



LEITFADEN GREEN ENERGY PARKS

Leitfaden Green Energy Parks

Autorinnen und Autoren:

Maximilian Stange Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Benjamin Jacobsen Technische Universität Chemnitz
Stefanie Schubert Technische Universität Chemnitz
Mark Richter Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Tom Wolf Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Dr. Lilly Meynerts Technische Universität Chemnitz
Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH

Verlag / Ort: Universitätsverlag der Technischen Universität Chemnitz / Chemnitz

Erscheinungsjahr: 2021

ISBN: 978-3-96100-134-7

URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa2-754243>



Das Werk - ausgenommen Zitate, Cover, Logo Fraunhofer IWU, TU Chemnitz, SAENA und Bildmaterial im Text - steht unter der Creative-Commons-Lizenz

Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Ansprechpartner

Maximilian Stange

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Reichenhainer Straße 88, 09126 Chemnitz

Telefon: +49 371 5397-1820

Mail: maximilian.stange@iwu.fraunhofer.de

Benjamin Jacobsen

Technische Universität Chemnitz

Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz

Telefon: +49 371 531-30084

Mail: benjamin.jacobsen@etit.tu-chemnitz.de

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Konzept	3
3	Datenbeschaffung und -analyse	10
3.1	Gewerbegebiet und Quartier	11
3.2	Unternehmensebene	15
4	Technologien und Maßnahmen	22
4.1	Energieerzeugung	22
4.1.1	Stromerzeugung – Überblick	23
4.1.2	Stromerzeugung - Photovoltaik	23
4.1.3	Stromerzeugung - Windenergie	25
4.1.4	Wärmeerzeugung - Überblick	25
4.1.5	Wärmeerzeugung - Solarthermie.....	26
4.1.6	Wärmeerzeugung - Geothermie	26
4.1.7	Wärmeerzeugung - Biomassefeuerung	27
4.2	Energieübertragung	28
4.3	Energiespeicherung.....	30
4.3.1	Wärmespeicher	31
4.3.2	Stromspeicher	31
4.3.3	Vergleich	34
4.4	Sektorkopplungstechnologien	35
4.5	Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz.....	37
4.5.1	Maßnahmen auf Unternehmensebene	38
4.5.2	Kooperative Maßnahmen	39
4.5.3	Abwärmennutzung.....	40
4.5.4	Anreizgestaltung auf Mitarbeitererebene	42
5	Validierung	44
5.1	Neue Geschäftsmodelle	44
5.2	Technische Umsetzbarkeit	46
5.3	Ökonomische (LCC) und ökologische Bewertung (LCA).....	49
5.4	Hemmnisse bei der Umsetzung	52
6	Fördermöglichkeiten.....	53
7	Anhang	54
8	Literatur	62
	Danksagung.....	69

Projektpartner



Das Fraunhofer IWU (geschäftsführender Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Welf-Guntram Drossel) ist der Motor für Neuerungen im Umfeld der produktionstechnischen Forschung und Entwicklung. Als Leitinstitut für ressourceneffiziente Produktion innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft liegt das Hauptaugenmerk auf der Entwicklung von Effizienztechnologien und intelligenten Produktionsanlagen. Dazu forscht das Fraunhofer IWU seit einigen Jahren auch am Thema Energieeffizienz in der Produktion und vermehrt am Thema Energieflexibilität in der Fabrik. Durch langjährige Beziehungen mit Großunternehmen (Volkswagen AG, Audi AG, Siemens AG), aber auch kleinen und mittelständischen Unternehmen, führt das Fraunhofer IWU zuverlässig neueste wissenschaftliche Erkenntnisse zur Marktreife.



Die TU Chemnitz ist eine weltoffene Universität, die regional, national und international stark vernetzt ist. Sie ist das Zuhause von ca. 10.000 Studierenden aus rund 100 Ländern. Die TU Chemnitz sieht sich als Innovations-treiber bei der Bewältigung prioritärer Zukunftsaufgaben. Vor dem Hintergrund des globalen Wandels und der demografischen Entwicklung sind fortschrittliche Lösungen gefragt, die sich durch Nachhaltigkeit, Interdisziplinarität und gesellschaftlichen Nutzen auszeichnen. An der Professur für Unternehmensrechnung und Controlling wurden im Forschungsprojekt GRIDS Ansätze und Lösungen zur lebenszyklusbezogenen Bewertung und Steuerung effizienzsteigernder Konzepte für die Energieversorgung von Gewerbegebieten entwickelt und exemplarisch angewendet. Dabei wurden u. a. Instrumente wie das (Target) Life Cycle Costing und das Total Cost of Ownership (mit Bezug auf Kosten bzw. Aus- und Einzahlungen), das Life Cycle Assessment (mit Bezug auf ökologische Zielgrößen wie CO₂-Emissionen) und die integrierte ökonomisch-ökologische Bewertung weiterentwickelt, spezifiziert und fallstudienbezogen angewendet.



Dafür, dass gute Ideen die Menschen erreichen - so könnte die kürzeste Antwort auf die Frage lauten, wofür die Sächsische Energieagentur - SA-ENA GmbH steht. Als Landesenergieagentur ist sie ein Unternehmen des Freistaates Sachsen und der Sächsischen Aufbaubank - Förderbank - (SAB). Die Schonung der Ressourcen und die Erhaltung der Lebensgrundlagen für künftige Generationen durch aktiven Klimaschutz und die Steigerung der Energieeffizienz als Elemente der Daseinsvorsorge integrativ zu unterstützen, ist Ziel der 2007 gegründeten SAENA. Ganz praktisch bietet sie als Beratungs-, Informations- und Kompetenzzentrum unabhängige Informationsmaterialien, Initialberatungen und Veranstaltungen an und agiert u.a. als Initiator, Vermittler und Vernetzer rund um die Themen Energieeffizienz, erneuerbare Energien, zukunftsfähige Energieversorgung und effiziente Mobilität. Die Energiewelt ist komplex, technologisch vielfältig und somit oft erklärungsbedürftig. Klimaschutz steht im Mittelpunkt der gesellschaftlichen Debatte und Veränderungen. Mit Überblick und Fernsicht setzt SAENA sich dafür ein, dass alle in Sachsen den Wandel als mögliche Chance nutzen.

1 Einleitung

Die Abmilderung des anthropogenen Klimawandels und seiner Folgen ist eines der wichtigsten Themen unserer Zeit. Industrie und verarbeitendes Gewerbe tragen maßgeblich zur Emission von Treibhausgasen bei, die den Klimawandel verstärken. Viele Unternehmen haben dies erkannt und führen Projekte zur Reduzierung von Emissionen und Steigerung der Energieeffizienz durch. Doch hier zeigt sich: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.“, wie bereits Aristoteles erkannte. Oft richtet sich der Blick nur auf einen kleinen Teil des Gesamtsystems, z. B. auf das eigene Unternehmen. Dadurch entgehen dem Betrachter viele Potentiale, die nur durch eine Kooperation möglich werden.

In Industrie- und Gewerbegebieten findet ein großer Teil der Wertschöpfung, der deutschen Wirtschaft statt. Damit einher geht auch ein signifikanter Energiebedarf, der heute noch zu einem erheblichen Teil durch die Nutzung fossiler Energieträger gedeckt wird. Demgegenüber fehlt in Gewerbegebieten häufig ein aktives Management, anders als in Industriegebieten oder speziell in Chemieparks, in denen Betreibergesellschaften Infrastruktur und Dienstleistung aus einer Hand zur Verfügung stellen. Dadurch zeichnen sich Gewerbegebiete häufig durch eine fehlende Kooperation, speziell im Bereich der Energieversorgung und -verteilung, der dort ansässigen Firmen aus.

Das Fraunhofer IWU und die TU Chemnitz forschen gemeinsam an der Frage, wie mittlere und kleine Industrie- und Gewerbegebiete durch die Kooperation der ansässigen Unternehmen energieeffizienter und wirtschaftlicher arbeiten können. Im EFRE und SAB geförderten Projekt GRIDS (Grüne Energie in industriellen Verbänden) wurde dazu der Frage nachgegangen, wie energetische Synergiepotentiale innerhalb von wirtschaftlich tragfähigen Geschäftsmodellen erschlossen und genutzt werden können. Wie das funktionieren kann, können Sie in der Abbildung 1 sehen, die in Abschnitt 2 erklärt wird.

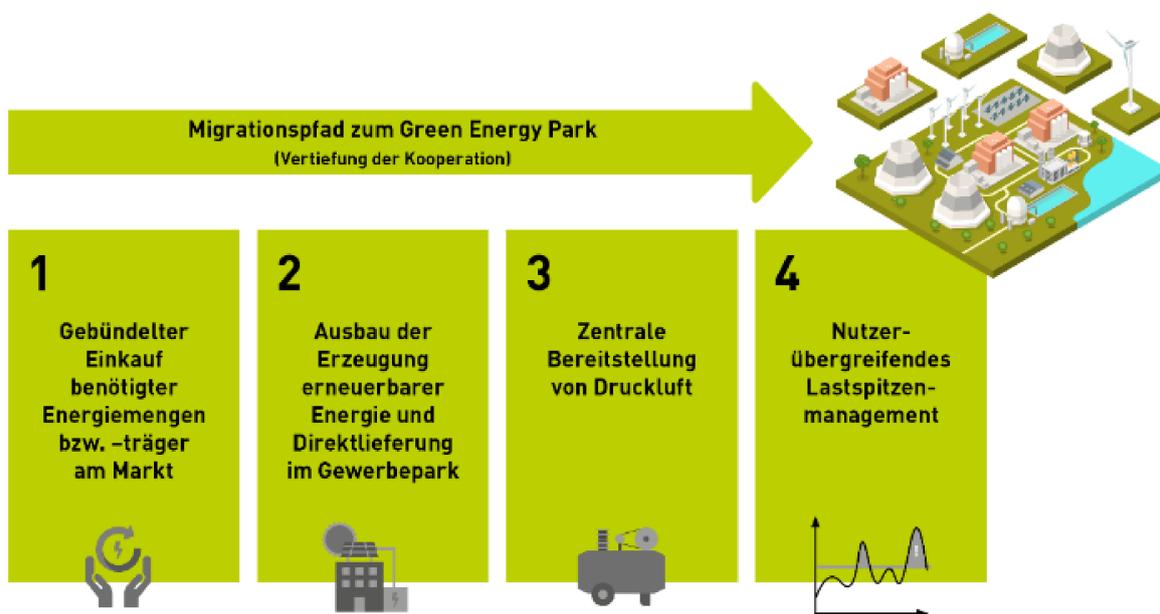


Abbildung 1 - Migrationspfad zum Green Energy Park

Die Energieversorgung ist eines von mehreren identifizierten Handlungsfeldern im Prozess der Steigerung der Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz von Gewerbegebieten, sie soll in diesem Leitfaden

im Mittelpunkt stehen. Die Wandlung bestehender Gewerbegebiete (Brownfield-Planung) hin zu kooperierenden Green Energy Parks¹ ist ein langfristiger Prozess. Dieser Prozess benötigt zum Gelingen bestimmte Voraussetzungen. Dazu zählen ein funktionierendes lokales Unternehmensnetzwerk, ein moderierendes und organisierendes Gebietsmanagement sowie kompetente kommunale Unterstützung. Daher richtet sich dieser Leitfaden sowohl an Unternehmen als auch Entscheider in der Kommunalpolitik, die sich dafür interessieren, wie durch eine stärkere Zusammenarbeit ein nachhaltigeres Wirtschaften möglich wird.

Optimierungsmaßnahmen im Handlungsfeld Energie wirken sich direkt auf die damit verbundenen Kosten der im Gewerbegebiet angesiedelten Unternehmen und auf die Höhe der verursachten CO₂-Emissionen aus. Im Rahmen des unternehmerischen Kontextes sollte die Steigerung der ökologischen Nachhaltigkeit im besten Fall auch zu wirtschaftlichen Verbesserungen der Unternehmen, mindestens jedoch nicht zur Verschlechterung der ökonomischen Kennwerte der Energieversorgung führen. Mit den zu erwartenden, in Zukunft weiterhin steigenden Preisen für Wärmeenergieträger und Elektroenergie, sind sehr gute Ausgangsbedingungen gegeben, ökologisch nachhaltige und wirtschaftliche Energieversorgungskonzepte für die Unternehmen zu etablieren.

Im Rahmen des Projektes GRIDS wurden anhand eines Beispiels in Limbach-Oberfrohna der Einsatz der Ressource Energie in Gewerbegebieten untersucht und Potentiale für die Steigerung der Nachhaltigkeit der Energieversorgung sowie konkrete Maßnahmen für Kooperationen und Versorgungskonzepte aufgestellt (Abbildung 3). Diese stellen in ihrer Abfolge gleichsam einen möglichen Migrationspfad hin zu einem Green Energy Park dar. In Kapitel zwei werden die einzelnen Phasen des exemplarischen Migrationspfades vorgestellt.

Aufbau des Dokuments

Wie bereits erwähnt, richtet sich dieser Leitfaden zum einen an Unternehmen verschiedenster Branchen. Aufgrund höherer Energiebedarfe wird jedoch an einigen Stellen speziell auf produzierende Unternehmen eingegangen. Zum anderen richtet sich der Inhalt an Entscheider und Spezialisten in der Kommunalpolitik, die im Wettbewerb um Ansiedlung neuer Unternehmen ihre Gewerbegebiete mithilfe einer nachhaltigen Energieversorgung attraktiver machen wollen.

Wie ein Konzept für den Wandel vom Gewerbegebiet zum Green Energy Park aussehen kann, wird im zweiten Abschnitt dieses Leitfadens erläutert. Darin wird erklärt welche konkreten Geschäftsmodelle und Funktionen in jeder Phase umgesetzt werden können.

Jedes Gewerbegebiet muss jedoch individuell betrachtet werden. Einige der zu klärenden Fragen sind: Wie viele Unternehmen gibt es? Um welche Art von Unternehmen handelt es sich? Wie hoch ist der Energiebedarf der Unternehmen? Wann wird gearbeitet? Ist der Standort geeignet, um Windkraftanlagen zu betreiben? Was erlaubt der Bebauungsplan?

Daran zeigt sich, dass es kein einheitliches Konzept geben kann und das vorgestellte Konzept für das Gewerbegebiet in Limbach-Oberfrohna immer individuell auf die lokalen Gegebenheiten angepasst werden muss. Damit auch Sie entsprechende Konzepte entwickeln können, um zum Green Energy Park zu kommen, wird der Hauptteil des Leitfadens den Weg dorthin skizzieren. Die Abschnitte drei bis fünf zeigen die nötigen Schritte und Optionen auf, um zu einem nachhaltigeren Energieversorgungskonzept zu gelangen. Dabei wird auf die Datenbeschaffung, mögliche Technologien und deren

¹ Die Bezeichnung Green Energy Park gibt es bereits für einige Projekte und Gewerbegebiete, etwa in Brüssel (<https://www.greenenergypark.be/?lang=en>) oder in Deutschland in Heede (<http://www.greenenergypark.de/>). Wir möchten den Begriff für unser Konzept des kooperierenden und nachhaltigen Gewerbe- bzw. Industriegebiets anwenden, da er prägnant ist und sofort das Ziel der damit verbundenen Bemühungen zeigt.

Potentialabschätzung eingegangen. Mithilfe von grauen Info-Boxen werden nützliche Tipps und mit blauen Info-Boxen bereits realisierte praktische Anwendungen vorgestellt.

Hauptaugenmerk dieses Leitfadens liegt auf der Umplanung bereits bestehender Gewerbegebiete. Abgeschlossen wird der Leitfaden mit einem kurzen Überblick zu Fördermöglichkeiten, die die Umgestaltung der Energieversorgung unterstützen können.

2 Konzept

Der Leitgedanke des Projekts GRIDS, aus dem dieser Leitfaden entstanden ist, erscheint zuerst denkbar einfach. Aktuell ist es in den meisten Fällen noch immer so, dass Unternehmen, die in Gewerbegebieten angesiedelt sind, ihre Energieversorgung individuell regeln. Das bedeutet, es gibt eigene Verträge für die Lieferung von Netzstrom, den Einkauf von Erdgas, individuelle Planungen von Energieerzeugern (z. B. Photovoltaik auf dem Dach) und mehr. Wie eingangs erwähnt, fehlt so jedoch der Blick auf das große Ganze. Vielleicht ist es für ein Unternehmen allein nicht sinnvoll in ein Blockheizkraftwerk zu investieren, denn was passiert mit der überschüssigen Wärme? Bei der Kooperation mehrerer Unternehmen kann überschüssige Wärme oder auch Strom geteilt werden. Vielleicht sind so auch Investitionen in größere Energiespeicher sinnvoll? Genau hier setzte das Projekt GRIDS an – Strom, Wärme und Kälte einheitlich für das gesamte Gewerbegebiet denken und planen, um Synergiepotentiale zu nutzen. In Abbildung 2 ist dieses Zielbild zu sehen. Wie es erreicht werden kann, ist Inhalt der nachfolgenden Seiten.

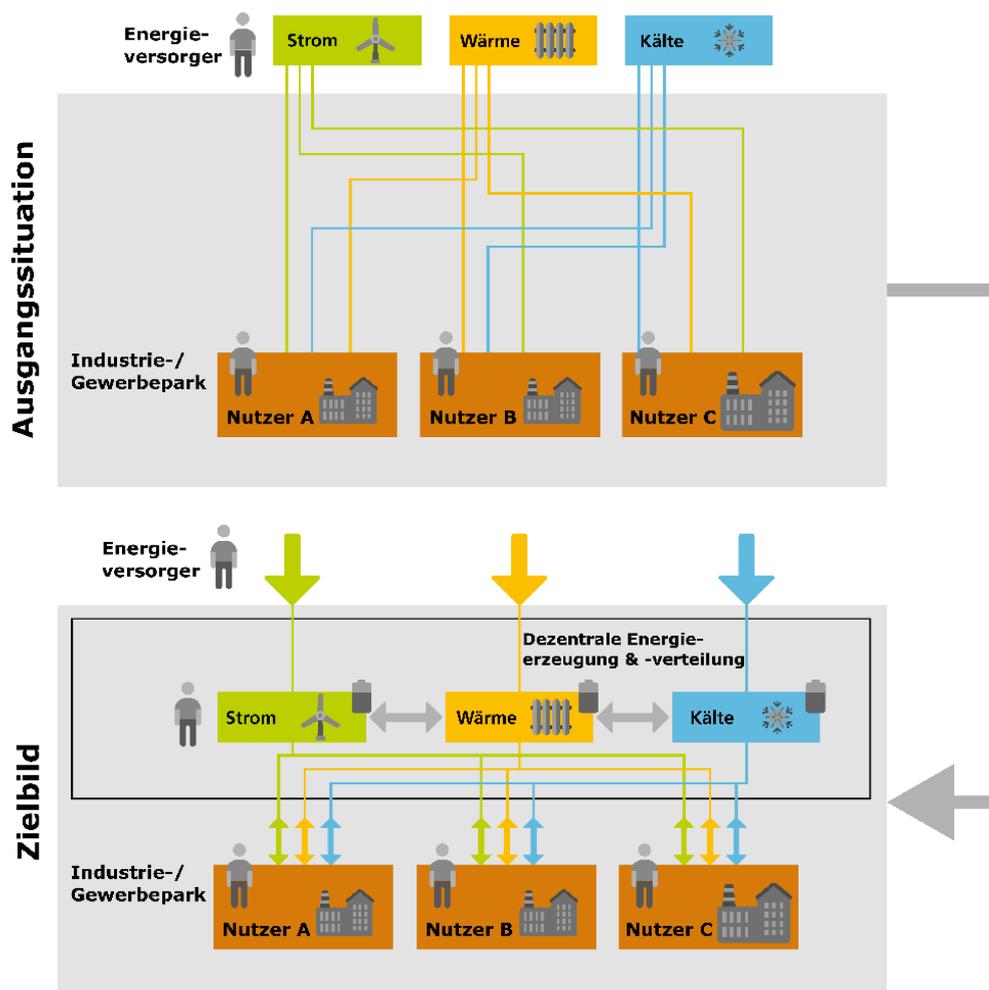


Abbildung 2 - Ausgangssituation und Zielbild Green Energy Park

Die Entwicklung eines Gewerbegebiets ohne Kooperationen der Unternehmen untereinander hin zu einem auf energetischer Ebene stark vernetzten Green Energy Park erfolgt in der Regel als schrittweise Umsetzung. Infrastrukturelle Gegebenheiten und bisherige Prozessabläufe lassen sich nicht beliebig schnell verändern, da zum einen der Unternehmensbetrieb immer sichergestellt sein muss und zum anderen viele Abhängigkeiten innerhalb eines komplexen Systems, wie der Energieversorgung, existieren. Wie bei der Implementierung eines intelligenten Stromnetzes (Smart Grid), das einen Teil der Lösung darstellt, ist die Umsetzung eines Green Energy Parks ein klassischer Migrationsprozess [1]. Der Begriff Migration beschreibt dabei die Übertragung von Funktionen von einem Altsystem auf ein neues System ohne den Verlust von Funktionalitäten. Zur Umsetzung dieses risikoreichen Prozesses, an dem verschiedene Abteilungen, Unternehmen und weitere Akteure arbeiten, ist ein strukturiertes Vorgehen notwendig. Innerhalb dieses Leitfadens wird dieser Prozess als „Migrationspfad zum Green Energy Park“ bezeichnet. Zu Beginn des Leitfadens wurde ein möglicher Pfad bereits gezeigt, im folgenden Abschnitt wird ein genauere Blick auf die einzelnen Phasen geworfen.



Abbildung 3 - Erweiterter Migrationspfad zum Green Energy Park

Grundsätzlich wird der Prozess in zwei Hauptphasen unterteilt, die Vorbereitungs- sowie die Umsetzungsphase, wie in Abbildung 3 zu erkennen ist. Der Weg führt zunächst von kleineren kooperativen Projekten (Leuchtturmprojekte zum Aufbau des wechselseitigen Vertrauens) hin zu investitionsintensiveren Projekten, mit denen Unternehmen gemeinsam derartige Nachhaltigkeitsprobleme lösen können, für die sie alleine nicht die Kraft, die Kompetenz oder die Kapazitäten haben [2].

Exkurs: Vorbild Kalundborg

Der Standort Kalundborg, in der gleichnamigen dänischen Stadt, ist seit den 60er Jahren durch sein firmenübergreifendes Netzwerk bekannt und zeichnet sich durch ein Geflecht von mehreren Klein- und Mittelständischen Unternehmen (KMU) sowie einem Industriebezirk, in dem mehrere größere Prozessindustrien angesiedelt sind, aus. Erste Kooperationsprojekte gehen auf ein Grundwasserdefizit in den 60er Jahren zurück. Seitdem entwickelte sich die Region über die Jahre eigenständig (bottom-up) und es konnten verschiedene Kooperationen durch Eigeninteresse initiiert werden. Durch das Zusammenwirken der verschiedenen Unternehmen konnte der jährliche Wasserverbrauch um 25 % gesenkt werden. Außerdem werden jährliche CO₂-Einsparungen von rund 600.000 Tonnen erreicht [3, 4].

Letztendlich kann Kalundborg für viele weitere Industriestandorte als Vorbild bei der Weiterentwicklung dienen, da der Energieverbrauch nachhaltig verringert und ein vielseitiges sowie belastbares System entwickelt wurde. Informationen (in englischer Sprache) findet man hier: <http://www.symbiosis.dk/en/>

Der erste Schritt in der Vorbereitungsphase ist das Schaffen eines gemeinsamen Problemverständnisses (**Phase A**). Ziel ist das Finden einer gemeinsamen Problemdefinition, die alle Beteiligten verstehen und teilen. Dabei sollten alle Akteure erkennen, dass gemeinsam Probleme gelöst werden können, für die einem Unternehmen allein die nötigen Kapazitäten (monetär, organisatorisch, personell etc.) fehlen [2]. Das gemeinsame Problemverständnis kann sich dabei in einem Leitbild bzw. einer gemeinsamen Vision manifestieren.

Sollte es noch keinen geeigneten Rahmen geben, in dem sich die einzelnen Akteure eines Gewerbegebiets regelmäßig austauschen, dann muss zu Beginn des Prozesses ein Anlass für ein gegenseitiges Kennenlernen geschaffen werden. Dazu braucht es geeignete Personen, die den Einfluss, Willen und Ressourcen besitzen, um eine Entwicklung hin zum Green Energy Park anzustoßen. Das können Vertreter größerer Unternehmen oder Kommunal- bzw. Landespolitiker sein. Veranstaltungen bspw. Vorträge zum Thema nachhaltige Energieversorgung, Arbeitsgruppen zu speziellen Energiethemen sowie ein „Gewerbegebiets-Stammtisch“, bieten den geeigneten Rahmen zur Vernetzung der Akteure untereinander und zur Entwicklung eines gemeinsamen Problemverständnisses [2]. Wichtig ist dabei in diesem Schritt den möglichen Nutzen einer Kooperation klar herauszustellen. Ansatzpunkte dafür sind in Abbildung 4 dargestellt.

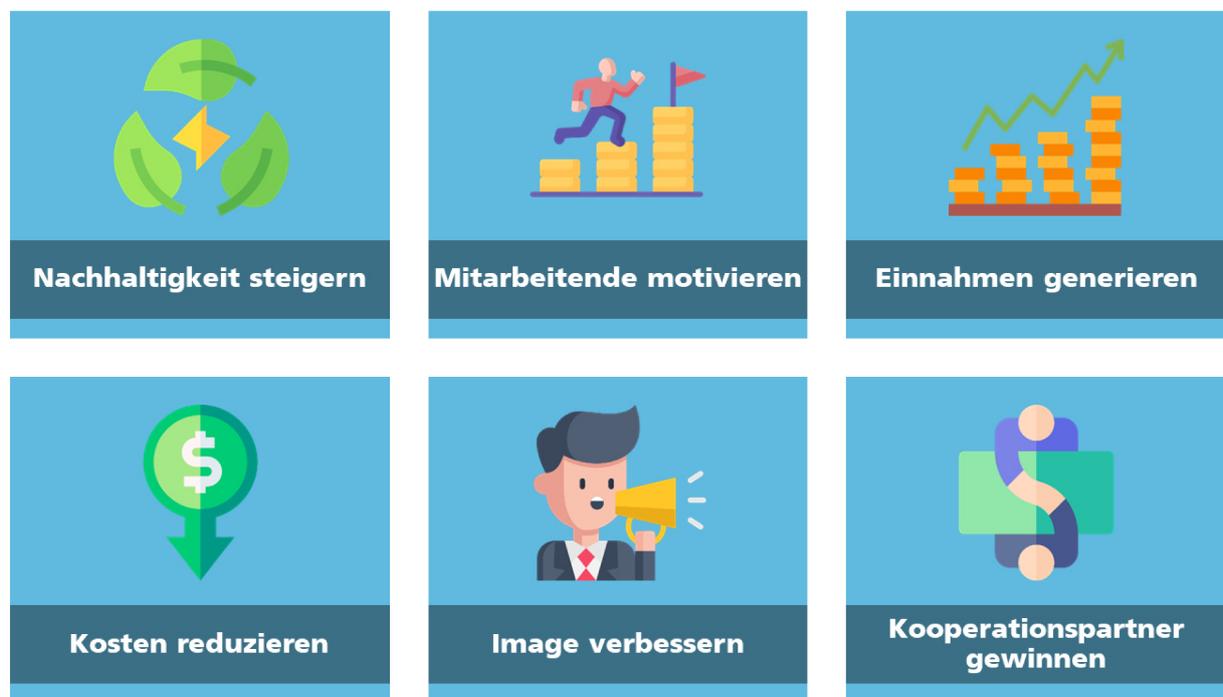


Abbildung 4 - Potentieller Nutzen einer Kooperation in Green Energy Parks

Phase B beschreibt die Informationsbeschaffung und Analyse der Daten. Zunächst beginnt der Weg zur nachhaltigen Energieversorgung von Gewerbegebieten bei den individuellen Unternehmen, deren Prozesse zur Versorgung mit Elektroenergie, Wärme und Kälte auf Effizienzpotentiale untersucht werden müssen. Eine Energie-/Effizienzberatung sollte die Ist-Situation in den Unternehmen auf Verschwendung und Ineffizienzen in den Produktions- und Betriebsprozessen untersuchen, Potentiale zur Senkung des Energieverbrauchs identifizieren und entsprechende Maßnahmen ableiten, bewerten und umsetzen. Hierzu zählen auch Maßnahmen zur prozess- und betriebsinternen Verwendung produktionsbedingter Abwärme. Diese Energie-/Effizienzberatung sollte nachfolgend auch unternehmens- und gewerbegebietsübergreifend durchgeführt werden. Hieraus können sich erste gemeinsame Nachhaltigkeitsprojekte der Unternehmen im Handlungsfeld Energie ergeben.

Exkurs: Die Rolle der Kommune

Kommunen spielen eine zentrale Rolle bei der Energiewende und der Umsetzung von Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen. Je nach lokalen Gegebenheiten erfüllen Kommunen eine Vielzahl an Funktionen, die zur Umsetzung von Green Energy Parks nötig sind. Sie können zum einen Flächen- und Immobilienbetreiber sein. In Abbildung 5 ist für den Kreis Mittelsachsen zu sehen, dass sich ein Großteil der Gewerbeflächen in öffentlicher Hand befindet. Zudem können Kommunen als Anlagenbetreiber für Energieerzeuger oder als Energieversorger agieren. Weiterhin können sie auch als Investor auftreten. Die Verbindung dieser Funktionen prädestiniert Kommunen für die Umsetzung von Green Energy Parks. Neben der Vielzahl an Funktionen zeichnen sich die Kommunen dadurch aus, dass sie das Vertrauen ihrer Bürger genießen und mit der Umsetzung von Klima- und Umweltschutzmaßnahmen eine erhebliche Vorbildfunktion einnehmen können. Zudem kann eine Beteiligung der Kommune die Akzeptanz für den Einsatz erneuerbarer Energien erhöhen. Außerdem kann sie Konfliktpotentialen proaktiv begegnen und bei Konflikten zwischen den Stakeholdern vermitteln (vor allem bei der lokalen Bevölkerung).

