in zehn deutschen Gewerbegebieten in je drei bis fünf Unternehmen die Energieverbrauchsstrukturen detailliert analysiert werden. Betriebsübergreifend sollen diese als Energiesystem modelliert und durch Einsatz von computergestützten Simulationstools optimiert werden. Dabei werden nicht nur Wärmequellen und –senken, sondern auch Vermarktungspotenziale zur Lastflexibilisierung am Spot- und Regelleistungsmarkt berücksichtigt. Mit Unternehmen und Energiedienstleistern werden Geschäftsmodelle entwickelt um die Lösungsansätze in die Umsetzung zu übertragen.

Die gewonnen Erkenntnisse werden der interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht um eine Verbreitung und Diffusion zu gewährleisten.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Industrie nutzt in Deutschland derzeit ca. 47 % des gesamten produzierten Stroms und ca. 43 % der gesamten produzierten Wärme.¹ Gleichzeitig nimmt die Fluktuation insbesondere der Stromerzeugung durch Wind- und Sonnenenergie stark zu. Bei gleichbleibender oder steigender industrieller Produktion können ohne deutliche Verringerung des Primärenergiebedarfs (Energieeffizienzsteigerungen) des Handlungsfeldes Wirtschaft die Ziele des Bundes im Klimaschutz nicht oder nur sehr schwer erreicht werden. Und wegen des hohen Anteils des genutzten Stroms kommt diesem Handlungsfeld automatisch eine hohe Bedeutung bei der Lastflexibilisierung (Demand Side Management) zu.

¹ Gesamtausgabe der Energiedaten - Datensammlung des BMWi,

<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/gesamtausgabe,did=476134.html>

Häufig finden sich in Gewerbegebieten in unmittelbarer Nachbarschaft Unternehmen unterschiedlichster Typologien. Eine Kopplung dieser Unternehmen verspricht Energieeffizienzsteigerungspotenziale durch Ausgleichs-, Synergie- und Kostendegressionseffekte. Überschüssige Energiemengen, die in vielen Fällen als Abwärme bei Produktionsprozessen anfällt, können in unternehmensübergreifenden Verbänden nutzbar gemacht werden. Ebenfalls können Energiewandlungsanlagen im Verbund größer dimensioniert und effizienter betrieben werden.

Elektrische Lasten werden in der Industrie selten flexibilisiert und wenn dann meist mit dem Ziel kostenintensive Lastspitzen zu vermeiden. Die systemdienliche Nutzung von industriellen flexiblen Lasten spielt eine untergeordnete Rolle. Neben einer Flexibilisierung von produktionsbedingten Lasten bietet die Flexibilisierung dezentraler Energiewandlungsanlagen die Möglichkeit der Flexibilisierung an der Systemgrenze zum übergeordneten Energieversorgungssystem. Durch einen Strombezug an der Strombörse und einer Vermarktung von Flexibilität auf Regelleistungsmärkten bestehen finanzielle Anreize zur Lastflexibilisierung.

Die größten Hemmnisse für Unternehmen, derartige Potenziale zu identifizieren und zu heben sind im wesentlichen Informationsdefizite und Hemmnisse der Versorgungs-, Abnahmesicherheit sowie der Finanzierung. Im Rahmen des Projektes sollen Informationsdefizite nicht nur in den beteiligten Unternehmen abgebaut werden, sondern durch eine breite Öffentlichkeitsarbeit auch für weitere Gewerbegebiete und Anwender sichtbar und Möglichkeiten der Überwindung übertragbar gemacht werden. Hemmnisse der Versorgungs-, Abnahmesicherheit und Finanzierung werden durch die Entwicklung geeigneter Geschäftsmodelle begegnet.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Forschungsprojekt „Interflex4Climate“ lief von Januar 2016 bis Januar 2019. Die ursprüngliche Arbeitsplanung (siehe Abbildung 1) wurde durch zusätzliche Arbeitsschritte ergänzt, die sich erst während der Projektlaufzeit ergaben.

Die wichtigsten Aufgaben in den ersten Monaten waren die Entwicklung des Konzeptes zur Öffentlichkeitsarbeit, die Vorbereitung und Weiterentwicklung der Analyse- und Modellierungsmethodik, sowie die Gewinnung regionaler Multiplikatoren und Unternehmen. Mit einem attraktiven Kommunikationskonzept bestehend aus Homepage, Flyern, Projektpräsentationen wurden die Multiplikatoren angesprochen und erste Unternehmen für das Projekt gewonnen. Die teilnehmenden Gebiete wurden in den arbeitsintensiven Arbeitspakete 4 und 5 hinsichtlich ihrer Verbund- und Lastflexibilisierungspotenziale untersucht. Abweichend von der ursprünglichen Planung aus Abbildung 1, wurden die Optimierungs- und Simulationsmodelle dazu laufend eigens weiterentwickelt, sodass es

möglich wurde, zu den Potenzialen auch passende technische Grobkonzepte zu deren Hebung mitzuliefern. In Abbildung 7 sind die einzelnen Analysen übersichtlich dargestellt. Begleitend diente das Arbeitspaket 6 zur Identifikation von Hemmnissen und fördernden Faktoren. Um diese Hemmnisse abzubauen wurden Geschäftsmodelle entwickelt, die im Arbeitspaket 7 mit den realen Hemmnissen und Anforderungen validiert wurden. Die gewonnenen Erkenntnisse zur Herangehensweise bei der Vorbereitung und Planung von Energieverbundprojekten wurden in einem Leitfaden für Kommunen der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Eine detaillierte Gegenüberstellung der projektinternen Ziele (Meilensteine) mit den erreichten Ergebnissen ist in Teil II, Abschnitt 1.3.4 zu finden.

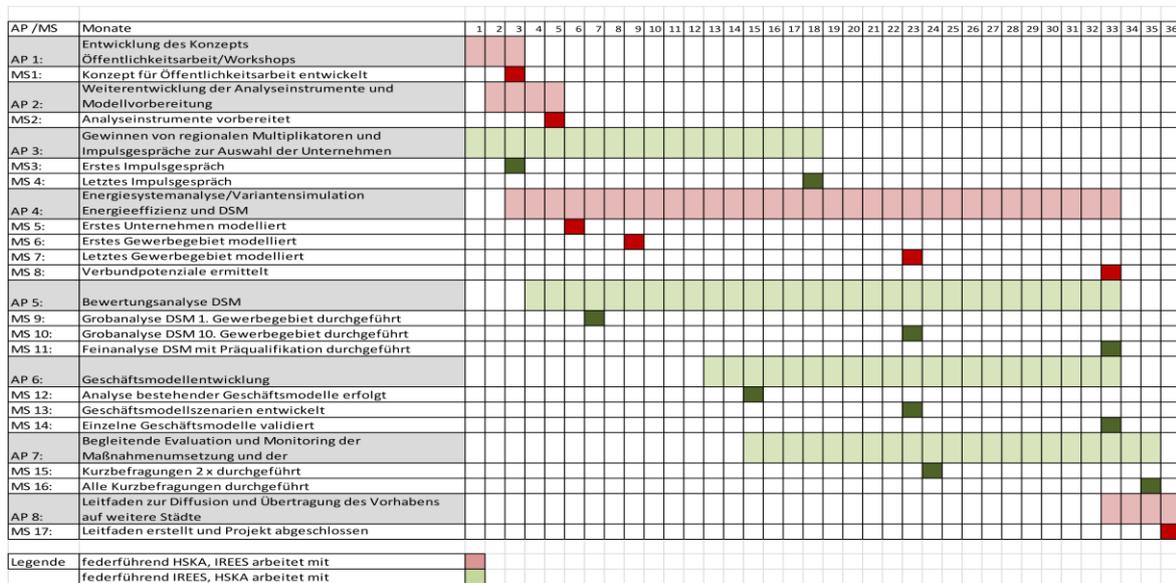


Abbildung 1: Balkenplan (Zeitlicher Ablauf des Projektes)

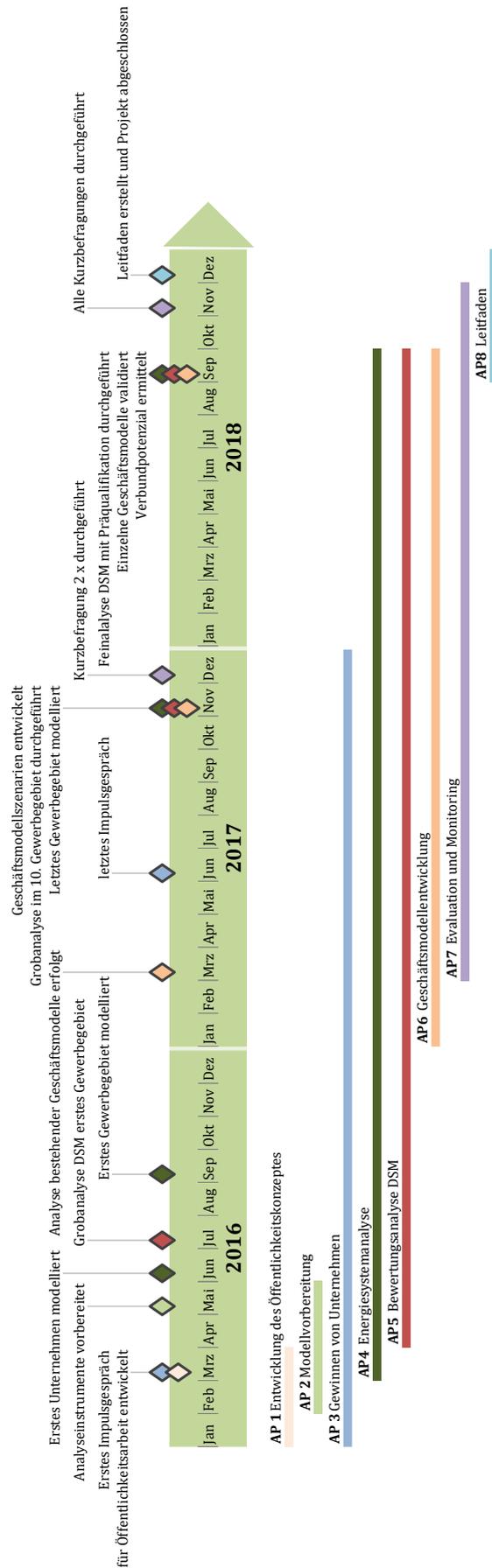


Abbildung 2: Alternative Darstellung des zeitlichen Ablaufs des Projektes

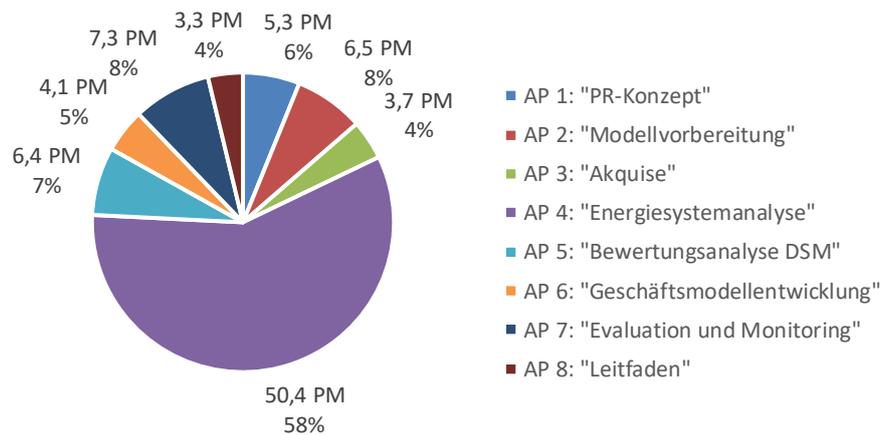


Abbildung 3: Verteilung der Personenmonate aller Projektpartner auf die Arbeitspakete

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Das wirtschaftliche und ökologische Potenzial der Abwärme-Nutzung ist offensichtlich und bereits lange erkannt. Deshalb ist in einer Vielzahl von Unternehmen die innerbetriebliche Nutzung der Abwärme bereits heute zumindest teilweise Stand der Technik. Eine Energieberatung für ein Unternehmen verfolgt heute den Ansatz der isolierten unternehmensspezifischen Analyse und Hebung von innerbetrieblichen Effizienzpotenzialen. Auch eine Lastflexibilisierung wird gerade in industrieintensiven Betrieben mit Möglichkeiten der Pufferspeicherung (z. B.: Zementindustrie) heute schon standardmäßig aus wirtschaftlichen Gründen durchgeführt.

Verschiedene Projekte stellen die Grundlage für die Methodik im Projekt. Im Projekt „Energie Atlas Bayern“ stellt das Bayerische Landesamt für Umwelt seit April 2013 allen notwendigen Informationen zu den Bereichen Biomasse, Geothermie, Sonne, Wasser, Wind und Abwärme zu Verfügung.² Im Projekt „Heatloop“ wurde die überbetriebliche Abwärmenutzung untersucht. Hierbei wurden Wärmequellen und Senken gegenübergestellt, ohne hierbei die dezentrale Erzeugung und Wandlung in andere Energieformen zu berücksichtigen.³ Im Projekt KomRev untersucht das Solar-Institut Jülich der FH Aachen die zukunftsfähige Energieversorgung für Rheine. Hier sollen Konzepte zur CO₂-freien Energieversorgung entwickelt werden. Neben bekannten Quellen, wie Sonne, Wind, Erdwärme und Biomasse sollen auch Abwärmequellen berücksichtigt werden. Betrachtet werden hierbei Verbraucher (Haushalte, Industrie und Gewerbe, Verkehr) und Erzeuger (PV, BHKW, Wind, etc.). Im Fokus

² Energie-Atlas Bayern - <https://www.energieatlas.bayern.de/>

³ Heatloop - <https://www.heatloop.de/>

stehen nicht explizite Effizienzmaßnahmen für die Industrie, sondern allgemeine Energiekonzepte auf kommunaler Ebene.⁴

Bei allen diesen Projekten werden die Abwärmepotenziale abgeschätzt, es werden aber keine Simulationsmodelle für die Unternehmen und Verbände erstellt, so dass die Rückwirkung von Maßnahmen erkannt werden können und Änderungen von Unternehmensstrukturen nur sehr eingeschränkt durchgeführt werden können. Im diesem Projekt Interflex4Climate sollen hingegen nicht nur Abwärmequellen und –senken betrachtet werden. Vielmehr werden die Energiesysteme ganzheitlich betrachtet, simuliert und optimiert. Dadurch können auch indirekte Abwärmenutzungsmöglichkeiten identifiziert werden und Synergieeffekte zwischen verschiedenen Maßnahmen erkannt werden. Diese Synergieeffekte können die Wirtschaftlichkeit von Abwärmemaßnahmen steigern. Darüber hinaus wird untersucht, wie diese Verbund-Konzepte für eine mögliche Flexibilisierung der Stromaufnahme geeignet sind.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zuwendungsgeber dieses Projekts war das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Projektträger war der Projektträger Jülich (PtJ). Eine Zusammenarbeit mit anderen administrativen Stellen oder Ministerien lag nicht vor. Die Zusammenarbeit mit den Multiplikatoren und teilnehmenden Industrieunternehmen sind in Kapitel 1.2 dargestellt.

⁴ “KomRev - Die kommunale Effizienzrevolution für den Klimaschutz in den deutschen Städten – Voraussetzungen, Transformationspfade und Wirkungen” - https://www.fh-aachen.de/fileadmin/ins/ins_solar_institut/pdfs/Abschlussbericht_FKZ03KSE043_KomRev_FINAL.pdf

Teil II: EINGEHENDE ERGEBNISDARSTELLUNG

1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen

1.1 Projekthintergrund

1.1.1 Initiatoren, Beteiligte und Projektmanagement

„Interflex4Climate“ war ein Projekt der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), welches von Januar 2016 bis Januar 2019 durchgeführt wurde.

Das Projekt baut auf der Konzeptstudie „Energieeffiziente Gewerbegebiete“ der Hochschule Karlsruhe und auf diversen Aktivitäten der IREES zum Thema Lastflexibilisierung auf. Nach Einreichung einer Skizze im Jahr 2014 und einem Vollantrag im Jahr 2015, wurde das Projekt im Rahmen der Zuwendung aus Mitteln der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) bewilligt.

1.1.2 Ansatz des Projektes

Im Projekt sollten Verfahren und Methoden zur Analyse von Energieeffizienzpotenzialen im Energieverbund unter Berücksichtigung von DSM entwickelt und angewandt werden. Diese Methoden sollten deutschlandweit exemplarisch in zehn Gewerbegebiete eingesetzt und erprobt werden. Im Wesentlichen ergeben sich daraus vier Hauptarbeitsstränge im Projekt, die in Abbildung 4 dargestellt sind.

In der **Kommunikations- und Öffentlichkeitsarbeit** werden zwei Ziele verfolgt. Einerseits müssen Methoden und Konzepte zur Gewinnung der Unternehmen entwickelt werden und andererseits muss ein Konzept entwickelt werden, um die Erkenntnisse des Projektes der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Im Arbeitsstrang **Modell und Simulation** werden mathematische Simulations- und Optimierungsmodelle entworfen und auf die zehn Gewerbegebiete angewandt. So werden die Verfahren auf Ihre Anwendbarkeit in realen Fallstudien erprobt und die Potenziale durch Energieverbände und Lastflexibilisierung in den Gebieten bestimmt. Der Hebung von Verbundpotenzialen stehen diverse Hemmnisse entgegen. Diese gilt es zunächst im Arbeitsstrang der **Geschäftsmodellentwicklung** zu identifizieren. Um diesen Hemmnissen zu begegnen sollen im Projekt innovative Betreiber und Geschäftsmodelle identifiziert werden. Begleitend zum Projekt wird ein **Monitoring und eine Evaluation** aller Maßnahmen durchgeführt.

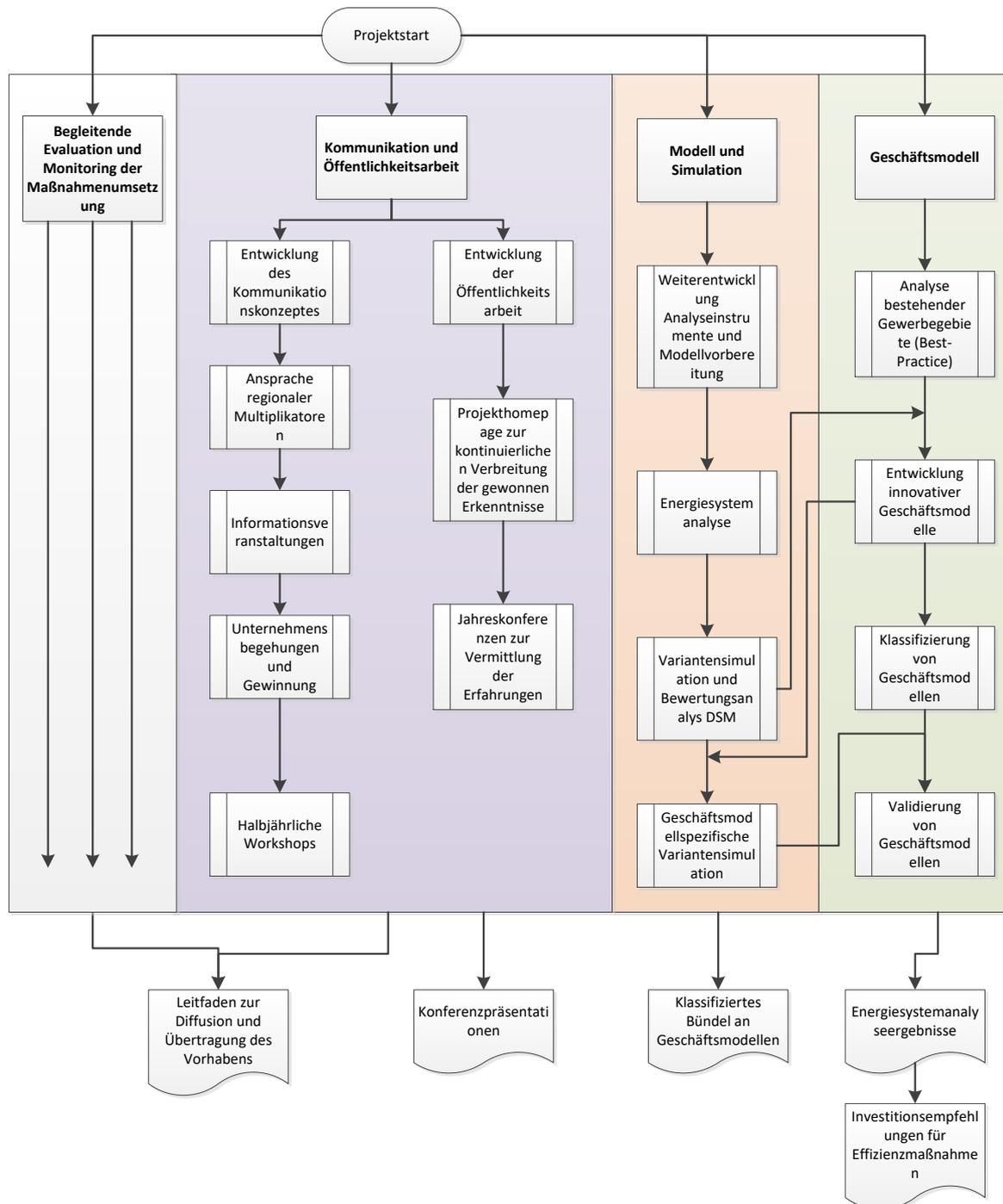


Abbildung 4: Ablaufdiagramm des Projektes

Zielsetzungen und Schwerpunkte des Projektes

Das Projekt "Interflex4Climate" hat zum Ziel, Lösungsansätze für betriebsübergreifende Energiekonzepte in Gewerbe- und Industriegebieten unter Berücksichtigung von Lastflexibilisierung zu entwickeln, Hemmnisse und fördernde Faktoren zu identifizieren und Unternehmen und Energiedienstleister in die Umsetzungsplanung zu bringen.

Um dies zu erreichen sollten in zehn deutschen Gewerbegebieten in je drei bis fünf Unternehmen die Energieverbrauchsstrukturen detailliert analysiert werden. Betriebsübergreifend sollen diese als

Energiesystem modelliert und durch Einsatz von computergestützten Simulationstools optimiert werden. Dabei werden nicht nur Wärmequellen und –senken, sondern auch Vermarktungspotenziale zur Lastflexibilisierung am Spot- und Regelleistungsmarkt berücksichtigt. Mit Unternehmen und Energiedienstleistern werden Geschäftsmodelle entwickelt, um die Lösungsansätze in die Umsetzung zu übertragen.

Daraus ergeben sich die drei Arbeitsschwerpunkte Energieeffizienz (im Verbund), Lastflexibilisierung und (Entwicklung von) Geschäftsmodellen. In der Kommunikation wurden diese Schwerpunkte als Säulen des Projekts verwendet, welche in folgender Abbildung zu sehen sind:

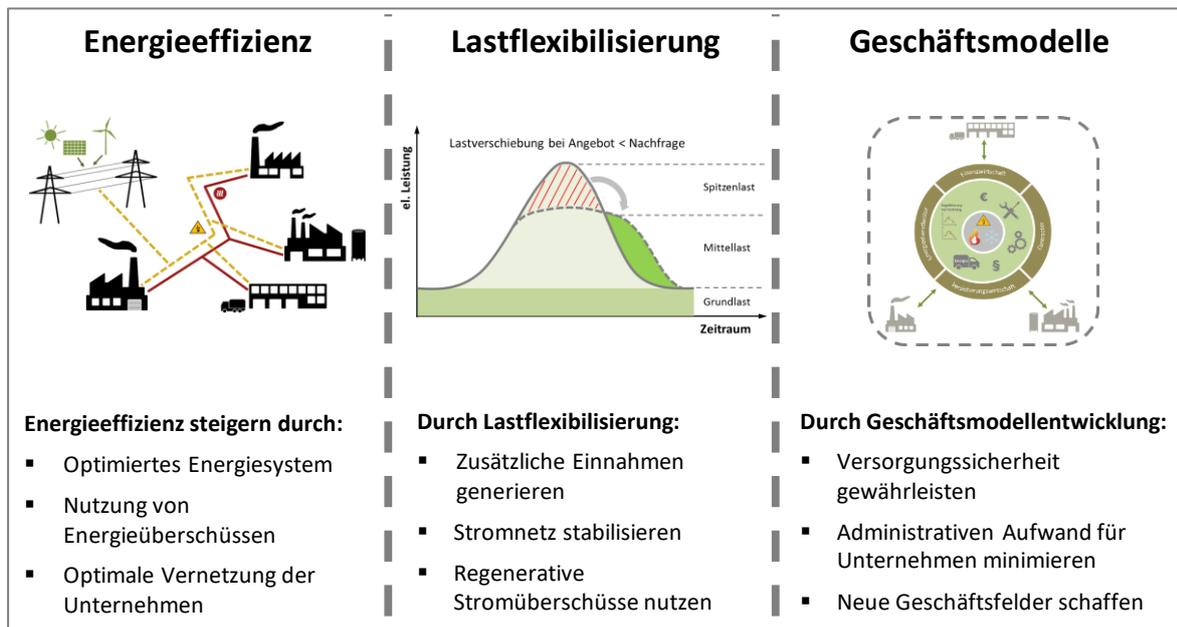


Abbildung 5: Säulen des Projektes

1.2 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

1.2.1 Vorgehensweise bei der Gewinnung von Multiplikatoren

Bei der Anbahnung von potenziellen Untersuchungsgebieten wurde ein Vorgehen gewählt, das stark auf die Einbeziehung regionaler Multiplikatoren setzt. Die Aussicht auf eine Teilnahme der Unternehmen, inklusive kommunaler Liegenschaften am Projekt ist höher, wenn ein Multiplikator involviert ist, wobei eine Person oder Einrichtung gemeint ist, die Informationen - in diesem Fall zum Projekt "Interflex4Climate" - weitergibt und zur Verbreitung unter den potenziellen Projektteilnehmern beiträgt. Ein solcher geeigneter Multiplikator ist oft der/die Bürgermeister(in), der/die Klimaschutzmanager(in), proaktive(r) Mitarbeiter(in) der Stadt/Kommune, in seltenen Fällen aber auch die Wirtschaftsförderung oder der Energieversorger. In jedem Fall kennt ein guter Multiplikator die orts-

ansässigen Unternehmen und kann direkt einschätzen, inwiefern sie für eine Projektteilnahme geeignet sind. Die Bekanntheit und das Vertrauen des Multiplikators bei den Unternehmen ist ein wichtiger, positiver Treiber in deren Entscheidungsprozess zur Projektteilnahme.

Das Projektteam konnte in der Ansprache der Multiplikatoren bestehende Kooperationen zu regionalen Wirtschaftsförderungsplattformen, Energieversorgern, Energieagenturen etc. nutzen. Diese bestehen bereits meist langjährig und mit großen Vertrauen durch die Pilotprojekte 30 Pilot-Netzwerke, "Mari:e – Mach`s richtig energieeffizient" sowie durch die "Dena-Pilot-Projekte DSM Baden-Württemberg".

Vor der Kontaktaufnahme mit einem Multiplikator, wurden Städte bzw. Kommunen auf ihre Projektauglichkeit, nach bestimmten Kriterien⁵, sondiert. Zuerst wurden die Masterplankommunen, Masterplan 100 % Klimaschutz⁶, auf ihre Projektauglichkeit untersucht. Kommt die Stadt bzw. die Kommune für das Projekt in Frage, werden die potenziellen Multiplikatoren, im ersten Schritt, zwecks Projektvorstellung telefonisch kontaktiert. Liegt Interesse seitens der angesprochenen Multiplikatoren vor, wird im Nachgang Informationsmaterial verschickt. Das Informationsmaterial wurde vorher von dem Projektteam vorbereitet und besteht aus einer kompakten, repräsentativen Projektbeschreibung sowie einer Kurzpräsentation und Flyer. Eine Teilnahmevereinbarung für die Kommunen wurde ebenfalls mitversendet, um die konkreten Teilnahmebedingungen zu kommunizieren. Im nächsten Schritt wird das Projekt vor Ort den potenziellen Multiplikatoren vorgestellt. Die gewonnenen Multiplikatoren treten anschließend telefonisch oder schriftlich mit den Unternehmen in Kontakt. Haben die Unternehmen Interesse an weiteren Informationsunterlagen bekundet, werden diese, einschließlich der Teilnahmevereinbarung für Unternehmen, durch das Projektteam oder durch den Multiplikator zur Verfügung gestellt. Sind mindestens drei Unternehmen am Projekt interessiert, wird ein Informationsworkshop für die Unternehmen von dem Multiplikator organisiert, wobei das Projektteam das Projekt vor Ort vorstellt und bei Bedarf auf offene Fragen eingeht.

Es hat sich gezeigt, dass die Zeitspanne zwischen dem Erstkontakt mit dem Multiplikator und dem Informationsworkshop für die Unternehmen deutlich verkürzt werden kann, wenn das Projekt im Rahmen einer bereits anstehenden Veranstaltung vorgestellt wird. So eine Veranstaltung ist z.B. ein Masterplanforum, bei dem mehrere für das Projekt relevanten Unternehmen anwesend sind. Auch

⁵ Unter anderem mit Gewerbegebieten mit mindestens drei Unternehmen, davon ein großes Unternehmen, in unmittelbarer Nachbarschaft.

⁶ Sind Städte beziehungsweise Kommunen mit einem Klimaschutzkonzept oder einem Klimaschutzteilkonzept „Gewerbe und Industrie“.

die Einladung der Unternehmen durch einen Schirmherrn (z.B. dem/der Bürgermeister(in)), zu einem Businesslunch, im Rahmen dessen das Projekt vorgestellt wird, kann fördernd sein.

Als Hilfswerkzeuge bei der Suche nach passenden Unternehmen können u.a. Energie-Atlas oder Abwärme-Atlas dienen. Auf diese Weise können Unternehmen mit hohem Energiebedarf sowie mit großer Abwärmemenge ausfindig gemacht werden. Als gute Vermittler können auch Umwelt- und Energieagenturen dienen.

1.2.2 Erarbeitete Softwaretools zur Analyse

In der Modellbildung industrieller Energiesysteme werden vereinfachte Abbildungen des Realitätsausschnittes erstellt, mit dem Ziel, die essenzielle Wirkungsstruktur des Systems herauszuarbeiten. Je nach Fragestellung muss der Modellierer den Detaillierungsgrad des Modells und den Modellierungsansatz festlegen. Im Projekt wurden unterschiedliche Modellierungs-, Simulations- und Optimierungsumgebungen genutzt.

Top Energy wurde als Software-Tool zur objektorientierten Modellbildung und Simulation von Energiesystemen eingesetzt. Hierbei konnten verschiedene Varianten von Energiesystemen simuliert und gegen ein Referenzsystem verglichen werden. So lassen sich die Maßnahmen zur Steigerung der ökonomischen und ökologischen Effizienz bewerten.

Zur Strukturoptimierung von industriellen Energiesystemen wurden verschiedene Optimierungsmodelle entworfen. Hierzu wurden die Modellierungssprachen AMPL, die höhere Programmiersprache Python und der Solver Gurobi verwendet. Die Strukturoptimierung des Energieversorgungssystems kann als multikriterielles, gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem - Englisch: Mixed-Integer-Linear-Programming (MILP) - beschrieben werden. Die Zielfunktion sieht dabei vor, sowohl die Emissionen, als auch die Kosten zu minimieren. Hierbei stellt jede Lösung auch einen Kompromiss dar, denn ausgehend von einer Lösung führt eine weitere Reduktion der einen Zielfunktion häufig zu einem Anstieg der zweiten Zielfunktion. Diese Kompromisse können auf der Pareto-Front dargestellt werden. Die Zielfunktion der Emissionen ($f^1(x, y)$) und die der Kosten ($f^2(x, y)$) werden über den Faktor $\alpha \in [0, 1]$ gewichtet.

In diesem Modell wird zunächst eine Superstruktur aufgebaut. Diese enthält alle Komponenten und Strukturkombinationen, die Teil des Energiesystems sein können. Durch die Lösung des Optimierungsproblems werden dann die Komponenten und deren Dimensionierungen bestimmt, welche die gewichteten Zielfunktionen minimieren.

Das Problem ist gemischt-ganzzahlig, da kontinuierliche Variablen ($x \in \mathbb{R}^n$) verwendet werden, um die Leistungen, Kapazitäten und Energieflüsse zu beschreiben und binäre Variablen ($y \in \{0,1\}^m$) verwendet werden, um die Betriebszustände oder die Auswahl diskreter, stückweiser Linearisierungen von Kennlinien zu beschreiben.

Die allgemeine Form des Optimierungsproblems lautete dann:

$$\min \alpha * f^1(x, y) + (1 - \alpha) * f^2(x, y)$$

$$s. t. \quad g(x, y) = 0$$

$$h(x, y) \leq 0$$

$$x \in \mathbb{R}^n, y \in \{0,1\}^m$$

Die eigentliche Modellierung des Energiesystems erfolgt in den Nebenbedingungen. So beschreiben Gleichheitsbedingungen $g(x, y) = 0$ Energiebilanzen oder Kennlinienmodell, Ungleichheitsbedingungen $h(x, y) \leq 0$ beschreiben beispielsweise Kapazitätsgrenzen.

Im Laufe des Projektes wurden verschiedene Analysemethoden und Tools zur Bewertung und Identifikation von Energieversorgungslösungen in gekoppelten Industrieunternehmen entwickelt (siehe Arbeitspaket 2: „Weiterentwicklung der Analyseinstrumente und Modellvorbereitung“). Im Folgenden werden die Wichtigsten in Kürze vorgestellt:

1. Lastganggenerator zur Simulation thermischer Gebäudelastgänge

Der Lastganggenerator ist ein Excel-Tool, welches aus monatlichen oder jährlichen Gebäudewärmebedarfen stündlich aufgelöste Lastprofile erzeugt. Hierzu stehen die Wetterdaten von 18 Typ-Regionen in Deutschland zur Verfügung. Der Lastgang kann mit den entsprechenden Betriebszeiten und Heizgrenztemperaturen des Unternehmens parametrisiert werden.

2. Leistungsganggenerator zur Simulation von PV-Leistungsgängen

Dieses Tool dient der Erzeugung von Leistungsgängen von existierenden oder potenziellen PV-Anlagen. Das Tool ist Excel-basiert und nutzt die Wetterdaten der TRY-Regionen. Die Leistung einer PV-Anlage wird stundenscharf in Abhängigkeit ihres Standortes, ihrer Nennleistung, und ihrer Orientierung berechnet. Die so erzeugten Lastgänge dienen als Eingangsgröße in den Simulations- und Optimierungsmodellen.

3. Optimierungsmodell zur betriebsinternen Strukturoptimierung inklusive Niedertemperaturabwärmenutzung

Zur Berechnung der optimalen Energieversorgungsstruktur innerhalb eines Industrieunternehmens wurde ein mathematisches Optimierungsmodell entwickelt, das es ermöglicht auch (Niedertemperatur-)Abwärme und Technologien zu deren Nutzung zu berücksichtigen. Ein Artikel zum Modell und deren Anwendung wurde im Fachmagazin Energy unter dem Titel “Low-grade waste heat integration in distributed energy generation systems - An economic optimization approach” veröffentlicht.

4. Optimierungsmodell zur Strukturoptimierung von Nahwärmeverbänden und zum Design der Infrastruktur zur Abwärmerekuperation

Werden in einem Gewerbegebiet Abwärmequellen und Wärmesenken identifiziert so bestehen häufig verschiedenste Möglichkeiten, diese zu vernetzen. Im Projekt wurde hierzu ein multikriterielles MILP-modell entwickelt. Hierbei werden ökonomische und ökologische Ziel-dimensionen berücksichtigt und im mathematischen Sinne optimale Netzkonfigurationen und Aggregatsdimensionen berechnet.⁷

5. Optimierungsmodell zur Struktur- und Betriebsoptimierung von dezentralen gekoppelten Energieversorgungszentralen

Durch die Kopplung mehrerer Unternehmen ergeben sich Synergie- und Ausgleicheffekte, aber auch Risiken der Effizienzverluste durch falsch dimensionierte Energieversorgungs- und Übertragungseinrichtungen. Aus diesem Grund wurde im Projekt ein Optimierungsmodell zur Entwurfsplanung von Struktur und Dimensionierung von Energieversorgungs- und Übertragungseinrichtungen entwickelt. Dieses Modell baut auf dem Modell zur betriebsinternen Strukturoptimierung (siehe Punkt 3) auf und wird voraussichtlich in 2019 publiziert.

6. Tool zur Berechnung der stundenscharfen CO₂-Emissionen verursacht durch den aktuellen Dispatch der Kraftwerke im deutschen Stromsystem

Zur Abschätzung der ökologischen Auswirkungen von Lastflexibilisierung wurde im Projekt berechnet, welche CO₂-Einsparung durch Umsetzung bestimmter Maßnahmen im Elektrizitäts-

⁷ Bohlayer M, Fleschutz M, Bürger A, Braun M (2017): Multi-objective optimization of waste heat driven heating supply system using Mixed-Integer-Programming. In: [Proceedings of Collaborative European Research Conference 09.2017](#)

tätssystem möglich wäre. Um die CO₂-Intensitäten des Gesamtsystems abzuschätzen, wurden dynamische CO₂-Emissionsfaktoren des deutschen Elektrizitätssystems berechnet. Dabei wurden die historischen Daten des Einsatzplanes deutscher Kraftwerke⁸ mit den durchschnittlichen CO₂-intensitäten deren Technologie⁹ - z. B. bei Braunkohle sind es 810 g CO₂-Äquivalente pro kWh_{el} - bewertet.

7. Optimierungsmodell zur Lastflexibilisierung

Es wurde ein MILP-modell entwickelt, welches stundenscharf die Energieströme und -umwandlungen von diversen industriellen Produktionsprozessen, aber auch von vorgelagerten unternehmensinternen Energieversorgungs-komponenten, wie Wärmepumpen, Blockheizkraftwerke, elektrische und thermische Speicher modelliert und optimiert.¹⁰

8. Optimierungsmodell zur Pareto-Front

Die Weiterentwicklung des ebengenannten Tools führte zu einem Mehr-Ziel-MILP, das neben den Kosten auch die CO₂-Emissionen in der Zielfunktion berücksichtigt. Damit lassen sich die Zielkonflikte zwischen Minimierung von Kosten und Emissionen in Pareto-diagrammen darstellen. Das Tool wird voraussichtlich als Teil einer Publikation im Jahr 2019 vorgestellt.¹¹

9. Tool zur Vorhersage und Generierung von Szenarien von Strompreisen am Day-Ahead-Markt und Leistungs- und Energiepreisen sowie Aktivierungszeiten am Regelleistungsmarkt

Die Betriebsoptimierung gemäß variabler Strompreise, und die Vermarktung von Regelleistung ist stark von zukünftigen Marktpreisen abhängig. Um eine Einsatzplanung von Produktionsanlagen oder Energieversorgungsaggregaten durchführen zu können, müssen Strompreisvorhersagen vorliegen. Hierzu wurde im Projekt ein Tool zur Szenarioerzeugung und Reduktion entwickelt, welches es ermöglicht einen Szenariobaum für die Entwicklung von Strom- und Regelleistungsmarktpreisen sowie Regelleistungsaktivierungen aufzubauen. Das Tool wird voraussichtlich als Teil einer Publikation im Jahr 2019 vorgestellt.¹²

1.2.3 Vorgehen bei der Energiesystemanalyse

Die Energiesystemanalysen in den einzelnen Unternehmen und die unternehmensübergreifende Konzeptentwicklung sind zeitaufwendige und zentrale Elemente in diesem Projekt. In Abbildung 6

⁸ Daten von SMARD.de

⁹ Daten von www.electricitymap.org

¹⁰ Bohlayer M, Fleschutz M, Bürger A, Braun M (2017): Multi-objective optimization of waste heat driven heating supply system using Mixed-Integer-Programming. In: [Proceedings of Collaborative European Research Conference 09.2017](#)

¹¹ <https://messo.cit.ie/draf>

¹² Fleschutz M, Bohlayer M, Braun M and Zöttl G, "Demand Side Management and the Participation in Consecutive Energy Markets - A Multistage Stochastic Optimization Approach," 2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM), Lodz, 2018, pp. 1-5. doi: [10.1109/EEM.2018.8469912](https://doi.org/10.1109/EEM.2018.8469912)

sind die Aktivitäten einer beispielhaften Energiesystemanalyse anhand der Verantwortlichkeitsbereich Projektteam und Unternehmensvertreter dargestellt. Die Datengrundlage in den Unternehmen ist häufig schlechter als erwartet, wodurch zusätzlicher Aufwand für die Aufarbeitung und Validierung der Datengrundlage entstand. In vielen Fällen ergaben sich in der Ergebnispräsentation weitere Rückfragen und Auswirkungen verschiedener Parameter. In manchen Fällen wurde eine zusätzliche Ergebnispräsentation vor der Geschäftsführung gewünscht. Im Falle identifizierter Verbundpotentiale wurden darüber hinaus Termine zur Betreiberidentifikation durchgeführt und die Konzepte möglichen Betreibern vorgestellt.