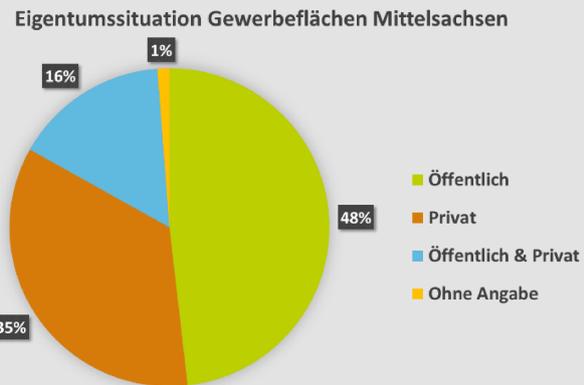


Abbildung 5 – Eigentumssituation von Gewerbeflächen in Mittelsachsen

Viele Kommunen leisten auf diesem Gebiet bereits eine sehr gute Arbeit. Dass noch weiterer Handlungsbedarf, gerade auf der Ebene der Energieversorgung besteht, wird aber anerkannt, wie dieses Zitat aus dem Gewerbeflächenreport für den Vogtlandkreis aus dem Jahr 2020 zeigt:

„Einer weiteren Kostensteigerung bei Energie- und Versorgungsmedien muss verstärkt durch kommunale oder privatwirtschaftliche Eigenlösungen aus der Region entgegengewirkt werden. Der Wirtschaftsraum Vogtland muss sich trotz guter Ansätze noch stärker den Herausforderungen Energieeffizienz und erneuerbare Energien stellen.“ [5]

Im letzten Schritt der Vorbereitungsphase (**Phase C**) geht es darum, alternative Konzepte zur bisherigen Energieversorgung zu erstellen und anschließend zu bewerten sowie zu validieren. Zur Erstellung der Konzepte ist wiederum auch ein geeigneter systematischer Prozess nötig. Hier kann der Systems Engineering Ansatz genutzt werden. Dabei handelt es sich um einen iterativen Prozess, indem aus den Bedürfnissen und Anforderungen der Nutzer und Stakeholder eines Systems Produkt- und Prozessbeschreibungen abgeleitet werden [6]. Die Vorgehensweise beruht auf dem Top-down-Prinzip (Abbildung 6). Es ist ein ergebnis- oder meilensteinorientiertes Modell, das durch Iterationen und Feedback-Schleifen seine Flexibilität beibehält. Die Hauptprozesse dabei sind:

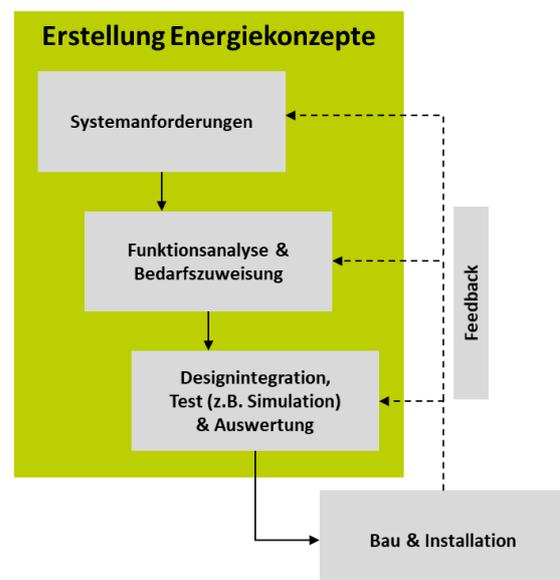


Abbildung 6 - Vorgehensweise zur Erstellung der Energiekonzepte in Anlehnung an [6]

1. Analyse der Systemanforderungen

In diesem Schritt wird der Prozessinput analysiert. Das bedeutet, die Bedürfnisse und Ziele der Nutzer werden näher untersucht, um die Anforderungen an das Gesamtsystem abzuleiten.

2. Funktionsanalyse und Bedarfszuweisung

In diesem Schritt werden die vorher aufgestellten Anforderungen auf Funktionsebene heruntergebrochen. Die Funktionen beschreiben, welche Aufgaben das System übernimmt.

3. Designintegration, Test & Auswertung (Synthese)

In diesem Schritt werden die Architektur und die physischen Elemente definiert, die in ihrer Gesamtheit das zu entwickelnde System konstituieren. Dabei sind die Validierung bzw. der Test des so entwickelten Systems wichtig. Die Validierung muss dabei auf drei Ebenen stattfinden (technisch, ökonomisch, ökologisch).

Mithilfe dieser Vorgehensweise können so konkrete Maßnahmen für die Umsetzungsphase abgeleitet werden. Auf dem Weg zum Green Energy Park ist es sinnvoll, die Umsetzung in Phasen zu unterteilen, da die komplette Umstellung technisch anspruchsvoll ist. Dabei gilt es, verschiedene Maßnahmen zu priorisieren. Am Beispiel des Gewerbegebiets Süd in Limbach-Oberfrohna erfolgte die Priorisierung der umzusetzenden Maßnahmen anhand der technischen sowie organisatorischen Komplexität.

Schritt 1 besteht aus dem Wechsel der Elektroenergieversorgung von Grau- auf Grünstrom.² Da Grünstrom durch einzelne Unternehmen zumeist nur zu höheren Preisen beschafft werden kann, ist zu prüfen, ob dieser durch die Bündelung (Pooling) der Unternehmensbedarfe, aufgrund sich daraus ergebender Mengenvorteile, zu günstigeren Konditionen eingekauft werden kann. Energieeinkaufsgemeinschaften sind ein etabliertes Werkzeug, weswegen hier die Komplexität der Umsetzung als niedrig eingeschätzt wurde. Zudem eignet sich dies als erster Schritt auf dem Migrationspfad, da keine zusätzlichen Investitionen nötig sind. Dadurch wird den beteiligten Unternehmen ein relativ risikoarmer „Versuchsraum“ bereitgestellt, um die Kooperation untereinander zu testen und die Kommunikation zu intensivieren. Dies ist für die folgenden Schritte wichtig, da Komplexität und Abstimmungsbedarf deutlich steigen.

² Graustrom bezeichnet elektrische Energie unbekannter Herkunft. Es ist nicht erkennbar, ob der Strom Atomkraftwerken, fossilen oder regenerativen Energieerzeugungsanlagen entstammt. Als Grünstrom hingegen wird diese aus dem Netz bezogene Elektroenergie bezeichnet, die aus regenerativen Energieträgern umgewandelt wurde.

Exkurs: Management-Konzepte

Neben einer Vielzahl technischer Möglichkeiten zur Realisierung gibt es auch einige grundsätzliche Management-Konzepte, um einen Green Energy Park umzusetzen. Diese sind in Abbildung 7 dargestellt.

Konzept	Beschreibung
Lead User	Ein Unternehmen des Gewerbegebietes entwickelt Konzepte zur Optimierung der Energieversorgung für das eigene Unternehmen und setzt diese um. Dabei werden die Kapazitäten so geplant, dass die Nutzung der Infrastruktur durch andere Unternehmen grundsätzlich möglich ist.
Externer Betreiber	Grundsätzlich können auch externe Unternehmen als Betreiber des Green Energy Parks auftreten. So ist es in Chemieparks üblich, dass eigens gegründete Unternehmen das Management der Infrastruktur übernehmen. Dabei können ansässige Unternehmen oder das jeweilige Bundesland oder die Kommune Gesellschafter sein, wie z.B. bei der Infraleuna, die Eigentümer und Betreiber der Leuna-Werke ist. Der Betreiber ist dann für die Weiterentwicklung zuständig.
Unternehmenskooperation	Eine Kooperation beschreibt allgemein die Zusammenarbeit zwischen mindestens zwei Partnern. Eine Kooperationsform, die für die Entwicklung eines Green Energy Parks geeignet ist, ist die Interessengemeinschaft (IG). Die IG ist ein freiwilliger Zusammenschluss mehrerer Unternehmen. Damit wird langfristig angelegte und stabile Zusammenarbeit in bestimmten Funktionsbereichen angestrebt. Die IG ist keine eigenständige Rechtsform, rechtliche Grundlage einer IG ist ein Vertrag. Die am häufigsten bei der IG verwendete Rechtsform ist die GbR (Gesellschaft bürgerlichen Rechts) andere Rechtsformen sind jedoch möglich.

Abbildung 7 - Management-Konzepte Green Energy Park

Nachdem im Schritt C der Vorbereitungsphase bereits das Potential für die lokale Erzeugung erneuerbarer Energie evaluiert wurde, erfolgt die Umsetzung in Schritt 2 der Umsetzungsphase. Ziel ist der Aufbau von regenerativen Energieerzeugungskapazitäten innerhalb des Gewerbegebietes zur Substitution bzw. Reduktion der extern zu beziehenden, zum Teil aus fossilen Energieträgern gewonnenen Energien. Dies ist mit größeren Investitionen verbunden. Hierzu ist neben rechtlichen Bedingungen (Stichwort: Eigenverbrauch und Umlagen) auch zu klären, wie die Investitions- und Betriebskosten sowie der Gewinn bzw. die Einsparungen durch den Ausbau der Erzeugung erneuerbarer Energien (EE) verteilt werden.

Nachdem die Energieverbräuche hinsichtlich Verschwendung und Wiederverwendung optimiert wurden und der externe Energiebezug teilweise oder sogar ganz durch die Eigenerzeugung erneuerbarer Energie umgestellt wurde, sollten überbetriebliche Optimierungspotentiale hinsichtlich weiterer, im Gewerbegebiet benötigter Energieformen wie Druckluft, Wärme und Kälte untersucht werden (Schritt 3).

Welche Energieformen bzw. -träger hier als erstes angegangen werden, hängt maßgeblich von der Struktur des Gewerbegebiets ab. Viele Unternehmen des im Projekt GRIDS untersuchten Gewerbegebiets gehören zum verarbeitenden Gewerbe. Dementsprechend nutzt ein Großteil der Unternehmen Druckluft (z. B. für Druckluftmaschinen und -werkzeuge). Druckluft ist die teuerste Energieform, die aus elektrischem Strom umgewandelt wird und der Gesamtwirkungsgrad der Druckluft von der Erzeugung bis zur Anwendung liegt meistens bei nicht mehr als 10% [7]. Anhand dieser Fakten wurde in Schritt 3 entschieden, ein alternatives Konzept zur Bereitstellung von Druckluft zu erarbeiten.

Die Bereitstellung von Druckluft erfolgt aktuell dezentral, das heißt, jedes Unternehmen betreibt eigene Anlagen zur Druckluftherzeugung und -verteilung. Bedingt durch die teilweise sehr kleine Dimen-

sionierung in kleineren Unternehmen wird nicht überall eine wirkungsgradsteigernde Wärmerückgewinnung durchgeführt. Die Abwärme kann beispielsweise für die Trink-Warmwasserbereitung, Einspeisung in Heizkessel oder direkte Beheizung von benachbarten Räumen genutzt werden. Ist eine Substituierung durch druckluftlose Komponenten nicht möglich, so kann die zentrale Erzeugung und Verteilung über ein Leitungsnetz eine ökonomischere und ökologischere Alternative darstellen. Grundsätzliche Vor- und Nachteile sind in Abbildung 8 dargestellt. Die zentrale Bereitstellung wirkt sich gerade dann positiv auf den Gesamtwirkungsgrad aus, wenn vorher nicht überall eine Wärmerückgewinnung genutzt wurde.

Kriterium	Zentral	Dezentral
Kompressor-Wirkungsgrad	+	-
Geringe Druckschwankungen	+	-
Anpassung an Druckniveaus	-	+
Regelung & Überwachung	+	-
Vereinfachte Wartung	+	-
Versorgungssicherheit	+	-
Flexibilität	-	+
Spitzenlastreserve	+	-
Investitionskosten	Variieren, je nach Anwendungsfall kann die eine oder andere Variante besser sein	

Abbildung 8 - Vergleich zentrale/dezentrale Bereitstellung Druckluft in Anlehnung an [8]

In Gewerbegebieten, in denen ein anderer Branchenmix vorliegt oder in denen ein Unternehmen den Hauptanteil einer Energieform benötigt (z. B. Kälte bei einem Kühlhaus), kann die Priorisierung von der beschriebenen abweichend ausfallen.

Schritt 4 stellt die weitgehende Integration der Steuerung/Regelung von Energieversorgung und -nutzung in ein übergeordnetes Energiemanagement dar. Speziell können weitere Verbesserungen der Energieversorgung durch das Prüfen, Bewerten und Umsetzen von Lastmanagementmaßnahmen generiert werden. Zum einen kann hierdurch die Spitzenlast sowohl individuell als auch im Gewerbegebiet gesenkt werden, was sich direkt in Einsparungen der Leistungskosten als Bestandteil der Energiekosten auswirkt. Zum anderen können durch ein Lastmanagementsystem die im Gewerbegebiet eingeführten Technologien (Energieerzeugungsanlagen (EEA), Speicher, flexible Lasten von Querschnittstechnologien oder auch E-Ladesäulen) optimal miteinander integriert und gesteuert werden. Die integrative Einbindung sämtlicher Handlungsfelder birgt ein hohes Potential zur Steigerung der Nachhaltigkeit von Gewerbegebieten. Zuletzt ist noch die Möglichkeit der Teilnahme am Energiemarkt durch Anbieten von Regelleistung und das Ausnutzen von Preisschwankungen durch das Zu- und Abschalten flexibler Lasten im Kontext des Lastmanagements zu nennen.

Exkurs: Reifegradmodell

Bevor das gesamte Gewerbegebiet optimiert wird, ist auch die Weiterentwicklung der internen Prozesse im Bezug zu Energie nötig. Reifegradmodelle dienen der Analyse der Ist-Situation und werden in den meisten Fällen in fünf Stufen eingeteilt. Sie stellen damit Stadien einer Entwicklung dar. Sie können dazu dienen, konkrete Entwicklungsschritte abzuleiten, um Verbesserungen in bestimmten Bereichen zu erzielen. Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt aus einem Reifegradmodell für das Energiemanagement (übersetzt und angepasst aus [9]). Im Anhang (Abbildung 57 bis Abbildung 60) ist das komplette Reifegradmodell zu finden. Um Ihr Energiemanagement zu verbessern, können Sie Ihren aktuellen Stand mit den Reifegradstufen vergleichen. Schätzen Sie beispielsweise Ihre Selbstverpflichtung im Bereich Energie und Energieeffizienz als „in Entwicklung“ ein, dann können Sie versuchen, die skizzierten Inhalte aus dem Reifegrad „Fortgeschritten“ umzusetzen.

PDCA-Zyklus	Handlungsfelder	Reifegrade				
		Nicht bis minimal	Im Entstehen	In Entwicklung	Fortgeschritten	Führend
Planen (Plan)	Selbstverpflichtung	Kein EM, keine Verpflichtung zur Nutzung EE & zur Eef, keine Energiepolitik	EM vorhanden (beschränkte Ausbildung, Erfahrung & Dokumentation der Maßnahmen). Bewusstsein für das Thema Energie im Management	EM vorhanden (ausreichendes Training & beschränkte Verantwortung). Reaktive Haltung des Managements zu EE & Eef. Energiepolitik ist vorhanden & dokumentiert.	EM (angemessene Ausbildung & Verantwortung jedoch eingeschränkte Entscheidungsbefugnis). Proaktive Haltung des Managements zu EE & Eef. Energiepolitik fokussiert verschiedene Bereiche & ist im Unternehmen bekannt.	EM ist zertifiziert & eine angemessene Entscheidungsbefugnis. Das Management ist in die Themen EE & Eef aktiv involviert. Die Energiepolitik wird extern kommuniziert. EM & das unterstützende Team werden kontinuierlich fortgebildet.

Abbildung 9 - Ausschnitt Reifegradmodell

3 Datenbeschaffung und -analyse

Dieser Abschnitt gibt einen kurzen Überblick zum Thema Datenbeschaffung und -analyse - denn „Was man nicht messen kann, kann man nicht lenken.“. Dabei wird grundsätzlich auf die Datenbeschaffung im Unternehmen und für das gesamte Gewerbegebiet eingegangen. Um die Ist-Situation bestmöglich einschätzen zu können und daraus abgeleitet auch die Optimierungspotentiale abzuleiten, ist ein möglichst ganzheitlicher Blick auf das Gewerbegebiet nötig. Der Abschluss oder zumindest die begonnene Umsetzung von Phase A des Migrationspfades ist hier eine Voraussetzung, denn nur durch die Mitwirkung möglichst aller ansässigen Unternehmen kann eine gute Planungsgrundlage für die weiteren Schritte geschaffen werden.

Vorbehalte über die Datenweitergabe, gerade im Bereich Energie, scheinen noch weit verbreitet zu sein, da sich hieraus eventuell Rückschlüsse über die wirtschaftliche Lage ziehen lassen. Durch die Umsetzung der Phase A lassen sich diese Vorbehalte durch bereits geknüpfte persönliche Kontakte und ein gemeinsames Problemverständnis abbauen, womit sich die Datenbeschaffung einfacher gestalten sollte.

Um die Datenbeschaffung zu gliedern, bietet es sich grundsätzlich an, verschiedene Betrachtungsebenen zu unterscheiden. Diese sind in Abbildung 10 dargestellt. Adressaten bzw. Bereitsteller von Daten und Zielgrößen unterscheiden sich dabei. So ist in den meisten Fällen die Erfassung einzelner Energiebedarfe von Komponenten für die Optimierung des Gesamtsystems Gewerbegebiet nicht entscheidend. Für Spezialisten, die den Produktionsprozess optimieren wollen, ist diese Information jedoch unter Umständen sehr wichtig.



Abbildung 10 - Betrachtungsebenen Datenbeschaffung

Im Anhang (Abbildung 53 und Abbildung 54) findet sich eine Checkliste zur Datenbeschaffung. Diese gliedert sich in zwei Bereiche. Zum einen sind das Daten, die auf der Ebene des gesamten Gewerbegebiets erhoben werden müssen und zum anderen unternehmensspezifische Daten, die individuell erhoben bzw. abgefragt werden müssen. In den folgenden Punkten wird auf die einzelnen zu erhebenden Daten eingegangen.

3.1 Gewerbegebiet und Quartier

Die Datenbeschaffung auf Ebene des Gewerbegebiets stellt in der Regel eine Herausforderung dar und sollte von spezialisierten Dienstleistern (z. B. Hochschulen, Forschungsinstituten oder Ingenieurbüros mit entsprechender Expertise) übernommen werden. Anders als bei der Datenbeschaffung von Unternehmen sind im Gewerbegebiet die Ansprechpartner zunächst unklar und müssen bei Partnern der Kommune erfragt werden. Erschwerend hinzukommen unterschiedliche Eigentümerstrukturen der Unternehmen, die Unterschiede in der Entscheidungsgewalt aufwerfen. Das kann dazu führen, dass die Entscheidung über die Datenweitergabe gar nicht bei einem lokalen Ansprechpartner liegt. Zudem gibt es große Unterschiede bei der Art, Granularität und Qualität der Erfassung der Energiedaten bei den Unternehmen.

Stakeholder und grundlegende Daten

Unter Stakeholdern werden (natürliche und juristische) Personen und Gruppen verstanden, die ein berechtigtes Interesse am Verlauf oder dem Ergebnis eines Projektes haben und die Erreichung der Projektziele beeinflussen können [10]. Die im Gewerbegebiet ansässigen Unternehmen bilden die wichtigste Gruppe an Stakeholdern. Dort gibt es die internen Stakeholder, dazu gehören die Mitarbeitenden der einzelnen Firmen. Außerdem zählen speziell von Änderungen des Energieversorgungssystems betroffene Mitarbeitende dazu, wie bspw. Energiebeauftragte. Weiterhin gehören zu den internen Stakeholdern die Eigentümer der Unternehmen, deren hauptsächliches Interesse am Profit der Unternehmung liegt bzw. in der Vermehrung des eingesetzten Kapitals.

Im Gegensatz dazu bilden die externen Stakeholder die weitaus größere Gruppe. Diese werden unterteilt in: Gewerbepark, Energiewirtschaft, Geschäftspartner und außermärkliche Stakeholder. Eine Übersicht möglicher Gruppen ist in Abbildung 12 zu sehen. Weiterführend gilt es im zweiten Schritt, diese identifizierten Interessengruppen nach der Bedeutung für das Projekt einzuordnen. Dies ist relevant, um den Einfluss der Ak-

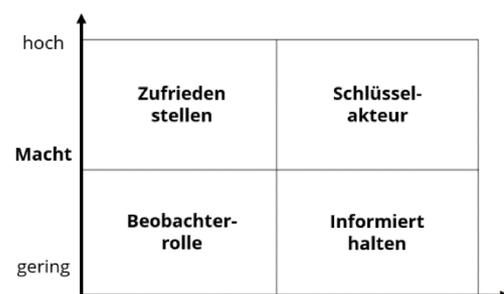


Abbildung 11 - Macht-Interessen-Matrix nach [10]

teure auf die Umsetzung verstehen zu können. Zur Bestimmung der Schlüsselakteure kann die Macht-Interessen-Matrix von Johnson et al. verwendet werden [11]. Anhand der Matrix lassen sich Maßnahmen und Rollen im Sinne des Projektes gegenüber den Interessengruppen ableiten. Wie in Abbildung 11 zu erkennen ist, werden die einzelnen Stakeholder darin anhand ihres Interesses am Projekt und ihres Einflusses auf das Projektergebnis kategorisiert. Mit der Einordnung der Stakeholder in diese Gruppen ergeben sich Strategien zur Einbeziehung der Stakeholder. Schlüsselakteure sind dabei sehr eng in das Projekt zu integrieren. Dazu zählen beispielsweise Energieversorger, Verteilnetzbetreiber und die einzelnen Unternehmen. Darüber hinaus können mit Hilfe der durchgeführten Analyse strategische Erkenntnisse über potentielle Ressourcen, Bedürfnisse, Koalitionen und Konflikte erlangt werden.



Abbildung 12 - Übersicht möglicher Stakeholder

Energieverteilung

Zur Analyse, Planung und Auslegung von energetischen Versorgungskonzepten sind Informationen über bereits vorhandene oder geplante Netzstrukturen mit ihren genauen Parametern wie maximale Anschlussleistungen oder Spannungsebenen unerlässlich. Da es sich bei Energienetzen um kritische Infrastruktur handelt, werden detaillierte Informationen, beispielsweise über verwendete Betriebsmittel und deren Auslastung, nicht veröffentlicht [12]. Somit bleibt in den meisten Fällen nur die Nutzung von Flurkarten zur Verortung der Leitungen sowie Begehungen zur selbständigen Begutachtung der Parameter von Transformatoren und anderen Betriebsmitteln.

Es muss in jedem Fall beachtet werden, dass Daten so genau wie nötig wiedergegeben werden müssen. Das bedeutet, dass Informationen, die später nicht genutzt werden, auch nicht erhoben werden sollten. So können beispielsweise nicht verfügbare Netzdaten durch die Leistungsdaten bekannter Betriebsmittel sowie die Verbrauchsstruktur im Gewerbegebiet gut abgeleitet werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass der Energieverbrauch aktueller Industrieunternehmen nur unzureichend durch Standardlastprofile abgebildet werden kann [13].

Abbildung 13 zeigt, dass alle Standardlastprofile keine ausreichende Näherung des tatsächlichen Lastprofils abbilden. Vor allem die relativ schwache Last während Betriebsruhen sowie die relativ konstante Last während der Hauptbetriebszeiten sind wesentliche Merkmale des realen Energiebedarfs.

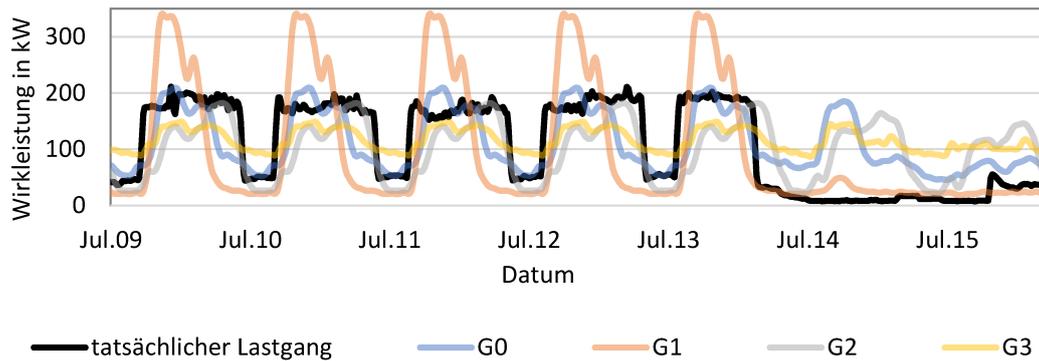


Abbildung 13: Vergleich des tatsächlichen Lastganges innerhalb einer repräsentativen Woche mit den Standardlastprofilen G0 bis G3 [14]

Beide Merkmale werden durch keines der etablierten Standardlastprofile [14] abgebildet. Das Resultat aus dieser eher mangelhaften Planungsgrundlage sind Überkapazitäten in den meisten Netzen.

Aus diesem Grund wurde im Projekt GRIDS ein Verfahren entwickelt, welches unter Zuhilfenahme der bekannten Standardlastprofile den tatsächlichen Energiebedarf besser nachbilden kann. Das Verfahren beschreibt, wie durch eine gezielte Kombination verschiedener Standardlastprofile eine realitätsnahe Lastkurve eines kompletten Gewerbe- oder Industrieparks abgebildet werden kann [13].

Erneuerbare Energien

Für den Umbau der Energieversorgung ist es entscheidend, das lokale Potential zur Nutzung erneuerbarer Energien zu erheben. Grundsätzlich in Frage kommen dabei folgende Nutzungsformen:

- Solarenergie (hauptsächlich Photovoltaik und Solarthermie)
- Bioenergie (Nutzung unterschiedlicher Formen an Biomasse z. B. Holz, Biogas)
- Wasserkraft (Laufwasserkraftwerke, Staudämme)
- Windenergie ([Klein]windkraftanlagen)
- Geothermie (Erdwärme)

Bevor die Nutzungsformen näher analysiert werden, sind die lokalen Gegebenheiten und Bebauungsvorschriften zu prüfen. Grundsätzlich sind Solar- und Windenergie sowie Geothermie an jedem Standort (in verschiedenen Maßen) nutzbar. Bioenergie kann etwa durch nicht weiter verwertbare Abfälle aus Produktionsprozessen (z. B. Holzreste) oder durch die Vergärung anfallender Biomasse aus der Landwirtschaft (Biogas) anfallen. Die Nutzung von Wasserkraft setzt das Vorhandensein von Fließgewässern voraus. Gerade die Verfügbarkeit der beiden letztgenannten Nutzungsformen erneuerbarer Energien sind stark standortspezifisch und können durch Festlegungen bspw. im Bebauungsplan ausgeschlossen sein. Ein Beispiel hierfür ist das Verbot des Verbrennens von festen Brennstoffen im Gewerbegebiet. Für die anderen eingangs erwähnten Nutzungsformen gelten zum Beispiel im Freistaat Sachsen folgende, allgemein zu beachtenden Vorgaben.

Solar

Zuerst ist zu prüfen, ob Freiflächenanlagen nach dem Bebauungsplan des Gewerbegebiets erlaubt sind. Dies kann in einigen Fällen ausgeschlossen sein. Anlagen auf Dächern und Außenwandflächen sind jedoch in den meisten Fällen möglich und nach sächsischer Bauordnung auch genehmigungsfrei (§ 61 Absatz 1 Satz 3 Sächsische Bauordnung). Unter der Maßgabe, dass Genehmigungsprozesse für einzelne Unternehmen oder einen zukünftigen übergeordneten Betreiber so schnell und kostengüns-

tig wie möglich sein sollten, ist die einfachste Möglichkeit, erneuerbare Energie in einem Gewerbegebiet zu realisieren, die Installation von Solarmodulen auf den Dächern und Außenwänden der bestehenden Gebäude.

Wind

Die Hürden bei der Genehmigung von Windkraftanlagen sind höher als die von Solaranlagen. Diese ergeben sich aus den höheren Umweltauswirkungen unter anderem durch die vom Rotor ausgehenden Schallemissionen, dem Schattenwurf und die Gefährdung von Tieren etwa durch Vogelschlag. Die baurechtliche Einschätzung hängt dabei maßgeblich von der Höhe der geplanten Anlage ab. Anlagen mit einer Höhe über 50 m sind Großwindkraftanlagen, die genehmigungspflichtig nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz sind und in den meisten Fällen nur auf Vorrangflächen außerhalb von Siedlungen errichtet werden dürfen. Diese kommen somit für die Potentialanalyse nicht in Frage.

Für Anlagen mit einer Höhe < 50 m ergibt sich das Zulassungsverfahren aus den Vorschriften der Bauordnungen der Länder. In Sachsen stellt eine Gesamthöhe von 30 m eine weitere Grenze dar (§ 2 Absatz 4 Satz 2 Sächsische Bauordnung). Ab dieser Höhe gelten Anlagen als Sonderbauten, womit die Anforderungen an Baugenehmigungen zunehmen.

Grundsätzlich genehmigungsfrei sind, in Sachsen, Kleinwindkraftanlagen bis zu einer Höhe von 10 m, wobei von der Geländeoberfläche bis zum höchsten Punkt des Rotors gemessen wird (§ 61 Absatz 1 Satz 3 Sächsische Bauordnung).

Zudem kann nach dem geltenden Bebauungsplan die Höhe baulicher Anlagen begrenzt sein.

Geothermie

Für Erdwärmesonden gilt die Anzeigepflicht gegenüber der unteren Wasserbehörde, die den Antrag hinsichtlich hydrologischer und wasserrechtlicher Kriterien prüft. Für Bohrungen > 100 m besteht zudem die Pflicht der Anzeige beim sächsischen Oberbergamt. Für Erdwärmekollektoren ist in der Regel keine Genehmigung notwendig, da keine Bohrung nötig ist [15].