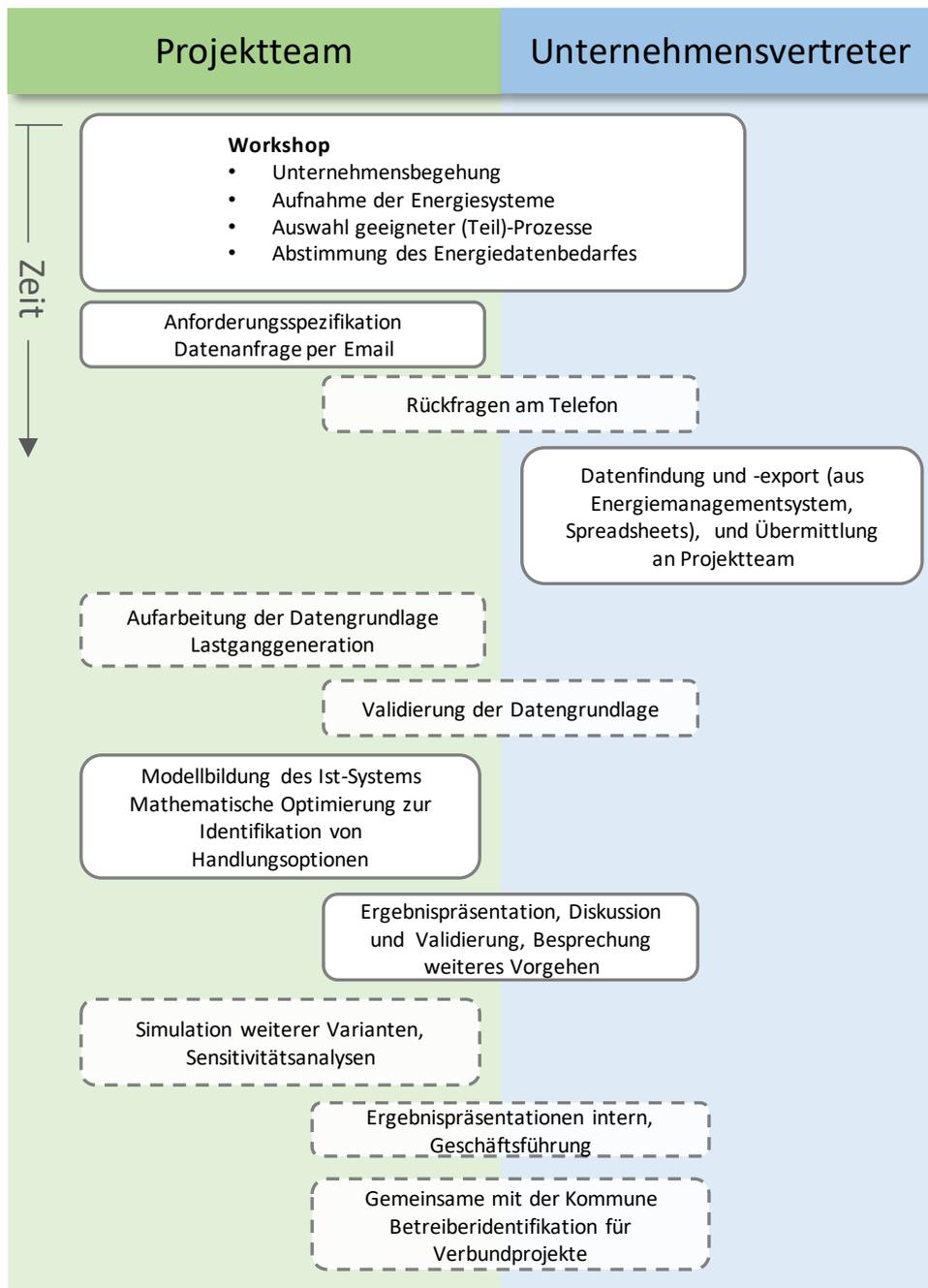


Abbildung 6: Ablauf der Energiesystemanalyse

1.2.4 Energieanalysen in den einzelnen Gebieten

Gebiet	Erstkontakt Multiplikatoren	Multiplikatorenworkshop	mdl. Zusage d. Multiplikatoren	Unternehmensworkshop	Begehung der Unternehmen	Sammlung der Verbrauchsdaten	Lastganganalyse	Modellierung / Simulation	Varianten / Optimierung	Ergebnispräsentation
1 Beckum	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2 Rüsselsheim	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3 Flensburg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4 March	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5 Walzbachtal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6 Zaisenhausen	✓	✓ (teil.)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7 Ispringen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8 Steinbach	✓	✓ (teil.)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9 Baden-Baden	✓	✓ (teil.)	✓	✓	✓	✓	✓			
10 Heitersheim	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
11 Markgröningen	✓	✓	✓	✓	✓					

Abbildung 7: Checkliste der Phasen in der Unternehmensanalyse zu Projektende



Abbildung 8: Regionale Verteilung der analysierten Gewerbegebiete¹³

¹³ Länderkarte von [FreeVectorMaps.com](https://www.freevectormaps.com/)

Energieanalysen in den einzelnen Gebieten

Detaillierte Analyseergebnisse wurden aus Datenschutzgründen nur dem Zuwendungsgeber in Form von Ergebnispräsentationen zur Verfügung gestellt.

1. Gebiet Beckum



Zusammensetzung des Gebietes

Das untersuchte Gewerbegebiet ist geprägt durch ein Zementwerk und mehreren kleineren produzierenden und gewerblichen mittelständischen Unternehmen. Die kleineren Unternehmen verfügen teilweise über Abwärmepotenziale, kleinere Kältebedarfe, Gebäudewärmebedarfe und Strombedarfe. Das Zementwerk verfügt über große Abwärmemengen und Potenziale zur Lastflexibilisierung.

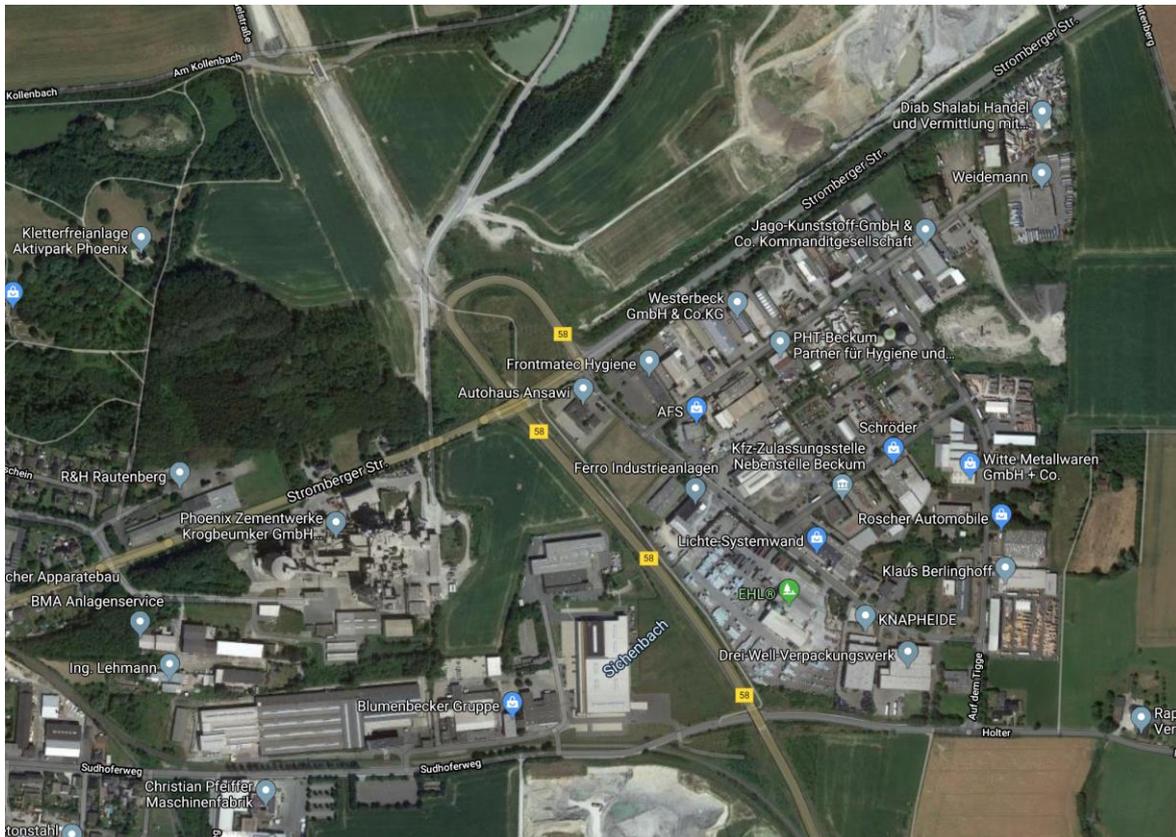


Abbildung 9: Übersicht des Untersuchungsgebietes Beckum
(Quelle: Bilder © 2019 GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies, Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (©2009))

Potenzialanalyse

In den mittelständischen Unternehmen wurden, wenn möglich, Maßnahmen zur innerbetrieblichen Abwärmenutzung entwickelt.

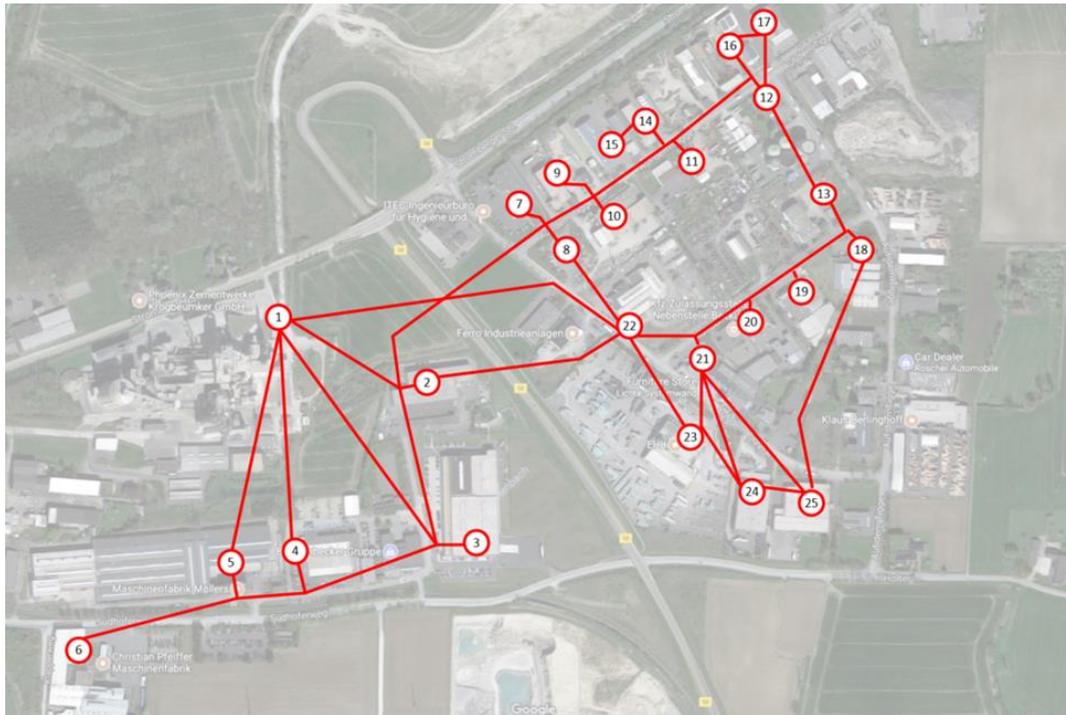


Abbildung 11: Potentielle Netzstrukturen im Energieverbund
(Google, Bilder © 2019 GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies, Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (©2009))

Die optimale Struktur des Netzes und die Dimensionierung von Wärmetauscher, Redundanzkessel und Rohrleitungen wurde in einem mehrkriteriellen MILP-Problem berechnet, welches als Zielfunktion eine gewichtete Funktion, bestehend aus Systemkosten und –emissionen, minimiert.

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, wie durch die Speicherung der periodisch anfallenden Abwärme aus dem Direktbetrieb ein benachbartes Wohngebiet teilweise mit Abwärme versorgt werden kann. Berechnet wurde hierbei die kostenoptimale Speichergröße auf Grundlage der Wärmebedarfe der Wohngebiete, welche aus einer vorhergehenden Studie übernommen werden konnten.

Bezüglich **Lastflexibilisierung** lag der Fokus der Analyse auf den Produktionsprozessen des Zementwerkes. Aufgrund des identifizierten Flexibilisierungspotenzials der Zementmühlen in der Grobanalyse wurde der Prozess im Bereich der Zementmühlen einschließlich der vor- und nachgelagerten Warenspeicher (Klinkersilo bzw. Zementsilos) und Zementsorten in einem multikriteriellen MILP-Problem abgebildet, um die ökonomische Auswirkung einer Vermarktung am Day-Ahead-Spotmarkt genauer zu untersuchen. Ein Schema der Modellierung ist in Abbildung 12 dargestellt. Um die Komplexität zu reduzieren wurde ein deterministisches Modell gewählt. Die in der Realität auftretenden Unsicherheiten der Strompreise und Zementbedarfe wurde in diesem deterministischen Modell über einen großzügigen Mindestfüllstand der Zementsilos kompensiert. Grundsätzlich wurde der Deckung des Zementbedarfes immer oberste Priorität eingeräumt.

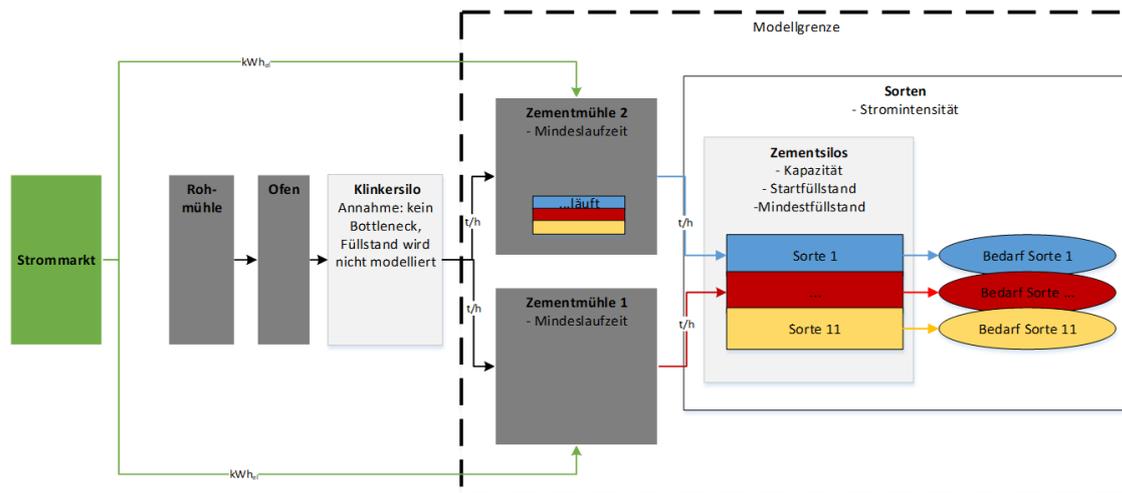


Abbildung 12: Schema der Modellierung des stromintensiven Zementmahlprozesses

Aufgrund der geplanten Harmonisierung der Ausschreibungsbedingungen der Regelleistungsmärkte am 13.06.2017 und dem einhergehenden Wegfall der Bewertungsgrundlage zukünftiger Potenzialen auf diesem Markt, wurde von einer detaillierten Untersuchung der Potenziale am Sekundär-Regelleistungsmarkt abgesehen.

Fazit

Die Untersuchung zeigte auf, dass durch die Abwärmenutzung im Verbund die Emissionen deutlich reduziert werden können. Eine erste Berechnung der Investitions- und Betriebskosten führte zu einer positiven Investitionsbewertung. Das Konzept wurde dem regionalen Energieversorger vorgestellt, welcher als möglicher Betreiber die Investition innerhalb einer detaillierten Evaluation bewertet. Ebenfalls gibt es innerhalb des Zementwerkes verschiedene potenzielle Maßnahmen zur Abwärmenutzung, welche gegen die Verbundmaßnahme verglichen werden müssen.

Die Analyse ergab, dass die Rohmühle nicht zur Lastflexibilisierung geeignet ist, die Lastflexibilisierung bei den Zementmühlen bringt dagegen hohe ökonomische Potenziale mit sich. Im Vergleich zum Referenzsystem weist die, am Spotmarkt optimierte Produktionsplanung, eine drastische Verschiebung der Produktion in die sommerlichen Mittagstunden und die windigen Wintertage auf (vgl. Abbildung 13).

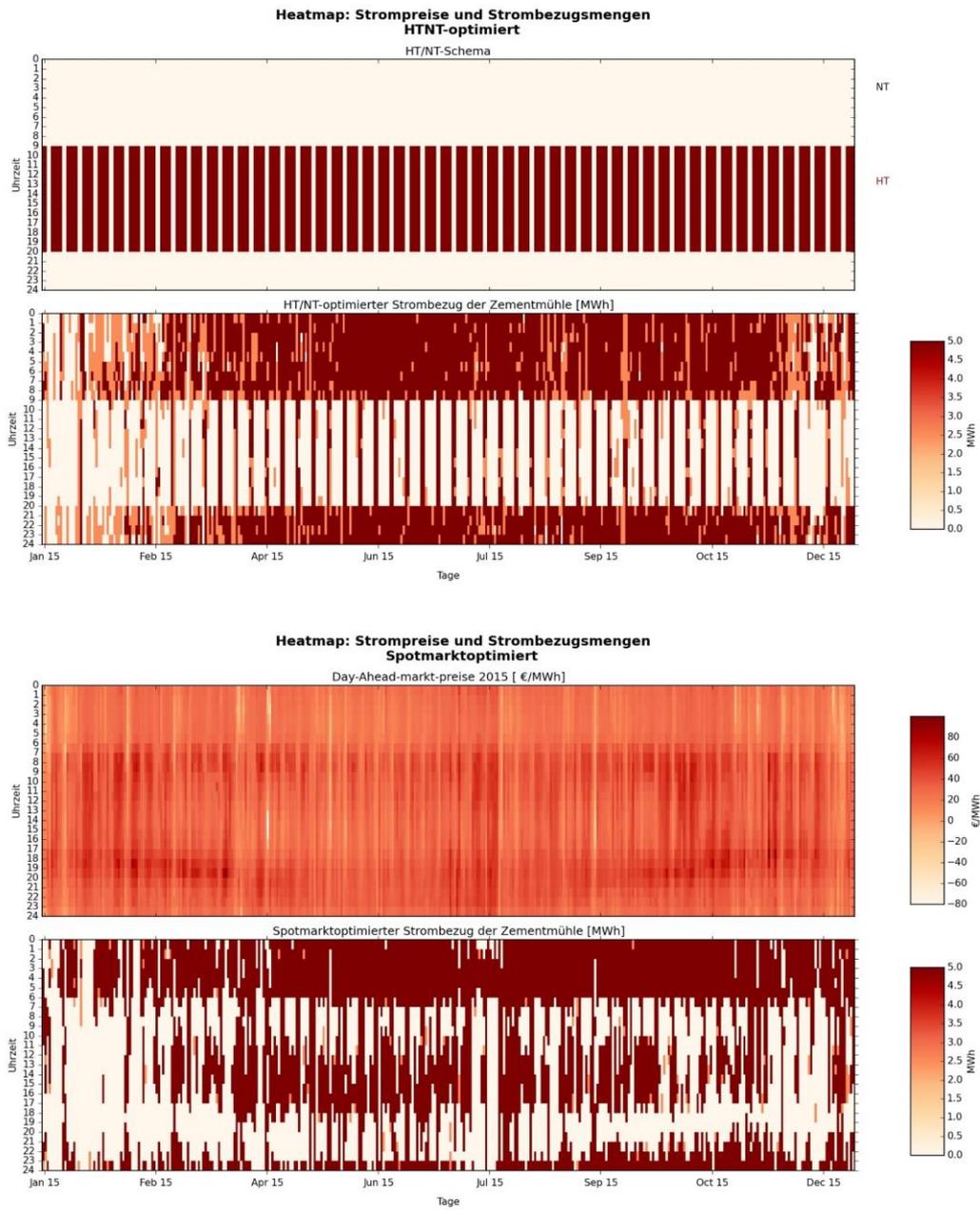


Abbildung 13: Vergleich eines am Spotmarkt optimierten Produktionsplanes (unten) mit einem am HT/NT-optimierten Produktionsplan (oben)

2. Gebiet Rüsselsheim



Zusammensetzung des Gebietes



Abbildung 14: Übersicht der untersuchten Unternehmen im Gewerbegebiet
(Quelle: Google, Bilder © 2019 AeroWest, CNES / Airbus, GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies, Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (©2009))

Im Gebiet wurden fünf Unternehmens- und kommunale Liegenschaften untersucht. Die wichtigsten sind in Abbildung 14 dargestellt. Die Opel AG betreibt ein Werk in Rüsselsheim und versorgt den Standort mittels eines GUD-Kraftwerkes mit Strom und Wärme. Die Wärme wird innerhalb des Werksgeländes über ein Wärmenetz verteilt. Produktionsbedingt bestehen verschiedene Abwärmepotenziale. Im Klinikum treten Wärme-, Strom-, Kälte- und Dampfbedarfe auf. In unmittelbarer Nachbarschaft liegen die Hochschule und das geplante Schwimmbad. Die Kauflandfiliale ist durch ein supermarkttypisches Energiesystem charakterisiert. Der Gebäudewärmebedarf wird über einen Heizkessel gedeckt und die Kühlmöbel haben einen hohen Kältebedarf bei mittlerem und niedrigem Temperaturniveau.

Potenzialanalyse

Effizienzpotenziale bestehen am Standort durch die Nutzung von unterschiedlichen produktionsbedingten Abwärmequellen, durch die Steigerung der Auslastung der KWK-Anlage, sowie durch die Nutzung von Abwärme aus der Kältetechnik. Im Projekt wurde hierzu eine Vielzahl von betriebsinternen und betriebsübergreifenden Maßnahmen identifiziert. Um die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der Maßnahmen bewerten zu können, wurden im Simulationsmodell

verschiedene Varianten abgebildet und bewertet. Die größte Herausforderung war hierbei die Abbildung des Gas- und Dampfkraftwerkes, welches modular im Simulationstool Top-Energy aufgebaut wurde (vgl. Abbildung 15). Neben den Strom- und Wärmebedarfen, sowie den Heizzentralen wurde ebenfalls ein Modell zur Abbildung der energetischen Prozesse der Lackiererei sowie der Druckluftzeugung erstellt.

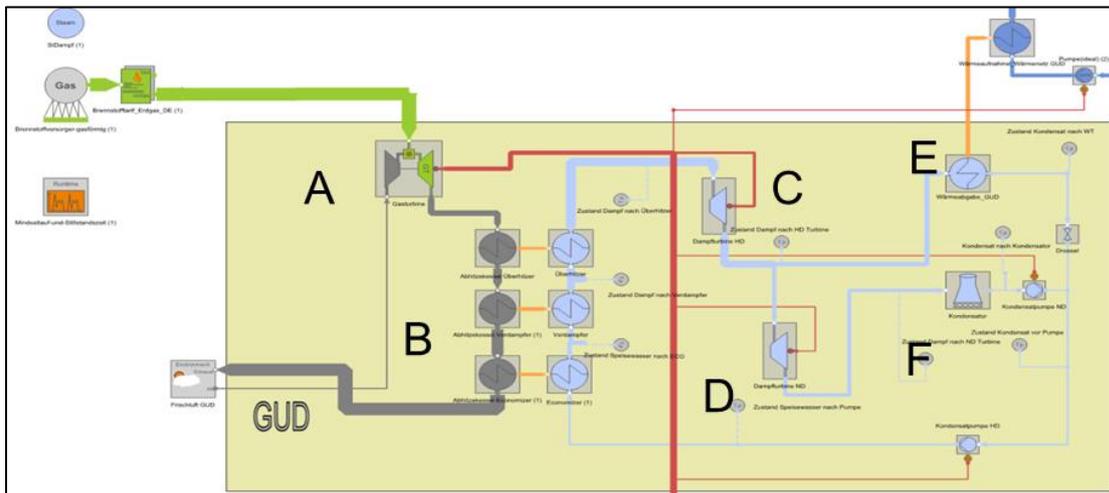


Abbildung 15: Top Energy Modell der GUD bei Opel

In einem großen Modell wurden alle Energiesysteme über ein Wärmenetz gekoppelt und darauf untersucht, wie sich diese Kopplung auf die Nutzung der Abwärme und der Auslastung der KWK-Anlage auswirken kann. Zusätzlich wurden verschiedene betriebsinterne Maßnahmen modelliert, wie beispielsweise die Niedertemperaturabwärmenutzung aus den Kälteaggregaten der Kauflandfiliale sowie die Erweiterung der einzelnen Energiesysteme mit dezentralen KWK-Anlagen. Ebenfalls wurden verschiedene Zusammensetzungen kleiner Verbünde modelliert und bewertet.

Fazit

Im Gebiet Rüsselsheim wurde die Modellierung vorwiegend mit dem Softwarepaket Top-Energy durchgeführt. Die unternehmensinternen Energiesysteme konnten hierbei stundenscharf simuliert und unterschiedliche Strukturvarianten mit dem Ist-System verglichen werden. Es konnte somit gezeigt werden, dass Top-Energy geeignet ist, um verschiedene Strukturvarianten zu vergleichen. Die Simulation standardisierter Energiesysteme erfolgt dabei auf Grundlage von objektorientiert aufgebauten Modellen und ermöglicht es so auch Nichtexperten komplexe Zusammenhänge zu verstehen. Der Aufbau neuer Komponenten gestaltet sich hingegen vergleichsweise aufwendig und unter Umständen müssen eine Vielzahl von unterschiedlichen Varianten aufgebaut und zeitaufwendig simuliert werden.

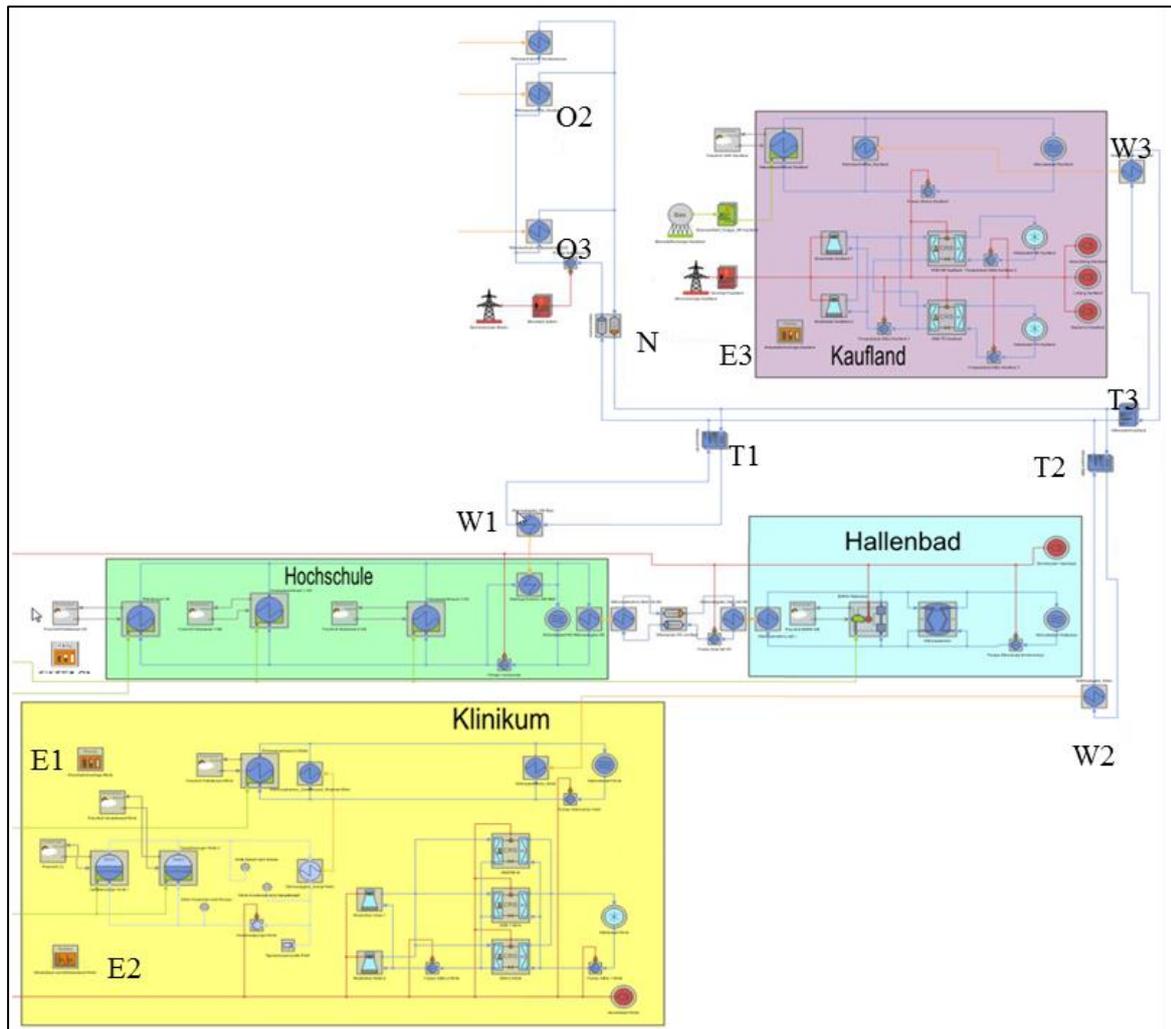


Abbildung 16: Modell des Unternehmensverbundes in Rüsselsheim

Aus techno-ökonomischer Sicht konnten unterschiedliche Maßnahmen identifiziert werden, welche durch dezentrale Erzeugung und die effiziente Nutzung von Energie den Primärenergiebedarf deutlich senken und so zu einer Reduktion der Energiekosten und Emissionen führen. Die wichtigsten Erfolgsfaktoren, die auch einen wirtschaftlichen Betrieb von Energieverbänden ermöglichen, wurden identifiziert: Eine hohe Energiedichte des Verbundes sorgt für niedrige Verluste in der Netzstruktur, für niedrige Investitionskosten und für eine hohe Auslastung. Die Energieüberschüsse müssen möglichst kontinuierlich und besonders in den Wintermonaten verfügbar sein. Niedrige Systemtemperaturen im Wärmenetz ermöglichen die Nutzung von Niedertemperaturabwärme und senken die auftretenden Verluste.

3. Gebiet Flensburg



Zusammensetzung des Gebietes



Abbildung 17: Werft der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG (Quelle: fleno.de – Flickr)

Das Gebiet in Flensburg wird durch die Werft der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG (FSG)(vgl. Abbildung 17) dominiert. Diese ist spezialisiert im Bau von Roll-on-Roll-off-Schiffen von über 200 Meter Länge. Weiterhin wurde im Projekt die Mitsubishi HiTec Paper Europe GmbH begangen und die Flensburger Fahrzeugbau Gesellschaft mbH (FFG). Die FSG und FFG werden durch das Kohlekraftwerk der Stadtwerke Flensburg getrennt. Dieses deckt auch zum größten Teil die Wärmebedarfe des Fernwärmenetz Flensburg und damit auch die Wärmebedarfe der beiden Unternehmen. Die Mitsubishi HiTec Paper Europe GmbH liegt weiter südlich und verfügt über eine weitestgehend autarke Energieversorgung.

Potenzialanalyse

Die FSG baut am Standort Fracht- und Fährschiffe. Hier werden zunächst einzelne Bauteile zu Sektionen verschweißt und im Trockendock zum Gesamtschiff zusammengefügt (vgl. Abbildung 17).

Die Energieverbrauchsstruktur ist stark dezentral mit vielen kleinen Aggregaten und hohen Lastspitzen. Größter thermischer Verbraucher ist die Lackiererei. Hierbei werden zunächst große Mengen Druckluft zum Sandstrahlen benötigt. Im Anschluss werden die Bauteile lackiert und getrocknet. Im

Projekt wurde untersucht, wie eine effiziente Druckluftbereitstellung realisiert werden kann. Im Speziellen wurden verschiedene Varianten der KWK untersucht. Die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme und der elektrische Antrieb eines Druckluftkompressors und den direkten gasmotorischen Antrieb eines Kompressors. In einem Verbundsystem aus Wärmespeicherung, -Bereitstellung, regenerativer Erzeugung und Speicherung von Strom und Druckluft wurde untersucht, wie die Energiekosten gesenkt werden können und Energiemengen ggf. bereitgestellt werden (vgl. Abbildung 19). Die Energiebedarfsstruktur der FFG ist geprägt durch Gebäudewärmebedarfe, Strombedarfe und kleinere Produktionswärmebedarfe in der Lackiererei und der galvanischen Beschichtung. Wärmebedarfe werden hierbei über die Fernwärme gedeckt. Die Mitsubishi HiTec Paper Europe GmbH verfügt über eine Gasturbine mit Abhitzeessel zur Dampferzeugung. Je nach Börsenstrompreis wird überschüssiger Strom eingespeist oder ein zusätzlicher Gaskessel zur Dampferzeugung genutzt. Die Last an der Bilanzgrenze zum Stromsystem ist somit bereits flexibilisiert.

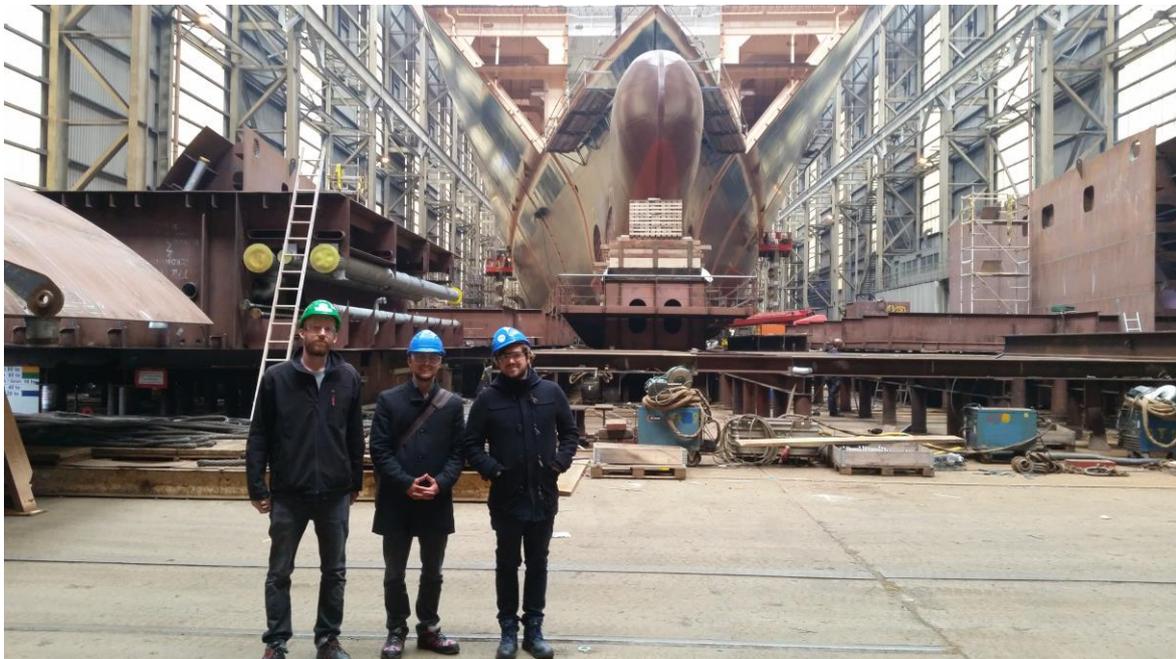


Abbildung 18: Unternehmensbegehung einer Werfthalle der FSG

Fazit

Die Untersuchungen am Standort haben gezeigt, dass trotz der Fernwärmeversorgung aus KWK große Effizienzpotenziale für die Unternehmen bestehen. Die dezentrale KWK-Erzeugung mit gasmotorischen BHKWs ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht der Fernwärme überlegen. Zusätzlich kann der Bezug an der Bilanzgrenze zum externen Stromsystem durch die dezentralen Erzeuger sowie der Speicherung von Wärme und Strom flexibilisiert werden. Diese Flexibilität lässt sich durch verschiedene Einnahmequellen monetarisieren. Einerseits können Lastspitzen reduziert werden und andererseits kann der Strombezug teilweise in Stunden günstiger Börsenpreise verschoben werden.

Die Abwärmenutzung aus der Druckluftherzeugung kann durch die Wärmespeicherung zur effizienten Energieversorgung beitragen.

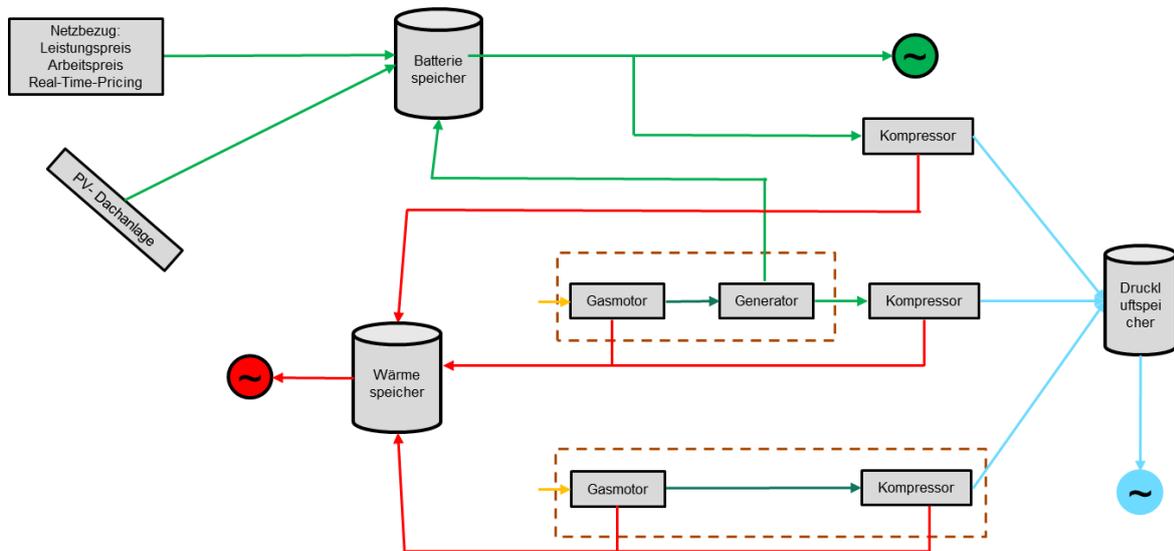


Abbildung 19: Schema der Modellierung von Druckluft-, Wärme-, Stromsystem

4. Gebiet March



Zusammensetzung des Gebietes

Der eco-park March befindet sich 9 km nördlich von Freiburg im Breisgau, am Ortsrand von March-Neuershausen und ist in Besitz der Be-Coal GmbH. Mit einer Gesamtfläche von 30.507 qm, einem Strombedarf von unter 500 MWh/a und einem Wärmebedarf von unter 2 GWh/a ist es das kleinste Gewerbegebiet, welches im Rahmen des Projektes untersucht wurde. Die fünf untersuchten Unternehmen (siehe Abbildung 15) reichen von der Herstellung von Holzhackschnitzeln (Energiepark March GmbH und Co. KG) über die Produktion von Spezialleiterplatten für die Industrie und Medizintechnik (cms electronics germany GmbH) bis hin zu einem DHL Verteilzentrum in der 18 E-Scooter zur Verteilung von Paketen auf der „letzten Meile“ eingesetzt werden. Wie auf dem Satellitenbild in Abbildung 13 gut zu erkennen ist, sind nahezu alle Dächer des eco-parks mit Photovoltaikanlagen bestückt, welche dank der vielen Sonnenstunden im Breisgau mit einer installierten Leistung von 880 kW_{peak} jährlich etwa 880 MWh Strom erzeugen. Der Wärmebedarf wird für die Beheizung der Räume und Hallen und zur Warmwasserbereitung benötigt. Ein Prozesswärmebedarf, auf höherem Temperaturniveau, ist nicht vorhanden.

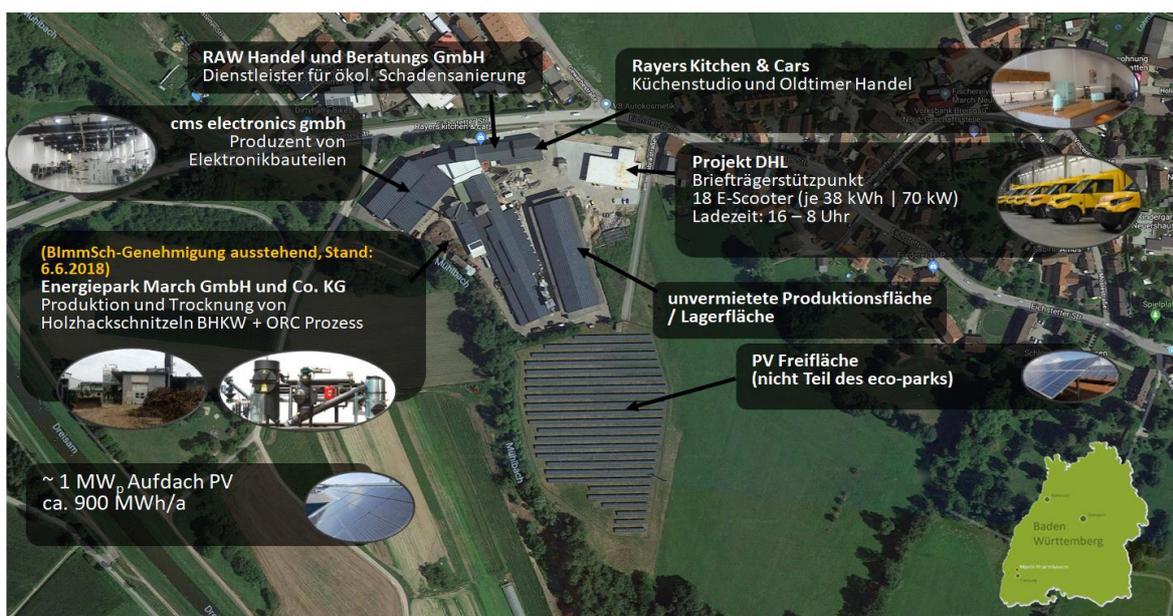


Abbildung 13: Übersicht des eco-parkes March

(Quelle: Google, Bilder © 2019 GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies, Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (©2009))

Potenzialanalyse

Zur Analyse der ökonomischen und ökologischen Potenziale, wurde das Gewerbegebiet als Energieverbund gemäß Abbildung 15 als MILP-Problem modelliert. Dies hat den Vorteil, dass der ideale Betrieb der Anlagen ermittelt werden kann, ohne eine bestimmte Betriebsstrategie vorzugeben. Es wurden diverse Investitionsszenarien (Wärmespeicher, Stationäres Batteriesystem, KWK-Anlage) sowie Betriebsszenarien (smarte Beladung der Elektrofahrzeuge, Bidirektionales Laden, Berücksichtigung von dynamischen Preisen) entwickelt und anhand ihrer ökologischer bzw. ökonomischer Kosten verglichen.

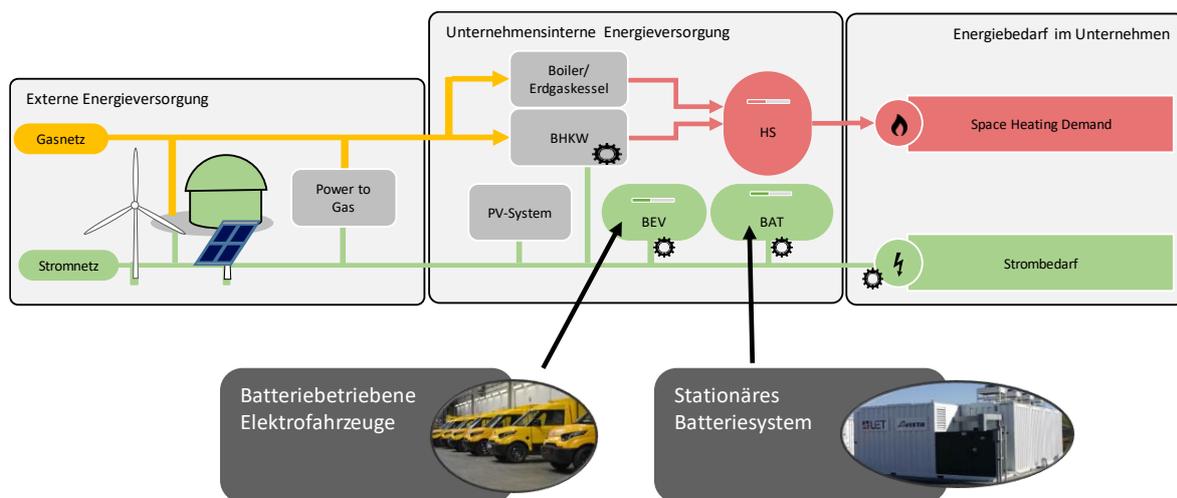


Abbildung 13: Schema der Modellierung

Fazit

Es bestehen Effizienzpotenziale am Standort in der thermischen Vernetzung der Unternehmen und der dezentralen gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme durch die KWK-Anlage. Dieser Wärmeverbund ist vom Gewerbeparkbetreiber Be-Coal bereits vorgesehen, konnte jedoch aufgrund einer noch ausstehenden BImSchG-Genehmigung der KWK-Anlage noch nicht umgesetzt werden.