Nach der Prüfung der rechtlichen Vorgaben, geographischer Gegebenheiten und möglicherweise anfallender Abfallstoffe können in der Regel bereits einige Technologien ausgeschlossen werden. Wie eine tiefergehende Potentialanalyse erfolgen kann, wird in Kapitel 4 für ausgewählte Technologien aufgezeigt.

3.2 Unternehmensebene

Bei der Datenbeschaffung auf Ebene der Unternehmen ergeben sich in der Praxis große Unterschiede, was die Datenverfügbarkeit und -qualität angeht. Nach ISO 50001 zertifizierte Unternehmen besitzen in der Regel eine hohe Transparenz in Bezug auf relevante Energiedaten. Im Gegensatz dazu sind jedoch gerade in kleineren Gewerbegebieten viele Unternehmen zu finden, die Energiedaten lediglich über die Abrechnungen des Versorgers beziehen. Welche Daten auf Ebene der Unternehmen zu erheben sind und wie mit fehlenden Daten umgegangen werden kann, wird im folgenden Abschnitt beschrieben. Dabei richtet sich die Gliederung auch hier nach der Datencheckliste im Anhang.

Energiebedarf

Bei der Ermittlung des Energiebedarfs ist zuerst zu klären, welche Energieformen und -träger genutzt werden. Benötigte Energieformen können prinzipiell elektrische Energie und Wärme bzw. Kälte sein. Hier ist es sinnvoll zuerst Jahresbedarfe zu ermitteln, da diese Information allen Unternehmen zur Verfügung stehen sollte. Darüber hinaus ist es sinnvoll, die genutzten Energieträger zu ermitteln. Energieträger in den Unternehmen können fossile Energieträger (Erdgas, Kohle, Erdöl) und deren Derivate sein (z. B. Kraftstoffe wie Benzin und Diesel), Biomasse und deren Derivate (z. B. Ethanol), Druckluft und zunehmend auch Wasserstoff sein.

Exkurs: Fehlende Daten I

Es kann vorkommen, dass einige Unternehmen im Schritt A des Migrationspfades nicht sofort mitwirken, weil sie möglicherweise nicht unmittelbar vom Nutzen überzeugt sind. Daraus resultierend kann es dazu kommen, dass auch keine Daten bereitgestellt werden. Um zumindest ein grobes Bild der einzelnen Unternehmen zeichnen zu können, gibt es einige vereinfachende Methoden, um Schätzwerte zum Energiebedarf zu erhalten. Energiebedarfe für spezifische Prozesse (z. B. Fertigung von Stückgütern) können durch die sehr individuelle Gestaltung nicht geschätzt werden. Folgende Energiebedarfe lassen sich jedoch annäherungsweise ermitteln:

Heizenergiebedarfe von Hallengebäuden

Oschatz erarbeitete sehr detaillierte Tabellen zu den Heizenergiebedarfen von Hallengebäuden [16]. Diese sind in Gewerbegebieten oft anzutreffen. Mithilfe einiger Annahmen können schnell Werte für den Bedarf in kWh pro m² und Jahr gefunden werden. Zu unterscheiden ist, ob es sich um einen Neu- oder Altbau (vor 2002) handelt, welches Schichtsystem genutzt wird, welche Art von Arbeit verrichtet wird und welche Art der Wärmeerzeugung genutzt wird. Mithilfe von Google Maps oder eines anderen Kartentools kann darüber hinaus die Fläche geschätzt werden. Wird diese mit dem Wert aus der Tabelle multipliziert, erhält man den geschätzten jährlichen Heizenergiebedarf.

Angaben in kWh/m ² a							
Wärme- erzeuger	Dezentrale Wärmeerzeugung			Zentrale Wärmeerzeugung			Mittelwert
	Dunkel- strahler	Hellstrahler	WL	WL, 70/50°C	Decken- strahlplatten	FBH, 45/35°C	
Grobe Arbeit							
Ungedämmt	132,2	136,1	175,8	176,4	133,6	137,4	142
	121,6	122,6	160,2	159,0	123,0	123,8	
Gedämmt	125,8	129,7	166,2	167,9	127,2	132,8	134
	114,6	115,8	150,9	149,8	115,9	116,6	

Abbildung 14 - Energiebedarf Heizung nach Oschatz [16]

Neben der reinen Erfassung der Gesamtmenge ist eine Erfassung des historischen Energiebedarfs sinnvoll. Unternehmen, die zu einer registrierenden Lastgangmessung verpflichtet sind, liegt der Energiebedarf beispielsweise in einem 15-Minuten-Intervall vor. Die Lastprofile von Unternehmen zeigen

eindeutige Muster in Bezug auf Tageszeit, Wochentag und Jahreszeit (Klima). Verfügbare Lastprofile können aufgrund der Spezifität der Unternehmen nicht verallgemeinert werden. Diese hängen neben der Branche des Unternehmens maßgeblich von der Mitarbeiteranzahl, dem Maschinenpark sowie der Auslastung ab.

Exkurs: Fehlende Daten II

Neben dem Heizenergiebedarf von Hallengebäuden lassen sich auch folgende Werte abschätzen:

Energiebedarfe Beleuchtung Hallengebäude

Im produzierenden Gewerbe macht der Anteil der Beleuchtung am gesamten Energiebedarf nur einen eher geringen Anteil aus, in den Branchen Logistik und Handel ist der Anteil in der Regel höher. Wambsgaß & Zauner bieten ein Rechenbeispiel zur Bestimmung des Energiebedarfs für die Beleuchtung in Produktionshallen [17]. Die dort enthaltenen Werte (Abbildung 15) können für eine Abschätzung herangezogen werden. Dazu ist einzuschätzen, welche Art von Beleuchtungsmitteln genutzt wird. Auch hier können die Flächenzahlen über ein Kartentool geschätzt werden.

Energiebedarf Hallenbeleuchtung		Beleuchtungskonzept			
		Standard	Hochwertig direkt	Hochwertig d/i	LED
Annahme erforderliche Beleuchtungsstärke = 300 lx Allgemeinbeleuchtung + Arbeitsplatzbeleuchtung	Energiebedarf pro m ² und Jahr in [kWh/m ² *a]	47,2	36,5	44,6	23,4
	Energiebedarf bei Tageslichtautonomie pro m ² und Jahr in [kWh/m ² *a]	19,5	15,5	18,5	10,7
	Mittelwerte mit/ohne Tageslichtautonomie	33,35	26	31,55	17,1
	Mittelwert herkömmliche Beleuchtung	30,3			

Abbildung 15 - Energiebedarfe Hallenbeleuchtung nach [17]

Energiebedarfe Bürogebäude

Schätzungen der Energiewerte für Bürogebäude können über das VSA-Tool des Instituts für Wohnen und Umwelt vorgenommen werden (Abschlussbericht zum Projekt unter [18]). Dazu ist wieder eine Ermittlung der Gesamtfläche der Bürogebäude nötig. Die Energiebedarfe je m² ergeben sich aus dem Tool, wobei die Nutzungsanteile geschätzt werden müssen (Siehe Abbildung 16).

Zone	Ermittlung Teilenergiekennwerte Zonen	Nutzung profil	Energie-bezugsfläche (NGF)	Flächen- anteil	Heizung		Warmwasser		Beleuchtung		Luftförderung		Klimakälte	
1	Einzelbüro	1	1.200	20%	☐Mittel	98	☐		☑Mittel	28	☑Mittel	16	☑Mittel	22
2	Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	2	2.200	37%	☐Mittel	100	☐		☑Mittel	25	☑Mittel	16	☑Mittel	21
3	Besprechung/Sitzung/Seminar	4	600	10%	☐Mittel	160	☐		☑Mittel	32	☑Mittel	61	☑Mittel	34
4	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	16	500	8%	☐Mittel	188	☑Mittel	5	☑Mittel	16	☑Mittel	61	☑Mittel	18
5	Serverraum/Rechenzentrum	21	300	5%	☐Mittel	36	☐		☑Mittel	60	☑Mittel	14	☑Mittel	750
6	Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	18	1.200	20%	☐Mittel	97	☐		☑Mittel	1	☑Mittel	1	☑Mittel	1

Abbildung 16 - Ausschnitt VSA-Tool mit Eingabedaten GG-Süd in Limbach-Oberfrohna

Energiebezug

Die Erfassung der vertraglichen Modalitäten (Laufzeit, Preise etc.) des Energiebezugs dienen vor allem als Grundlage, um die Wirtschaftlichkeit zwischen Ist-Zustand und geplanten Energieversorgungsmodellen zu vergleichen. Zudem dient die Erfassung des verwendeten Energiemix einer Abschätzung der aktuellen Emissionen.

Exkurs: Power Purchase Agreements (PPA)

PPAs (Stromkaufvereinbarungen) sind eine noch relativ neue Art der Stromlieferverträge, die aktuell vor allem im Kontext des Weiterbetriebs von Anlagen, die aus der EEG-Förderung fallen, diskutiert werden [19]. Bei dieser Art von Vertrag schließen Betreiber von Energieerzeugungsanlagen (vor allem EE) Verträge mit einem verbrauchenden Unternehmen direkt oder mit einem Stromhändler ab, der die Energie auch an einer Börse vermarkten kann [20]. PPAs können in die Typen off-site (Nutzung der allgemeinen Übertragungsnetze) und on-site (Stromlieferung ohne Netznutzung über Direktleitung. Dabei wird auf dem Grundstück des Abnehmers oder in dessen nahen Umgebung eine Anlage errichtet) [21]. Hier zeigt sich, dass PPAs auch ein Instrument zur Finanzierung neuer EE-Anlagen sein können.

PPAs sind in der Regel langfristige Verträge, bei denen der Bezugspreis je kWh im Vorfeld festgelegt wird. Vorteile ergeben sich für das belieferte Unternehmen dadurch, dass emissionsfreier Strom relativ einfach, auch ohne den Bau eigener Anlagen bezogen werden kann. Gegenüber von Lösungen auf Basis von Zertifikaten ist die verbundene Glaubwürdigkeit bei PPAs höher, da hier ein konkreter Effekt (Bau oder Weiterbetrieb von EE-Anlagen) realisiert wird [22]. Durch die lange Bindung, die insbesondere bei neu zu bauenden Anlagen nötig ist, kann es jedoch dazu kommen, dass während der Vertragslaufzeit günstigere Energiebezugpreise über andere Quellen möglich werden. Diese Flexibilität gibt ein Unternehmen mit PPAs zugunsten einer Preisstabilität auf.

Energieerzeugung

Viele Unternehmen sind nicht mehr nur Konsumenten von Energie, sondern aufgrund der Eigenerzeugung z. B. durch PV-Anlagen zu Prosumern (Kofferwort aus den englischen Begriffen producer und consumer) geworden. Für die Erstellung eines neuen Energiekonzeptes ist es wichtig, solche Anlagen zu erfassen. Dazu sollte die Energieerzeugung der vergangenen Jahre je Anlage erfasst werden. Daneben sind technische Charakteristika wie die installierte Leistung aufzunehmen. Ein Ziel eines neuen Energieversorgungskonzeptes kann der Ausbau der lokalen Energieerzeugung aus regenerativen Quellen sein.

Exkurs: Sankey-Diagramme

Eine Möglichkeit Energiebedarf und Energieerzeugung zu visualisieren sind sogenannte Sankey-Diagramme. Sie sind graphische Darstellungen von Mengenflüssen, wobei die Dicke der Pfeile proportional zur Menge dargestellt wird. Mithilfe von Sankey-Diagrammen können energetische Zusammenhänge besser kommuniziert und ausgewertet werden. Eine einfaches Online-Tool zur Erstellung entsprechender Diagramme ist SankeyMATIC (<https://sankeymatic.com/>) mit dem auch Abbildung 17 erstellt wurde.

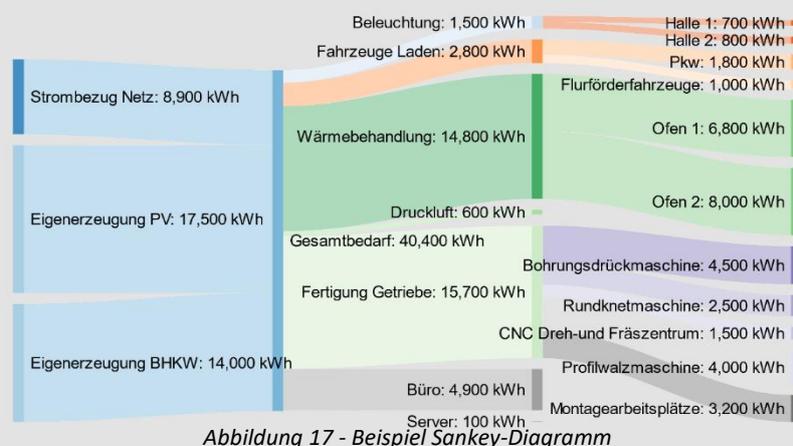


Abbildung 17 - Beispiel Sankey-Diagramm

Exkurs: Datenqualität

Daten sind nicht gleich Daten. Neben dem Vorhandensein bestimmter benötigter Daten ist auch deren Qualität entscheidend. Es gibt verschiedene Meinungen darüber, welche Kriterien erfüllt sein müssen, um von Datenqualität zu sprechen. Das Konzept von Wang & Strong [23] wird häufig genutzt und gibt einen Einblick in entscheidende Kategorien und Merkmale, die bei der Aufnahme, Verarbeitung und Weitergabe von Daten beachtet werden sollten. In Abbildung 18 sind die verschiedenen Merkmale dargestellt.



Abbildung 18 - Merkmale von Datenqualität - eigene Darstellung in Anlehnung an [23]

Vorhandene Daten nach diesen Kriterien zu prüfen, kann für eine gesteigerte Datenqualität sorgen. Mithilfe einer qualitativ guten Datenbasis können auch bessere Entscheidungen zur Optimierung des Gesamtsystems getroffen werden.

Energieflexibilisierung

Energieflexibilität kann als die Anpassungsfähigkeit der Produktionssysteme an kurzfristige Änderungen des Energiemarktes definiert werden [24]. Zum einen existieren Ansätze, die auf eine alleinige Steigerung der Energieeffizienz abzielen, z. B. durch eine intelligente Abschaltung von Maschinen zur Senkung von Energiebedarfen [25, 26]. Zum anderen gibt es deutlich komplexere Ansätze, die die vorhandene Energieflexibilität nutzen, um aus dem volatilen Energieangebot und -preis wirtschaftliche Vorteile zu erzielen [27, 28]. Daneben können die Abstimmung der Produktion auf das Energieangebot aus eigenen Energiequellen (z. B. PV-Anlagen), das Anbieten von Regelleistung auf dem Energiemarkt und ein innerbetriebliches Lastmanagement zur Reduktion von Lastspitzen, Gründe für die Nutzung von Energieflexibilität sein [29].

Vorhandene Energieflexibilität ist eine wichtige Einflussgröße auf ein zukünftig zu definierendes Energieversorgungssystem. So ist sie beispielsweise eine Voraussetzung für die Nutzung variabler Energietarife, die im einfachsten Fall zwischen verschiedenen Strompreisen zur Tag- und Nachtzeit unterscheiden.

Maßnahmen zur Flexibilisierung des Energiebedarfs finden vordergründig in sehr energieintensiven Industrien statt. Beispiele finden sich hier vor allem in der Prozessindustrie, wie der Stahlherstellung oder der chemischen Industrie.

Die Umsetzbarkeit solcher Maßnahmen ist stark von den Gegebenheiten der einzelnen Unternehmen abhängig. Eine Auswahl kann nur nach einer tiefgreifenden Analyse erfolgen. Dabei ist zu beachten,

dass im Regelfall keine Abweichungen von etablierten Kennzahlen wie Produktivität und Liefertreue toleriert werden können. Energieflexibilitätsmaßnahmen müssen sich auch diesen Kennzahlen unterordnen. Neben rein organisatorischen Maßnahmen (Verschiebung von Pausen, Schichten, Anpassung von Produktionsreihenfolgen), können dieser Kategorie auch zwei technische Maßnahmen zugeordnet werden. Zum einen ist das die Nutzung von Energiespeichern. Hier können produktionsnahe Strom-, Wärme- und Druckluftspeicher sowie Elektrofahrzeuge genannt werden. Zum anderen ist der flexible Einsatz von Energieträgern als technische Maßnahme zu nennen. Auf Produktionsebene bezieht sich dies auf die Nutzung bivalenter Produktionsanlagen. Dies sind Anlagen, die mit verschiedenen Energieträgern genutzt werden können [30].

Auch über eine intelligente Gebäudeautomation kann das Ziel der Energieflexibilisierung unterstützt werden. Gerade in großen Hallengebäuden ist die Bereitstellung der nötigen Wärme, Kälte und Frischluftzufuhr ein nicht zu unterschätzender Faktor beim gesamten Energiebedarf. In Abbildung 19 sind Lastmanagementprozesse für die Bereiche Industrie sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen aufgezeigt.

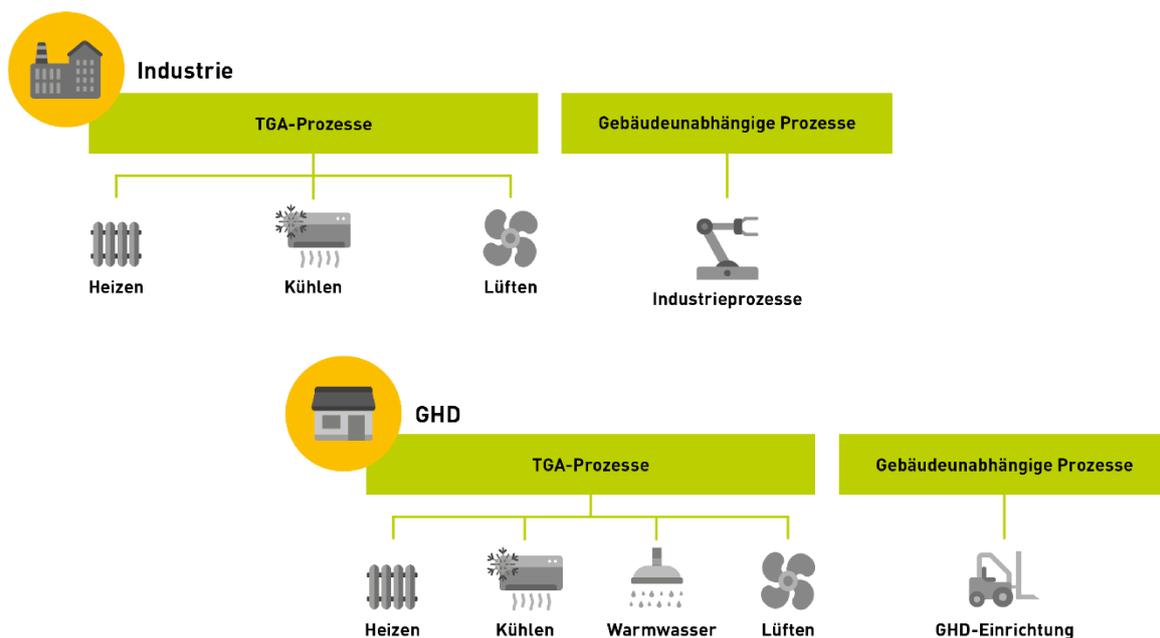


Abbildung 19 - Lastmanagementprozesse in Industrie und GHD - eigene Darstellung nach [31]

Die dargestellten Lastmanagementprozesse bzw. Flexibilitätsoptionen beziehen sich jeweils auf die elektrische Beheizung, Kühlung etc. Vorteilhaft bei der Nutzung von Flexibilitätspotentialen innerhalb der TGA-Prozesse (TGA - Technische Gebäudeausrüstung) ist, dass keine zusätzliche Hardware benötigt wird und vorhandene elektrische Heiz- und Kühlsysteme genutzt werden können. Voraussetzung ist jedoch die Erweiterung der Steuerung um weitere Schnittstellen. So sind zusätzliche Informationen nötig, z. B. Prognose des Strompreises, klimatische Bedingungen etc. [31]. Neben der Steuerung der Beheizung, Kühlung und Lüftung kann die Gebäudestruktur selbst zu einer Flexibilisierung beitragen, indem sie als Wärme- bzw. Kältespeicher genutzt wird. Dabei wird die thermische Trägheit des Gebäudes genutzt. Eine wichtige Herausforderung hierbei ist die Sicherstellung von thermischen Komfortkriterien. Inwiefern die Gebäudemasse als Speicher genutzt werden kann, liegt an den zur Verfügung stehenden Wärmeübergabesystemen. Bei zukünftigen Planungsprojekten ist also die Planung um die Dimension "Optimierung der Netzinteraktion" zu erweitern [32].

Soll nicht nur die thermische Speicherfähigkeit des eigentlichen Gebäudes genutzt werden, sind geeignete Speicher notwendig. Beim Heizen mit Wärmepumpen erhöht der Einsatz thermischer Speicher die gesamte Speicherkapazität, womit die Nutzung von Strom und Wärme leichter entkoppelbar ist. Auch beim Kühlen kann durch Kältespeicher eine weitere Entkopplung zwischen Strom- und Kältebedarf erreicht werden. Bedarfsspitzen für die Klimatisierung (nachmittags) treten beispielsweise zeitlich nach der Spitze der Stromeinspeisung aus der Photovoltaik (mittags) auf [33].

Daneben kann die Steuerung der Eigenenergieerzeugung einen Flexibilitätshebel darstellen. Zudem wird durch die Verbreitung der Elektromobilität die Bedeutung der Steuerung und Integration von Ladeprozessen zunehmen. Eine gezielte Steuerung der Ladevorgänge stellt gerade bei größeren Fahrzeugflotten ein nicht unerhebliches Flexibilitätspotential dar.

Innerhalb des Projekt GRIDS wurde ein Fragebogen zum Thema Energieflexibilität entwickelt, bei Fragen und Interesse am Thema wenden Sie sich gerne an die Projektpartner.

Software und Zertifizierungen

Grundsätzlich sind die innerbetrieblich genutzten Informationssysteme und Software sehr uneinheitlich (z. B. ERP, MES oder Gebäudeautomatisationssysteme). Dies geht für ein zu schaffendes gewerbegebietsübergreifendes Energiemanagementsystem mit einem hohen Integrationsaufwand einher. Zu erfassen, welche Systeme vorhanden sind und genutzt werden, sollte daher auch ein Ziel der Datenbeschaffung sein.

Exkurs: Informationsmanagement

Durch die bloße Datenerhebung allein können noch keine Prozesse verbessert werden und mit einer zunehmenden Vernetzung der Komponenten steigt die Menge an Daten so stark, dass eine Auswertung ohne spezielle Software-Unterstützung nicht mehr möglich ist. Daher wurde im Rahmen des Projekts GRIDS auch ein Konzept für ein Informationsmanagement auf Ebene des Gewerbegebiets erstellt.

Ziel dabei war die Ermittlung welche Informationen benötigt werden, um einen Green Energy Park zu betreiben und zu überwachen. Dazu ist eine klar strukturierte Darstellung wichtiger Kennwerte nötig. Dafür wurde ein Frontend einer möglichen Applikation entworfen. In Abbildung 20 ist die mobile Version dargestellt. Abbildung 21 zeigt das vereinfachte Schema des Informationssystems.



Abbildung 20 - Energiepark Dashboard

In einem Folgeprojekt sollen die bisherigen Artefakte in einem produktiven System integriert werden.

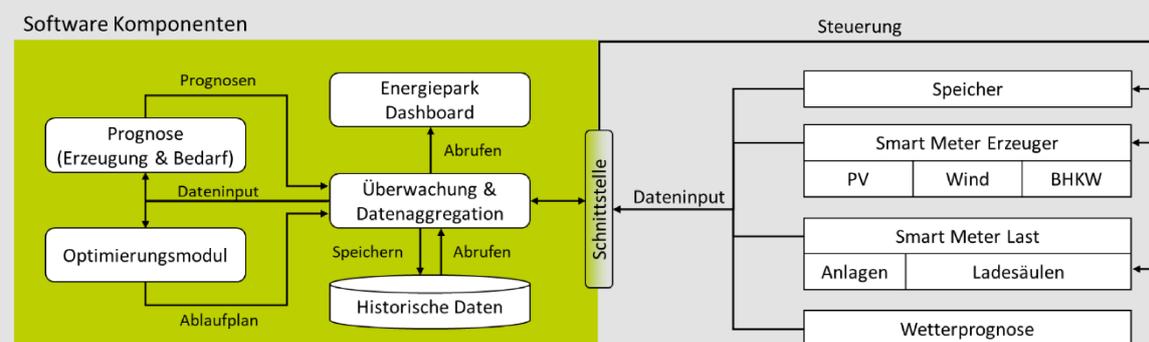


Abbildung 21 - Schema Informationssystem – GRIDS Energiepark Dashboard

Potential energiebasierter Symbiosen

Energetische Symbiosen, die zwischen verschiedenen Unternehmen eingegangen werden, sind in der Literatur in drei wesentliche Gruppen untergliedert: (1) Energiekaskadierung, (2) Austausch von Kraftstoffen und (3) Produktion von Bioenergie. Die schematische Einordnung der Kooperationsmöglichkeiten ist in Abbildung 22 zu sehen. Darin ist zu erkennen, dass anhand der Energiekaskadierung überschüssige Prozess- bzw. Abwärme (Wärme, Dampf) des Unternehmens A für weitere (energieärmere) Prozesse des Unternehmens B verwendet werden kann. Die Herstellung von Bioenergie kann zum Einsatz kommen, wenn überschüssige Abfallmaterialien (z. B. Klärschlamm) des Unternehmens A durch Umwandlung dessen (z. B. in einer Biogasanlage) in Bioenergie (z. B. Biogas) umgewandelt werden können. Diese Energie kann gespeichert, für die Produktion verwendet oder dem Markt zur Verfügung gestellt werden. Als letzte Option ist zu prüfen, ob ein Kraftstoff-Austausch vorgenommen werden kann. Dabei werden Abfallstoffe in Energieträger umgewandelt und ersetzen hierdurch fossile Kraftstoffe (z. B. Biomasse ersetzt kohlebasierte Energieproduktion) [34].

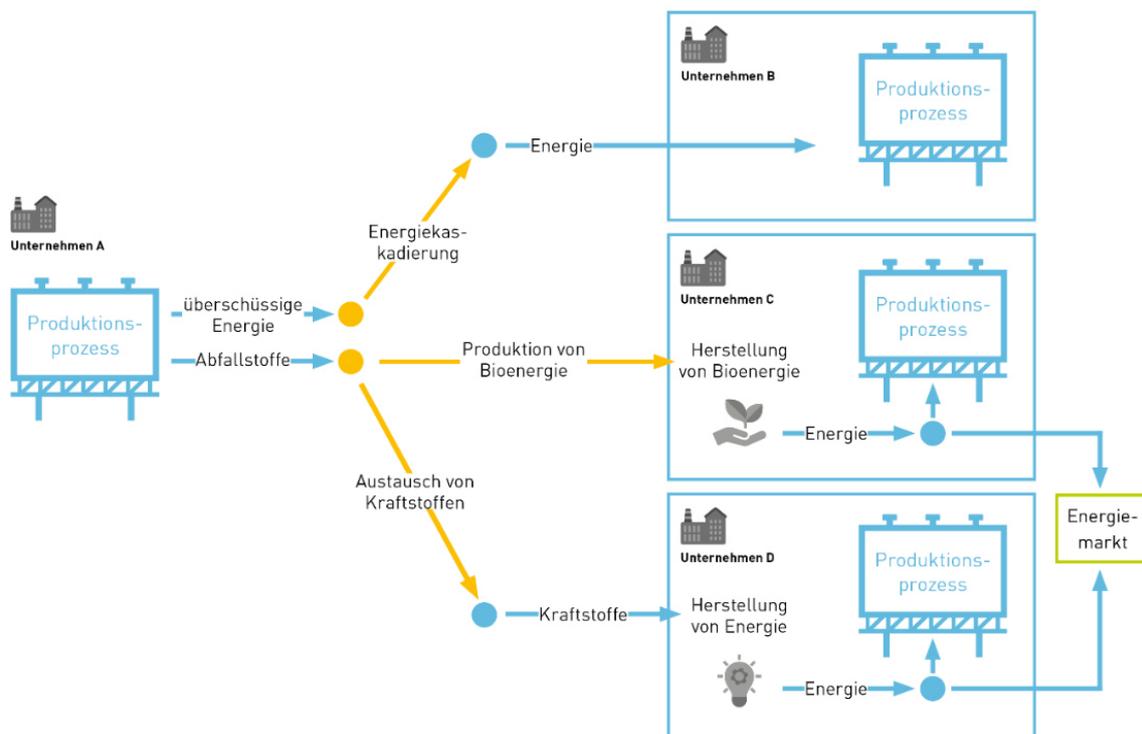


Abbildung 22 - Schema zur energiebasierter industriellen Symbiose in Anlehnung an [34]

4 Technologien und Maßnahmen

Innerhalb des Green Energy Parks Migrationspfades wird in der Phase C die Aufstellung alternativer Versorgungskonzepte betrachtet. Grundlage dafür ist die Kenntnis wichtiger Schlüsseltechnologien. Ziel dieses Abschnittes ist die Vorstellung von Technologien zum Aufbau eines Green Energy Parks. Grundsätzlich können dabei alle erwähnten Technologien in verschiedenen Kombinationen zum Einsatz kommen. In der praktischen Umsetzung werden nicht alle Technologien in einem Green Energy Park genutzt. Neben (planungs-)rechtlichen Einschränkungen müssen die lokalen Gegebenheiten betrachtet werden. Zu ausgewählten Technologien werden Methoden gezeigt, um ihr Einsatzpotential in einem Gewerbegebiet abzuschätzen. Der Abschnitt gliedert sich dabei in die Teile Energieerzeugung, Energieverteilung, Energiespeicherung, Sektorkopplungstechnologien sowie einem Teil zu allgemeinen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit.

4.1 Energieerzeugung

Die Industrie und der Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung weisen einen Anteil von 28 % bzw. 14,8 % des gesamten Energiebedarfs in der Bundesrepublik auf [35]. Ein Teil davon wird immer noch durch fossile Energieträger gedeckt, was mit Treibhausgas-Emissionen verbunden ist. Eine Möglichkeit zur Reduktion der Emissionen besteht in der Substitution von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energien [4] beziehungsweise durch die Nutzung effizienterer konventioneller Energieerzeuger.

Innerhalb von Gewerbegebieten profitieren insbesondere KMU, da sie sich im Verbund kostenintensivere Technologien leisten können. Die am häufigsten in Unternehmensgemeinschaften eingesetzten Energiequellen sind: Solarenergie (Solarthermie und Photovoltaik), Windenergie, Bioenergie (Biomasse und Biogas), Wasserkraft und Geothermie [36].

Die Auswahl der verwendeten Erzeugungsanlage und des dafür notwendigen Energieträgers hat einen erheblichen Einfluss auf die Energiekosten und die CO₂-Emissionen eines Standortes.

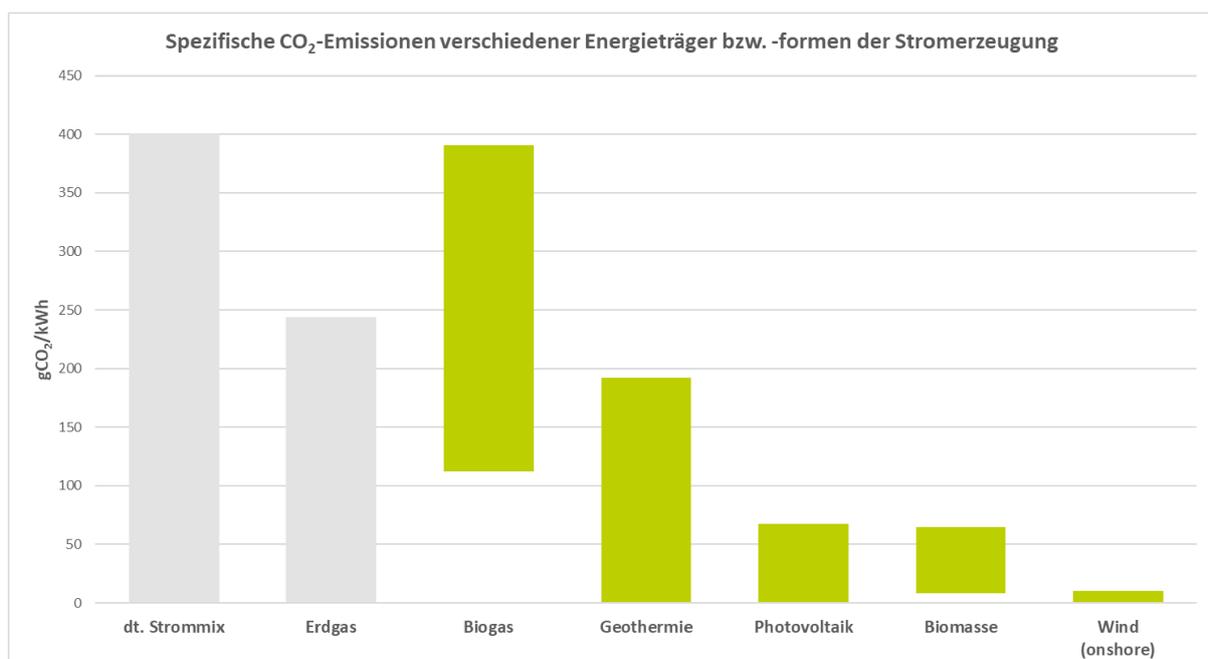


Abbildung 23 - Spezifische CO₂-Emissionen verschiedener Energieträger [37, 38]

Wie Abbildung 23 aufzeigt, können durch den Einsatz erneuerbarer Energien erhebliche Emissionseinsparungen je verwendeter kWh erreicht werden. Die dargestellten CO₂-Emissionswerte setzen sich

hierbei aus direkten Emissionen, die im Zuge der Umwandlung von Primärenergieträgern anfallen und aus indirekten Emissionen, die in den sogenannten Vorketten (z. B. bei der Herstellung von Anlagen) entstehen, zusammen.

4.1.1 Stromerzeugung – Überblick

Die benötigte elektrische Energie kann entweder vor Ort eigens erzeugt oder aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen werden. Der Strompreis variiert dabei je nach Größe und jährlichem Verbrauch des Unternehmens sowie den gewählten Bezugstarifen. Im Schnitt zahlten Unternehmen mit einem Jahresbedarf zwischen 160 Tsd. und 20 Mio. kWh im Jahr 2020 17,76 ct/kWh [39]. Alternativen zum Netzbezug bietet die lokale bzw. dezentrale Energieerzeugung. Für die flexible Bereitstellung der elektrischen Energie eignen sich Gasturbinen und Biogasanlagen, wohingegen Windenergie und PV-Anlagen dargebotsabhängig sind, d. h. sie erzeugen Energie fluktuierend je nach lokaler und zeitlicher Verfügbarkeit von Wind und Solarstrahlung. In Abbildung 24 werden die Stromgestehungskosten ausgewählter Technologien gegenübergestellt (KWEA steht dabei für Kleinwindenergieanlage).

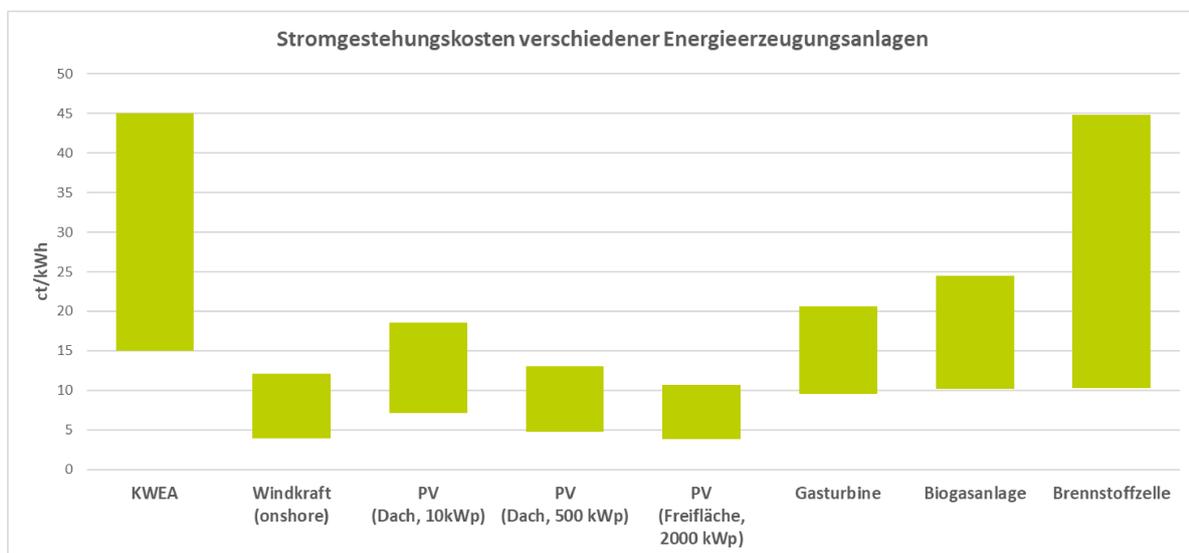


Abbildung 24 - Stromgestehungskosten ausgewählter Energieerzeugungsanlagen, Daten nach [40]

Zu erkennen ist dabei, dass unter geeigneten Standortbedingungen und entsprechender Dimensionierung jede Technologie schon heute Stromgestehungskosten unter dem durchschnittlichen Strompreis erzielen kann. Zu beachten ist jedoch, dass dies für Großabnehmer in der Industrie (Jahresbedarf > 70 Mio. kWh) nicht gilt, da hier der durchschnittliche Strompreis bei 9,28 ct/kWh lag [39]. Diese Art von Unternehmen sollte jedoch sehr selten in Gewerbegebieten zu finden sein. Nachfolgend werden die Stromerzeugungstechnologien näher vorgestellt.

4.1.2 Stromerzeugung - Photovoltaik

Der Startschuss für den massiven Ausbau der Photovoltaik in Deutschland wurde durch die an das EEG geknüpften Einspeisevergütungen für EE-Strom eingeleitet. Darüber hinaus sanken die Investitionskosten im Mittel um rund 12 % pro Jahr [38]. Der durchschnittliche Endkundenpreis für fertig installierte Aufdachanlagen (10 bis 100 kWp) liegt dabei heute bei rund 1.000 € je kWp [38]. Für Unternehmen stellen gerade ungenutzte Dachflächen ein großes Potential dar, EE-Strom mithilfe von PV-Modulen zu erzeugen. Zudem ist der Installations- und Genehmigungsaufwand für PV-Anlagen vergleichsweise gering und kann schnell realisiert werden. Bei Flachdächern werden PV-Module zur optimalen Ausnutzung der solaren Einstrahlung aufgeständert und so bestmöglich ausgerichtet. Die fluktuierende Stromerzeugung kann durch den Einsatz von Batteriespeichern ausgeglichen werden, sodass

höhere Deckungsgrade erreicht werden können. Besonders bei Unternehmen, die einen hohen Tageslastgang besitzen und in sonnenreichen Regionen angesiedelt sind, ist die PV-Technologie vorteilhaft [38, 41].

Exkurs: PV-Potential ermitteln

In Gewerbegebieten sollten Gebäude mit Flachdach die Regel darstellen. Hier lässt sich besonders einfach eine erste Potentialabschätzung durchführen. Dieser Gebäudetyp hat den Vorteil, dass Ausrichtung und Neigung der PV-Module frei wählbar sind. Nachteilig ist generell, dass etwaige statische Probleme auftreten können, gerade bei der Montage der Module in Ständerbauweise. Dieser Faktor wird in einer ersten Potentialabschätzung nicht berücksichtigt. Zu beachten ist, dass sich nach einer einzelnen Prüfung der Statik somit das Gesamtpotential verringern kann.

Neben der Art der installierten Solarmodule wird der erzielbare Energieertrag und somit auch die Wirtschaftlichkeit von weiteren Faktoren beeinflusst. Dazu zählen Verschattung, Dachausrichtung und Dachneigung. Bei relativ großen Abständen zwischen einzelnen Gebäuden und einer spärlichen Bepflanzung mit Bäumen, sollte es nicht zu einer starken Verschattung auf den Dachflächen kommen, wodurch diese zunächst vernachlässigt werden kann.

Grundsätzlich sind zwei Arten der Montage zu unterscheiden:

Aufständigung

Vorteile: optimaler Ausrichtungs- und Neigungswinkel der Module, dadurch höherer Wirkungsgrad

Nachteile: höhere Montagekosten, größere Mindestabstände, größere Windanfälligkeit

Flache Montage

Vorteile: kostengünstiger, bessere Flächennutzung, geringere Windanfälligkeit

Nachteile: anfälliger für Verschmutzungen, geringerer Wirkungsgrad, niedrigerer Ertrag

Um den Energieertrag zu optimieren, stellt die aufgeständerte Montageweise die bessere Lösung dar. Wird diese Art der Montage angenommen, dann kann davon ausgegangen werden, dass 50 % der Dachfläche als Modulnutzfläche zur Verfügung stehen [41]. Sollten die Flächen der Dächer nicht bekannt sein, so ergibt eine Messung über z. B. Google Maps eine erste Annäherung. Die Modulnutzfläche (A_{Nutz}) entspricht dann der Gesamtfläche mal 0,5.

Ein nächster Schritt ist die Berechnung der maximal installierbaren Leistung in kWp. Diese ergibt sich aus der Nutzfläche und dem angenommen Modulwirkungsgrad. Dieser liegt bei heute kommerziell verfügbaren Modulen auf Basis von kristallinen Siliziumzellen bei $\eta_{\text{Modul}} = 17\%$ [42]. Die Formel hierfür lautet: $P_{\text{Peak}} = A_{\text{Nutz}} \times \eta_{\text{Modul}}$

Neben dem reinen Modulwirkungsgrad spielen bei der Betrachtung des PV-Potentials zusätzliche Verluste eine Rolle. Dazu gehören beispielsweise Verluste aus der Verschmutzung der Module, Wandlungsverluste des Wechselrichters oder Verluste durch Schwankungen der Betriebstemperatur. Diese Verluste werden im Performance Ratio (PR) zusammengefasst. Für PV-Anlagen in Deutschland können Werte zwischen 80% und 90% angenommen werden [42].

Mithilfe des Tools Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) können für den Standort anhand der geschätzten kWp und dem Systemverlust die monatlichen und jährlichen Erträge berechnet werden. Zu finden ist das Tool unter https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP

4.1.3 Stromerzeugung - Windenergie

Genau wie die Photovoltaik bietet die Windenergie eine dezentrale Erzeugung von EE-Strom. Eine genauere Potentialanalyse lohnt sich, wenn die lokalen Unternehmen auch nachts einen durchgehenden Bedarf an Strom aufweisen und der potentielle Standort in der Hauptwindrichtung (zumeist Süd-West) frei anströmbar ist.

Windenergieanlagen besitzen einen höheren Genehmigungsaufwand als beispielsweise PV-Anlagen. Kleinere Windräder, bis zu einer Höhe von 30 m und Leistungen im zweistelligen kW-Bereich, unterliegen einfacheren baurechtlichen Genehmigungen. Jedoch haben kleine Windräder höhere Stromgestehungskosten als PV-Anlagen bzw. größere Windenergieanlagen (WEA) und sind deswegen sehr standortabhängig [43].

Exkurs: Potentialabschätzung Kleinwindenergieanlagen (KWEA)

Die Potentialabschätzung für die Nutzung von Windkraft gestaltet sich, wie auch die Genehmigungsverfahren hierfür, im Gegensatz zur Solarenergie schwieriger. Der zu erwartende Ertrag einer solchen Anlage hängt sehr stark von den Voraussetzungen am Standort ab.

Hauptsächliches Kriterium sind die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten. Diese können aus frei verfügbaren Quellen wie dem Global Wind Atlas (<https://globalwindatlas.info/>) grob abgeschätzt werden. Allerdings ist die Auflösung sehr grob, im genannten Beispiel beträgt die Rastergröße etwa 150 x 150 m. Eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit von 4 m/s wird als Grenze angenommen, bei deren Überschreiten sich eine genauere Analyse des Standortes anbietet [44]. Dazu sind Windmessungen nötig, die idealerweise über ein ganzes Jahr laufen. Für eine erste sehr grobe Abschätzung lassen sich jedoch auch die so gefundenen Werte verwenden.

Neben der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit spielt die Geländebeschaffenheit eine wesentliche Rolle, da sie das Strömungsverhalten des Winds beeinflusst. Zur Einschätzung dient die Oberflächenrauigkeit, hierzu existieren verschiedene Klassen. Anhand gewisser Oberflächenbeschreibungen kann die Rauigkeitsklasse gewählt werden. Eine Übersicht dazu findet sich beispielsweise in [44]. Mithilfe des Small Wind Turbine Yield Estimators des Fraunhofer IWES (<https://cutt.ly/1nuzVgA>), können mit diesen Angaben und den Angaben zur Nabenhöhe und eventuell der Leistungskurve eines bestimmten KWEA-Typs die jährlichen Erträge initial abgeschätzt werden.

Die Überprüfung dieser Ergebnisse, zusammen mit einer Windmessung muss jedoch unbedingt vor weiteren Planungsschritten erfolgen!

4.1.4 Wärmeerzeugung - Überblick

Bezüglich der Wärmeversorgung gilt es prinzipiell zu untersuchen, ob die vorherrschenden meist konventionellen Energieträger durch regenerative Energieträger ersetzt werden können. Dabei können synthetisch hergestellte Brennstoffe Erdgas ersetzen oder Wasserstoff dem Erdgas beigemischt werden [45]. Weiterhin können solarthermische Kollektoren, Geothermie und die Biomassefeuerung Ansätze zur umweltfreundlicheren Wärmeerzeugung bieten.

4.1.5 Wärmeezeugung - Solarthermie

Ungenutzte Dachflächen bieten neben der Erzeugung von elektrischer Energie ein weiteres Potential. Hierbei muss untersucht werden, inwiefern die Nutzung von solarthermischen Kollektoren am Standort sinnvoll ist. Diese werden wie PV-Module auf den Dächern oder Außenwänden der Gebäude installiert und wandeln die solare Strahlung in nutzbare thermische Energie um. Die solarthermischen Kollektoren können nach der Art des Wärmeträgermediums in Flüssigkeitskollektoren und Luftkollektoren unterschieden werden. In der Gebäudeanwendung kommen meist Flüssigkeitskollektoren zur Anwendung, die in der Regel aus Flachkollektoren oder Vakuum-Röhrenkollektoren bestehen [46].

Wie schon bei den PV-Modulen kann der Gesamtwirkungsgrad des Systems durch thermische Speicher, wie z. B. Warmwasserspeicher, gesteigert werden. Dadurch können insbesondere Anwendungen in der Nieder- und Mitteltemperatur ($\leq 300\text{ °C}$) solar gedeckt und der Bedarf von Erdgas, Biogas und Heizöl reduziert werden [43].

Lohnenswert ist die Untersuchung des Einsatzes von Solarthermie dort, wo Prozesse vorhanden sind, die Wärme benötigen und bereits ein Nah- bzw. Fernwärmenetz vorhanden ist. Lohnenswert ist hier die Untersuchung im Zusammenhang mit Abwärmepotentialen, da sich im Verbund möglicherweise die Investition in den Netzausbau lohnt. Für Nicht-Wohngebäude ist die Installation in der Regel noch nicht wirtschaftlich, wenn damit lediglich die Raumheizung und/oder die Warmwasseraufbereitung betrieben werden soll [47].

4.1.6 Wärmeezeugung - Geothermie

Die Geothermie ist die Wärme, die unterhalb der festen Erdoberfläche gespeichert liegt. Hierbei kann zwischen tiefer Geothermie ($> 5.000\text{ m}$ tief) und oberflächennaher Geothermie ($\leq 400\text{ m}$ tief) unterschieden werden.

Die oberflächennahe Geothermie weist im Vergleich zur tiefen Geothermie eine große Verbreitung in Deutschland auf und wird hauptsächlich für die Raum- und Warmwassererwärmung eingesetzt [48]. Die Gewinnung der Erdwärme wird hierbei größtenteils in Kombination mit einer erdgekoppelten Wärmepumpe umgesetzt. Generell kann zwischen zwei Systemanwendungen unterschieden werden:

1. Einsatz von Erdwärmekollektoren

Die Kollektoren werden flächenhaft verlegt und weisen im Gegensatz zu Erdwärmesonden einen hohen Flächenbedarf auf (Kollektorfläche beträgt das rund 1,5- bis 2-fache der zu beheizenden Fläche). Die Kunststoffrohre werden unterhalb der Frostgrenze von ca. 1,2 m bis 1,5 m Tiefe verlegt und nutzen die gespeicherte Sonnenenergie, die durch die direkte Einstrahlung, Wärmeübertragung aus der Luft und durch Niederschlag in den Untergrund eindringt. Durch die geringe Tiefe, in der die Kollektoren in die Erde eingebracht werden, unterliegen sie auch größeren jahreszeitlichen Temperaturschwankungen [49].

2. Einsatz von Erdwärmesonden

Der Einsatz von Erdwärmesonden erlaubt es im Gegensatz zu Erdwärmekollektoren, die Wärme aus einer größeren Tiefe zu nutzen. Erdwärmesonden werden in vertikalen Bohrungen installiert. Der innerhalb des Sondenkreislaufs zirkulierende Wärmeträger übernimmt den Transport der thermischen Energie hin zur Wärmepumpe. Bereits ab etwa zehn Metern liegt die Temperatur des Erdbodens im Mittel zwischen $9,5\text{ °C}$ und $10,5\text{ °C}$ [50]. Alle 30 m kann mit einer Zunahme der Temperatur um 1 °C gerechnet werden. Erdwärmesonden haben durch die benötigten Bohrungen höhere Investitionskosten. Außerdem ist das Genehmigungsverfahren aufwändiger, gerade bei Bohrungen tiefer als 100 m,

da ab dort das Bergrecht Anwendung findet. Trotzdem sind sie durch die relativ konstante Temperatur und den geringen Flächenverbrauch die geeignetere Technologie, gerade für Umplanungsprojekte [49].

Festzuhalten ist zudem, dass die Nutzung von geothermischer Energie vor allem bei Neubauten sinnvoll ist, da das gesamte Heizsystem darauf ausgelegt werden sollte bzw. muss, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu garantieren.

Exkurs: Einsatzpotentiale erdgekoppelter Wärmepumpen in der Industrie

Die Nutzung von Erdwärme bedingt den Einsatz einer Wärmepumpe. Diese nutzt das umgekehrte Prinzip eines Kühlschranks. Die Wärmepumpe entzieht dabei dem Außenbereich Wärme (z. B. Erdreich, Luft, Wasser, Abwärme) und gibt sie an den nachgelagerten Prozess bzw. Anlage ab (Wärmeverteilsystem, industrieller Prozess, Speicher). Zum Betrieb der Wärmepumpe ist elektrische Energie nötig. Die Qualität des Wärmepumpenprozesses spiegelt sich dabei im COP (Coefficient of performance) wider. Dieser gibt an, welche Heizleistung 1 kW elektrische Leistung liefert. Kommerzielle Wärmepumpen können einen Wert von 3 bis 5 erreichen. Für die meisten industriellen Prozesse werden Hochtemperatur-Wärmepumpen benötigt, die eine besonders hohe Vorlauftemperatur erreichen. Bogdanov & Sauer geben einige Beispiele für geeignete industrielle Prozesse an, die in

Abbildung 25 zu sehen sind [51]. Der Einsatz in diesen Bereichen kann dabei helfen, Energieeffizienzpotentiale in der Industrie zu realisieren.

Verfahren	Temperaturniveau
Kleben mit chemisch abbindenden Klebstoffen	80°C – 180°C
Tempern	110°C – 120°C
Beizen	50°C – 80°C
Kochen	100°C – 110°C
Kunststoffherstellung	80°C – 100°C
Kunststoffverarbeitung	120°C – 140°C
Trocknen (Keramikindustrie)	20°C – 120°C

Abbildung 25 - Geeignete Fertigungsverfahren und Prozesse für den Einsatz erdgekoppelter Wärmepumpen [51]

4.1.7 Wärmeerzeugung - Biomassefeuerung

Eine weitere Möglichkeit Wärme klimaneutral zu erzeugen besteht darin, Biogase bzw. biologische Reststoffe (Altholz, Stroh, etc.) in Heizkraftwerken zu verbrennen. Klimaneutralität wird erreicht, da während des Wachstums der Biomassestoffe genauso viel CO₂ gebunden wurde, wie letztendlich bei der Verbrennung freigesetzt wird. Der Einsatz von Biomasse ist meist von der regionalen Verfügbarkeit solcher Brennstoffe abhängig und erfordert unter Umständen einen größeren Transportaufwand. Der Brennstoff Biogas, der abhängig von regionalen Anbaugebieten erzeugt werden kann, lässt sich beispielsweise nach der Aufbereitung zu Biomethan problemlos in das Erdgasnetz ein- und ausspeisen, wohingegen die erzeugte Wärme durch das Verbrennen von Holz besser verbrauchernah erzeugt werden sollte [43].

Bezüglich des Wärmetransports gilt es zu prüfen, ob ein gemeinsames Nahwärmenetz für den Standort als wirtschaftlich sinnvoll angesehen werden kann. Dies ist notwendig, um die Distribution der gemeinsam erzeugten thermischen Energie am Standort zu gewährleisten.

4.2 Energieübertragung

Energienetze

Elektrische Energie ist die wichtigste Säule der Wertschöpfung jedes produzierenden Unternehmens oder Dienstleisters [52]. Bei deren Bereitstellung und Nutzung spielt zunehmend auch im industriellen Kontext eine möglichst umweltfreundliche und effiziente Nutzung eine entscheidende Rolle [53]. Dies bezieht sich nicht nur auf die Optimierung der Erzeugung oder der Endverbraucher, sondern auch auf die Verteilung von Energie.

Dabei ist es besonders wichtig das zur Verfügung stehende Verteilnetz effizient zu nutzen, den Ausbau möglichst einzugrenzen und den Anschluss neuer Anlieger optimal zu planen. Für die effiziente Nutzung ist die Untersuchung von möglicher energetischer Flexibilität wichtig. Ideal für den Netzausbau bzw. die Nutzung ist die Glättung des Lastganges der Konsumenten zu einem kontinuierlichen Bezug. Lastglättungen können zum Beispiel durch unterschiedlich angepasste Schichtmodelle und Arbeitszeiten der Unternehmen in einem Gewerbegebiet realisiert werden.

Medien- und Energienetze lassen sich auf verschiedene Arten klassifizieren [54]. Eine Möglichkeit ist die Klassifikation nach der Funktion. Abbildung 26 verdeutlicht die Unterteilung des deutschen Elektroenergienetzes nach der Aufgabe der Verteilung und der Übertragung. Das Verteilnetz stellt demnach den Schnittpunkt des öffentlichen Netzes zum Kunden bzw. Nutzer dar.

Dabei sind auf Ebene eines Gewerbegebiets lediglich die Verteilnetze relevant und dort wiederum insbesondere die Mittelspannungsnetze. Gewerbekunden, vor allem Industrieunternehmen, sind zu meist direkt an diese Spannungsebene angeschlossen, um ihren Energiebedarf möglichst verlustarm decken zu können.

Bei der Planung von Green Energy Parks ist die Einbeziehung weiterer Energienetze in die Planung relevant. Auch sämtliche andere Medien müssen Berücksichtigung finden. Von Interesse sind hierbei Gas-, Wärme- und Druckluftnetze. Druckluft kann als typisches Beispiel für ein Mediennetz angesehen werden, welches keiner staatlichen Regulierung unterliegt. Dennoch können für alle Netze die technischen Maßgaben des Elektroenergienetzes Anwendung finden.

Abbildung 26 zeigt deutlich, dass neben der eigentlichen Netzstruktur auch für monetäre Flüsse, sowie Informations- und Leistungsflüsse definierte Strukturen vorhanden sein müssen. Dabei handelt es sich in der Regel um regulierte Märkte, die von einem Aufsichtsorgan überwacht werden. Märkte innerhalb der Elektroenergiewirtschaft werden in der Regel durch die Bundesnetzagentur überwacht, diese

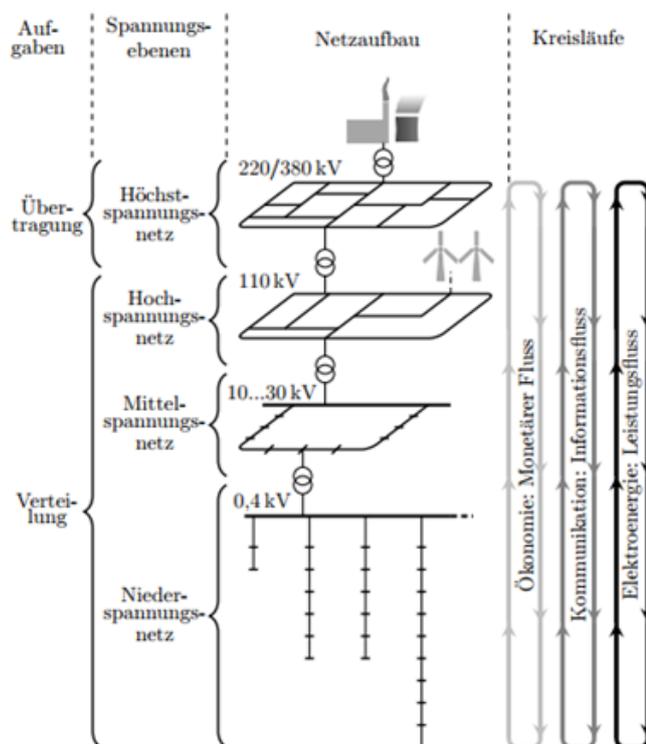


Abbildung 26 - Aufbau des deutschen Energieversorgungsnetzes [48]

Überwachung resultiert aus dem natürlichen Monopol des Energienetzes [55, 56]. Es würden weder ökonomische noch ökologische Vorteile entstehen, wenn mehrere parallele Energieversorgungsleitungen verschiedener Netzbetreiber verlegt wären. Aufgrund der hohen Bedeutung ist die Beaufsichtigung durch die Bundesnetzagentur sinnvoll und wichtig. Nur in Ausnahmefällen und bei einer relativ geringen Kundenzahl kann ein nicht reguliertes Netz (auch „Arealnetz“ genannt) ermöglicht werden [57].

Smart Grid

Das Energieversorgungsnetz befindet sich aufgrund des Ausbaus der dezentralen erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen in einem Wandel und steht insbesondere vor Herausforderungen im Hinblick auf die Versorgungssicherheit und -qualität der Endkunden. Durch die Zunahme an Akteuren im Energiesystem wächst der Steuerungsaufwand von Energieerzeugung und -nutzung. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass zukünftig die ehemaligen Konsumenten als Prosumer auftreten und nun ebenso Strom auf der Niederspannungsebene in das Stromnetz einspeisen können. Dadurch muss der Verteilnetzbetreiber (VNB) bei der Frequenz- und Spannungshaltung fortan auch deren zeitweisen Einspeisungen in das Netz beachten. Ein Lösungsansatz ist es, das vorhandene System umfassend mit Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) auszurüsten, um das Versorgungssystem intelligenter agieren und reagieren zu lassen.