Außerdem bestehen Potenziale in der optimierten Beladung der Elektrofahrzeuge, sowohl gegenüber der dezentralen Residuallast, die sich aus der dezentralen Stromerzeugung des Gebietes durch KWK-Anlage und Photovoltaik minus Strombedarf ergibt, als auch gegenüber eines dynamischen, stündlich wechselndem Stromtarif, der sich am Day-Ahead-Spotmarktpreis orientiert. Ein weiteres Potenzial liegt in der bidirektionalen Beladung der E-Scooter. Auch der Einsatz eines stationären Batteriespeichersystems und eines thermischen Speichers wurden untersucht. Ökonomisch sind diese je nach genauer Systemkosten und Anforderung an die Amortisationszeit sinnvoll.

5. Gebiet Walzbachtal



Zusammensetzung des Gebietes

Die Gemeinde Wössingen im Walzbachtal wird energetisch vom ansässigen Zementwerk dominiert. Vergleichbar zu Beckum stehen auch hier große Abwärmemengen zur Verfügung, allerdings sind die Wärmebedarfe des ansässigen Gewerbes vergleichsweise klein. Aus diesem Grund wurden in Wössingen auch die Gebäudewärmebedarfe der einzelnen Wohnquartiere mit in die Untersuchung aufgenommen. Die Quartiere sind in Abbildung 20 dargestellt und bieten über 900 potenzielle Anschlusspunkte im Wärmenetz.

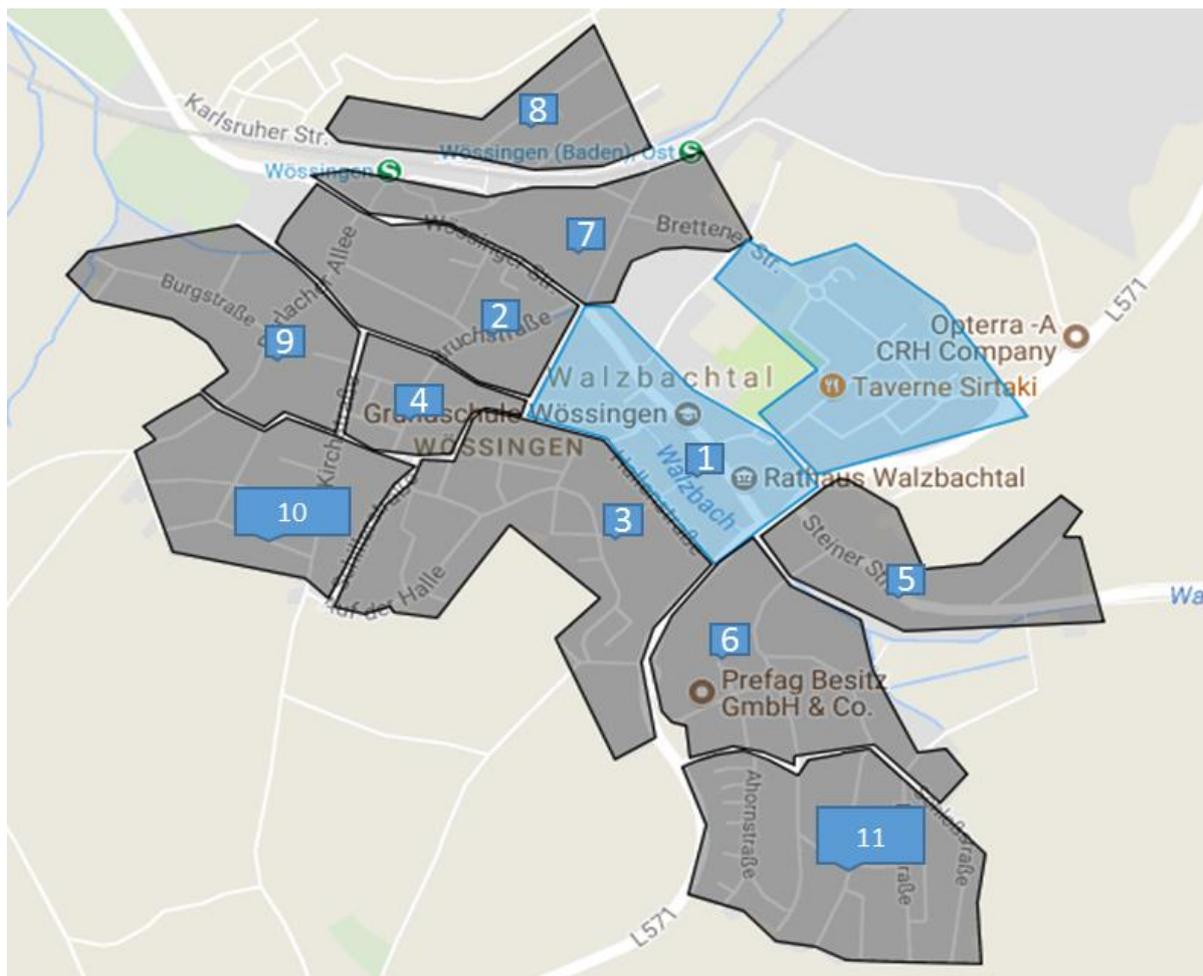


Abbildung 20: Aufteilung des Untersuchungsgebietes Walzbachtal in sinnvolle Quartiere

(Quelle: Google, Bilder © 2019 GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies, Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (©2009))

Potenzialanalyse

Im ersten Schritt wurde der Abwärmestrom quantifiziert und analysiert, welche Wärmemengen auch im Verbundbetrieb bereitgestellt werden können. Aufbauend darauf konnten unterschiedliche Möglichkeiten zur Wärmeauskopplung identifiziert werden. Der Grundprozess gleicht dem in Beckum mit einigen kleinen, aber entscheidenden Unterschieden.

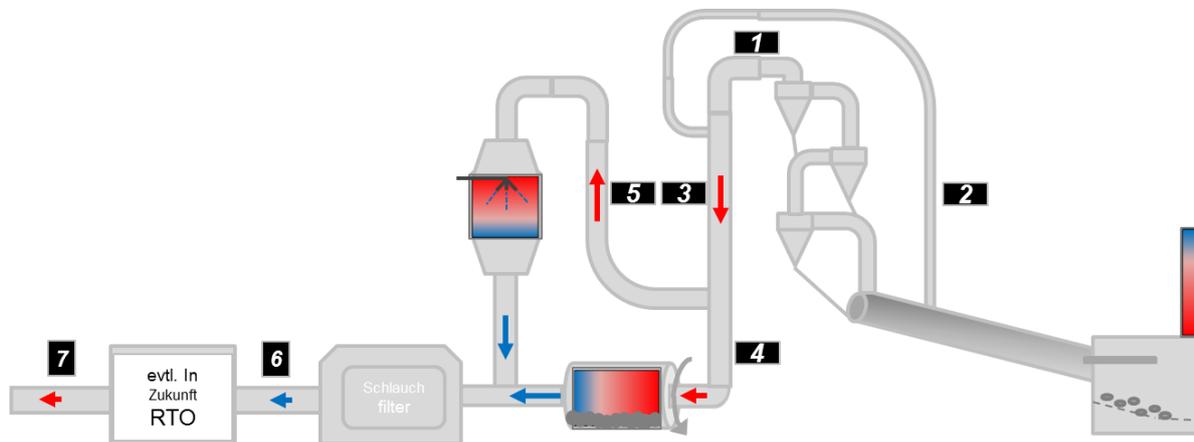


Abbildung 21: Schematische Darstellung des Zementproduktionsprozesses und mögliche Wärmeauskopplungsmöglichkeiten(1-7)

Im nächsten Schritt wurde die Wärmebedarfsstruktur der einzelnen Quartiere in Wössingen ermittelt. Zur Bestimmung des Wärmebedarfs, wurde die gebäudebezogene Wärmebedarfsermittlung in Kombination mit der siedlungsbezogenen Wärmebedarfsermittlung genutzt. Der Ort wurde in einzelne Bereiche (Quartiere) unterteilt, für die jeweils der Wärmebedarf kalkuliert wurde. Es fand eine Unterteilung in Heizenergie- und Warmwasserbedarf statt

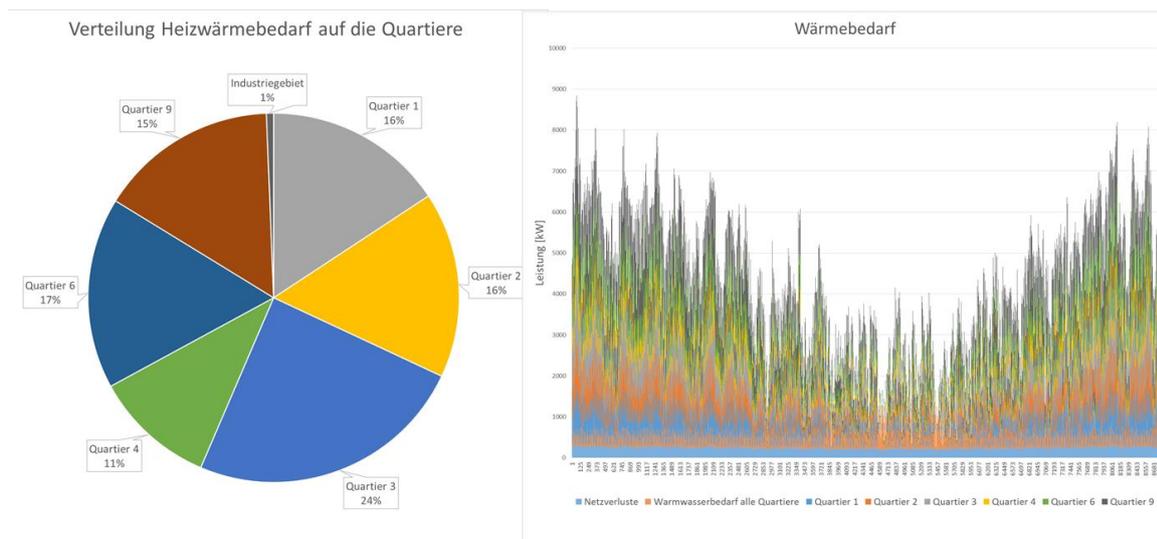


Abbildung 22: Wärmebedarfsstruktur und Wärmelastgang der untersuchten Quartiere

Im nächsten Schritt wurde eine Nahwärmestruktur erarbeitet, welche die Quartiere mit Wärme versorgen kann. In der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde untersucht wie sich ein Ausfall der Abwärmequelle auf das Nahwärmekonzept auswirkt und welche Maßnahmen ergriffen werden können, um

auch in diesem Fall eine Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten. Ebenfalls wurde untersucht welche Auswirkungen sensible Parameter wie die Anschlussquote auf die Wirtschaftlichkeit haben.

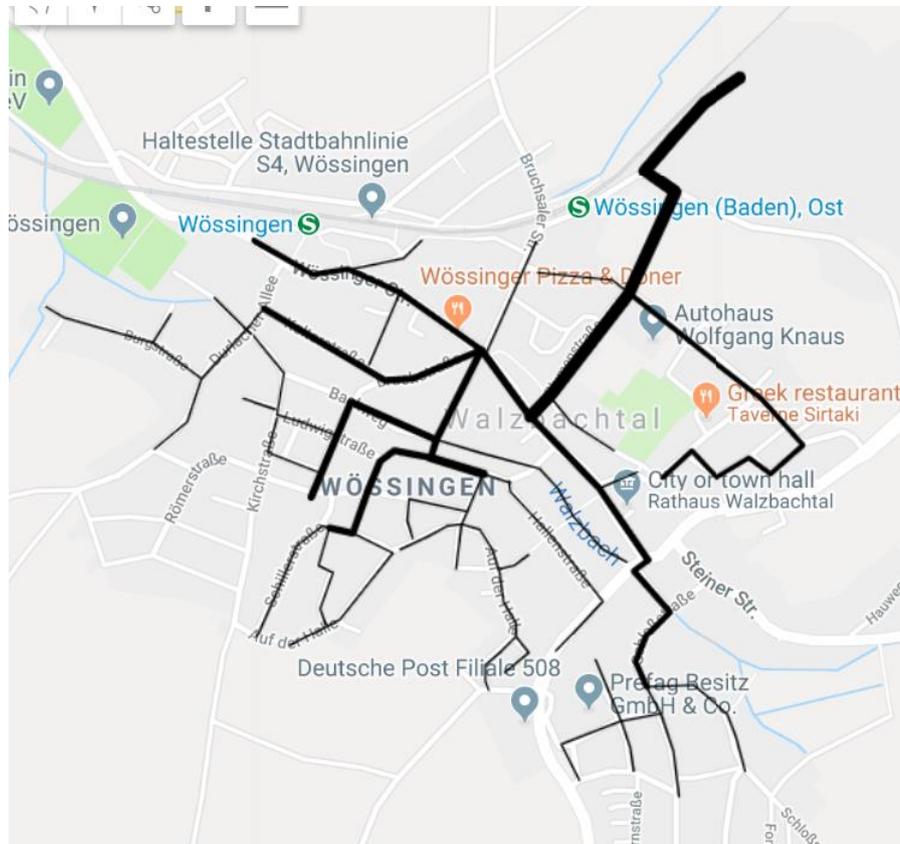


Abbildung 23: Auslegung des Nahwärmenetzes

(Quelle: Google, Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (©2009))

Bezüglich Lastflexibilisierung wurde im untersuchten Zementwerk eine ähnliche Untersuchung wie in Beckum durchgeführt, die qualitativ zu den gleichen Ergebnissen kam. Neben den ökonomischen wurden auch die ökologischen Auswirkungen der Lastflexibilisierung der Zementmühlen untersucht.

Fazit

Im Gebiet konnte gezeigt werden, dass auch ganze Wohnquartiere wirtschaftlich mit industrieller Abwärme versorgt werden können. Die Wirtschaftlichkeit ist jedoch stark von der Anschlussquote abhängig, welche für einen möglichen Betreiber großer Unsicherheit unterliegt. Ebenfalls ist die Energiedichte, im Vergleich zur Abwärmenutzung im gewerblichen Verbund, relativ niedrig und das System kleinteilig. Fördernd wirken sich die höheren Brennstoffbezugskosten von Privathaushalten im Vergleich zu gewerblichen Kunden aus. Dies kann zu einer Akzeptanz höherer Fernwärmepreise führen.

Die Untersuchung ergab zudem, dass eine Lastflexibilisierung der Zementmühlen am Day-Ahead-Spotmarkt, mit der damit verbundenen geänderten Produktionsplanung, unter geeigneten Bedingungen sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll sein kann.

6. Gebiet Zaisenhausen



Zusammensetzung des Gebietes

Das Gebiet in Zaisenhausen ist geprägt durch mehrere, kleinere, mittelständische Unternehmen. Die Unternehmen verfügen teilweise über produktionsbedingte (Niedertemperatur-)Abwärme sowie produktionsbedingte Wärme- und Kältebedarfe. Alle Unternehmen verfügen über einen Strom- und Gebäudeenergiebedarf. Neben BHKW-Aggregaten werden auch PV-Anlagen zur dezentralen Stromerzeugung eingesetzt.



Abbildung 24: Übersicht des Untersuchungsgebietes Zaisenhausen
(Quelle: Google, Bilder © 2019 GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies, Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (©2009))

Potenzialanalyse

In der Potenzialanalyse wurde untersucht, wie sich die (Niedertemperatur-)Abwärme im Verbund nutzen lässt, und welche Technologien und Netzstrukturen ausgebaut werden können um die Effizienz des Systems zu steigern und dadurch die Emissionen und Kosten zu minimieren. Ebenfalls wurde untersucht wie die Lasten durch eine intelligente Betriebsführung und Speicherbewirtschaftung fle-

xibilisiert werden können und welcher wirtschaftliche Vorteil sich hieraus ergibt. Durch die Formulierung eines Optimierungsmodelles wurde für den Verbund berechnet, welche Technologien und Netzstrukturen im Systemoptimum gebaut werden sollten und wie das System optimal betrieben werden kann. In Abbildung 25 sind das komplexe Zusammenspiel vom thermischen und elektrischen System sowie die Speicherbewirtschaftung exemplarisch für ein Unternehmen dargestellt. Der Strombedarf wird hierbei vorwiegend durch die Eigenerzeugungsanlagen gedeckt. In Zeiten hoher PV-Erträge und niedriger elektrischer Last wird das BHKW wenn möglich heruntergefahren und der Wärmebedarf aus dem thermischen Speicher gedeckt. In Zeiten hoher elektrischer Last wird das BHKW stromgeführt betrieben. Der elektrische Speicher erfüllt verschiedene Aufgaben. Einerseits wird er zur Lastspitzenreduktion eingesetzt und andererseits zur Erhöhung des Eigenverbrauchs.

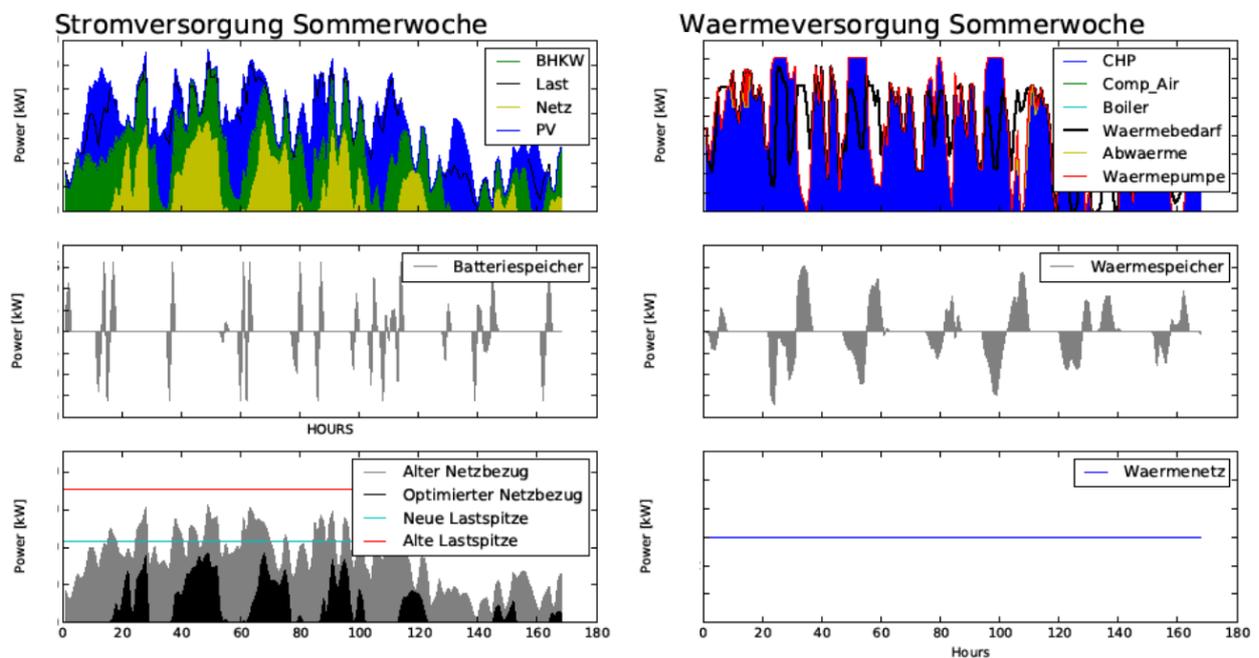


Abbildung 25: Ergebnisse Analyse Zaisenhausen

Fazit

Im Projekt konnten sowohl betriebsinterne Maßnahmen als auch Verbundmaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und Integration von erneuerbaren Energien identifiziert werden. Prinzipiell zeigte sich, dass auf Grund der starken Förderung von KWK und der dominierenden Strombezugs-kosten im Gewerbe die Niedertemperaturabwärmenutzung unter den gegebenen Randbedingungen sich nicht gegen die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung durchsetzen kann. Aus ökologischer Sicht hat die Niedertemperaturabwärmenutzung mittels Wärmepumpen, für die gegebenen Temperaturniveaus, gegenüber der KWK erst dann Vorteile, wenn die spezifischen Emissionen des benötigten Stroms unter 350g/kWh fallen (derzeit ca. 528g/kWh im deutschen Strommix in 2018). Ebenfalls negativ wirken sich hier die hohen Leistungspreise aus, durch die Wärmepumpe steigen die Bezugsleistungen und durch die KWK lassen sich diese senken.

In dem Verbund sowie bei den Einzellösungen konnten sich durchweg Maßnahmen durchsetzen, welche die Eigenerzeugung mittels KWK und PV vorsehen. Ebenfalls lassen sich durch den Einsatz von elektrischen und thermischen Speichern die Erzeugung und der Verbrauch flexibilisieren, wodurch der Eigenverbrauch maximiert wird und Lastspitzen vermieden werden. Die identifizierten Maßnahmen zeichnen sich durch eine hohe Wirtschaftlichkeit aus.

7. Gebiet Ispringen



Zusammensetzung des Gebietes

Das Gebiet in Ispringen ist geprägt durch mehrere, mittelgroße, mittelständische Unternehmen. Diese verfügen teilweise über produktionsbedingte (Niedertemperatur-)Abwärme sowie produktionsbedingte Wärme- und Kältebedarfe. Alle Unternehmen verfügen über Strom- und Gebäudeenergiebedarf und relativ große Druckluftwärmebedarfe. In allen Unternehmen wird die Abwärme aus der Druckluftherzeugung zur Gebäudebeheizung eingesetzt. Zwei der Unternehmen verfügen über mehr als eine Energiezentrale, die jeweils Teile der Liegenschaften versorgen.

In direkter Nachbarschaft der gewerblichen Liegenschaften finden sich am Standort auch kommunale Liegenschaften. Ein Kindergarten, eine Schule, eine Stadthalle und ein Schwimmbad werden derzeit mittels Gaskessel erzeugter Wärme versorgt, ein neues Energiesystem soll durch ein Ingenieurbüro entwickelt werden.

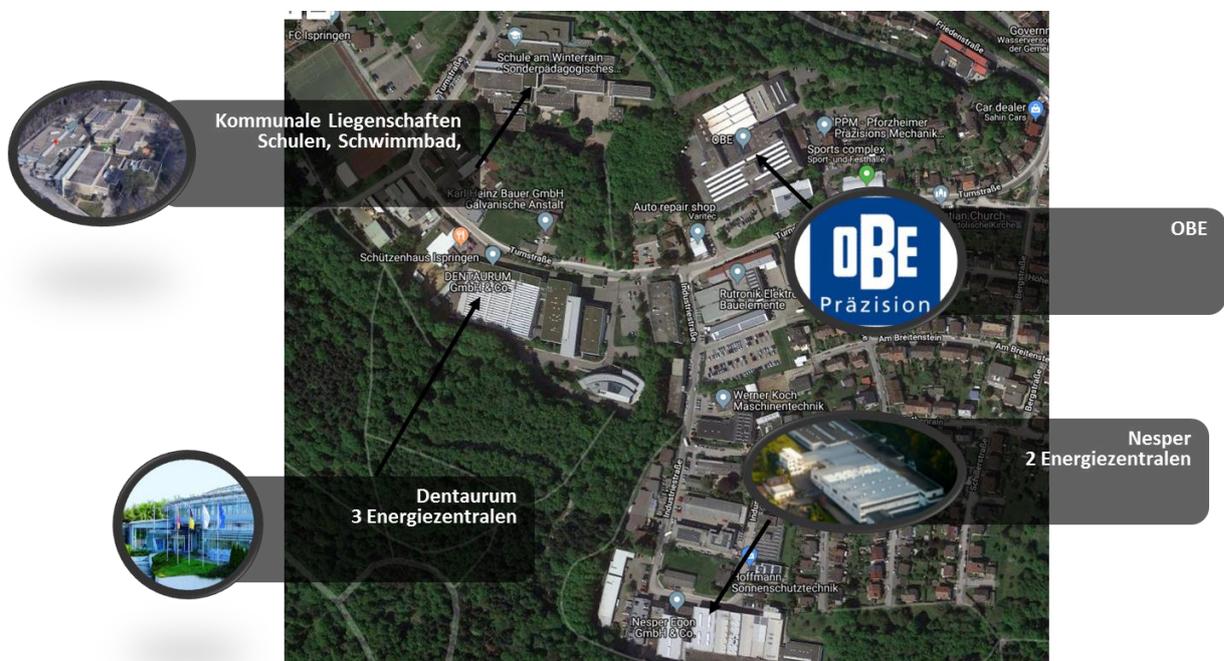


Abbildung 26: Übersicht des Untersuchungsgebietes Ispringen

(Quelle: Google, Bilder © 2019 GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies, Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (©2009))

Potenzialanalyse

Im Gebiet wurde einerseits untersucht wie sich die einzelnen Energiesysteme der Unternehmen hinsichtlich der Energieeffizienz optimieren lassen und andererseits ob sich durch eine unternehmensinterne und unternehmensübergreifende Kopplung der Energiezentralen Effizienzvorteile erschließen lassen. Zur Analyse wurde eine Optimierungsmodell formuliert, welches eine gewichtete Funktion von Energiekosten und Emissionen minimiert und die optimale Systemstruktur, Anlagendimensionen und den optimierten Betrieb als Optimierungsvariablen enthält. Ebenfalls wurde untersucht ob die Unternehmen Wärme zur Versorgung der kommunalen Liegenschaften bereitstellen können. Im Optimierungsmodell lassen sich unterschiedliche Stromtarifstrukturen abbilden und untersuchen inwieweit die Energieversorgungszentralen Flexibilität bereitstellen können.

Fazit

Hohe Stromkosten und niedrige Brennstoffkosten führen durchwegs zu der Empfehlung des Aufbaus bzw. Ausbaus von KWK-Anlagen. Ebenfalls können alle Unternehmen vom Ausbau der Photovoltaik profitieren. Durch eine konsequente Nutzung von Abwärme und der Kopplung von Energiezentralen innerhalb der Unternehmen könnten weiterer Effizienzpotenziale erschlossen werden. Durch den Einsatz von thermischen und elektrischen Speichern lässt sich die Bezugsleistung an der Bilanzgrenze des Unternehmens flexibilisieren. Diese Flexibilität kann zur Lastspitzenreduktion eingesetzt werden. Durch die unterschiedlichen Einsatzfelder der elektrischen Speicher lässt sich somit ein wirtschaftlicher Betrieb abbilden. Durch die Versorgung benachbarter kommunaler Liegenschaften können in industriellen Unternehmen KWK-Anlagen größer dimensioniert und stärker ausgelastet werden. Besonders für Unternehmen mit großen Strombedarfen und kleinen Wärmebedarfen bietet diese Möglichkeit große wirtschaftliche Potenziale.

Im Gebiet konnte außerdem gezeigt werden, dass in Unternehmen mit großen klimabedingten Kühllasten die Spitzenlast durch Photovoltaikanlagen signifikant reduziert werden kann, da die Höhe der Kühllast und der dadurch bedingte Strombedarf eine hohe Korrelation zur Strahlungsintensität und damit zur Stromproduktion aus PV haben.

8. Gebiet Steinbach



Zusammensetzung des Gebietes

Das Untersuchungsgebiet in Steinbach (Baden-Baden) ist geprägt durch produzierende, mittelständische Unternehmen, hauptsächlich aus den Bereichen Maschinenbau und Metallindustrie, mit Gebäude- und teilweise Prozesswärmebedarf. Eines der größten Unternehmen, Schöck Bauteile GmbH, ein Unternehmen der Schöck Gruppe stellt Baulösungen für tragende Wärmedämm- und Schallschutzprodukte her.



Abbildung 27: Übersicht des Untersuchungsgebietes Steinbach (Baden-Baden)
 (Quelle: Google, Bilder © 2019 AeroWest, CNES / Airbus, GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies, Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (© 2009))

Potenzialanalyse

In diesem Gebiet wurde in der Analyse der Fokus auf die Lastflexibilisierung in der betrieblichen Energieversorgung gelegt.

In einem ersten Schritt wurde ein MILP-Modell des Referenzfall aufgebaut. Dann wurde Szenarien mit Investition in Wärmespeicher und stationäre elektrische Energiespeicher, aber auch mit der Anforderung der Beladung mehrerer Elektrofahrzeuge des Unternehmens, der Mitarbeiter oder der Kunden erzeugt und berechnet. Die Szenarien konnten anhand der Realmarktdaten ökonomisch und ökologisch bewertet werden. Außerdem konnten die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen auf das Lastprofil des Unternehmens untersucht werden.

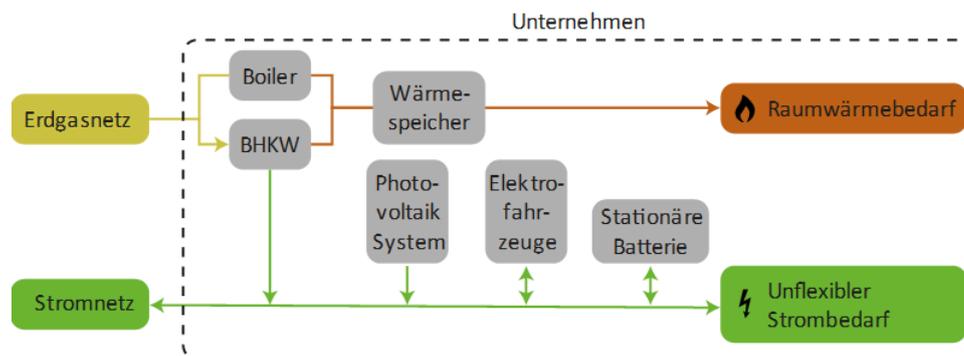


Abbildung 28: Schema der Modellierung

Fazit

Es konnte gezeigt werden, dass bei idealer Einsatzplanung und Speicherbewirtschaftung die Erweiterung des bestehenden unternehmensinternen Energiesystems um einen Wärmespeicher sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll ist. Die Investition in ein stationäres Batteriesystem würde unter den gegebenen Rahmenbedingungen zwar CO₂-Emissionen einsparen, eine Wirtschaftlichkeit wäre jedoch nicht gegeben, wenn nur die Vermarktung am Day-Ahead-Spotmarkt in Betracht gezogen wird. Es ist jedoch zu erwarten, dass die Wirtschaftlichkeit bei einem Multi-Use-Ansatz gegeben wäre, bei dem mehrere Erlösquellen angezapft werden können. Z. B. wäre denkbar, die Batterie nicht nur zur Stromeinkaufsoptimierung und Spitzenlastreduktion, sondern zusätzlich auch zur Vermarktung am Regelleistungsmarkt zu nutzen. Dies wurde hier aufgrund der Komplexität der Pay-as-Bid Auktion am Regelleistungsmarkt nicht weiter untersucht und bedarf einer gesonderten Untersuchung. Weiter konnte gezeigt werden, dass die Möglichkeit der intelligenten Beladung von Elektrofahrzeugen dem Unternehmen und/oder dem Stromnetz wertvolle zusätzliche Flexibilität bereitstellen kann, die durch eine Möglichkeit der bidirektionalen Beladung weiter erhöht werden kann.

9. Gebiet Baden Baden



Zusammensetzung des Gebietes

Das Gebiet ist geprägt durch einen regionalen Flughafen. Weiterhin befinden sich auf dem Gebiet ansässige mittelständische Unternehmen, Handwerksbetriebe, eine Hundeklinik und eine Eishalle. Im Gewerbegebiet gibt es ein Biomasse-Heizkraftwerk, welches Strom und Wärme erzeugt und in ein bestehendes Netz einspeist. Das Gebiet ist weitläufig und nicht dicht bebaut. Am Standort gibt es ein Fernwärmenetz, welches die ansässigen Unternehmen teilweise mit Wärme versorgt.

Potenzialanalyse

Der Wärmebedarf im Gebiet ist hauptsächlich Gebäudewärmebedarf. Ein Teil der ansässigen Unternehmen und einzelne Gebäude des Flughafens werden über ein Nahwärmenetz versorgt, welches über zwei Einspeisepunkte gespeist wird. Für das Nahwärmenetz stehen umfangreiche Reparaturen zur Instandhaltung an. In diesem Kontext wird auch untersucht, ob das Netz weiterhin in seiner bestehenden Struktur betrieben werden soll.

Gespeist wird das Netz aus Heizkesseln und dem ansässigen Biomasse-Heizkraftwerk. Das Biomasse-Heizkraftwerk (BMHKW) verfeuert pro Jahr ca. 75.000 Tonnen Biomasse. Verbrannt wird am Standort hauptsächlich Landschaftspflegematerial. Der erzeugte Heizdampf generiert in einer Entnahmekondensationsturbine bis zu 5 MW Strom. Über einen Wärmetauscher wird dem Entnahmedampf die Wärme entzogen und ins Netz eingespeist. Die maximale Wärmebereitstellung beträgt ca. 9 MW. Die Kosten für die Bereitstellung sind vergleichbar hoch und hierdurch ist es fraglich, ob eine Instandsetzung der Netzinfrastruktur wirtschaftlich durchführbar ist. Dampf, der bei einer Dampftemperatur von ca. 130°C entnommen wird, kann nicht mehr in der Turbine entspannt und zur Stromproduktion eingesetzt werden. Die so entgangenen Erlöse aus der Stromproduktion bilden die Opportunitätskosten der Wärmebereitstellung.

Fazit

Am Standort wird ein Nahwärmenetz betrieben, dass zu großen Teilen aus Abwärme des Biomasse-Heizkraftwerks (BMHKW) versorgt wird. Diese Wärme ist nahezu emissionsfrei. Auf Grund der hohen Förderung von Strom aus Biomasse sind die Opportunitätskosten der Wärmebereitstellung jedoch sehr hoch. In Verbindung mit den großen Potenzialen der dezentralen KWK bei den Verbrauchern

ergeben sich Investitionsanreize aus der emissionsarmen Wärmeversorgung auszusteigen und eine dezentrale, auf konventionellen Brennstoffen basierende, Wärmeversorgung aufzubauen. Eine detaillierte Analyse hierzu konnte im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt werden, da innerhalb der Projektlaufzeit keine detaillierten Anlagenkennwerte und Einspeisevergütungen des BMHKW vorlagen.

10. Gebiet Heitersheim



Zusammensetzung des Gebietes

Das Gebiet in Heitersheim ist geprägt durch kleinere und mittelgroße mittelständische Unternehmen sowie Handwerksbetriebe. Das Gebiet grenzt an ein Wohngebiet. Die ansässigen produzierenden Unternehmen fertigen Kunststoffteile, Halbleiter, Seifen und Beschläge.

Potenzialanalyse

Die ansässigen Unternehmen verfügen über prozessbedingte Wärmebedarfe, Gebäudewärmebedarfe, Kältebedarfe und Abwärmepotenziale. Die energetisch dominierenden Prozesse im Gebiet sind das Spritzgießen von Kunststoffteilen und das Seifensieden. Der Prozess des Spritzgießens wurde in der Unternehmensbegehung vor Ort analysiert. Beim Spritzgießen wird die Wärme elektrisch über das Werkzeug auf den Werkstoff übertragen, eine Niedertemperaturabwärmenutzung ist somit in diesem Prozess nicht möglich. Der Prozess des Spritzgießens verursacht durch die Kühlung der Werkzeuge Niedertemperaturabwärme, welche über Rückkühler an die Umgebung abgegeben wird. Ebenfalls treten, besonders in der Aufwärmphase der Werkzeuge, hohe Lastspitzen auf. Durch eine geregelte Einschaltreihenfolge der automatisierten Anlagen wird versucht diese Lastspitzen zu vermeiden, jedoch verursachen die älteren konventionell betriebenen Anlagen weiterhin hohe Lastspitzen. Im Gespräch vor Ort wurde eine praktikable Lösung zur Lastspitzenreduktion diskutiert. Durch ein Ampel-System soll in der Produktionshalle der Lastzustand visualisiert werden um auszuschließen, dass Mitarbeiter in Hochlastzeiten weitere Anlagen ans Netz nehmen. Der Prozess des Seifensiedens ist energie- und abwärmeintensiv. Beim Kochen der Seife entsteht ein hoher Wärmebedarf. Im späteren Produktionsschritt muss die Seife gekühlt werden, Abwärme wird auf einem niedrigen Temperaturniveau abgeführt. Der Prozess des Seifensiedens wurde im Projekt auf Grund von personellen Engpässen im produzierenden Unternehmen nicht detailliert modelliert.

Fazit

In Heitersheim zeigt sich wie schwierig es ist Niedertemperaturabwärme selbst im Verbund sinnvoll zu integrieren. Mehrere Unternehmen in unmittelbarer Nachbarschaft verfügen gleichzeitig über

Abwärmepotenziale und Wärmebedarfe. Auf Grund des tiefen Temperaturniveaus kann die Abwärme jedoch nur über Wärmepumpen nutzbar gemacht werden, was jedoch auf Grund der hohen Stromkosten nicht wirtschaftlich durchführbar ist.

11. Gebiet Markgröningen



Zusammensetzung des Gebietes

Das Gebiet ist durch mittelständische produzierende Unternehmen und Lagerstandorten von Logistikunternehmen geprägt. Die Logistikunternehmen verfügen teilweise über tiefgekühlte und gekühlte Palettenstellplätze. In unmittelbarer Nähe finden sich kleine mittelständische Unternehmen und Wohngebiete, die durch Ein- und Mehrfamilienhäuser geprägt sind.



Abbildung 29: Übersicht des Untersuchungsgebietes Markgröningen
(Quelle: Google, Bilder © 2019 GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Landeshauptstadt Stuttgart, Maxar Technologies, Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (© 2009))

Potenzialanalyse

In einer ersten Analyse wurden die größten Unternehmen im Gebiet begangen und Interviews mit den Energieverantwortlichen geführt, um die energetischen Prozesse zu erfassen. Die Transthermos GmbH & Co. KG ist geprägt durch große Kältebedarfe. Die Kälteaggregate geben hierbei große Mengen an Niedertemperaturabwärme an die Umgebung ab. Die Benseler Oberflächentechnik GmbH beschichtet metallische Oberflächen. In vielen Fällen müssen die Oberflächenschichten eingebrannt

werden. Hierbei wird Hochtemperaturabwärme an die Umwelt abgegeben. Die Werkstücke werden daraufhin über eine Umluftkühlung und eine Aktivkühlung abgekühlt. Hierbei entstehen Niedertemperaturabwärme und ein kleinerer Kältebedarf. Die Abluft aus den Beschichtungsanlagen enthält für bestimmte Oberflächenbeschichtungsmaterialien Lösungsmittel, welche nicht an die Umwelt abgegeben werden dürfen. In einer regenerativen thermischen Nachbehandlung (RTN) werden die Lösungsmittel verbrannt. Der Abluftstrom wird dabei stark erhitzt und an die Umwelt abgegeben. Durch die hohen Abwärmeparameter gibt es viele Möglichkeiten der inner- und überbetrieblichen Abwärmenutzung.

Fazit

Die Grobanalyse hat gezeigt, dass theoretische Potenziale zur innerbetrieblichen und überbetrieblichen Abwärmenutzung auf Grund der hohen thermischen Bedarfe und des Angebotes an Abwärme bestehen. Ebenfalls wurden Prozesse identifiziert, welche im Rahmen einer Lastflexibilisierung genutzt werden können um einerseits Lastspitzen zu reduzieren und andererseits, über einen spotmarkt-optimierten Einkauf, die Strombezugskosten zu senken. Eine detaillierte Modellierung und Simulation wurde im Projekt nicht durchgeführt, da die Transthermos GmbH & Co. KG nicht bereit war ihre detaillierten Energiedaten für eine Projektteilnahme bereitzustellen.

1.2.5 Geschäftsmodellentwicklung und Betreiberidentifikation

Für die Entwicklung von Geschäftsmodellen gibt es diverse Methoden und Werkzeuge. Das am weitesten verbreitete Werkzeug ist das Business Model Canvas. Das Model Canvas bildet neun Schlüsselemente eines Geschäftsmodells ab. Diese Schlüsselemente sind Schlüsselpartnerschaften, -aktivitäten, -ressourcen, Wertangebot, Kundenbeziehungen, Kundensegmente, Kanäle, Kostenstruktur und Einnahmestruktur. Mittels des Business Models Canvas werden Geschäftsmodelle bzw. -ideen visuell dargestellt. Dabei muss beachtet werden, dass dieses Modell keine definierte Qualitätskontrolle beinhaltet und für die Darstellung von komplexeren Geschäftsmodellprototypen nicht ausreicht, weshalb noch andere Werkzeuge notwendig sind. Ein weiteres relevantes Werkzeug ist der St. Galler Business Model Navigator, der auf der Rekombination von bestehenden Modellen beruht. Die vier Kernelemente sind Kunden (Wer?), Nutzenversprechen (Was?), Wertschöpfungskette (Wie?) sowie Ertragsmechanik (Wert?). Die vier Hauptphasen sind Initiierung, Ideenfindung, Integra-

tion und Implementierung. Diese beiden Werkzeuge ergänzen den Stage-Gate Ansatz, der die Möglichkeit bietet, einen Entwicklungsprozess in einzelne Phasen (Stages) und dazugehörigen Kontrollpunkte (Gates) zu unterteilen¹⁴.

Der Geschäftsmodellentwicklungsprozess für den Anwendungsfall „Industrielle Energieverbundlösungen“ ist in der unteren Grafik dargestellt.

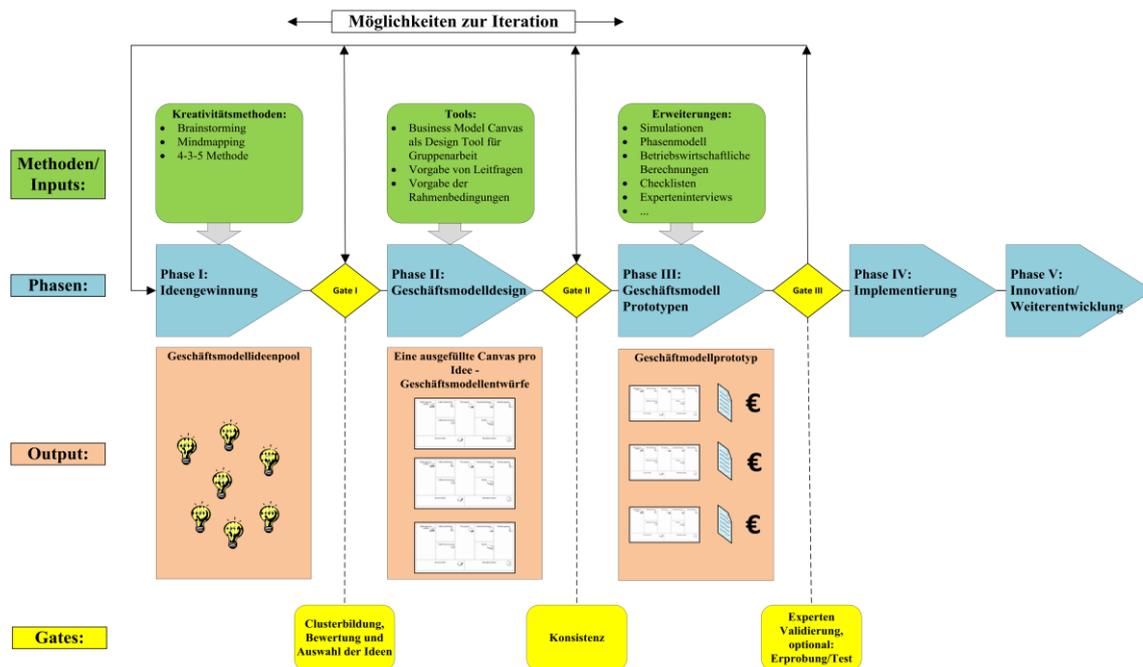


Abbildung 30: Geschäftsmodellentwicklungsprozess für den Anwendungsfall „Industrielle Energieverbundlösungen“¹⁴

Die Wahl passender Geschäftsmodelle hängt stark von den örtlichen Begebenheiten sowie den Erwartungen und der Handlungsbereitschaft der relevanten Parteien ab. Mögliche Geschäftsmodelle sind:

- **Betrieb durch Industrieunternehmen:** Ausgründung einer Betreibergesellschaft.
- **Betrieb durch Energieversorgungsunternehmen (EVU):** Infrastruktur neu erstellen oder bestehende Infrastruktur ausbauen, Auswahl- bzw. Ersatzinfrastruktur bereitstellen.
- **Betrieb durch einen Contractor:** Hohe Wärmedichte erforderlich, eher in Gebieten ohne Gasanschluss.