Der Umbau des Energieversorgungssystems zu einem intelligenten Netzwerk (engl.: Smart Grid) wird in Form von Forschungsprojekten von der EU umfassend gefördert [58]. Das Smart Grid umfasst dabei die Vernetzung und Steuerung der im System inbegriffenen technologischen Anlagen (Erzeuger, Speicher, Verbrauchsanlagen etc.) auf Ebene der Übertragungs- und Verteilnetze. Die Steuerung und Abstimmung der Anlagen basieren dabei auf aggregierten Datenmengen über Stromerzeugung, -bedarf und Speicherkapazitäten, die in Echtzeit ausgewertet werden können. Ziel ist es, einen transparenten, energie- und kosteneffizienten sowie zuverlässigen Systembetrieb der Energieversorgung zu gewährleisten [59].

Durch Erreichen der Ziele wandelt sich das traditionelle Stromversorgungssystem von einem eher passiven und unidirektionalen zu einem mehrheitlich aktiven System, in dem alle Teilnehmer beteiligt sind und voneinander profitieren. Durch diese Dynamik nimmt die Komplexität für die operativen Systemakteure zu. Damit alle beteiligten Systeme miteinander kommunizieren können, wird es zukünftig notwendig sein, dass diese Anlagen mit sogenannten Smart Meter Gateways ausgestattet sind. Diese fungieren als Schnittstellen und ermitteln den zeitgenauen Energieverbrauch.

Exkurs: Smart Meter

Durch das Smart Meter Rollout werden in Deutschland nach und nach die Strommesseinrichtungen erneuert. Ein sogenanntes Smart Meter (intelligentes Messsystem) besteht dabei aus einer modernen Messeinrichtung (Abbildung 27), die den tatsächlichen Elektrizitätsverbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit widerspiegelt, aber alleine nicht fernauslesbar ist, sowie einem Smart Meter Gateway. Das Gateway (Abbildung 28) verwaltet dabei Zugriffsrechte, verarbeitet und überträgt Messwerte.



Abbildung 27 - Moderne Messeinrichtung



Mit einer zusätzlichen Steuerbox können Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen gesteuert werden. Dadurch können beispielsweise Wärmepumpen, Nachtspeicherheizungen oder Photovoltaik-Anlagen gezielt beeinflusst werden.

Abbildung 28 - Smart Meter Gateway

Damit werden grundlegende Daten für ein erfolgreich kommunizierendes System bereitgestellt [60]. Der flächendeckende Austausch der Systemdaten basiert auf der 450-MHz-Funkfrequenz, die als Kommunikationsnetz dienen soll und von zahlreichen Verbänden als krisensicher angesehen wird [61].

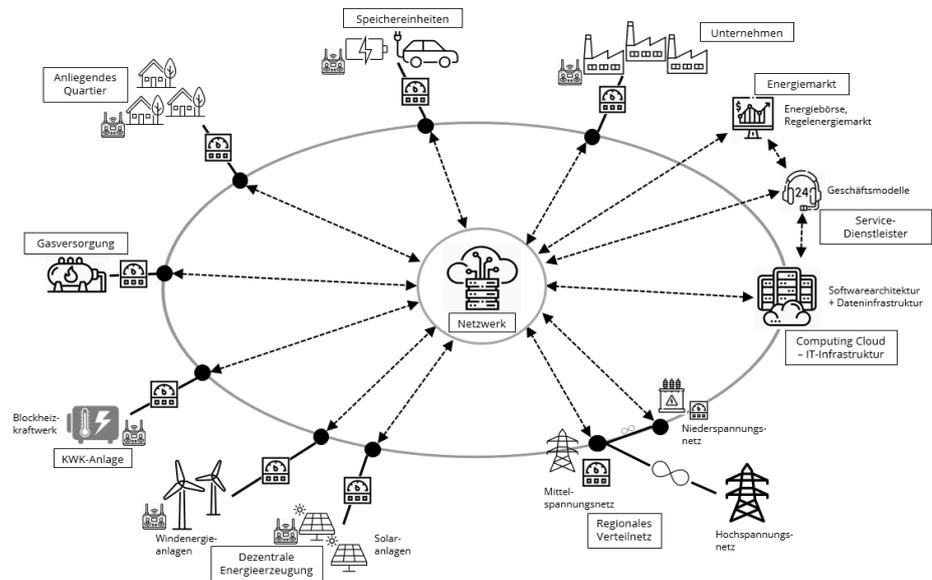


Abbildung 29 - Smartes Energieversorgungssystem in Anlehnung an [54]

Ein smartes Energieversorgungssystem kann die zahlreichen Akteure, wie in Abbildung 29 dargestellt, verbinden. Der verbildlichte Ring symbolisiert das Energieversorgungssystem. Dort ist die Schnittstelle mit den ansässigen Unternehmen (inklusive ihrer Maschinen und Anlagen), den dezentralen Energieerzeugungsanlagen, Speichereinheiten und KWK-Anlagen, die mit Kontrollsystemen, bestehend aus Sensoren und Steuerungsgeräten, ausgestattet sind. Damit können Daten bzgl. Energiekonsum und -produktion der Komponenten erhoben werden. Über ein Telekommunikationsnetzwerk können die aggregierten Daten an ein Rechenzentrum übermittelt und anschließend ausgewertet werden. Die ausgewerteten Informationen können für Zwecke der Koordination bzw. Kumulation dienen, wie z. B. Abstimmung von Angebot und Nachfrage, Überwachungssteuerung, lokale Optimierung & Austausch von Ressourcen, Portfoliomanagement, Abrechnung, Demand-Response-Maßnahmen und Teilnahme am Markt für Regelleistung.

4.3 Energiespeicherung

Die Speicherung der eigenerzeugten elektrischen sowie thermischen Energie ermöglicht eine Optimierung des Energiebezugs im Gewerbegebiet. Zudem können Schwankungen der Energieerzeugung flexibel ausgeglichen werden. Hierbei kann zwischen thermischen Speichern, die zur Entkopplung von

Wärmebedarf und -erzeugung dienen sowie elektrischen Speichern, die hingegen die Fähigkeit besitzen die Stromerzeugung bzw. dessen -bezug zu verlagern, unterschieden werden. Für die Klassifikation von Energiespeichern, wird die Gliederung in Sektoren [62] verwendet und Speicher für den Wärme- und Stromsektor vorgestellt.

Stromspeicher speichern elektrische Energie entweder direkt oder mit einer reversiblen Umwandlung in eine andere Energieform (z. B. chemische Energie), um beim Ausspeichern wieder elektrische Energie zur Verfügung zu stellen. Dasselbe gilt für Wärmespeicher.

4.3.1 Wärmespeicher

Wärmespeicher haben ein breites Anwendungsfeld. Weit verbreitet sind Warmwasserspeicher für Heizungssysteme. Darüber hinaus gibt es auch Kältespeicher zur Klimatisierung von Gebäuden oder Hochtemperaturspeicher für industrielle Prozesse z. B. Cowper bei Hochöfen, die Rauchgaswärme speichern, um sie zum Vorwärmen des Hochofens zu nutzen. Unterschieden werden kann in drei Arten von Wärmespeichern:

1. Sensible Wärmespeicher

Hier ändert das Speichermedium beim Ent- bzw. Beladen seine Temperatur. Die gespeicherte Energie entspricht der Temperaturdifferenz. Aufgrund seiner hohen spezifischen Wärmekapazität und der niedrigen Kosten wird Wasser häufig als Speichermedium genutzt. Der Einsatz kann beispielsweise in Verbindung mit solarthermischen Kollektoren erfolgen, um Wärme über Tage bzw. Wochen zu speichern. Größere Warmwasserspeicher werden zur saisonalen Speicherung und oft zusammen mit einem Nahwärmenetz genutzt [63].

2. Latentwärmespeicher

Neben dem Temperaturwechsel nutzen Latentwärmespeicher den Phasenübergang des Speichermediums, um thermische Energie zu speichern. Dadurch erhöht sich bei kleineren Temperaturunterschieden die maximal speicherbare thermische Energie. Dafür werden sogenannte Phase Change Materials (PCM) eingesetzt z. B. Paraffine [63].

3. Thermochemische Wärmespeicher

Thermochemische Wärmespeicher nutzen endo- bzw. exotherme Reaktionen zum Speichern der Energie. Diese verfügen über eine höhere Speicherdichte und sind in der Lage, die Temperaturniveaus je nach aktueller Anforderung des Be- und Entladevorgangs anzupassen [63].

Die Auslegung von Wärmespeichern ist von den individuellen Randbedingungen abhängig. Grundsätzlich kann hier zwischen saisonalen Speichern (Langzeitspeicher, der eher für Warmwasser und Gebäudeheizung geeignet ist) und Pufferspeichern (Kurzzeitspeicher, der eher für industrielle Prozesse geeignet ist) unterschieden werden. Emde et al. geben eine praxisorientierte Auslegungsmethodik für die Kopplung von Wärmespeichern, Kraft-Wärme-Kopplung und Wärmepumpen [64].

4.3.2 Stromspeicher

In diesem kurzen Überblick wird auf elektrochemische und chemische Energiespeicher eingegangen. Die direkte Speicherung elektrischer Energie mithilfe von Kondensatoren und Spulen wird nicht betrachtet. Diese Technologien weisen zwar den höchsten Wirkungsgrad auf, sind jedoch bei den Speicherkapazitäten stark begrenzt und mit hohen Investitionskosten verbunden [62]. Stromspeicher können für verschiedene Einsatzzwecke genutzt werden. Abbildung 30 gibt die hauptsächlichen Einsatzbereiche an und welchen Nutzen Energiespeicher in diesen Szenarien generieren.

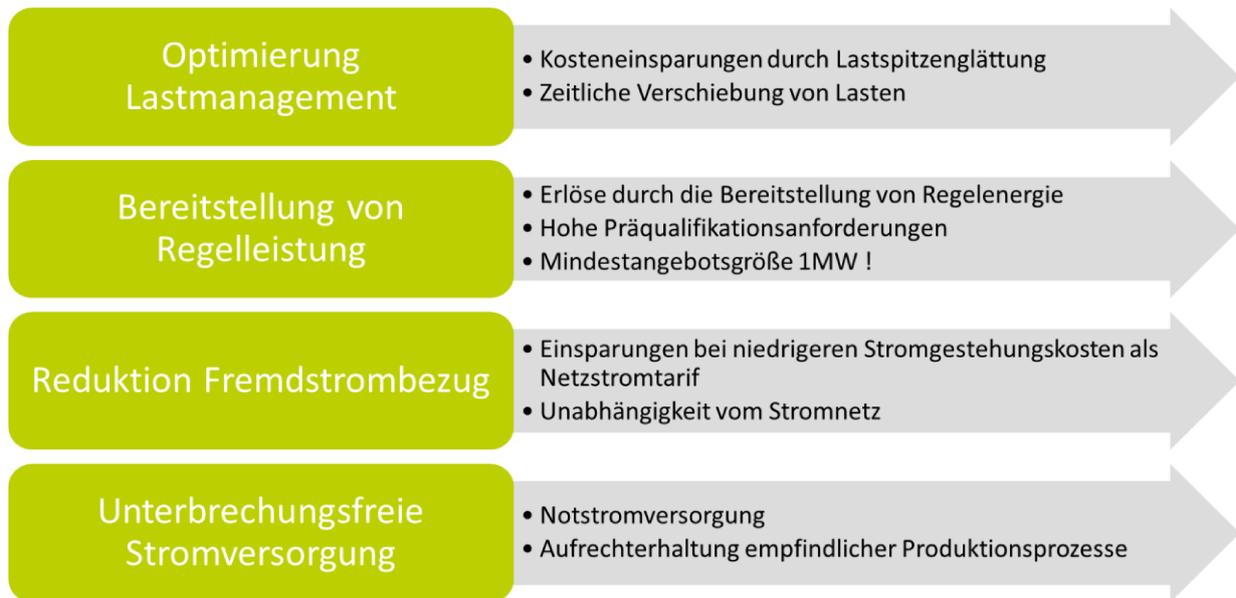


Abbildung 30 - Einsatzmöglichkeiten von Stromspeichern und Nutzen in Anlehnung an [65]

Elektrochemische Energiespeicher

Im Gegensatz zu elektrischen Energiespeichern wird die Energie in elektrochemischen Speichern in Form von chemischer Energie gespeichert. Solche Systeme bestehen aus Elektroden, die durch einen Elektrolyten verbunden sind. Bei Systemen, die nur eine Energieentnahme ermöglichen, wird von einer Batterie gesprochen (z. B. eine AA-Batterie in Fernbedienungen von Heimelektronik). Akkumulatoren erlauben hingegen das Speichern und die Entnahme von Energie. Umgangssprachlich werden jedoch auch Akkumulatoren oft als Batterie bezeichnet (z. B. die Starterbatterie in Fahrzeugen).

Auch bei den elektrochemischen Energiespeichern gibt es eine Vielzahl an verschiedenen Arten und Bauformen. In Abbildung 31 sind die kumulierten Zahlen von netzgekoppelten Speicherprojekten auf Basis elektrochemischer Speicher angegeben. Dabei zeigt sich, dass aktuell Lithium-Batterien die mit Abstand am häufigsten eingesetzte Technologie darstellen. Daher beschränkt sich dieser Abschnitt auch auf diese Technologie.

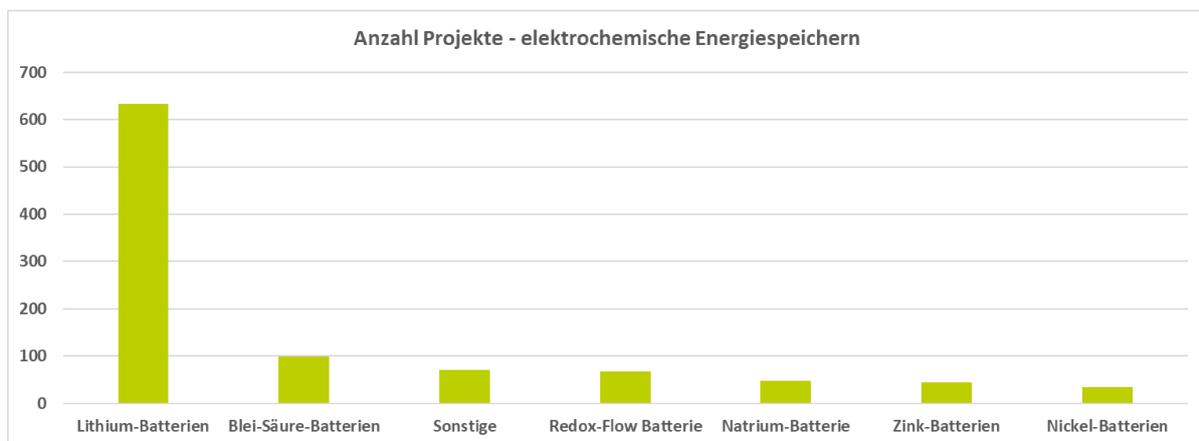


Abbildung 31 - Anzahl an Projekten mit elektrochemischen Energiespeichern (netzgekoppelte Anlagen) [66]

Lithium-Batterien existieren in verschiedenen Bauformen und unter der Nutzung verschiedener Zellchemien. Grundsätzlich werden dabei durch eine elektrochemische Redoxreaktion in wiederaufladba-

ren Lithiumionen-Zellen Li-Ionen in Aktivmaterialien ein- und ausgelagert [62]. Die konkreten Eigenschaften einer Lithium-Batterie hängen dabei stark vom jeweiligen Typ ab. Je nach Einsatzfeld kann zwischen Hochleistungs- (Optimierung des Lade- und Entladestroms) und Hochenergiezellen (Optimierung der Energiedichte) unterschieden werden.

Neben der Verwendung von Neubatterien können für Lithium-Energiespeicher auch gebrauchte Batterien aus Elektrofahrzeugen zum Einsatz kommen. Durch sogenannte Second-Life-Stromspeicher können die Umweltauswirkungen eines solchen Energiespeichers reduziert werden [67].

Chemische Energiespeicher

Rein elektrische Energiespeicher besitzen den höchsten Wirkungsgrad, sind jedoch teuer und die Speicherkapazität sowie Speicherdauer sind begrenzt. Elektrochemische Energiespeicher gleichen diese Nachteile auf Kosten des Wirkungsgrades aus. Diese Entwicklung setzt sich bei den chemischen Energiespeichern fort. Sie gelten als Option zur Langzeitspeicherung von Energie. Diese Fähigkeit wird im Gegensatz zu den beiden vorgenannten Technologien mit noch geringeren Wirkungsgraden erkaufte [62]. Chemische Energiespeicher basieren auf den drei Elementen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O). Verbindungen dieser Elemente werden als Energiespeicher genutzt, dazu zählen etwa Kohlenwasserstoffverbindungen (z. B. Benzin und Diesel als Gemische verschiedener Kohlenwasserstoffe) oder Wasserstoff, auf den etwas genauer eingegangen wird.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sieht Wasserstoff als wichtigen Baustein der Energiewende an [68]. Wasserstoff eignet sich vor allem für die Nutzung als Energiespeicher, für überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energien. Außerdem kann Wasserstoff dort genutzt werden, wo Strom noch nicht direkt eingesetzt werden kann (z. B. im Flugverkehr). Darüber hinaus wird Wasserstoff in einer Reihe von chemischen (z. B. Ammoniaksynthese) und industriellen Prozessen verwendet. Der dort eingesetzte Wasserstoff ist heute noch zu einem Großteil grauer Wasserstoff (Herstellung aus fossilen Ausgangsstoffen). Grüner Wasserstoff hingegen ist klimaneutral und wird durch Elektrolyse von Wasser gewonnen, wobei der für die Elektrolyse eingesetzte Strom komplett aus erneuerbaren Energien stammen muss. Wird grüner Wasserstoff für die Herstellung von Folgeprodukten genutzt, wird je nach Aggregatzustand des Produkts von Power-to-Gas (PtG) oder von Power-to-Liquid (PtL) gesprochen [68].

Die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse kann über verschiedene Technologien erfolgen, die jeweils unterschiedliche Reifegrade, Investitionskosten sowie Vor- und Nachteile aufweisen [69]. Die alkalische Elektrolyse (AEL) ist derzeit am verbreitetsten, während die Membran-Elektrolyse eine jüngere Technologie darstellt, die sich insbesondere für den dynamischen Betrieb eignet. Außerdem befinden sich Verfahren zur Hochtemperatur-Elektrolyse in der Entwicklung, die einen besonders hohen Wirkungsgrad erreichen können.

Wird der Wasserstoff für die Herstellung von Folgeprodukten verwendet, kann er auf verschiedene Arten weiter genutzt werden.

1. Umwandlung in Strom und Wärme durch Brennstoffzellen

Voraussetzung für diese Art der Nutzung in größerem Umfang ist ein Wasserstoffnetz oder die Zwischenspeicherung und Verbringung in Tanks. Der Wasserstoff kann direkt über Brennstoffzellen in Strom und Wärme umgewandelt werden. Diese Kette hat einen Gesamtwirkungsgrad von 34 % bis 51 % [62].

2. Beimischung in das Erdgasnetz

Dort wo eine eigene Wasserstoffinfrastruktur aus Kostengründen noch nicht umsetzbar ist, bietet sich die Beimischung von Wasserstoff in Erdgas an. Dazu kann das vorhandene Erdgas-

netz genutzt werden. Dort wo keine weiteren Einschränkungen auf Anwendungsseite bestehen, sind heute Beimischungen von Wasserstoff in Höhe von 10 % möglich [70]. Eine Erhöhung auf 20 % wird angestrebt und ist in erster Linie von den Anforderungen der Endverbraucher abhängig.

3. Stoffliche Nutzung

Die Substitution anderer Stoffe oder von grauem Wasserstoff durch grünen Wasserstoff kann die Treibhausgasemissionen von chemischen und industriellen Prozessen reduzieren. Ein konkretes Anwendungsgebiet ist beispielsweise die Substitution von Erdgas durch grünen Wasserstoff in der Direktreduktion von Eisen in der Stahlproduktion [71].

4.3.3 Vergleich

Der Vergleich verschiedener Speicheroptionen ist durch ihre sehr unterschiedlichen Eigenschaften nicht einfach. Wichtig ist auch der angestrebte Einsatzzweck: Für eine Notstromversorgung der Server eines Unternehmens ist die Verlustenergie eines Speichers nicht vordergründig relevant, für einen saisonalen Wärmespeicher jedoch sehr. Wichtige Kenngrößen zum Vergleich von Speichersystemen sind in Abbildung 32 zu finden.

Nicht jede Energiespeichertechnologie eignet sich für jeden Einsatzzweck. Dieser wiederum bestimmt sich aus den lokalen Anforderungen und dem Verbrauchsverhalten der Nutzer im Green Energy Park. Abbildung 33 zeigt verschiedene Energiespeichertechnologien in Bezug zu Ausspeicherdauer und Speicherkapazität. Die am häufigsten genutzten Technologien sind dabei Wärmespeicher und Batterien. Der Einsatz von Batterien findet dabei oft in Verbindung mit der Erzeugung von erneuerbaren Energien (speziell PV) statt [72].

Neben den hier dargestellten Strom- und Wärmespeichern, können auch andere industrielle Prozesse mit variablen Verbrauch als Energiespeicher aufgefasst werden. Dazu gehört die Speicherung von Druckluft für industrielle Prozesse, die Herstellung und Speicherung von demineralisiertem Wasser (auch als Vollentsalztes(VE)-Wasser bezeichnet) sowie die Herstellung und Speicherung von Stickstoff (z. B. zum Spülen Wärmebehandelter Teile). Ein süddeutsches Unternehmen kann so 941 kWh speichern (1 kWh Druckluft, 580 kWh VE-Wasser, 360 kWh Stickstoff). Dies gelingt durch die Verschiebung der Prozesse: So wird z. B. das Wasser dann entsalzen, wenn der Energiepreis besonders niedrig ist.

Kenngröße	Einheit
Einspeicherleistung P_{ein}	W
Ausspeicherleistung P_{aus}	W
Leistungsdichte ρ	W/kg bzw. W/m ³
Energiedichte e	Wh/kg bzw. Wh/m ³
Energiemenge E	Wh
Speicherverlust $E_{v.sp}$	Wh
Wirkungsgrad η	%
Einspeicherdauer t_{ein}	s
Speicherdauer t_{sp}	s
Ausspeicherdauer t_{aus}	s
Lebensdauer (zyklisch)	Zyklen
Lebensdauer (kalendarisch)	a
Investitionskosten K_i	€/kWh bzw. E/kW
Betriebskosten K_B	€/kWh

Abbildung 32 - Kenngrößen Energiespeichersysteme

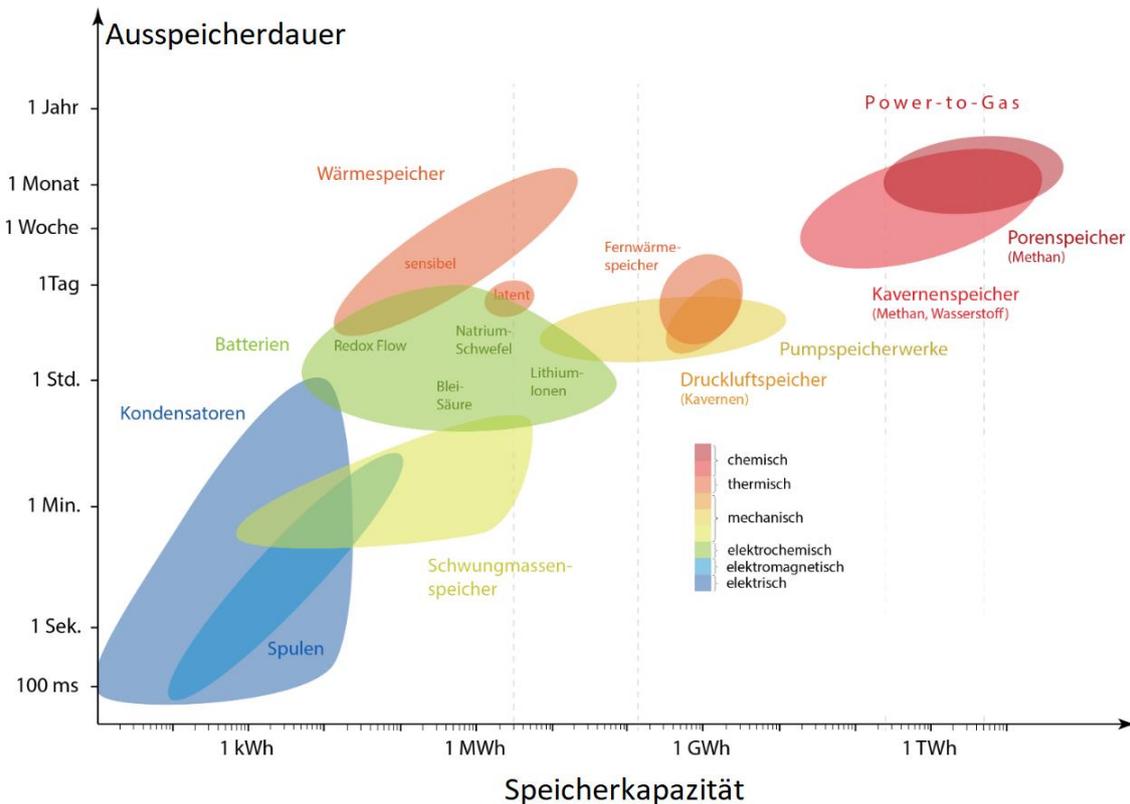


Abbildung 33 - Speicherarten im Vergleich [62]

4.4 Sektorkopplungstechnologien

Die Sektorkopplung soll in Zukunft einen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten. Landläufig ist mit dem Begriff die Integration der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr gemeint. Noch gibt es verschiedene Definitionen des Begriffes. An dieser Stelle wird eine bewusst weite Definition genutzt, die Wietschel et al. aufgestellt haben [73]. Dabei wird unter Sektorkopplung die Integration von klassischen Verbrauchssektoren (z. B. Industrie und Haushalte), Energieträgern und -formen (z. B. Strom und Wärme) sowie deren Infrastrukturen (z. B. Strom- und Informationsnetze) verstanden [73].

Kraft-Wärme-Kopplung

In der Regel werden bei der konventionellen Energieversorgung Strom und Wärme getrennt voneinander erzeugt. Die getrennte Strom- und Wärmeerzeugung ergibt aufgrund der hohen Erzeugungsverluste keine zufriedenstellenden Gesamtnutzungsgrade.

Die Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung ist die simultane Erzeugung von thermischer und elektrischer Energie. Dadurch werden die hohen Wärmeverluste der reinen Stromerzeugung vermieden und der Energiegehalt des Brennstoffes zu 90 % genutzt. Betreiben lassen sich die Anlagen mit dem fossilen Energieträger Erdgas sowie mit Biogas und -methan. Durch den hohen Wirkungsgrad und den Einsatz von regenerativen Energieträgern werden niedrige CO₂-Emissionen erzielt.

Ein typisches Beispiel für die Kraft-Wärme-Kopplung ist das Blockheizkraftwerk. In der Regel werden diese wärmegeführt betrieben und zur Deckung der Grundlast eingesetzt. Grundlegend für den wirtschaftlichen Betrieb sind:

- ganzjähriger simultan anfallender Strom- und Wärmebedarf
- hohe jährliche Laufzeiten (mindestens 5.000 Volllaststunden) [74].

In Gewerbegebieten kann ein zentral integriertes BHKW über das Wärmenetz für die Deckung der Grundlast der ansässigen Unternehmen sorgen. Außerdem kann ein höherer Deckungsgrad durch das Speichern überschüssiger Wärmeenergie erreicht werden.

Exkurs: Contracting

Contracting bezeichnet technische und energiebezogene Dienstleistungen, bei denen der Energie-nutzer mit einem Energiedienstleister (Contractor) einen Vertrag schließt, welcher den Contractor dazu verpflichtet, eine vereinbarte Dienstleistung im Austausch gegen eine Vergütung zu erbringen. Hierbei werden verschiedene Arten von Contracting-Verträgen unterschieden, am bedeutendsten ist jedoch das Energieliefer-Contracting [75]. Dabei baut der Contractor entweder neue Anlagen oder übernimmt vorhandene. Dabei kann sich der Vertrag nicht nur auf Strom beziehen, sondern auch auf Trinkwassererwärmung, Prozesswärme, Druckluft oder Beleuchtung [75].

Diese Form der Realisierung und des Betriebs einer nachhaltigeren Energieversorgung eignet sich vor allem für Unternehmen, die sich nur aufwandsarm mit der Planung und Umsetzung von entsprechenden Anlagen auseinandersetzen möchten oder nicht selbst investieren wollen [22]. In einigen Konstellationen müssen aber im Gegensatz zur Eigenversorgung weiterhin bestimmte Steuern, Umlagen und Abgaben gezahlt werden, da hier die Energie von einem Dritten bezogen wird [22].

E-Mobilität

Im Zuge der Dekarbonisierung der Energiesysteme ist auch ein Umstieg innerhalb des Verkehrssektors hin zu emissionsfreien Antriebskonzepten wünschenswert [76]. Die Nutzung batterieelektrischer Fahrzeuge bietet dazu eine Möglichkeit. Ein ausschlaggebender Punkt ist hierbei nicht nur die möglichst umweltfreundliche Erzeugung von Energie, sondern auch eine nachhaltige Übertragung und Nutzung. Der Ladevorgang von Elektrofahrzeugen kann heute so gut geregelt werden, dass eine Anpassung der Ladeleistung an die momentane Netz- und Erzeugungssituation möglich ist. Hierbei handelt es sich um eine Art des Demand-Side Management.

Die Fahrzeuge können somit bspw. dabei helfen, eventuelle Rückspeiselastspitzen zu mindern, die unter anderem durch eine hohe Photovoltaik-Einspeisung während der Mittagsstunden auftreten können. Ein Bestandteil des Leistungspreises elektrischer Energie sind Netznutzungsentgelte. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass durch den Zubau von erneuerbaren Energien ebenjenes Entgelt reduziert werden kann, da Energie verbrauchernäher erzeugt wird. Dann wird von vermiedenen Netznutzungsentgelten gesprochen. Diese Einsparung wird dem Betreiber von Erzeugungsanlagen anteilig vergütet. Im Umkehrschluss kann es bei einer sehr hohen installierten Leistung zu einer Rückspeisung in vorgelagerte Netzebenen kommen, wodurch wiederum zusätzliche Netznutzungsentgelte anfallen. Somit sollten Ladepunkte so gesteuert werden, dass hohe Rückspeiseleistungen vermieden werden.

Durch die hohen Investitionskosten bei der Umstellung auf Elektromobilität [77] werden Sharing Ansätze aus zwei Perspektiven interessant. Aus Sicht der ökologischen Nachhaltigkeit kann durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen eine Verbesserung der Gesamtbilanz herbeigeführt werden [78]. Ebenso wird aus ökonomischer Sicht das Investitionsrisiko minimiert, indem es auf den Sharing-Anbieter abgewälzt wird. Speziell im Bereich der Unternehmensmobilität bieten sich im Corporate Carsharing [79] interessante und nachhaltig erfolgversprechende Geschäftsmodelle an. Dies wurde beispielsweise im Projekt ECoMobility der Technischen Universität Chemnitz untersucht [80]. Für tragfähige Geschäftsmodelle im Bereich der Mobilitätsdienstleistungen ist im Allgemeinen ein möglichst

hoher Nutzungsgrad der Ressourcen notwendig. In aller Regel reicht dazu die exklusive Nutzung durch die ansässigen Unternehmen nicht aus und der Nutzerkreis sollte (nach Verfügbarkeit) für weitere Interessenten geöffnet werden [80]. Solche hybriden Sharingmodelle müssten eine bevorzugte Nutzung durch Unternehmenskunden vorsehen – dies entspricht schließlich dem eigentlichen Zweck des installierten Systems. Sobald entsprechende Ressourcen zur Verfügung stehen, kann der Nutzerkreis erweitert werden. So könnten Fahrzeuge aus dem Sharingpool auch für den Arbeitsweg durch die Mitarbeiter der anliegenden Unternehmen genutzt werden. Ebenso wäre eine Nutzung der Sharingflotte durch Anwohner, vorzugsweise am Wochenende, denkbar.

4.5 Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

An dieser Stelle soll eine kurze Übersicht über mögliche Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im verarbeitenden Gewerbe bzw. der Fabrik im Allgemeinen gegeben werden. In den letzten Jahren hat das Thema durch neue politische Vorgaben und gesellschaftlichen Druck verstärkt Einzug in die betriebliche Praxis gehalten. Dass in einigen Fällen die Potentiale zur Erhöhung der Energieeffizienz noch nicht vollständig genutzt wurden, kann auch mit dem Verhältnis der Energiestückkosten zum Bruttowertschöpfungswert erklärt werden. Wie in der Abbildung 34 zu erkennen ist, ist dieses Verhältnis gerade für wenig bzw. mittel energieintensive Industrien gering (0,8 % bzw. 2,1%). Hinzu kommt ein zumindest bis 2017 sinkender Energiekosten-Index für das verarbeitende Gewerbe [81].

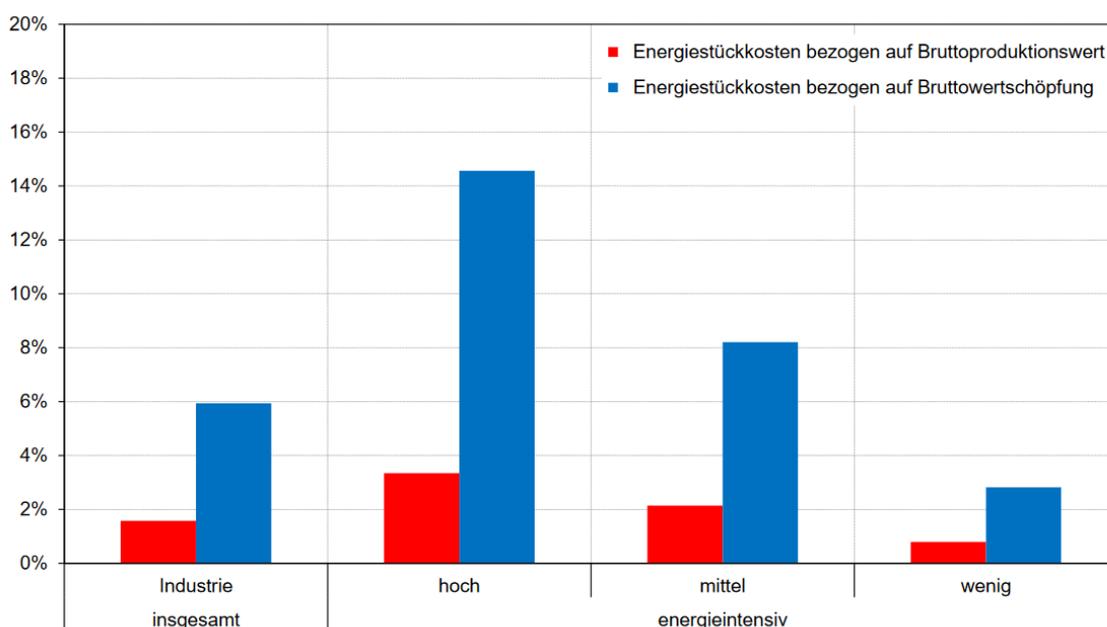


Abbildung 34 - Energiestückkosten auf der Basis von Bruttoproduktionswert und Bruttowertschöpfung, Stand 2017 [81]

Andererseits ist in den nächsten Jahren mit einer Steigerung zu rechnen. So macht die Beschaffung von Strom etwas mehr als die Hälfte der Energiekosten im verarbeitenden Gewerbe aus [81]. Dies ist vor allem auf den starken Anstieg von Steuern und Abgaben zurückzuführen [82].

4.5.1 Maßnahmen auf Unternehmensebene

Es ist auch für weniger energieintensive Unternehmen lohnenswert in Energieeffizienzmaßnahmen zu investieren, zumal mit der Einführung der CO₂-Steuer mit einem weiteren Anstieg der Energiekosten zu rechnen ist. An dieser Stelle sollen generelle Maßnahmen aufgeführt werden, wie die Energieeffizienz in der Industrie gesteigert werden kann. Die hier aufgeführten Konzepte können generell auch auf Handel, Gewerbe und die Dienstleistungsbranche übertragen werden.

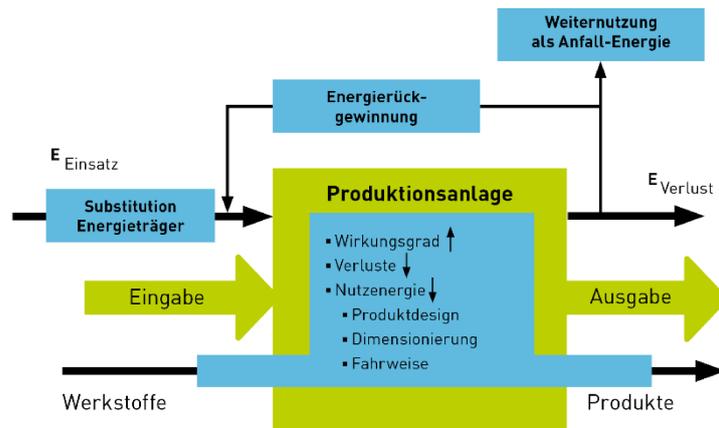


Abbildung 35 - Handlungsansätze Energieeffizienz Produktionsanlage - eigene Darstellung nach [74]

In Abbildung 35 sind Handlungsfelder zur Steigerung der Energieeffizienz dargestellt. Abbildung 36 gibt zu den einzelnen Handlungsfeldern eine Beschreibung bzw. Beispiele für Maßnahmen. Dabei wird auch die Wirkungsebene der Ansätze angegeben. Konkret einsetzbare Technologien finden sich bei Kube et al. (2017) [83].

Energieeffizienzmaßnahmen Industrie		
Nr. Maßnahme	Beschreibung	Ebene
1	Substitution Energieträger z.B. Substitution von Elektroenergie zur Aufbereitung von Warmwasser mit Erdgas. Durch günstigere Primärenergiebilanz (vgl. Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599-1:2011-12)	Produktionsstandort Fabrikgebäude Maschinenebene
2	Energetisch optimierte Dimensionierung Unter der optimalen Dimensionierung ist eine den kommenden tatsächlichen Verhältnissen entsprechende Dimensionierung von Energieerzeugungs-, Energieverteil- und Energienutzungseinrichtungen zu verstehen. Darüber hinaus erzeugt eine über den Bedarf installierte Versorgungsinfrastruktur energetische Leerlaufverluste und unnötige Investitionskosten.	Produktionsstandort Fabrikgebäude
3	Energetisch günstiger Lastgang durch optimierte Auftragssteuerung Bildung von Auftragsblöcken zur Vermeidung von Leerlauf, Teillast und Stand-by-Zeiten, zeitversetztes Anfahren von Fertigungsanlagen	Produktionsbereich
4	Energetisch optimierte Anlagensteuerung Anpassung der Energieaufnahme an die aktuell abgeforderte Leistung, z.B. frequenzgeregelte Steuerung elektrischer Antriebe	Maschinenebene
5	Steigerung des Wirkungsgrads Durch Prozessintegration → Zusammenführen und verkürzen von Produktionsketten Substitution → Auswahl von Anlagen und Anlagenkomponenten (z. B. Elektromotoren) mit einem hohen energetischen Wirkungsgrad Prozesssicherheit/Fehlerrobustheit → Ausschuss und Nacharbeit benötigen zusätzlichen Energieaufwand Sophistication → intelligente Nutzung natürlicher Energie (z.B. natürliche Belichtung und Verschattung)	Produktionsstandort Fabrikgebäude Produktionsbereich Maschinenebene
6	Reduktion von Verlusten Reduktion von Prozesstemperaturen, Verbesserung von Wärmeübertragungsprozessen Verbesserung der Isolation von wärmeleitenden Leitungen und Anlagenteilen Vermeidung von Leckagen Reduktion von unproduktiven Einschaltzeiten (z. B. Stand-by) Reduktion von Reibungsverlusten	Produktionsstandort Fabrikgebäude Produktionsbereich Maschinenebene
7	Energierückgewinnung z.B. Nutzung von Prozessabwärme zum Vorheizen von Bädern, Zuluftströmen etc. Rückgewinnung von Bremsenergie aus elektrischen Antrieben zur Netzzurückspeisung	Produktionsstandort Fabrikgebäude Produktionsbereich Maschinenebene
8	Weiternutzung von Anfall Energie Nutzung der spontan durch freie Konvektion, Strahlung und Wärmeleitung an Räume übertragene Abwärme von Personen, elektrischen Betriebsmitteln etc.	Produktionsstandort Fabrikgebäude Produktionsbereich

Abbildung 36 - Generische Ansätze für Energieeffizienzmaßnahmen in der Industrie - eigene Darstellung nach [84]

4.5.2 Kooperative Maßnahmen

Wie bereits innerhalb des vergangenen Abschnittes angesprochen wurde, kann die ökonomische und ökologische Tragfähigkeit vieler Ressourcen durch eine gemeinschaftlich-geteilte Nutzung erhöht werden. Das Grundkonzept des Sharing geht davon aus, dass Ressourcen (Fahrzeuge, Werkzeuge und weitere Betriebsmittel) einen hohen Anteil ihrer Lebenszeit nicht aktiv genutzt werden.

Die gemeinsame Nutzung verfügbarer Ressourcen bzw. zu erschaffender gemeinsamer Infrastrukturen / Ressourcenbasen sowie die Etablierung geschlossener Stoffströme ist ein großes Potential, welches in Gewerbegebieten durch die räumliche Nähe heterogener Unternehmen, die nicht in direkter Konkurrenz miteinander stehen, anzufinden ist.

Neben Energie stellen Material (inkl. der Minimierung von Abfall), Wasser und Fläche die knappen, möglichst zu schonenden Ressourcen innerhalb von Gewerbegebieten dar [4]. Ein weiterer Faktor für höhere Ressourceneffizienz wird im Bereich der Mobilität gesehen [85]. Abbildung 37 veranschaulicht beispielhaft kooperative Maßnahmen für jedes Handlungsfeld. Einige der hier dargestellten Maßnahmen (z. B. im Bereich der Begrünung) eignen sich auch gut für frühe Phasen im Migrationspfad zum Green Energy Park, da hier die Konfliktpotentiale und der Abstimmungsaufwand als deutlich kleiner eingeschätzt werden können, im Vergleich zu späteren Vorhaben zur energetischen Optimierung. So können kleinere, erfolgreich umgesetzte Projekte das Vertrauen der Akteure untereinander stärken und vertiefte Kooperationen im Energiesektor ermöglichen.

Das Gelingen solcher Kooperationsprojekte basiert dabei auf einem gut funktionierenden Unternehmensnetzwerk (Vertrauen). Dieses bedarf einem koordinierenden und moderierenden Element (Information über Chancen und Möglichkeiten der Maßnahmen), der Unterstützung von kommunaler Seite (Förder- und Investitionszuschussprogramme) sowie der fachgerechten Betreuung bei der Umsetzung. Dass die Teilnahme am Unternehmensnetzwerk und den individuellen sowie gemeinsamen Maßnahmen neben den ökologischen auch wirtschaftliche und Imagevorteile birgt und in einem solchen Netzwerk auch weitere Probleme des Standortes angegangen werden können, ist ein zusätzlicher Punkt, weswegen die teilnehmenden Unternehmen Interesse an der Mitwirkung bekommen können [86].

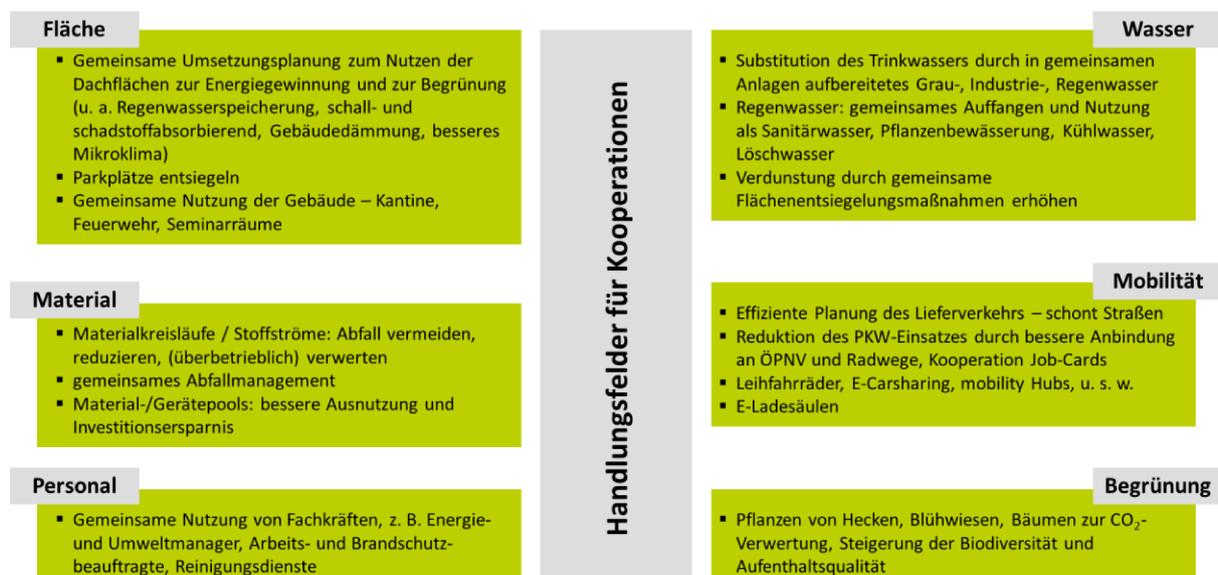


Abbildung 37: Weitere Handlungsfelder im nachhaltigen Gewerbegebiet nach [4, 85, 87–89]

Beispiele für eine Zusammenarbeit von Unternehmen in Gewerbegebieten sind in Abbildung 38 aufgeführt und belegen, dass Kooperationen umsetzbar und ökologisch vorteilhaft sind.

Zero-Emission Park Berlin	Der Zero-Emission Park Berlin baut auf einem Unternehmensnetzwerk mit mehr als 50 Mitgliedern auf. Dort wurden zunächst Energieeffizienzmaßnahmen in einzelnen Unternehmen untersucht und implementiert (u. a. hydraulischer Heizungsabgleich, Umstellung auf LED, E-Ladesäulen, Installation von PV-Anlagen). Auch betriebsübergreifende Potentiale für Kooperationen werden geprüft, Maßnahmen geplant und umgesetzt (Bio-Kläranlagen zur Grauwasserklärung sowie Regenentwässerungssysteme, gemeinsame Kita). Durch umgesetzte Begrünungsmaßnahmen konnten 4 t CO ₂ pro Jahr eingespart werden [4]. Weitere Informationen finden Sie unter: https://www.motzener-strasse.de/unternehmensnetzwerk/ueber-uns/
Green Industry Park Freiburg	Der Green Industry Park Freiburg ist eine 2014 gestartete Initiative zur Entwicklung des Industriegebietes Freiburg-Nord in ein nachhaltiges, energie- und ressourceneffizientes Industriegebiet mit bundesweitem Modellcharakter. Durch die Vernetzung engagierter Betriebe, die Etablierung einzelbetrieblicher Lösungen sowie die gemeinsame Entwicklung neuer Projekte können Einsparpotentiale und Kooperationsmöglichkeiten aufgezeigt und nutzbar gemacht werden. Die Übertragung der Erkenntnisse auf das nächste Freiburger Gewerbegebiet startete in diesem Jahr [90, 91]. Weitere Informationen finden Sie unter: http://www.greenindustrypark-freiburg.de/
Envopark Dahlewitz	Der in privater Hand verwirklichte Gewerbepark „Envopark“ in Dahlewitz (Berlin-Brandenburg) beruht auf einem innovativen Energiekonzept und hat als Zielkunden kleine produzierende Gewerbe und Dienstleister. Eine +wärmegeführte KWK-Anlage (erdgasbasiert) und eine PV-Anlage erzeugen Wärme und Strom für den Gewerbepark. Der Reststrombedarf wird durch Zukauf von einem Ökostromanbieter gedeckt. Ladesäulen für Elektromobilität gehören, wie die gedämmte Hallenbauweise und die LED-Beleuchtung in den Gebäuden, ebenfalls zum Konzept dieses nachhaltig geplanten und verwirklichten Gewerbeparks [92]. Weitere Informationen finden Sie unter: https://www.envopark.de/

Abbildung 38 - Beispiele für Kooperationsprojekte in Gewerbegebieten

Ansätze zur Steigerung der Nachhaltigkeit auf energetischer Ebene finden sich im Anhang (Abbildung 56). Abbildung 39 zeigt einen Ausschnitt daraus. Die Maßnahmen sind dabei nach ihrer Wirkungsebene und der Art der Vorteile kategorisiert.

Maßnahme	Wirkungsebene			Vorteile		Maßnahmenbeschreibung
	Intern	Kooperativ	Kommunal	Ökologisch	Ökonomisch	
Betriebsübergreifendes Stoff- und Energiestrommanagement implementieren		X		X	X	Verwenden von Nebenprodukten bzw. Reststoffen eines Unternehmens in Prozessen eines anderen Bspw.: Energiekaskadierung – energieärmere Prozesse können Energie aus vorgelagerten Prozessen verwenden (z. B. unternehmensübergreifende Abwärmenutzung)

Abbildung 39 - Ansätze zur Steigerung der Nachhaltigkeit in Gewerbegebieten

4.5.3 Abwärmenutzung

Die industrielle Abwärme im Gewerbegebiet birgt das Potential für überbetriebliche energetische Maßnahmen. Abwärme fällt prozessbedingt und zumeist saison- und wetterunabhängig an. Die Ernährungsindustrie, chemische und kunststoffverarbeitende Industrie sowie die Papier- und Metallindustrie sind Beispiele von Branchen mit hohem Aufkommen von Abwärme. Die anfallende Abwärme

sollte entlang der Abwärmekaskade untersucht und ihre Vermeidung bzw. Nutzung daran ausgerichtet geplant werden [93].

Ist nach entsprechender Prüfung das Vermeiden bzw. Senken der industriellen Abwärme nicht (mehr) möglich, sollte sie in jedem Fall nicht ungenutzt bleiben. Zuerst sollten Maßnahmen der Wärmerückgewinnung zur prozessinternen (z. B. Luftvorerwärmung) oder betriebsinternen (z. B. Heiz- und Brauchwassererwärmung) Nutzung evaluiert und verwirklicht werden. Bei einem darüberhinausgehenden Abwärmeüberschuss ist die betriebsübergreifende Nutzung der Abwärme, das heißt die Wärmebedarfe umliegender Unternehmen oder Quartiere zu evaluieren. Die Autoren der NENIA (netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme) Studie kommen zu dem Schluss, dass in Deutschland für die technisch-wirtschaftliche netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme ein Potential in Höhe von 20 TWh/a besteht [94]. Lambauer, Heyen et al. beschreiben die Voraussetzungen (u. a. die Entfernung von Wärmequelle und Wärmesenke, die Wärmemenge sowie die zeitliche Verfügbarkeit) und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, die der Entscheidung bezüglich der überbetrieblichen Abwärmenutzung vorausgehen, am praktischen Beispiel [95].

Im besten Fall ist zur Abwärmeauskopplung ein Wärmenetz in räumlicher Nähe bereits vorhanden. Falls nicht, entstehen für die benötigten Betriebsmittel Investitionskosten, die sich eventuell nur über einen langen Zeitraum amortisieren lassen, wenn mit den Kosten der herkömmlichen bzw. bereits vorhandenen Wärmeenergieanlage des Abnehmers verglichen wird. Weiterhin ist beim Abnehmer eine Ersatzversorgung einzuplanen, mit der das Risiko des Aus- oder Wegfalls der Wärmeenergie aus der Abwärme des Lieferanten verringert wird. Bei entsprechend hohem Temperaturniveau der Abwärme kann die Verstromung hoher Abwärmemengen ein sinnvoller Weg sein, der zur Senkung des Restenergiebedarfs bzw. zur CO₂-Emissionsreduktion führt.

Obwohl die effiziente Nutzung industrieller Abwärme bereits auf der Tagesordnung vieler Kommunen steht, droht die Realisierung derartiger Projekte aufgrund der hohen Kosten und des Risikos der Kooperationspartner oft zu scheitern, da es an den erforderlichen Akteuren, finanzieller Förderung sowie an Fachwissen und Erfahrung fehlt. Diesem Mangel kann durch gezielte und geförderte Informations- und Unterstützungsangebote durch die Energieagenturen abgeholfen werden. Die Deutsche Energieagentur (dena) konnte bei der begleitenden Beratung von Abwärmeprojekten feststellen, dass aufgrund der Komplexität einzelner Maßnahmen und dem damit verbundenen Aufwand für die Unternehmen, diese offen dafür sind, externe „Enabler“ zur Umsetzungsunterstützung in Anspruch zu nehmen [96].

Eine Gewerbegebietsneuerschließung sollte den Anschluss an ein bzw. den Aufbau eines Niedertemperatur-Wärmenetzes mit dazugehörigen Wärmespeichern vorsehen, um sowohl betriebsübergreifend Wärme austauschen als auch Wärme aus erneuerbaren Energien einspeisen und nutzen zu können. Schneller et al. beleuchten die Vorteile und die vorhandenen Hemmnisse dieser innovativen Wärmenetze [97].

Die folgende Abbildung zeigt erfolgreiche Beispiele für die Auskopplung industrieller Abwärme und deren betriebsübergreifende Nutzbarmachung, um nicht regenerierbare Primärenergieträger zur Wärmebereitstellung einsparen zu können.

Kooperationen

Plettenberg, seit 2003	von Verpackungshersteller (novelis) an Freizeitbad; [98]
Koblenz, seit 2012	von Gießerei (Aleris/novelis -Werk) an Malzproduktion der Avangard Malz AG; Projektinfo: https://metalleproklima.de
Singen, seit 2009	von Gießerei (CF Solutions) an Maggi; [99], [4]
Freiburg, seit 2017	von Chemieunternehmen (Cerdia Produktions GmbH) an Messe, Verwaltungsgebäude FWTM, Autohaus, Stadion; [91]

Einspeisung in Fernwärmenetz

Meldorf, seit 2020	Druckerei (Evers-Druck GmbH) mit Biogasanlage; [100]
SW Georgsmarienhütte, seit 2004	Stahlwerk (Georgsmarienhütte GmbH) Projektinfo: www.gmh-gruppe.de
enercity (Hamburg), seit 2018	Metallproduzent (Aurubis AG); [101], [4]
SW Henningsdorf, ab 2022	Elektrostahlwerk Projektinfo: www.henningsdorf.de
SW Karlsruhe, seit 2010	Raffinerie (Mineralölraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG); [102]

Einspeisung in Nahwärmenetz

Meitingen, seit 2017	von SGL Carbon GmbH an Neubausiedlung; [103], [4].
Miltenberg, seit 2017	von Papierfabrik (FRIPA) an Schulen Projektinfo: https://www.papierundtechnik.de
Venne (Venner Energie eG), seit 2015	von Waffelfabrik an 170 angeschlossene Gebäude Projektinfo: www.venner-energie.de
Rheinfelden (Energiedienst), ab 2021	Chemiekonzern (Evonik) Projektinfo: www.energiedienst.de

Abbildung 40 - Beispiele für die Nutzung industrieller Abwärme

4.5.4 Anreizgestaltung auf Mitarbeiterebene

Ein weiterer Ansatz die Energieeffizienz zu steigern, der durchaus auch in Kooperation mit anderen Unternehmen eingesetzt werden kann (z. B. dort, wo Infrastruktur gemeinsam benutzt wird), liegt in Anreizsystemen auf Mitarbeiterebene.

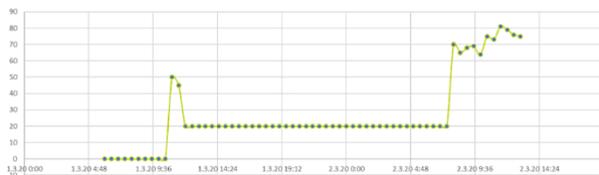
Ein Beispiel zur gezielten Anreizgestaltung für Energieeffizienz ist in Abbildung 41 zu sehen (verfremdetes Praxisbeispiel). Die betreffende Firma ist nach ISO-50001 zertifiziert und muss daher regelmäßig Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz durchführen. Nach der Implementierung vieler technischer Maßnahmen (z. B. Einsatz effizienterer Maschinen und Komponenten), wurde erkannt, dass auf Ebene der Mitarbeiter noch erhebliches Potential für Energieeinsparungen besteht. Im konkreten Fall geht es um das Einschalten der Maschinen, bevor diese wirklich benötigt werden. Es handelt sich hier um energieintensive Prozesse, wobei der "Standby-Betrieb" bereits einen vergleichsweise hohen Strombedarf hat (Halten einer bestimmten Temperatur im Ofen). Durch ein späteres Einschalten der Maschinen kann der Gesamtenergiebedarf signifikant verringert werden.

Informationen zu unserem Energiemanagement

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

Seit vier Jahren betreiben wir erfolgreich unser Energiemanagement. Eine Anforderung, um unsere Zertifizierung aufrecht zu erhalten ist die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen. Das Ziel mit technischen Mitteln zu erreichen wird zunehmend schwierig.

Insbesondere die Maschinenbediener haben aber einen großen Einfluss auf unseren Verbrauch und können uns somit helfen unsere Energieeffizienzkennzahlen zu erreichen. Hier ein Beispiel:



Ofen wird am 01.03 11:00 Uhr eingeschaltet und auf Einfahrttemperatur gehalten. Die erste Charge geht aber erst am nächsten Tag um 08:00 Uhr rein.

Stromverbrauch in dieser Zeit = 800 kWh (ein durchschnittlicher 4-Personenhaushalt braucht in Deutschland dafür 2,5 Monate)



Ofen wird nicht gebraucht und 21:30 Uhr ausgeschaltet bis er am nächsten Tag um 18:00 Uhr wieder gebraucht wird

Stromverbrauch in dieser Zeit: Nix

Wir können also was tun, macht bitte mit! Danke!

Abbildung 41 - Beispiel Anreize auf Mitarbeiterebene

Um das erwünschte Verhalten der Mitarbeiter (die Maschine erst dann einschalten, wenn sie benötigt wird) zu erzielen, wird ein Nudging eingesetzt. Weitere Formen von Anreizsystemen sind monetäre Anreize oder Gamification. Gamification-Ansätze werden auch in der Industrie diskutiert. Als Gamification wird dabei die Nutzung von Designelementen aus Spielen in einem anderen Kontext bezeichnet [104]. Solche Elemente können gezielt gesetzte Herausforderungen, Interaktivität, ein Regelset, zählbare Ergebnisse oder emotionale Reaktionen sein [105].

Nudges sind Ansätze, die Personen in eine bestimmte Richtung steuern, ihnen aber den Freiraum lassen eigene Wege zu gehen [106]. Damit soll das Verhalten von Menschen ohne Verbote und Gebote oder ökonomische Anreize verändert werden. Es können zehn Arten von Nudges unterschieden werden [106]. Das konkrete Beispiel kann der Kategorie 5 - Disclosure (deutsch: Offenlegung) zugeordnet werden. Hier werden die ökologischen Kosten des „falschen Verhaltens“ klar dargestellt, indem der Energiebedarf dem eines 4-Personenhaushalts gegenübergestellt wird. Damit wird den Mitarbeitenden deutlich und für alle vorstellbar gezeigt, welche Auswirkungen ihr Handeln hervorruft. Evans et al. (2017) geben einen Überblick über die empirischen Beweise, dass Nudging zu einer nachhaltigeren Verhaltensweise führen kann [107]. In vielen Versuchen wurde gezeigt, dass Nudging ohne großen Ressourcenaufwand umsetzbar ist und tatsächlich zu Verhaltensänderungen führt. Zur Identifizierung geeigneter Nudges kann unternehmensexterne Hilfe nützlich sein. Geschäftsmodelle eines potentiellen Betreibers eines Gewerbegebiets können mit der Thematik Nudging angereichert werden. Die Identifizierung und Umsetzung von Nudges zur Steigerung der Energieeffizienz kann eine weitere Dienstleistung des Betreibers sein, um langfristig den Energiebedarf des gesamten Gewerbegebiets zu senken.