Bevor ein neues Geschäftsmodell zur überbetrieblichen Abwärmenutzung realisiert werden kann, muss die Implementierung überprüft werden. Ein möglicher Ablauf zur Implementierung von industriellen Energieverbundlösungen durch EVUs ist in Abbildung 31 dargestellt.

¹⁴ Bäumler, Steffen (2016): Ein Prozess zur Geschäftsmodellentwicklung für den Anwendungsfall „Industrielle Energieverbundlösungen“, Masterthesis an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

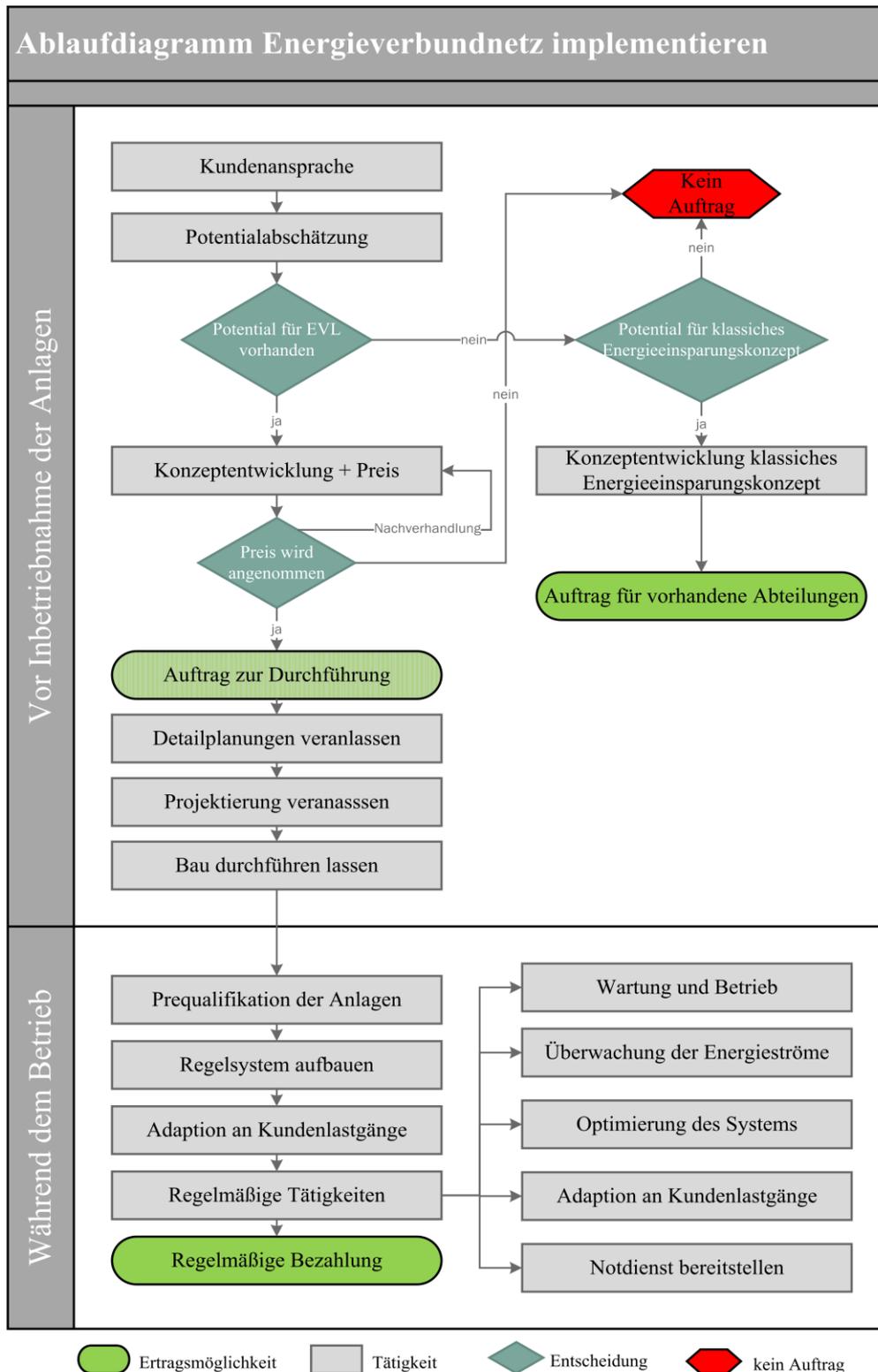


Abbildung 31: Ablaufdiagramm der Implementierung industrieller Energieverbundlösungen durch EVUs¹⁴

Im Projekt wurden verschiedene Energieverbundlösungen identifiziert. Gemeinsam mit den Unternehmen und der Kommune wurden Lösungen erarbeitet, die lokalen potenziellen Betreibern vorgestellt wurden. Die industriellen Unternehmen stellen hierbei Abwärme an der Systemgrenze zur Verfügung und profitieren von zusätzlichen Erlösen. Der Betreiber der Infrastruktur kann Wärme zu

Kosten beziehen, die deutlich unter den üblichen Wärmegestehungskosten liegen. Die wärmeabnehmenden Unternehmen profitieren von leicht reduzierten Wärmekosten, der Vermeidung von Wartungs- und Reparaturaufwand, die Vermeidung von Risiken verbunden mit der Entwicklung von Regularien (EWärmeG etc.) und die Auslagerung der Verantwortlichkeit für die Versorgungssicherheit. Die Bewertung der Investitionsmaßnahmen dauert an, da hierbei mehrere Planungs- und Verhandlungsiterationen durchlaufen werden müssen.

1.2.6 Evaluation und Monitoring

Während der Projektlaufzeit kam es zu keiner Umsetzung der ermittelten inner- sowie überbetrieblichen Maßnahmen. Da es größtenteils kostenintensive Maßnahmen sind, die unterschiedliche Parteien miteinbeziehen, braucht die Umsetzung der Maßnahmen oft eine lange Vorlaufzeit. Gründe sind hierfür unter anderem die Rollenverteilung, Kostenaufteilung, rechtliche Abstimmung, Klärung der Risiken und so weiter.

Im Rahmen des Projekts wurden die potenziellen Entscheider, seitens der Energiewirtschaft und der Kommune, interviewt, um die Hemmnisse bei der Maßnahmenumsetzung für die überbetriebliche Abwärmenutzung zu ermitteln und die fördernden Faktoren aufzuzeigen. Die folgende Tabelle zeigt die ermittelten Hemmnisse und fördernden Faktoren auf:

Hemmnisse	Fördernde Faktoren
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Finanzielle Hemmnisse: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Fehlendes Kapital ➤ Hohe Investitionskosten ➤ Lange Amortisationskosten ➤ Kaum oder schwer erreichbare Subventionen ▪ Intransparenter Markt: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Informationsdefizit, da es kaum vergleichbare Projekte gibt ➤ Unsichere Rahmenbedingungen beziehungsweise Planungssicherheit ➤ Mangelnde Unterstützung ➤ Undurchsichtige Fördersituation ➤ Intransparente Potenziale ▪ Produkt- und Prozessbezogene Hemmnisse: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Befürchteter Produktionsausfall oder Qualitätsverlust ➤ Mangel an Detailkenntnissen ➤ Abhängigkeit zu anderen Unternehmen ➤ Schwierigkeiten in die Produktion einzugreifen ➤ Hürden sowie Probleme bei der Antragstellung von Fördermitteln ➤ Befürchtete Schwierigkeiten mit der zuzusätzlichen Technik 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Finanzielle Anreize: <ul style="list-style-type: none"> ➤ (Energie-)Kosteneinsparung ➤ Reduzierte CO₂-Steuer ➤ Einnahmen durch Abwärmeabsatz ➤ Wirtschaftlichkeit nach der Amortisation ▪ Infrastrukturgegebenheiten: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Hohe Abwärmepotenziale und nahegelegene Abnehmer ▪ Imageverbesserung: <ul style="list-style-type: none"> ➤ „grüner“ Strom ➤ Standortfaktor ➤ Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz ▪ Fördermittel: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Unter anderem von KfW und BAFA ➤ Förderung von Machbarkeitsstudien ➤ Förderung der Maßnahmenumsetzung ▪ Sicherheit: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Abbaurechte der Abwärmegeber ➤ Verbundenheit ➤ Vertrauen im Abhängigkeitsverhältnis ➤ Unabhängigkeit externen Energieversorgung ▪ Sonstige: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Möglichkeit von Outsourcing

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sonstige Hemmnisse: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Große Anzahl an beteiligten Akteuren ➤ Sensible Daten Dritten zur Verfügung stellen ➤ Keine Kernkompetenz ➤ Nicht vorhandene oder ungeeignete Infrastruktur ➤ Zu wenig Fachpersonal ➤ Verantwortung gegenüber anderer Beteiligten beziehungsweise Abhängigkeit von anderen Beteiligten ➤ Keine politischen Impulse beziehungsweise Obligationen 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mehr politischer Anreize beziehungsweise Bestimmungen
--	---

Tabelle 1: Hemmnisse und fördernde Faktoren bei der Maßnahmenumsetzung für die überbetriebliche Abwärmenutzung

Bei der Auswertung der Interviews hat sich gezeigt, dass ein deutliches Handlungspotenzial bei der Regierung gesehen wird. Als ein großes Hindernis bei dem Angehen solcher Vorhaben, wie überbetriebliche Abwärmenutzung, werden die undurchsichtigen Fördermittelmöglichkeiten und die beinhaltetete Antragstellung gesehen. Die Intransparenz der vielen Fördermittel und der hohe bürokratischer Aufwand schrecken die Entscheider davor ab, diese Fördermittel in Anspruch zu nehmen. Auch sollen mehr Anreize für die inner- sowie überbetriebliche Abwärmenutzung seitens der Politik geschaffen werden. Solche Anreize können unter anderem mehr an die Abwärmenutzung adressierten Förderprogramme oder Subventionen sowie verminderte Steuern beziehungsweise Abgaben für die vermiedenen Treibhausgasemissionen sein. Auch Regularien oder Vorschriften könnten dabei behilflich sein.

1.2.7 Schlussfolgerung

Im Projekt "Interflex4Climate" wurden 11 Gewerbegebiete deutschlandweit untersucht, um Energieeffizienz-, Verbund- und Lastflexibilisierungspotenziale zu identifizieren und Methoden sowie Verfahren zu entwickeln, wie diese Potenziale auch in weiteren Gebieten identifiziert und gehoben werden können.

Bei der **Anbahnung von potenziellen Untersuchungsgebieten** wurde ein Vorgehen gewählt, das stark auf die Einbeziehung regionaler Multiplikatoren setzt (siehe Kapitel 1.2.1). Im Projekt hat sich gezeigt, dass der Erfolg dieser Vorgehensweise jedoch maßgeblich von der bestehenden Beziehung zwischen Multiplikator und Unternehmen abhängt. Ist kein geeigneter Multiplikator bekannt, können geeignete Unternehmen auch direkt angesprochen werden, was jedoch mit deutlichem Mehraufwand verbunden ist. Die Erfahrungen im Projekt zeigen, dass sich angesprochene Städte mit Teilklimaschutzkonzepten „Gewerbe und Industrie“ weniger für zusätzliche Maßnahmen interessieren, da meist eigene Strategien verfolgt werden.

Die **techno-ökonomischen Analyse** der Energiesysteme in den ausgewählten Gewerbegebieten ergab, dass alle untersuchten Unternehmen über wirtschaftliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz verfügen. Attraktive Maßnahmen sind die (überbetriebliche) Nutzung von Abwärme, die dezentrale Erzeugung von Strom und Wärme mittels BHKWs und die Installation von PV-Anlagen, sowie die Effizienzsteigerung durch den Einsatz von Speichern.

Die Nutzung von **Abwärme aus Produktionsprozessen und die Kraftwärmekopplung (KWK)** stehen hierbei häufig in Konkurrenz. Aus ökonomischer Sicht ist es besonders für kleinere Industrieunternehmen aufgrund hoher Stromtarife ökonomisch vorteilhaft, die Wärme aus der KWK-Anlage bereitzustellen und produktionsbedingte Abwärme ungenutzt an die Atmosphäre abzugeben. Selbst aus ökologischer Sicht ist die Bereitstellung von Wärme und Strom unter den gegebenen Randbedingungen vorteilhaft, da der substituierte Netzstrom noch relativ hohe spezifische Emissionen aufweist. Sobald die spezifischen Emissionen im deutschen Strommix weiter fallen, besteht hier ein Fehlanreiz, da durch die gegebenen Randbedingungen Investitionsanreize zum Ausbau der KWK-Anlage gegeben sind, ohne zunächst vorhanden Abwärmepotenziale zu nutzen.

Die wichtigsten technischen Erfolgsfaktoren in der **überbetrieblichen Abwärmenutzung** sind die kontinuierliche Verfügbarkeit und eine möglichst dauerhafte Abnahme von Abwärme, eine hohe Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und –senke, eine hohe Energiedichte des Netzes. Ebenfalls ist es von großem Vorteil, wenn der lokale Energieversorger vor Ort keine Gasinfrastruktur betreibt. Somit besteht keine Gefahr, das eigene Geschäftsmodell durch ein mögliches Wärmenetz zu kannelalisieren. Je größer die Wärmebedarfe der anliegenden Unternehmen sind und je dichter diese beieinander liegen, desto größer ist die Wirtschaftlichkeit des Energieverbundes und damit die Wahrscheinlichkeit einen geeigneten Betreiber zu identifizieren.

Die Analysen zur **Lastflexibilisierung** der industriellen Produktion zeigten, dass große zentral gesteuerte Produktionsprozesse zur Lastflexibilisierung geeignet sind. Kontinuierlich betriebene Prozesse eignen sich hierbei stärker zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen wie Regelleistung. Prozesse, die deutlich unter ihrer Kapazitätsgrenze betrieben werden, können hingegen auch sehr gut zur Lastverschiebung und der Vermarktung an den kurzfristigen Energy-Only Märkten eingesetzt werden. Die ökologische Bewertung wurde im Projekt durch die Berechnung stundenscharfer spezifischer Emissionen des deutschen Strommixes ermöglicht. Aufgrund einer hohen Korrelation von Strompreisen und spezifischen Emissionen des Strommixes, führt eine ökonomische Optimierung des Strombezugs auch zu einer signifikanten Reduktion der Emissionen. Es zeigte sich allerdings auch, dass sich nur eine begrenzte Anzahl an Prozessen unter den gegebenen Bedingungen wirtschaftlich zur Lastflexibilisierung einsetzen lassen.

Große Potenziale bestehen aber auch in der **Flexibilisierung der vorgelagerten Energiewandlungsanlagen**. Durch den Einsatz von thermischen Speichern können sektorenkoppelnde Energiewandler (BHKWs, Wärmepumpen, Kaltwassersätze) flexibel betrieben werden. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass sich, unter der Berücksichtigung multipler Einnahmequellen, auch Speicher wirtschaftlich realisieren lassen. Das größte Einsparpotenzial für Unternehmen besteht durch die Reduktion der Lastspitzen. Besonders bei kleineren und mittelgroßen Unternehmen wird der Strompreis durch Abgaben und Umlagen dominiert und selbst im Falle eines zeitlich variablen Stromtarifs sind die ökonomischen Potenziale durch eine Lastverschiebung auf Grund von Börsenpreissignalen gering. Die Anreize zur Lastverschiebung könnten zukünftig verstärkt werden, wenn auch die Abgaben und Umlagen mit den Marktpreissignalen verknüpft werden.

Neben der techno-ökonomischen Bewertung wurden auch weitere **informative, organisatorische, finanzielle und politische Hemmnisse** identifiziert, die der Bildung von Energieverbänden gegenüberstehen. Das größte Hemmnis, das überwunden werden muss, ist das Informationsdefizit. Unternehmen besitzen keine Information über die Energiebedarfsstruktur der benachbarten Unternehmen und auch Energieberatungen beschränken sich üblicherweise auf einzelne Unternehmen. Der Nutzen für eine Kommune bei der Umsetzung eines Energieverbundes liegt auf der Hand: durch die Nutzung industrieller Abwärme und der effizienten Erzeugung im Verbund können regional die Emissionen der Industrie reduziert werden. Im Verbund können für die Unternehmen die Energiekosten gesenkt und der Wirtschaftsstandort gestärkt werden. Wenn die Netzstruktur von einem regionalen Akteur betrieben wird, wird die Wertschöpfung in die Region verlagert.

Da Kommunen aber meist nicht über das technische Knowhow zur Umsetzung verfügen, wurde im Projekt ein Leitfaden entwickelt, der die Kommunen unterstützt, gemeinsam mit den richtigen Partnern Verbundpotenziale zu identifizieren und zu heben.

1.3 Gegenüberstellung der Projektergebnisse mit den vorgegebenen Zielen

Im Folgenden werden die Projektergebnisse den vorgegebenen Zielen gegenübergestellt. Die Ziele sind durch das BMU in den „Informationen zur Förderung von Klimaschutzprojekten für die Bereiche Wirtschaft, Verbraucher und Bildung im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative“ (BMU 2011) Für dieses Vorhaben sind insbesondere folgenden Dimensionen entscheidend:

- „Beitrag zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung“ (1.3.1)
- „Innovationscharakter“ (1.3.2)
- „Mobilisierungs- und Breitenwirkung“ (1.3.3)

Im Folgenden werden diese Dimension mit Bezug auf das Vorhaben erläutert und in einem vierten Punkt die erreichten projektinternen Ziele (Meilensteine) aufgeführt (1.3.4).

1.3.1 Beitrag zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung

Mit dem Projekt sollen über die direkte Wirkungskette Treibhausgasemissionen reduziert werden. In den untersuchten Gebieten und Unternehmen wurden Maßnahmen mit einem THG-Emission identifiziert, welche das Potenzial haben, die Emissionen um bis zu 24.000 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr zu reduzieren. Die identifizierten Potenziale zeichnen sich teilweise durch eine hohe Wirtschaftlichkeit aus und eine Vielzahl der Maßnahmen wird durch die beteiligten Unternehmen näher untersucht. Die Umsetzung von Verbundpotenzialen erfordert die Zusammenarbeit vieler Akteure und die Erarbeitung mehrerer Planungsstufen, aus diesem Grund ist eine Umsetzung der Verbundpotenziale nicht vor 2019 zu erwarten.

Über die indirekte Wirkungskette sollen weitere Unternehmen und Kommunen angeregt werden Projekte zur Identifizierung und Hebung von Verbundpotentialen aber auch von Lastflexibilisierungspotentialen. Innerhalb des Projektes wurden zur Verbreitung der Erkenntnisse zwei Jahreskonferenzen durchgeführt, hier wurden verschiedene Akteure aus der Wirtschaft und dem kommunalen Umfeld auf die bestehenden Potentiale und aufmerksam gemacht. Ebenfalls wurde Multiplikatoren aus der Energiewirtschaft (Contractoren) aufgezeigt, welche Möglichkeiten die ganzheitliche Betrachtung auch über Unternehmensgrenzen hinaus haben kann. Über eine Vielzahl von weiteren Vorträgen auf Konferenzen, Workshops und Kongressen wurden die Erkenntnisse verbreitet. Die Erkenntnisse bezüglich der Weiterentwicklung in der Methodik der Modellierung, Simulation und Optimierung gewerblicher und industrieller Energiesystem werden in wissenschaftlichen Publikationen verbreitet.

1.3.2 Innovationscharakter

Die im Projekt entwickelte und angewendete Methodik zur ganzheitlichen Analyse von ökonomischen und ökologischen Potenzialen überbetrieblicher Energieverbundpotenzialen stellt in mehreren Aspekten eine Innovation dar. Zum einen liegt Innovationsgehalt auf der Ermittlung von Vorteilen und Potenzialen eines Energieverbundes zwischen benachbarten Unternehmen regionaler Gewerbegebiete und auf deren Optimierung und Analyse hinsichtlich Energieeffizienzsteigerung und Laststeuerung (Demand Side Management), wobei der Schwerpunkt nicht auf der Optimierung einzelner Unternehmen liegt. Zum anderen können durch die kombinierte Durchführung verschiedener, sonst von unterschiedlichen Stellen ausgeführten Teile in einem einzigen Projekt Wechselwirkungen berücksichtigt werden, was zum Abbau von Silodenken, dafür aber zu ganzheitlichen Lösungen führt. Diese Teile sind

- die sektorübergreifende, integrale Energiesystemmodellierungen zur Potenzial- und Konzeptermittlung von überbetrieblichen Energieverbundsystemen,
- die Untersuchung von Lastflexibilisierung,

- das Aufdecken von Hemmnissen,
- und die Entwicklung der dafür passenden Strategien und Geschäftsmodelle.

Im Gegensatz zu laufenden und abgeschlossenen Forschungsvorhaben analysiert das Projekt nicht nur Einzelpotenziale, sondern optimiert das Energiesystem ganzheitlich. D. h. es werden alle Energiewandlungsanlagen modelliert und in einer unternehmensübergreifenden Simulation Varianten erstellt, um die Energiesysteme wirtschaftlich und ökologisch zu optimieren. Somit können Synergieeffekte zwischen verschiedenen Maßnahmen genutzt und so ökologische Potenziale gehoben werden, die sonst nicht wirtschaftlich zu erschließen wären. Als Beispiel lässt sich hier die Kombination von Verbund-BHKW und überbetrieblicher Abwärmenutzung nennen. Durch die gemeinsame Nutzung der notwendigen Übertragungsstruktur entstehen Kostendegressions- und Ausgleichseffekte, die die Wirtschaftlichkeit deutlich erhöhen. Ebenfalls werden im Projekt DSM-Strategien mit einbezogen. Hierbei werden nicht nur bestehende Lastflexibilisierungspotenziale untersucht, sondern ein besonderer Fokus auf Auswirkungen und Möglichkeiten der Lastflexibilisierung bei der Entwicklung von Verbundenergiekonzepten gelegt.