Bei dem in Abbildung 41 gezeigten Nudge ist es denkbar, diesen Ansatz hin zur Anreizsetzung durch Gamification auszubauen. Denkbar wäre z. B. ein Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Schichten (Drei-Schicht-System). Es kann davon ausgegangen werden, dass Anreize durch Gamification eine gute Wirkung auf das Energiekonsumverhalten der Nutzer haben können, im Bereich der E-Mobilität wurde dies bereits gezeigt [108]. Verglichen mit monetären Anreizen, bieten Nudging und Gamification den Vorteil, dass keine oder nur sehr geringe laufende Kosten entstehen.

5 Validierung

Die Kenntnis der nötigen Technologien zur Gestaltung einer nachhaltigen Energieversorgung auf Gewerbegebietsebene ist ein Baustein der Phase C des Migrationspfades. Mit diesen Informationen kann eine Vorauswahl der zu nutzenden Technologien und Konzepte erfolgen. Weitere Schritte in der Phase C sind die Erstellung der Energieversorgungskonzepte auf Basis der Nutzeranforderungen, deren Validierung und wenn möglich die Ableitung und Definition geeigneter Geschäftsmodelle. Die Validierung wiederum gliedert sich in die Teilbereiche technische/ energetische Umsetzbarkeit sowie in die ökonomische und ökologische Bewertung. Bevor auf die Validierung eingegangen wird, soll kurz das Thema Geschäftsmodelle angerissen werden.

5.1 Neue Geschäftsmodelle

Nachdem ein Überblick über die Handlungsfelder und Energietechnologien für die Umwandlung eines Gewerbegebiets in einen Green Energy Park gegeben wurde, gehen die nachfolgenden Abschnitte auf die Umsetzung der Handlungsschritte des Migrationspfades mittels tragfähiger Geschäftsmodelle ein.

Definition, Verfahrensablauf und Beispiel für Geschäftsmodellentwicklung

Das Geschäftsmodell bildet die „Grundlogik“ eines Unternehmens [109]. Darin enthalten ist die Beschreibung, wie welcher Nutzen für Kunden und Partner generiert wird und wie dieser Nutzen in Form von Umsätzen an das Unternehmen zurückfließt [109], [101].

Zur Erarbeitung eines neuen Geschäftsmodells kann sich an dem von Schallmo entwickelten Vorgehensmodell, das aus insgesamt sechs Phasen besteht, orientiert werden (Siehe Abbildung 42).

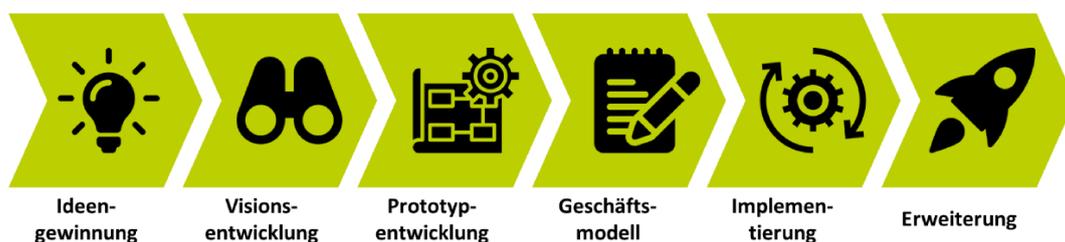


Abbildung 42 - Geschäftsmodellentwicklung nach Schallmo [109]

Die im Rahmen des Projekts GRIDS aufgestellten vier Migrationsschritte zum Green Energy Park sind als Ideen für Geschäftsmodelle zu sehen, die weiter ausformuliert in eine Geschäftsmodellbeschreibung und durch Einbettung der Kundenanforderungen und zukünftiger Entwicklungen in eine Geschäftsmodellvision münden. Die Geschäftsmodellvision wird zu einem Prototyp entwickelt, indem die in Abbildung 43 zu sehenden Dimensionen mit ihren Elementen formuliert und miteinander kombiniert werden. Diese konstruierten Prototypen müssen bewertet werden. Als besonderes Augenmerk muss deren ökonomische Tragfähigkeit geprüft werden. Unter Tragfähigkeit ist in diesem Zusammenhang kein Optimum zu verstehen. Vielmehr geht es darum, dass das Geschäftsmodell auch langfristig nachhaltig betrieben werden kann, indem eine ökonomische Vorteilhaftigkeit gegenüber dem bisherigen Versorgungskonzept erwirtschaftet wird. Kapitel 5.3 stellt ein Vorgehen dar, wie die ökonomischen und ökologischen Kennzahlen zur Ermittlung der Vorteilhaftigkeit der Geschäftsmodelle ermittelt werden können. Nach der Bewertung kann der erfolgversprechendste Prototyp ausgewählt und

aus diesem das konkrete Geschäftsmodell entwickelt werden. Hierbei werden alle Dimensionen weiter konkretisiert, kritische Erfolgsfaktoren abgeleitet und ein Führungsinstrument entwickelt. Es folgt die Implementierung des Geschäftsmodells und im Nachgang die mögliche Geschäftsmodellanpassung bzw. -erweiterung.

Die Beschreibungen zu den Schritten des exemplarischen Migrationspfades stehen in Abbildung 44.

Dimensionen	Elemente	
Definition / Erklärung	Geschäftsmodell Vision	
Kundendimension	Bedürfnisse	Einheiten
	Nutzen	Kundenkanäle
	Zahlungsbereitschaft	Kundenbeziehungen
Nutzendimension	Preise	
	Kernleistung	Int. Projektmanagement
	Systemleistung	Emotionales Profil
	Sortimentleistung	Deckungsbeitrag
Wertschöpfungsdimension	Integrationsleistung	Technologie
	Dienstleistung	Nutzen
	Ressourcen	Partner
	Leistung	Strategische Bedeutung
Partnerdimension	Fähigkeiten	
	Geeignete Partner	Distributionskanal
	Partnerkanal	Servicekanal
	Kommunikationskanal	Partnerbeziehungen
Finanzdimension	Beschaffungskanal	
	Umsätze	Kosten

Abbildung 43 - Dimensionen und Elemente von Geschäftsmodellen

Handlungsschritt	Geschäftsmodellbeschreibung
Energiepooling	Die gebündelte Beschaffung von Energie durch einen Energiedienstleister ermöglicht Kostensenkungspotentiale.
Ausbau und Nutzung regenerativer Energien mit möglicher Einbindung von Speichern	Durch das Nutzen des im Gewerbegebiet vorhandenen Dachflächenpotentials für den Bau und den Betrieb von Photovoltaikanlagen und den Eigenverbrauch bzw. die Direktlieferung des erzeugten Stroms an die Unternehmen des Gewerbegebiets werden sowohl ökonomische (Netzstromkosten einsparen durch Nutzen des günstigeren PV-Stroms) als auch ökologische (Strommix-CO _{2e} -Einsparung) Vorteile generiert.
Zentrale Bereitstellung von Druckluft (mit integrierter Abwärmenutzung)	Der Aufbau und Betrieb einer zentralen Druckluftherzeugung und -aufbereitung sowie -speicherung und -verteilung zu den Unternehmen führt einerseits zu Energieeinsparpotentialen, wodurch Unternehmenskosten und Emissionen gesenkt werden können. Zum anderen dient das Outsourcing dieser Energiebereitstellung den Unternehmen der Fokussierung auf ihre primäre Geschäftstätigkeit.
Nutzerübergreifendes Last(spitzen)management	Durch Identifikation potentieller last- und zeitflexibler Verbraucher in den Unternehmen kann die Jahreshöchstlast im Gewerbegebiet verringert werden, indem durch ein Lastmanagementsystem (manuell oder automatisch) die steuerbaren Verbraucher zu- oder abgeschaltet werden.

Abbildung 44 - Zusammenhang Handlungsschritte - Geschäftsmodellbeschreibung

Für die erfolgreiche Einführung und den nachhaltig erfolgversprechenden breiten Einsatz eines neuen Geschäftsmodells müssen Erfahrungswerte für die Nutzergruppen bzw. Unternehmen geschaffen werden, wodurch die Akzeptanz bei weiteren potentiellen Nutzergruppen signifikant erhöht wird [80]. Für die Unternehmen muss durch die Geschäftsmodelle mindestens ein genauso hoher Nutzen entstehen wie durch die herkömmlichen Versorgungskonzepte. Der Nutzenvorteil kann vor allem über Kosten- und Aufwandseinsparungen, sowie durch die weiterhin angestrebte Reduzierung klimaschädlicher Emissionen im Vergleich zu den bestehenden Technologien generiert werden.

Integrierte Geschäftsmodelle

Die individuellen Geschäftsmodelle für einen Green Energy Park besitzen das Potential zur integrierten Umsetzung. Ein Konzept, das die integrierte Umsetzung mehrerer Geschäftsmodelle vorsieht, würde von deren Wechselwirkungen sowohl in ökonomischer als auch ökologischer Hinsicht profitieren. Durch die Integration der Geschäftsmodelle wird der Kundennutzen erhöht und ein tragfähiges Ge-

samt-konzept entsteht. Empirische Analysen vorhandener erfolgreicher Geschäftsmodelle und Forschungsprojekte in anderen Bereichen haben gezeigt, dass die besten Aussichten für ein nachhaltig ökonomisch sinnvolles Geschäftsmodell bei Bündelung von Dienstleistungen bestehen [80]. Abbildung 45 stellt die Wechselwirkungen der beschriebenen Geschäftsmodelle zur Energieversorgung in Gewerbegebieten dar [72].

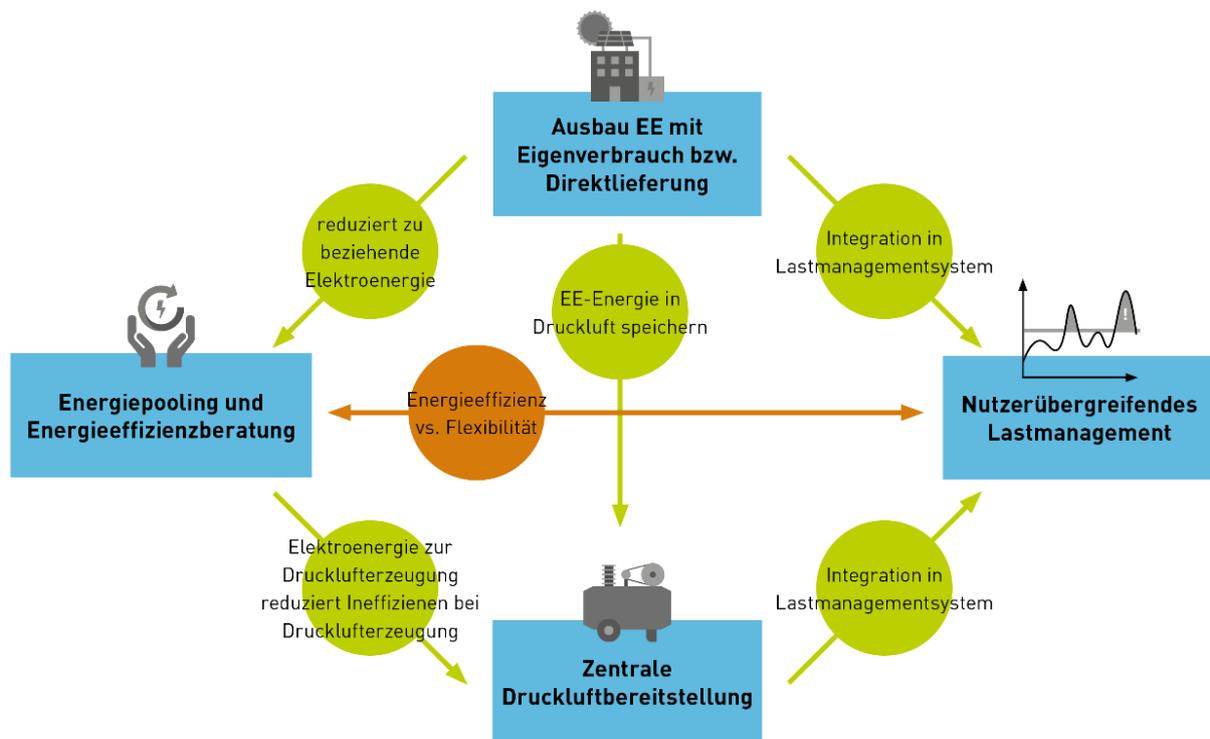


Abbildung 45 - Wechselwirkungen der integrierten Geschäftsmodelle

5.2 Technische Umsetzbarkeit

Für die energetische Kooperation gilt es, eine entsprechende Infrastruktur innerhalb des Gewerbegebiets zu errichten und die verschiedenen Energieerzeugungsanlagen, Speichermöglichkeiten und Transportnetze mit den ansässigen Unternehmen zu verknüpfen. Dabei sollten im Zuge des Sektor-kopplungs-Gedankens die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr verknüpft und möglichst dekarbonisiert werden. Diese Versorgungskonzepte können insbesondere bei neu zu errichtenden Gewerbegebieten mit in die Konzeptionierung einfließen. Es ist jedoch auch möglich, diese Konzepte nachträglich in bestehende Gewerbegebiete zu implementieren, auch wenn dies mit einem größeren Aufwand verbunden ist.

Generell gilt es, für jeden Standort die vorliegenden Gegebenheiten sowie die Interessen der Stakeholder zu betrachten, um anschließend die passendsten Technologien zu kombinieren. Die nachfolgende Auswahl an Anlagen (Abbildung 46) stellt lediglich ein Beispiel dar, welches konkret im Rahmen des Projekts GRIDS erstellt wurde. Zu beachten ist dabei, dass alle gezeigten Bestandteile, mit Ausnahme des öffentlichen Stromnetzes, gewerbeparkeigen sein können.

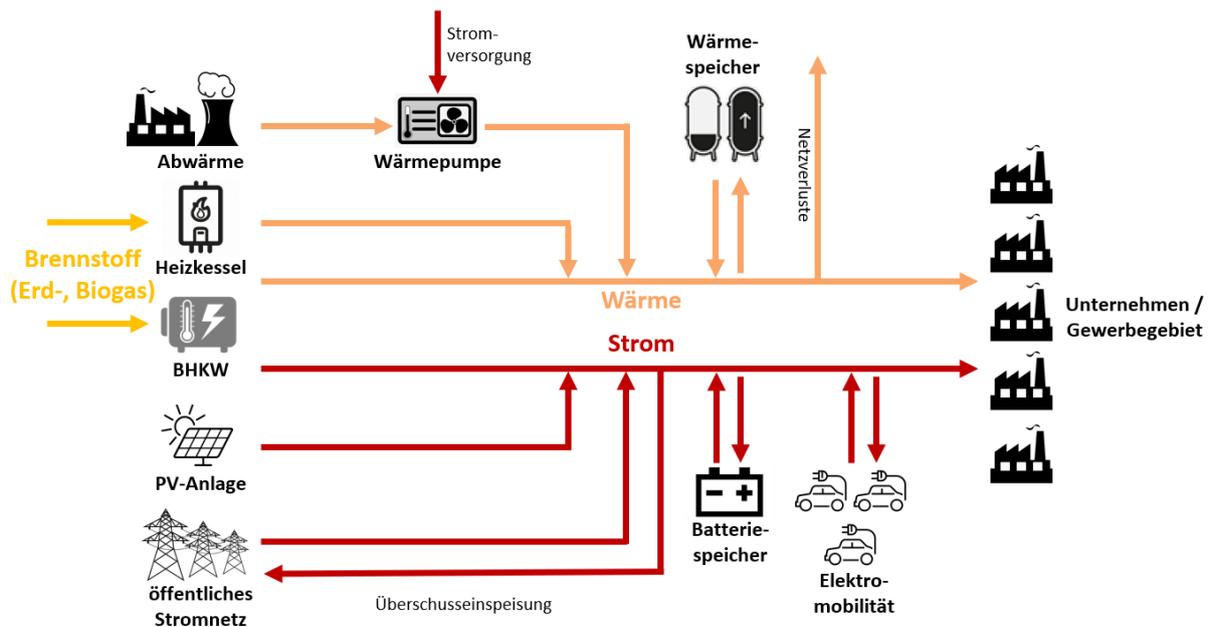


Abbildung 46 - Potentielles Energieversorgungssystem

Die Wärmeversorgung der Unternehmen könnte hierbei durch ein zentral installiertes BHKW ergänzt werden, um die Grundlast des Wärmebedarfs decken zu können. Außerdem erlangt das Wärmeversorgungssystem durch die Möglichkeit der anpassungsfähigen Fahrweise eine gewisse Flexibilität, da sich die Anlage schnell hoch- und herunterfahren lässt, um auf etwaige fluktuierende Einspeisungen reagieren zu können. Dabei wird die erzeugte thermische Energie über ein benötigtes Wärmenetz an die ansässigen Unternehmen verteilt. Weiterhin ist zu prüfen, ob es technologisch und wirtschaftlich sinnvoll ist, im Gewerbegebiet ungenutzte Abwärme aufzuwerten und dem Wärmenetz sowie letztendlich den Unternehmen zuzuführen. Die Aufwertung wird meist über Wärmepumpen vorgenommen, welche die thermische Energie auf das notwendige Temperaturniveau anheben. Der restliche Wärmebedarf sowie mögliche Lastspitzen können gewohnt mithilfe von Heizkesseln oder elektrisch in den jeweiligen Unternehmen ausgeglichen werden. Damit eine flexiblere und effizientere Nutzung der Technologien erreicht werden kann, sollte bestmöglich ein Wärmespeicher installiert werden.

Bezüglich des Stromversorgungssystems innerhalb von Gewerbegebieten besteht insbesondere ein großes Potential, die meist ungenutzten Dachflächen der Firmen mit PV-Anlagen auszustatten und darüber regenerativ erzeugte elektrische Energie zu erzeugen und zu nutzen. Da die Energieerzeugung der PV-Anlagen speziell einer Tages-Nacht-Fluktuation unterliegt, bietet sich hierbei die Installation von Batteriespeichern an. Eine weitere Variante ist es, einen Fuhrpark aus E-Fahrzeugen am Standort vorzuhalten, um diesen als zusätzlichen Speicher für die elektrische Energie zu verwenden. Weiterhin kann der durch das meist wärmegeführte BHKW erzeugte Strom an die Firmen distribuiert werden oder dem öffentlichen Stromnetz zugeführt werden.

Die Überprüfung der technischen Funktionalität und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit wird vor der Realisierungsphase durchgeführt. Dafür können verschiedene Methoden, wie bspw. Machbarkeits-, Kosten-Nutzen-Analyse, Wirtschaftlichkeitsberechnung sowie Modellierung & Simulation angewendet werden [110].

Im Projekt GRIDS wurde die Modellierung und Simulation genutzt, hauptsächlich um die entstehenden Energieströme zu ermitteln, die dann in die ökonomische und ökologische Bewertung einfließen. Außerdem können diese Werte genutzt werden, um die Belastung der vorhandenen Netze zu simulieren (bspw. mit dem Tool PowerFactory) oder einzelne Komponenten zu dimensionieren. Bei der Modellierung von Energiesystemen gilt es zunächst, ein physikalisches Modell vom realen System abzuleiten.

Im Energiesektor wird dieses aus bestehenden Transport-, Umwandlungs-, und Verarbeitungsprozessen von Energie und Informationen entwickelt und kann je nach Detaillierungsgrad durch den Modellierer in seine Teilsysteme zerlegt werden. Im zweiten Schritt wird aus dem physikalischen Modell ein mathematisches Modell hergeleitet. Dieses kann entweder deduktiv, durch die Umsetzung physikalischer Gesetzmäßigkeiten, oder induktiv durch die Wiedergabe vom beobachteten Verhalten des Systems, hergeleitet werden. Bei der Modellierung wird in diesem Schritt mitunter aufgrund der unvollständigen Datenlage bzw. Unkenntnis der Prozesse auf vereinfachte Annahmen zurückgegriffen, die einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität des Modells haben. Angesichts der fortgeschrittenen technologischen Möglichkeiten sind heutige Softwaresysteme in der Lage, mathematische Modelle automatisch in ein computerimplementiertes Modell zu transformieren. Im einfachsten Fall erfolgt die Formulierung des mathematischen Modells über vorkonfigurierte Lösungsalgorithmen, die anhand von aufrufbaren Funktionen bzw. grafischen Modellbeschreibungssprachen implementierbar sind [111].

Anschließend generiert die Durchführung der Simulation das Verhalten des Modells. Damit sollen gezielte Aussagen in bestimmten Situationen getroffen werden, die in der Realität nur schwer darzustellen sind [112]. Entscheidend sind neben den eingegebenen Steuergrößen die Störgrößen aus der Umgebung, die entweder a priori bekannt sind oder innerhalb des Systems generiert werden können. Hinzu kommt bei dynamischen Modellen ein zu definierender Zeitbezug, der aus Startzeitpunkt und Simulationsdauer besteht [111]. Beispielhafte Ergebnisse der Simulation sind in Abbildung 47 zu sehen. Gezeigt wird beispielsweise die Entladeleistung von Batteriespeichern und der Füllstand eines Wärmespeichers. Anhand dieser Ergebnisse kann eine detaillierte Dimensionierung der Komponenten erfolgen.

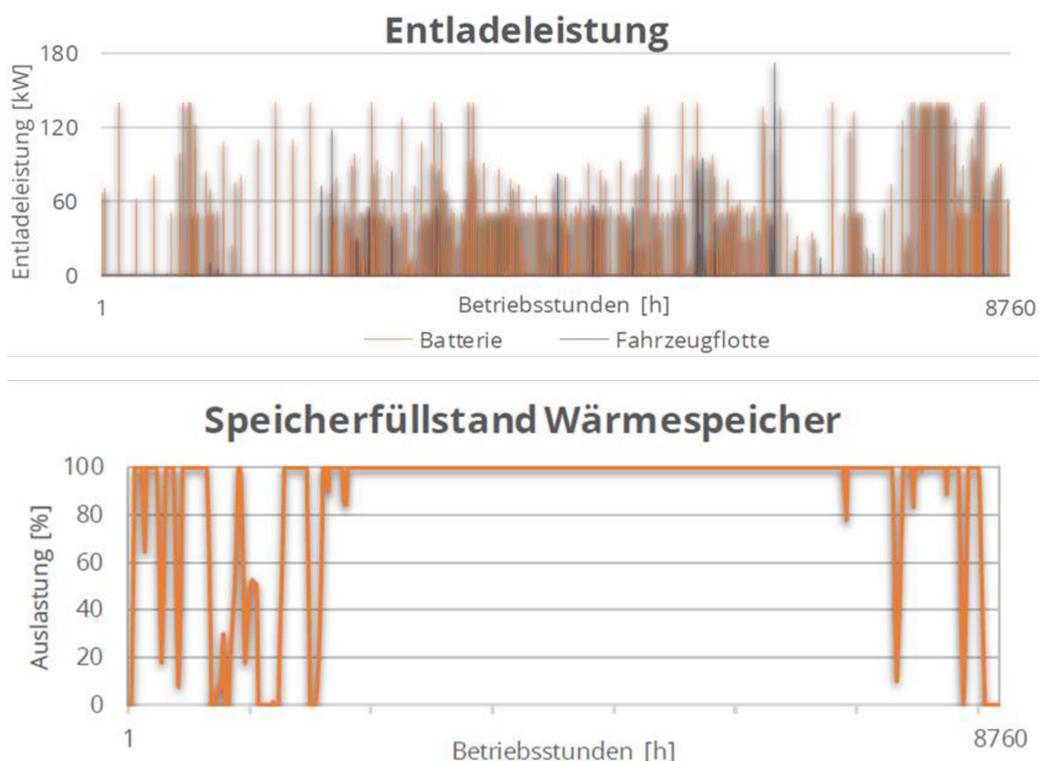


Abbildung 47 - Simulationsergebnisse

LCC bestimmten Umweltwirkungen bzw. Kosten des Ausgangsversorgungskonzeptes und der alternativen Konzepte, kann die ökologische und ökonomische Vorteilhaftigkeit der Konzepte festgestellt sowie die Entscheidungsfindung aus dieser Hinsicht unterstützt werden.

Werkzeug zur Ermittlung der lebenszyklusbasierten Kennzahlen der Szenarien

Für die Durchführung der integrierten LCC-LCA-Analyse des bestehenden und der alternativen Konzepte für die Energieversorgung von Gewerbegebieten wurde ein Microsoft-Excel basiertes Bewertungswerkzeug aufgebaut und eingesetzt. In diesem werden die Elemente der Energieversorgungssysteme erfasst und mit Hilfe der entsprechenden Grunddaten die Kennzahlen, lebenszyklusbasierte Energieversorgungskosten, -barwerte sowie CO_{2e}-Emissionen ermittelt. Die Eingabe- und Grunddaten für die Bewertung der Szenarien zeigt die Übersicht in Abbildung 49.

Szenario	Daten / Parameter	Bemerkungen
Referenzszenario: Eingabedaten Für jedes im Gewerbegebiet ansässige Unternehmen	Unternehmensname	
	Energieträger	Elektroenergie oder Erdgas
	jährliche Lastspitze	in kW
	jährliche Energiemenge	in kWh
	Eintragung, ob Teilnahme am Pooling	Auswahl: ja / nein
	ggf. Technologie der im Unternehmen vorhandenen Energieerzeugungsanlagen (EEA)	Photovoltaik, Kleinwindanlage (KWEA), BHKW, Solarthermie
	installierte Leistung der EEA	in kW oder m ² (betrifft Solarthermie)
	∅ jährlich erzeugte Energiemenge	Mittels hinterlegter Grunddaten oder konkrete Werte
	Nutzung der Energiemenge Kategorien: Eigenverbrauch, abgegrenzte Drittmenge, Einspeisung in öffentliches Netz	Prozente oder absolute Mengen eintragen
	Einspeisevergütung	in €/kWh (z. B. 0,065 €/kWh)
Grunddaten / Einstellungen (angenommen oder ermittelt) Für die Bewertung Ausgangsszenario und weitere Szenarien	Länge des Betrachtungszeitraums	z. B. 30 Jahre
	Kalkulationszinssatz (erwartete Verzinsung des eingesetzten Kapitals)	z. B. <i>i</i> : 5 %
	Preiskomponenten der beschafften Energieträger (Elektroenergie, Gas)	beruht auf Daten des regionalen Versorgers
	jährliche Veränderung Energiepreise	z. B. <i>p</i> : 2 %
	CO _{2e} -Faktoren der beschafften Energieträger	in g _{CO2e} /kWh
	Mittel- & langfristige jährliche Senkungsrate der CO _{2e} -Faktoren der beschafften Energieträger	z. B. <i>s</i> : -5 %
	Investitions- (CAPEX), Betriebs- (OPEX), Recyclingkosten je EE-Technologie	in €/kW bzw. €/kWh
	Nutzungsdauer je EE-Technologie	z. B. 30 Jahre (für Photovoltaik)
	Veränderung der Investitionskosten bei Ersatzinvestition bzw. jährliche Steigerung der Betriebskosten	z. B. -30 % bzw. <i>opex</i> : 1,5 %
	CO _{2e} -Emissionen der Herstellung, des Betriebs und des Recyclings je Technologie	in kg _{CO2e} /kW bzw. g _{CO2e} /kWh
	Veränderung der Herstellungsemissionen bei Ersatzinvestition	z. B. -35 %
	Info, ob CO ₂ -Emissionskosten ermittelt werden sollen	Auswahl: ja / nein
	Betrag der CO ₂ -Emissionskosten	in €/t _{CO2e} (z. B. 50 €/t _{CO2e})

Abbildung 49 - Erforderliche Eingabedaten und Grunddaten

Abbildung 50 enthält einen Ausschnitt über weitere Parameter, die für die Bewertung der alternativen Szenarien benötigt werden.

Szenario	Daten / Parameter	Bemerkungen
Energiepooling	Prozentuale Änderung der Energieträgerpreise	z. B. Arbeitskosten -3 %
EE-Ausbau	geplante EEA-Leistung, Eigenverbrauchs-, abgegrenzte Dritt- und Überschussmengen der Unternehmen bzw. im GG	Im Tool ist eine eigenständige Tabelle zu befüllen, in der zu den Bestandsanlagen die je Unternehmen bzw. im Gewerbegebiet zusätzlich installierten EEA eingetragen werden
Druckluftversorgung (Energieeffizienz)	Prozentual erreichbare Energiebedarfsenkung	z. B. -5 %
Lastspitzenmanagement	Prozentuale Senkung der Lastspitze im Gewerbegebiet	z. B. -10 %

Abbildung 50 - Daten / Parameter für die Bewertung der Versorgungsszenarien

Ergebnisse der Bewertung

Zunächst sind die ökonomischen Ergebnisse stark abhängig von den erfassten EE-Grunddaten (Nutzungsdauer, Investitions- und Betriebskosten der Energieerzeugungsanlage). Weiterhin haben im Falle von stromerzeugenden Anlagen die Eigenverbrauchsquoten entscheidende Auswirkungen auf das ökonomische Bewertungsergebnis, da die reduzierte EEG-Umlage (40 %), die für den eigenverbrauchten Strom zu entrichten ist, den größten Hebel für die Wirtschaftlichkeit der EEA darstellt.³

Auch die Höhe der ökologischen Vorteilhaftigkeit des EE-Ausbaus im Gewerbegebiet erhöht sich mit steigenden Verbrauchsquoten. Zur Steigerung der Verbrauchsquote im Gewerbegebiet können batteriebasierte Speichertechnologien zum Einsatz kommen. Allerdings sollten diese nur soweit hinzugefügt werden, dass die herstellungsbedingten CO₂-Emissionen der Speicher die Höhe der hierdurch zusätzlich eingesparten Netzstromemissionen nicht übertreffen. In jedem Fall können jedoch mit den momentanen Preisen für Batteriespeicher die Investitionskosten noch nicht durch die zusätzlich bewirkten Einsparungen der Energiebezugskosten amortisiert werden. Das heißt, die ökonomische Vorteilhaftigkeit sinkt beim Einsatz von Speichern im Vergleich zu einem Szenario ohne Speichereinsatz. Dennoch kann die ökonomische Vorteilhaftigkeit des Szenarios mit Speichereinsatz gegenüber dem Ausgangsszenario weiterhin gegeben sein.