1.3.3 Mobilisierungs- und Breitenwirkung

Das Projekt zeichnet sich durch die verschiedenen untersuchten Gewerbegebieten, die daraus resultierende Varianz an beteiligten Unternehmen und Multiplikatoren, die Detailtiefe der Untersuchungen und die dadurch entstandene Belastbarkeit der Ergebnisse aus. Die daraus ableitbaren Chancen für die Stärkung des regionalen Wirtschaftsstandortes wurden über eine Vielzahl von Kanälen kommuniziert, was zu einer hohen Mobilisierungswirkung führte. Die wesentlichen Kanäle sind im Folgenden aufgelistet:

- Workshops mit Multiplikatoren und Energieexperten aus den Unternehmen (vgl. Kapitel 1.2.3)
- Leitfaden für Kommunen (vgl. Kapitel 6.4)
- zwei Projektkonferenzen (vgl. Kapitel 6.3)
- wissenschaftliche Veröffentlichungen (vgl. Kapitel 6.1)
- wissenschaftliche sowie praxisorientierte Vorträge (vgl. Kapitel 6.2)
- Ansprache von Multiplikatoren in über 70 Regionen im Rahmen des AP 3 (vgl. Kapitel 1.2.1)
- Projekthomepage www.interflex4climate.de mit durchschnittlich über 120 monatlichen Seitenaufrufen
- Lehrveranstaltungen der Hochschule Karlsruhe

1.3.4 Projektinterne Ziele (Meilensteine)

MS	Beschreibung	Termin (M/JJ)	Durchführung, Kommentare (M/JJ)
Projektmanagement			
	Statustreffen, Berichte		<ul style="list-style-type: none"> • Statustreffen: 7/16, 1/17, 9/17, 3/18, 9/18 • Zwischenberichte: 6/16, 1/17, 7/17, 1/18, 7/18, 1/19 • Schlussbericht: 3/19
AP 1: Entwicklung des Konzepts Öffentlichkeitsarbeit/Workshop			
1	Konzept für Öffentlichkeitsarbeit entwickelt	3/16	<ul style="list-style-type: none"> • 3/16: Plakat, Faltblatt, Rollup, Teilnehmervereinbarung, Infomaterial an Multiplikatoren, Homepage Live • Konferenzen: 6/17, 6/18
AP 2: Weiterentwicklung der Analyseinstrumente und Modellvorbereitung			
2	Analyseinstrumente vorbereitet	5/16	<ul style="list-style-type: none"> • 5/16: Grundmodelle vorbereitet • Stetige Weiterentwicklung vor allem der Optimierungsmodelle während der gesamten Projektlaufzeit
AP 3: Gewinnen von regionalen Multiplikatoren und Impulsgespräche zur Auswahl der Unternehmen			
3	Erstes Impulsgespräch	3/16	<ul style="list-style-type: none"> • 2/16: Bonn, Frankfurt, Rüsselsheim, Karlsruhe
4	Letztes Impulsgespräch	6/17	<ul style="list-style-type: none"> • 6/18: Steinbach, Baden-Baden
AP 4: Energiesystemanalyse / Variantensimulation Energieeffizienz und DSM			
5	Erstes Unternehmen modelliert	6/16	<ul style="list-style-type: none"> • 8/16: Opel, Rüsselsheim
6	Erstes Gewerbegebiet modelliert	9/16	<ul style="list-style-type: none"> • 11/17: Rüsselsheim
7	Letztes Gewerbegebiet modelliert	11/17	<ul style="list-style-type: none"> • 11/18: Baden-Baden
8	Verbundpotenziale ermittelt	9/18	<ul style="list-style-type: none"> • 11/18:
AP 5: Bewertungsanalyse DSM			
9	Grobanalyse DSM 1. Gewerbegebiet durchgeführt	7/16	<ul style="list-style-type: none"> • 8/16: Beladung Flurförderfahrzeuge Opel, Rüsselsheim
10	Grobanalyse DSM 10. Gewerbegebiet durchgeführt	11/17	<ul style="list-style-type: none"> • 9/18: Steinbach
11	Feinanalyse DSM mit Präqualifikation durchgeführt	9/18	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Präqualifikation, durch Fokus auf Spotmärkte und Spitzenlastmanagement
AP 6: Geschäftsmodellentwicklung			
12	Analyse bestehender Geschäftsmodelle erfolgt	3/17	<ul style="list-style-type: none"> • 1/17: siehe Leitfaden
13	Geschäftsmodellszenarien entwickelt	11/17	<ul style="list-style-type: none"> • 11/17: siehe auch Leitfaden
14	Einzelne Geschäftsmodelle validiert	9/18	<ul style="list-style-type: none"> • 9/18
AP 7: Begleitende Evaluation und Monitoring der Maßnahmenumsetzung			
15	Kurzbefragungen 2 x durchgeführt	12/17	<ul style="list-style-type: none"> • 12/17
16	Alle Kurzbefragungen durchgeführt	11/18	<ul style="list-style-type: none"> • 11/18
AP 8: Leitfaden zur Diffusion und Übertragung des Vorhabens auf weitere Städte			
17	Leitfaden erstellt und Projekt abgeschlossen	12/18	<ul style="list-style-type: none"> • 1/19

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Siehe vorgelegten zahlenmäßigen Verwendungsnachweis (VNZKFH).

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Finanzierung des Vorhabens aus öffentlichen Mittel ist auf Grund des Pilotcharakters des Projektes notwendig und angemessen. Energieverbände wurden bislang nur selten untersucht, da die Unternehmen bislang einen Fokus auf das betriebsinterne System gelegt haben. Die Entwicklung von Projekten in denen Gewerbegebieten ganzheitlich untersucht werden kann nur durch einen externen dritten Akteur angestoßen werden. Im Projekt wurden Verfahren und Methoden zur Entwicklung von Energieverbundprojekten entwickelt, ebenfalls wurden Modellierungsmethoden zur Optimierung von Energiesystemen und zur Bewertung und Einsatzplanung von Lastflexibilisierung entwickelt. Die gewonnen Erkenntnisse wurden der interessierten Öffentlichkeit über ein entsprechendes Kommunikationskonzept zugänglich gemacht um eine Verstetigung des Ansatzes zu gewährleisten und nachhaltig zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung beizutragen. Die geleistete Arbeit und die resultierenden Ergebnisse befähigen somit Kommunen Projekte zur Identifizierung und Hebung von Energieverbundpotentialen anzustoßen. Ausführende Stellen der Planung und Analyse wie Ingenieurbüros werden durch die entwickelte Methodik der Systemmodellierung befähigt Maßnahmen zu identifizieren zu bewerten und so Energieverbundkonzepte zu entwickeln.

4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Ergebnisse des Projektes sollen auf verschiedenen Ebenen zur Verwertung genutzt werden. Auf Ebene der Kommunen sollen die Kommunen selbst oder ein beauftragter externer Akteur befähigt werden, Verbundprojekte anzustoßen. Auf der Ebene der Unternehmen sollen die Untersuchungen und identifizierten Maßnahmen zu einer Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen führen. Auf der Ebene des Wissenstransfers sollen die Ergebnisse andere Institutionen befähigen, auf der Projektidee aufzubauen und die entwickelte Methodik einzusetzen. Konkret wird die Verwertung auf den Ebenen über die folgenden Maßnahmen gesichert:

- **Unternehmensebene:** Konkreter Abbau von informativen Hemmnissen durch die Ergebnisse der Untersuchungen. Vorliegende Konzepte dienen der Geschäftsführung als Entscheidungsgrundlage zur Entwicklung einer nachhaltigen Strategie zur Optimierung der Energiebereitstellung und des Energieverbrauchs. Weitere Unternehmen wurden durch eine

Vielzahl von Vorträgen und Veröffentlichungen über den Wandel des Energiesystems aufgeklärt und Maßnahmen zur Nutzung auftretender Effekte aufgezeigt.

- **Kommunale Ebene:** Durch die Entwicklung einer Methodik zur Identifikation von Verbundpotenzialen werden Kommunen befähigt, Projekte zu initiieren und die richtigen Partner ins Boot zu holen. Der veröffentlichte Leitfaden dient den Kommunen hierbei als wertvolles Werkzeug.
- **Wissenstransfer:** Auf der Ebene des Wissenstransfers werden die entwickelten Methodiken zur Modellierung, Simulation und Optimierung von industriellen Energiesystemen und Lastflexibilisierung in den entsprechenden Medien publiziert und so eine nachhaltige Weiterführung der Projektidee gewährleistet.

5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Das Thema der Entwicklung überbetrieblicher Abwärmennutzungsprojekte unter Berücksichtigung der Lastflexibilisierung in der Industrie ist nach dem Kenntnisstand der Autoren bis dato zumindest im deutschsprachigen Raum einzigartig. Einzelne wurden die Themen jedoch zum Teil gleichzeitig zur Laufzeit dieses Projektes von anderen Projekten aufgegriffen, welche hier kurz vorgestellt werden.

Eine Nutzung von industriellen Abwärmepotenziale über Unternehmensgrenzen hinaus ist nur in wenigen Ausnahmefällen bekannt. Als ein Beispiel zur **Einspeisung von Industrieabwärme ins Fernwärmenetz** lässt sich das Unternehmen MiRo (Mineralölraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG) in Karlsruhe nennen, wo in den Jahren zwischen 2008 und 2015 die Infrastruktur für eine Wärmeauskopplung von insgesamt 90 MW_{th} geschaffen wurden und jährlich 100.000 Tonnen CO₂ eingespart werden können.¹⁵

HEATLOOP¹⁶: Das Projekt „Heatloop“, wurde in den Jahren 2012-2014 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert. Ziel war die Entwicklung, praktische Erprobung und Evaluierung eines umsetzungs- und entscheidungsreifen Abwärmekonzeptes für Gewerbegebiete. Basierend auf ausgewerteten Daten von Checklisten und der Verwendung von Energiekennwerten aus Gebäudetypologien des IWU (Institut für Wohnen, Darmstadt) werden in der Konzeptstudie Wärmequellen und Wärmesenken gegenübergestellt und die Möglichkeit eines leis-

¹⁵ <https://www.ka-news.de/wirtschaft/regional/art127,1771959>

¹⁶ <https://www.e-p-c.de/de/projekte/16-projekte/erneuerbare-energien/54-heatloop>

tungsgebundenen Wärmetransports überprüft. Mittels Nachhaltigkeitsbewertung wird die Vorzugsvariante ermittelt. Das Ergebnis dieses Projekts hat gezeigt, dass Abwärme mittelständischer Unternehmen oft intern genutzt wird oder identifizierte Abwärmequellen, bedingt durch ihre kleinen Leistungen, heute noch nicht wirtschaftlich nutzbar sind. Eine Umsetzungs- und Monitoring Phase steht noch aus.

KomRev¹⁷: Das Projekt „KomRev“ wurde zum Teil zeitgleich vom BMU im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative gefördert. Das Projektteam stellte sich die Frage, welche Energiegewinnungs- und Effizienzpotenziale Kommunen nutzen können, damit sie ab 2050 CO₂-neutral sind. Das Ergebnis waren zwei konkret umsetzbare Konzepte und Transformationspfade bis zum Jahr 2050 - für maximal- bzw. moderat-dezentraler Energieversorgung - für die Stadt Rheine und ein Handbuch methodischer Grundfragen zur Masterplan-Erstellung¹⁸. Neben der Nutzung des Handbuchs, empfiehlt das Projektteam die frühzeitige Einbindung der Bürgerinnen und Bürger sowie die umgehende Initiation von Maßnahmen trotz langem Planungshorizont.

Energie Atlas Bayern¹⁹: Um den Informationsbedarf rund um das Thema Energie in Bayern abzudecken, stellt das Bayerische Landesamt für Umwelt seit April 2013 durch das Projekt „Energie Atlas Bayern“ eine Webseite mit allen notwendigen Informationen zu den Bereichen Biomasse, Geothermie, Sonne, Wasser, Wind und Abwärme zu Verfügung. Mithilfe von Checklisten, Landkarten und einem Abwärmerechner-Tool können hier Unternehmen eigene Abwärmepotenziale ermitteln und öffentlich machen und sich über mögliche (geografisch in der Nähe liegenden) Verbundpartner informieren.

6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

6.1 Wissenschaftliche Artikel

Während der Projektlaufzeit wurden folgende Artikel mit Ergebnissen zum Projekt publiziert:

- Paper 1: Bohlayer M, Fleschutz M, Bürger A, Braun M (2017): Multi-objective optimization of waste heat driven heating supply system using Mixed-Integer-Programming. In: Proceedings of Collaborative European Research Conference 09.2017

¹⁷ <https://www.klimaschutz.de/projekt/die-kommunale-effizienzrevolution-fur-den-klimaschutz-den-deutschen-stadten>

¹⁸ <https://elib.dlr.de/104751/>

¹⁹ <https://www.energieatlas.bayern.de/>

- Paper 2: Fleschutz M, Bohlayer M, Bürger A, Braun M (2017): Demand Side Management and the Participation in Consecutive Energy Markets - A Multistage Stochastic Optimization Approach. In: Proceedings of Collaborative European Research Conference 09.2017
- Paper 3: Bohlayer M, Zöttl G. (2018): Low-grade waste heat integration in distributed energy generation systems-An economic optimization approach. In: Energy 159
- Paper 4: Bohlayer M, Fleschutz M, Braun M, Zöttl G. (2018): Demand Side Management and the Participation in Consecutive Energy Markets-A Multistage Stochastic Optimization Approach. In: 15th International Conference on the European Energy Market (EEM)
- Paper 5: Braun M, Bohlayer M, Bürger A, Fleschutz M (2019): Integration of de-centralized Power Generation in existing Structures. In: Conference Material of Smart Urban Regeneration & Development.

Ein Artikel zur Vermarktung stromintensiver, flexibler Produktionsprozesse auf Spot- und Regelleistungsmärkten und ein Artikel zur Optimierung von Energieverbundsystemen befinden sich in der Vorbereitung zur Einreichung in wissenschaftlichen Fachmagazinen.

6.2 Wissenschaftliche Präsentationen

Das Projekt und das Thema wurde den Projektmitarbeitern auf mehreren nationalen und internationalen Konferenzen und Workshops vor Wissenschaftlern, Vertretern öffentlicher Einrichtungen und Praktikern aus interdisziplinären Fachbereichen präsentiert, darunter:

- Korean German Joint Conference 2019 – Smart Urban Regeneration & Development, Seoul, März 2019, Titel: "Integration of decentralized Power Generation in existing Structures"
- BMU-Fachtagung 2018 – Klimaschutz durch Abwärmenutzung, Berlin, Oktober 2018, Titel: "Wie können Industrie- und Gewerbegebiete als Verbund auf die Anforderungen der Energiewende reagieren?"
- EEM 2018 – 15th International Conference on the European Energy Market, Łódź (Polen), Juni 2018, Titel: „Demand Side Management and the Participation in Consecutive Energy Markets - A Multistage Stochastic Optimization Approach“
- Energy4u – Connect Ideas2Business, Karlsruhe, September 2018, Titel: "Ökonomischer und ökologischer Wert industrieller Lastflexibilisierung"
- CEB 2018 – 12. Energie-Effizienz-Messe Karlsruhe, Karlsruhe, Juni 2018, Titel: „Energieeffizienz und Lastflexibilisierung in Industriegebieten“
- CMS 2018 – XV Conference on Computational Management Science, Trondheim (Norwegen), Juni 2018, Titel: „Demand Side Management and the Participation in Consecutive Energy Markets – A Multistage Stochastic Optimization Approach“

- Infratrain 2017, Berlin, Oktober 2017, Titel: „The Value of Flexibility of Industrial Production Processes“
- CERC 2017 – Collaborative European Research Conference, Karlsruhe, September 2017, Titel: „Electricity Cost Reduction Potential of Industrial Processes using Real Time Pricing in a Production Planning Problem“
- CERC 2017 – Collaborative European Research Conference, Karlsruhe, September 2017, Titel: „Multi-objective optimization of waste heat driven heating supply system using Mixed-Integer-Programming “
- BRENNPUNKT 2017 – "Chancen durch Digitalisierung im Strom- und Wärmemarkt", Baden-Baden, Juli 2017, Titel: „Energieeffizienz im Wärmeverbund“



- Spitzmüller Unternehmerworkshop 2017, Gengenbach, Juli 2017, Titel: „Kosteneinsparung durch Lastflexibilisierung industrieller Industrieprozess“
- CEB 2017 – 11. Energie-Effizienz-Messe Karlsruhe, Karlsruhe, Juni 2017, Titel: „Lastflexibilisierung in der Industrie“

6.3 Jahreskonferenzen

Im Rahmen des Projektes wurden zwei Jahreskonferenzen organisiert und durchgeführt.

Die erste Jahreskonferenz fand am 28. Juni 2017 als Teil der 11. Energie-Effizienz-Messe Karlsruhe (CEB) auf dem Messegelände Karlsruhe mit folgenden Vorträgen statt:

- **Markus Bohlayer** (Hochschule Karlsruhe) "Energieeffizienz im Verbund"
- **Markus Fleschutz** (Hochschule Karlsruhe): "Lastflexibilisierung in der Industrie (Demand Response)"
- **Natalja Ashley-Belbin** (IREES GmbH): "Energieeffizienz und Flexibilisierung in der Industrie"
- **Dr. Michael Frank** (Infraserv GmbH & Co. Höchst KG): "Energieeffizienz und Demand Side Management in einem Industriepark"
- **Dr. Hans-Joachim Röhl** (Next Kraftwerke GmbH): "Erlösmöglichkeiten für Unternehmen durch gezielte Teilnahme an Strommärkten"

- **Klaus Russel-Wells** (FH Münster University of Applied Sciences): "Vorbild Wärmewende Dänemark - Best Practice Erfahrungen für die deutsche Energiewende?"

Der Zulauf war größer als erwartet (vgl. Abbildung 32). Insbesondere das hohe Interesse der Teilnehmer zum Thema Demand-Side-Management überraschte.



Abbildung 32: Impressionen der ersten Interflex4Climate Jahreskonferenz

Die zweite Jahreskonferenz des Projektes konnte ein Jahr später, am 28. Juni 2018 wieder im Rahmen der CEB stattfinden (vgl. Abbildung 33). Diesmal war die Anzahl der Teilnehmer zwar geringer, jedoch führte diese zu einer umso intensiveren Vernetzung und Diskussion der Anwesenden.

Folgende Vorträge wurden gehalten:

- **Markus Fleschutz** (Hochschule Karlsruhe): Energieeffizienz und Lastflexibilisierung in Industriegebieten - Einführung
- **Jens Jäger** (dena, Deutsche Energie-Agentur): "Außerbetriebliche Abwärmenutzung - Erfahrung und Ausblick"
- **Dirk Behrens** (Uniper Technologies GmbH): "Verfahrenstechnische Prozessoptimierung in Industrieanlagen zur Steigerung der Energieeffizienz"
- **Dipl.-Ing. Michael Kolb** (Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH): "Lastflexibilisierung in der Industrie"

- **Dipl.-Ing. Christoph Schlenzig** (Seven2one): "Lastflexibilisierung in der Industrie: Wie sich das Energiemanagement anpassen wird"



EINLADUNG

2. Jahreskonferenz des Projektes Interflex4Climate
„Energieeffizienz und Lastflexibilisierung in Industriegebieten“
 als Teil des CEB-Kongresses
 Donnerstag, den 28. Juni 2018
 9:30 – 12:00 Uhr, Messe Karlsruhe
 Der Eintritt ist frei



Abbildung 33: Impressionen der zweiten Interflex4Climate Jahreskonferenz

6.4 Leitfaden

Im Rahmen des Projektes wurde der Leitfaden „Überbetriebliche Nutzung industrieller Abwärme“ entwickelt, der auf der Projekthomepage veröffentlicht wurde (vgl. Abbildung 34). Aus Sicht des Projektteams ergab sich der Bedarf eines Leitfadens, welcher sich speziell an Kommunen richtet und die kommunale Mitarbeitern Schritt für Schritt dabei unterstützt, wie sie Projekte zur Nutzung überbetrieblicher Abwärme vorantreiben können. Dabei wurde bewusst auf technische Details verzichtet und hierfür vielmehr auf das bereits bestehende Angebot an technisch fokussierten Leitfäden und Handbüchern verwiesen.

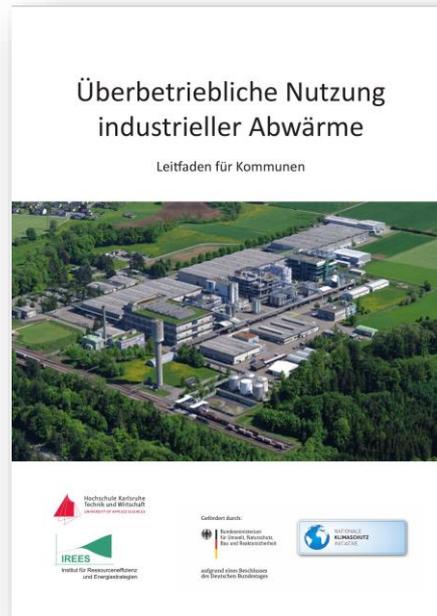


Abbildung 34: Titelseite des Leitfadens „Überbetriebliche Nutzung industrieller Abwärme“

Anhang

- Erfolgskontrollbericht
- Berichtsblatt

Bildnachweis

- pixabay.com
- shutterstock: 383606050 nostalg1e, 696748567 J. Lekavicius
- AdobeStock: 67735418 aerogondoBerichtsblatt