Aus ökonomischer Sicht ist es am sinnvollsten, die Dimensionierung der EE-Anlagen je Unternehmen bzw. im Gewerbegebiet auf eine möglichst hohe Verbrauchsquote hinwirkend vorzunehmen. Mit dem entwickelten Bewertungstool können die Ergebnisse für Szenario-Varianten mit verschiedenen Leistungswerten bestimmt werden, welche die vorteilhafteste Leistung erkennbar machen. Dies verdeutlicht die nachfolgende Tabelle.

Die Wirtschaftlichkeit einer Anlage ist gegeben, wenn die über die EEA-Nutzungsdauer erreichbaren Einsparungen der Elektroenergiekosten, vermindert um die Betriebskosten der Anlage, die anfänglich angefallenen Investitionskosten decken. Dann ist die Anlage amortisiert und die Investition hat einen Kapitalwert von 0 erreicht. Investitionen mit dem höchsten (positiven) Kapitalwert gelten als am vorteilhaftesten.

³ Abschnitt 5.4 erläutert u. a. den für die Wirtschaftlichkeit entscheidenden Aspekt des Eigenverbrauchs aus EEG Perspektive

Basierend auf den bisher hinterlegten EE-Grunddaten werden die erreichbaren Kapitalwerte verschiedener beispielhafter PV-Leistungen bei dem mit ihnen (ohne Speichereinsatz) erreichbarem Eigenverbrauch im Gewerbegebiet bestimmt.⁴ Es ist zu erkennen (Abbildung 51), dass die Verbrauchsquote zwar mit zunehmender EEA-Leistung sinkt, der erzielbare Kapitalwert der Anlage mit 3.500 kW_p jedoch deutlich höher ist als bei der Anlage mit der geringeren Leistung (und höherem Eigenverbrauch).

EEA-Leistung (PV)	max. Verbrauchsquote Gewerbegebiet	Kapitalwert
1.800 kW _p	86,81 %	867.937,86 €
3.500 kW _p	79,77 %	1.222.786,52 €
5.000 kW _p	70,16 %	839.800,23 €
8.000 kW _p	50,95 %	-1.558.607,54 €

Abbildung 51 - Vergleich EEA-Leistung

Die Anlagen amortisieren sich nach 20 bzw. 22 und 25 Jahren. Die Amortisationszeit würde sich verkürzen, indem die Anlagen kleiner und demzufolge der Eigenverbrauch prozentual höher wären. Die kürzeste Amortisationsdauer beträgt bei 100 % Eigenverbrauch 17 Jahre. Weiterhin ist zu beachten, dass bei den Berechnungen keine Subventionen oder sonstige Förderungen einbezogen wurden. Somit stellt der hier ermittelte Amortisationszeitpunkt eher die zu erwartende Obergrenze im Beispiel-Gewerbegebiet in Limbach-Oberfrohna dar. Zu bestehenden Fördermöglichkeiten informiert Sie das Kapitel 6.

Die im Bewertungstool bisher hinterlegten Grunddaten zu Investitions- und Betriebskosten von Photovoltaikanlagen sowie sämtliche anderen EE-Technologien müssen vor einem tatsächlichen Einsatz in der Bewertung mit realen Angebotsdaten validiert bzw. aktualisiert werden, da die Beschaffungskosten variieren können. So kann bei Photovoltaikanlagen von weiter sinkenden Preisen ausgegangen werden [38]. Danach sind eventuell höhere Kapitalwerte und kürzere Amortisationsdauern erreichbar.

5.4 Hemmnisse bei der Umsetzung

Der wünschenswerte Zustand einer gemeinsamen Erzeugung und Nutzung von Energie im Gewerbegebiet ist im Falle des Energieträgers Elektroenergie aufgrund der geltenden Gesetzgebung derzeit wirtschaftlich nicht tragfähig. Die Vision, eine EEA zur Stromerzeugung durch eine natürliche oder juristische Person betreiben zu lassen, die den Unternehmen die EE-Erträge in Form von Direktlieferungen innerhalb des Gewerbegebiets zur Verfügung stellt, ist momentan nicht umsetzbar. Das liegt daran, dass die EEG-Umlage zu 100 % anfällt. Zusätzlich, im Fall der Durchleitung des Stroms durch das öffentliche Netz (wenn keine Kundenanlage bzw. geschlossenes Verteilernetz im Gewerbegebiet existiert) können Netznutzungsentgelte und -umlagen zu zahlen sein. Diese können die über die EEA-Nutzungsdauer erreichbaren Einsparungen vermindern, sodass die zu Beginn angefallenen Investitionskosten nicht gedeckt werden können. Demzufolge hätte die Investition einen negativen Kapitalwert.

Der wirtschaftliche Fall, also ein positiver Kapitalwert, tritt nur dann ein, wenn jedes Unternehmen die Anlagen zur Stromerzeugung selbst betreibt und den Anlagenenertrag mit möglichst hoher Quote selbst verbraucht. Hierbei fallen nur 40 % der EEG-Umlage je kWh EE-Strom an. Der nicht eigenverbrauchte Überschussstrom kann den angrenzenden Unternehmen in Form einer Direktlieferung bereitgestellt werden. Dies wirkt sich in jedem Fall weiterhin positiv auf die Wirtschaftlichkeit der EEA aus, jedoch ist der Einsatz entsprechender Messtechnik zur Abgrenzung der Strommengen eine notwendige Voraussetzung. Zudem werden Anlagenbetreiber im Fall der Direktlieferung entsprechend §3 Abs. 18 EnWG zu Elektrizitätsversorgungsunternehmen und haben (den zeitlichen Aufwand erhöhende) Melde- und Berichtspflichten gegenüber dem Übertragungsnetzbetreiber einzuhalten [114].

⁴ Der Eigenverbrauch wurde mittels eines Energiemodells des Gewerbegebiets in der Software TopEnergy™ simuliert.

Wird keine Direktlieferung des Überschussstroms vorgesehen, bzw. verbleibt dennoch ein EE-Ertragsüberschuss, wird dieser in das öffentliche Netz eingespeist. Hierbei ist zu beachten, dass ab einer hinter einem Netzanschlusspunkt liegenden Anlagenleistung von 750 kW_p die EEG-geförderte Einspeisevergütung nur noch mittels Teilnahme am Ausschreibungsverfahren erlangt werden kann. Im Falle eines Zuschlags kann der Energieertrag dann nicht mehr eigenverbraucht werden. Nach §24 EEG beträgt die maximale (Gesamt-)Leistung der innerhalb von 12 Monaten in Betrieb genommenen Erzeugungsanlagen hinter einem Netzanschlusspunkt 750 kW_p. Bei Gewerbegebieten, in denen die Unternehmen nicht direkt mit dem öffentlichen Netz verbunden sind, kann die insgesamt technisch, wirtschaftlich und ökologisch sinnvolle Anlagenleistung regelmäßig deutlich über der 750 kW_p Grenze liegen. In diesem Fall steht diese gesetzliche Regelung dem Ziel der ökologischen Verbesserung der Energieversorgung von Gewerbegebieten entgegen, da mit der 750 kW_p Grenze ein monetärer Anreiz wegfällt, die vorhandenen Potentiale aus ökologischer Perspektive voll auszuschöpfen.

Eine weitere Grenze für die Anlagengröße gibt §9 StromStV vor. Hierin wird festgelegt, dass auf eigenproduziertem Strom aus Energieerzeugungsanlagen, welche unmittelbar zusammenhängend eine Gesamtleistung von 2 MW_p übersteigen, Stromsteuer auf den Anteil des Stroms, der eine abgegrenzte Drittmenge ist bzw. Dritten über Direktlieferung zur Verfügung gestellt wurde, zu entrichten ist. Selbsterzeugter Eigenverbrauch bleibt auch ab dieser Leistung stromsteuerbefreit. Der Fall, dass ein einzelnes Unternehmen eine Anlage selbst betreiben könnte, welche die installierte Leistung von 2 MW_p überschreitet, ist in den untersuchten Gebieten nicht vorgekommen. Dennoch wird die ökonomische Bewertung dieser Konstellation, im Falle ihres Auftretens, aufgrund dieses Hemmnisses zu einer geringeren Wirtschaftlichkeit der Drittmengen bzw. Direktlieferungen führen.

6 Fördermöglichkeiten

Die Sächsische Energieagentur- SAENA GmbH berät zu fachlichen Fragen bei der Umsetzung von Projekten. Verschiedenste staatliche Förderprogramme unterstützen Projekte zur Erhöhung der Energieeffizienz oder zum Einsatz erneuerbarer Energien. Unter www.saena.de/fordermittelberatung finden sich detaillierte Informationen zu ausgewählten sächsischen Förderprogrammen sowie ein interaktiver Fördermittelcheck zu weiteren Fördermöglichkeiten. Darüber hinaus unterstützen Fachberater der SAENA telefonisch, per E-Mail, persönlich oder in einem Online-Meeting bei Fragen oder Anliegen.

FördermittelCheck

Abbildung 52 – Interaktiver Fördermittelcheck der SAENA

7 Anhang

Nr.	Erforderliche Daten	Bemerkungen	Check
1	Stakeholder & Grundlegende Daten		
1.1	Erfassung Stakeholder	Energieversorger, Unternehmen, Gewerbegebietsbetreiber, Kommune etc.	
1.2	Erfassung Stakeholder-Matrix	Befragung der Stakeholder	
1.3	Erfassung Stakeholder-Interessen	Befragung der Stakeholder	
1.4	Erfassung der Kontaktdaten Energiebeauftragten bzw. Ansprechpartner zum Thema Energie	Befragung der Unternehmen	
1.5	Bebauungsplan (BP)	Beschränkungen aus BP möglich, etwa bei der Nutzung bestimmter Technologien (z. B. maximale Höhe bei Kleinwindkraftanlagen)	
2	Energieverteilung		
2.1	Erfassung der Netz-Struktur (elektr. Energie)	<ul style="list-style-type: none"> • Netzspannungsebenen • Dimensionierung 	
2.2	Erfassung der Versorgungsstruktur weiterer Energieträger & Medien	Gas, Wasser, technische Gase	
3	Potential Erneuerbarer Energien		
3.1	Potentialabschätzung PV Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Bestrahlungsdaten Standort • Identifikation möglicher Flächen in m² • Bei Dachmontage Statik beachten! 	
3.2	Potentialabschätzung Wind	<ul style="list-style-type: none"> • Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten • Besser ist eine Windmessung 	
3.3	Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> • Entzugsleistung je nach Bohrtiefe • Für größere Anlagen (<30kW) sind weitergehende Erkundungen nötig 	

Abbildung 53 – Checkliste Daten – Teil 1

Nr.	Erforderliche Daten	Bemerkungen	Check
4	Energiebedarf		
4.1	Erfassung der verwendeten Energieträger & -formen	<ul style="list-style-type: none"> Energieform (elektrischer Strom, Wärme, Kälte) Energieträger (Erdgas, Druckluft etc.) 	
4.2	Erfassung des historischen Energiebedarfs	<ul style="list-style-type: none"> Gliederung nach Produktionsmitteln, Verbrauchsstellen, -gruppen & nach Energieträgern 15-Minuten Auflösung anstreben 	
4.3	Erfassung von Arbeitstagen & Schichten		
5	Energiebezug		
5.1	Erfassung der medienbezogenen Lieferverträge der Unternehmen	flexible / fest Preise	
5.2	Erfassung der medienbezogenen Vertragskonditionen der Unternehmen	Bezugspreise	
5.3	Erfassung des Energiemix der Unternehmen	Anteil Eigenerzeugung / Netzbezug	
6	Energieerzeugung		
6.1	Erfassung der Energieerzeugung je Anlage	Jahresdauerlinien für Medien	
6.2	Erfassung der technischen Charakteristika	Installierte Leistungen, Kapazitäten	
6.3	Abfrage bzgl. der Ausstattung der Anlagen mit Smart-Meter-Systemen		
7	Energieflexibilisierung		
7.1	Abfrage bzgl. der Möglichkeit Pausenzeiten zu flexibilisieren	Befragung der Unternehmen	
7.2	Abfrage der Flexibilisierung von Lasten im Unternehmen		
7.3	Abfrage bzgl. der Verwendung von Energiespeichern		
7.4	Erfassung der Ladeinfrastruktur E-Fahrzeuge & Flurförderfahrzeuge		
8	Software und Zertifizierungen		
8.1	Abfrage nach Energiemanagementsystem		
8.2	Abfrage weiterer relevanter Softwaresysteme	<ul style="list-style-type: none"> ERP SCADA MES Gebäudeautomatisierung 	
8.3	Abfrage Zertifizierung DIN EN ISO 50001		
9	Potential energiebasierter Symbiosen		
9.1	Identifikation von Abwärme-Quellen und -niveaus	z. B. technische Prozesse wie Härten	
9.2	Identifikation von Abwärme-Senken	Je nach Temperaturniveau	
9.3	Erfassung von Abfallstoffen	z. B. nicht verwertbare Holzabfälle	

Abbildung 54 - Checkliste Daten – Teil 2

Maßnahme	Wirkungsebene			Vorteile		Maßnahmenbeschreibung
	Intern	Kooperativ	Kommunal	Ökologisch	Ökonomisch	
Betriebsübergreifendes Stoff- und Energiestrommanagement implementieren		X		X	X	Verwenden von Nebenprodukten bzw. Reststoffen eines kooperierenden Unternehmens in Prozessen eines anderen Unternehmens Bspw.: Energiekaskadierung – energieärmere Prozesse können Energie aus vorgelagerten Prozessen verwenden (z. B. unternehmensübergreifende Abwärmenutzung)
Straßenbeleuchtung auf energieeffiziente Leuchtmittel umstellen			X	X	X	Energieeinsparung im öffentlichen Raum des Gewerbegebietes durch Installation von LED-Straßenbeleuchtung und zusätzlicher adaptiver Anwendung (bspw. automatisches Abdimmen während verkehrsschwacher Zeiten)
Beleuchtungssystem innerhalb der Firmengebäude optimieren	X			X	X	Austausch der konventionellen Lampen durch LED-Energiesparlampen sowie der Optimierung der Beleuchtungssteuerung, um den Energiebedarf zu senken (bspw. mithilfe von Bewegungsmeldern, Zeitschaltuhren, gesteuerte Helligkeitsregler)
Gemeinschaftliche Finanzierung von technischen Anlagen zur Steigerung der Energieeffizienz bzw. Energieerzeugung		X		X	X	Durch den gemeinschaftlichen Erwerb können KMU mithilfe von Fördermöglichkeiten kostenintensivere Technologien erwerben. z. B.: KWK-Anlagen (bspw. BHKW) – simultane Erzeugung Wärme & Strom Energieerzeugungstechnologien (bspw. PV-Anlagen, WEA, Geothermie, Biomasse.) – Erzeugung elektr. bzw. therm. Energie, die zum Eigenverbrauch verwendet oder marktwirtschaftlich angeboten werden kann Speicheranlagen – Speicherung der erzeugten Energie zur zeitlichen Entkopplung von Erzeugung & Verbrauch
Installation von gewerbegebieteigenen Power-to-X Technologien		X		X	X	Mithilfe dieser Technologien können zu Zeiten überschüssiger Stromerzeugung, die elektrische Energiemengen in gasförmige/flüssige Energieträger umgewandelt werden, um diese länger speichern zu können bzw. sektorenübergreifend die Energie anzuwenden
Einspeisung überschüssiger elektr. Energie in den Fuhrpark der ansässigen Firmen	X	X		X	X	Speicherung überschüssigen Stroms in den Batterien der Elektrofahrzeuge. Der Strom kann zu späteren Zeitpunkten wieder für Prozesse der Unternehmen den Batterien entnommen werden oder für die Elektrifizierung des Verkehrssektors Anwendung finden

Abbildung 55 - Maßnahmenkatalog I

Maßnahme	Wirkungsebene			Vorteile		Maßnahmenbeschreibung
	Intern	Kooperativ	Kommunal	Ökologisch	Ökonomisch	
Mobilitätsmanagement im Gewerbegebiet	X	X	X	X		Den Mitarbeitern der Unternehmen Alternativen zur Nutzung der PKWs aufzeigen z. B.: ÖPNV-Anbindung verbessern (Tarife); abgestimmte Schichtzeiten; Car-Sharing; Radwege ausbauen; Ladestationen bereitstellen
Umstellung auf automatisierte Raumklimatisierung im Unternehmen	X			X	X	Implementierung einer automatisierten Regelung der Raumklimatisierung mit Nacht- und Wochenendabsenkung der Temperatur und der Luftwechselrate sowie Absenkung des Temperaturniveaus nach Schichtende.
Einführung der ISO 50001 Zertifizierung für Energiemanagementsysteme	X				X	Untersuchung der internen Prozesse im Unternehmen auf Energieeffizienz. Ziel eines Energiemanagementsystems nach ISO 50001 ist die kontinuierliche Verbesserung der energiebezogenen Leistung im Unternehmen.
Rahmen für Maßnahmen zum Klimaschutz setzen	X			X		Klimaschutz(teil)konzepte für das Unternehmen erarbeiten, um Ziele transparent zu formulieren und Informationen bereitzustellen
Thermische Belastung im Gewerbegebiet und den Betrieben reduzieren	X	X	X	X		Thermische quartiers- und gebäudebezogene Belastung reduzieren, z. B. durch Begrünung, Beschattung, Einsatz heller Materialien, etc.
Vernetzung der Lieferketten innerhalb des Gewerbegebietes		X		X	X	Unternehmensübergreifende Kooperationen bzgl. der Lieferanten knüpfen, indem das Gewerbegebiet einmalig angefahren wird und mehrere Zuliefervorgänge abgewickelt werden
Regionalisierung der Lieferketten	X			X		Ansiedlung von Zulieferern auf dem Werksgelände oder in unmittelbarer Nähe des produzierenden Unternehmens
Gemeinsames Informationsmanagementsystem bzgl. der Energie- und Ressourcenflüsse		X		X		Implementieren eines gemeinsamen Informationsmanagementsystems zum Abbilden der firmenbezogenen Energie- und Ressourcenflüsse, um daraus Synergiepotentiale abzuleiten
Implementierung eines nachhaltigen Gebietsmanagement		X	X	X		Prüfung aller gewerbegebietsbezogenen Entscheidungen auf Nachhaltigkeit, bspw. optimale Ausnutzung der Fläche und wenig Versiegelung

Abbildung 56 – Maßnahmenkatalog II

PDCA-Zyklus	Handlungsfelder	Reifegrade				
		Nicht bis minimal	Im Entstehen	In Entwicklung	Fortgeschritten	Führend
Planen (Plan)	Selbstverpflichtung	Kein EM, keine Verpflichtung zur Nutzung EE & zur Eef, keine Energiepolitik	EM vorhanden (beschränkte Ausbildung, Erfahrung & Dokumentation der Maßnahmen). Bewusstsein für das Thema Energie im Management	EM vorhanden (ausreichendes Training & beschränkte Verantwortung). Reaktive Haltung des Managements zu EE & Eef. Energiepolitik ist vorhanden & dokumentiert.	EM (angemessene Ausbildung & Verantwortung jedoch eingeschränkte Entscheidungsbefugnis). Proaktive Haltung des Managements zu EE & Eef. Energiepolitik fokussiert verschiedene Bereiche & ist im Unternehmen bekannt.	EM ist zertifiziert & eine angemessene Entscheidungsbefugnis. Das Management ist in die Themen EE & Eef aktiv involviert. Die Energiepolitik wird extern kommuniziert. EM & das unterstützende Team werden kontinuierlich fortgebildet.
	Energiedaten & Kontrolle	ED werden nie aufgenommen & überprüft.	ED werden aufgenommen & gelegentlich geprüft, vor allem über Energierechnungen. KPI vorhanden. Zielsetzung ist eingeschränkt.	ED werden regelmäßig analysiert, prognostiziert & berichtet. Kosten werden nach Hauptbereichen aufgeschlüsselt. Regelmäßig durchgeführte Audits. Benchmarking innerhalb derselben Organisation. KPI für Hauptverbraucher & Quellen. Ziele werden intern kommuniziert.	ED werden mit spezifischen Werkzeugen analysiert. Sub-Metering für Hauptverbraucher vorhanden. Verbesserungsmöglichkeiten werden periodisch überprüft & verfolgt. KPI für Hauptverbraucher umfassen Treiber & Aufteilung nach Endverwendung. Ziele auf Systemebene definiert, periodisch überprüft & intern kommuniziert	ED werden automatisch ausgewertet. Energiekosten werden häufig überprüft. Energietarif wird extern überprüft. Sub-Metering schließt andere Energie Verbraucher ein. EefM werden kontinuierlich angestrebt. Energiepolitik ist für die meisten Bereiche definiert & wird extern kommuniziert. KPI definiert für die meisten Energieverbraucher.
	Energieeffizienzmaßnahmen	Keine Planung & Investitionen in EefM	EefM sind vom aktuellen Budget abhängig & werden nur bei größeren Auffälligkeiten angegangen.	EM kann EefM vorschlagen, diese werden nach ökonomischen Kriterien bewertet. Moderates Budget für EefM vorhanden.	Management, EM & technisches Personal können EefM vorschlagen. Bewertung erfolgt auch unter ökologischen Kriterien. Budget für größere Investitionen ist vorhanden.	Jeder kann EefM vorschlagen. Es gibt ein gezieltes Budget für EefM.

Abbildung 57 - Reifegradmodell (Planen)

PDCA-Zyklus	Handlungsfelder	Reifegrade				
		Nicht bis minimal	Im Entstehen	In Entwicklung	Fortgeschritten	Führend
Umsetzen (Do)	Personal	Kein Training, Bewusstsein oder Kommunikation im Bereich Energie	Bewusstsein lediglich im Management & EM. Keine Ressourcen zur Kommunikation von Energiethemata vorhanden.	Regelmäßige Fortbildung für Management & EM. Plattform zum Austausch von Dokumentationen existiert.	Regelmäßige & umfassende Fortbildung für Management, EM & weiteres Personal. Kommunikationsmanager ist eingestellt. Dokumentation von Zielen & Maßnahmen ist für das gesamte Personal verfügbar.	Regelmäßige & umfassende Fortbildung für das gesamte Personal. EM kommuniziert mit allen Unternehmensbereichen.
	Prozesse	Energie MRO wird nur zur Aufrechterhaltung des Betriebs durchgeführt. Materialien & Zulieferer werden nicht nach Energieaspekten ausgewählt.	Maßnahmen werden intern dokumentiert. Energie MRO wird bei Auffälligkeiten ausgeführt. Energieaspekte werden zum Teil bei Material & Zulieferern berücksichtigt.	Energiemaßnahmen werden in digitaler & strukturierter Form dokumentiert. MRO-Team ist für Energiefragen sensibilisiert. Energieaspekte werden bei Material & Zulieferern priorisiert.	Dokumentation der Energiemaßnahmen zugänglich für das Personal in allen Bereichen. MRO sucht kontinuierlich nach kostengünstigen Optimierungsmaßnahmen. Modellierung & Simulation werden zur Leistungsbewertung genutzt. Auswahl der Ausrüstung & des benötigten Materials basiert auf der Energieeffizienz.	MRO plant umfassende Maßnahmen & kommuniziert diese. Mindestens ein Mitglied des MRO-Teams ist als Energiemanager zertifiziert. LCA wird durchgeführt für Material- & Ausrüstungsbeschaffung. Energie ist ein wichtiger Aspekt in der gesamten Lieferkette.

Abbildung 58 - Reifegradmodell (Umsetzen)

PDCA-Zyklus	Handlungsfelder	Reifegrade				
		Nicht bis minimal	Im Entstehen	In Entwicklung	Fortgeschritten	Führend
Überprüfen (Check)	Messen & Verifizieren	<p>Energiezähler werden genutzt.</p> <p>Analyse findet nur bei Großverbrauchern statt.</p>	<p>Großverbraucher werden unregelmäßig auf Energiebedarf untersucht.</p> <p>Ein Messsystem ist teilweise implementiert.</p> <p>Zur Analyse wird eine standardisierte Plattform genutzt.</p>	<p>Großverbraucher werden regelmäßig auf Energiebedarf untersucht.</p> <p>Ein System zur Datenaufnahme & -speicherung existiert.</p> <p>Für die Datenanalyse werden fortgeschrittene Visualisierungsmöglichkeiten genutzt.</p>	<p>Die meisten Systeme werden unregelmäßig untersucht.</p> <p>Ein standardisiertes Protokoll zum Messen & Verifizieren von Energiedaten ist teilweise implementiert.</p> <p>Daten werden statistisch ausgewertet.</p>	<p>Die meisten Systeme werden regelmäßig untersucht.</p> <p>Ein standardisiertes Protokoll zum Messen & Verifizieren von Energiedaten ist implementiert.</p> <p>Fortgeschrittene Analyse durch Datenaggregation.</p>
	Auditierung	<p>Keine internen oder externen Audits.</p>	<p>Internes Audit geplant. Zulieferer Audit geplant.</p> <p>Auf Nachfrage wurde ein externes Audit durchgeführt.</p>	<p>Methodik für internes Audit ist vorhanden, wird jedoch selten angewendet.</p> <p>Nur größere Probleme werden nach dem Audit angegangen.</p> <p>Externe Audits finden regelmäßig auf Kundenwunsch hin statt.</p>	<p>Audits finden regelmäßig & geplant statt.</p> <p>Sie werden gut kommuniziert.</p> <p>Die meisten Probleme werden adressiert.</p> <p>Zulieferer werden unregelmäßig auditiert.</p> <p>Ergebnisse externer Audits werden an das gesamte Personal kommuniziert.</p>	<p>Standardisiertes Vorgehen zur Auditierung wird genutzt.</p> <p>Ergebnisse werden intern & extern kommuniziert.</p> <p>Alle Probleme werden adressiert.</p> <p>Zulieferer werden regelmäßig auditiert.</p>

Abbildung 59 - Reifegradmodell (Überprüfen)

PDCA-Zyklus	Handlungsfelder	Reifegrade				
		Nicht bis minimal	Im Entstehen	In Entwicklung	Fortgeschritten	Führend
Handeln (Act)	Energie-Management-Software	Kein EMS	EMS wird implementiert.	EMS ist komplett implementiert. EMS wird unregelmäßig überprüft.	EMS ist komplett implementiert & extern zertifiziert. EMS wird regelmäßig überprüft.	EMS ist komplett implementiert & in andere Managementsysteme integriert. EMS wird regelmäßig, unter Abstimmung mit Dritten, überprüft.
	Anerkennung & Zertifizierung	Keine Zertifizierung. Keine Anerkennung bei umgesetzten EefM.	Anreize für EefM sind in Planung. Energiezertifizierung ist in Planung.	Anreize für EefM werden unregelmäßig genutzt. Zertifizierung ist vorhanden, jedoch veraltet.	EefM werden informell belohnt. Der Standort wurde kürzlich zertifiziert. Der Standort unterstützt häufig lokale Gemeinden bei Energie-Projekten. Der Standort wird als Beispiel für den nachhaltigen Umgang mit dem Thema Energie angesehen.	EefM werden unter einem formalen Programm belohnt. Ressourcen für die Umsetzung von EefM sind für das gesamte Personal verfügbar. Der Standort wird kontinuierlich zertifiziert. Der Standort arbeitet mit lokalen Behörden & Gemeinden zusammen, um EefM zu unterstützen, Wissen auszutauschen, Richtlinien zu entwickeln & Sensibilisierungskampagnen zu schaffen. Der Standort ist in den Medien aktiv, um EefM zu fördern.

Abbildung 60 - Reifegradmodell (Handeln)

EM: Energiemanagementpersonal

EE: Erneuerbare Energie

Eef: Energieeffizienz

ED: Energiedaten

KPI: Key Performance Indicator

EefM: Energieeffizienzmaßnahmen

MRO: Maintenance, Repair and Operations

EMS: Energiemanagementsystem

8 Literatur

- [1] M. Gottschalk, M. Uslar und C. Delfs, *The Use Case and Smart Grid Architecture Model Approach*. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- [2] G. Müller-Christ und A. K. Liebscher, *Nachhaltigkeit im Industrie- und Gewerbegebiet: Ideen zur Begleitung von Unternehmen in eine Ressourcengemeinschaft*. München: oekom, 2010.
- [3] M. Caroli, M. Cavallo und A. Valentino, *Eco-Industrial Parks: A Green and Place Marketing Approach*. Rom: Luiss University Pres, 2015.
- [4] F. Pichlmeier, „Ressourceneffizienzpotenziale von Gewerbegebieten“, Berlin, VDI ZRE Publikationen Kurzanalyse Nr. 22, 2018.
- [5] Industrie- und Handelskammer Chemnitz, *Gewerbeflächenreport für den Vogtlandkreis*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.chemnitz.ihk24.de/blueprint/servlet/resource/blob/1911242/f4960c9974260e810520dd5574d3d856/gewerbeflaechenreport-der-ihk-regionalkammer-plauen-data.pdf>.
- [6] B. S. Blanchard und J. E. Blyler, *System Engineering Management*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2016.
- [7] C. Pohl und J. Heselbach, „Substitution von Druckluft in der Produktion: Potenziale zur Senkung des Energiebedarfs“, *Industrie Management*, Jg. 27, Nr. 6, S. 21–24, 2011.
- [8] G. Hinsenkamp, J. Reinhardt und M. Hager, *Druckluft: Störungsfreie, kostengünstige und energieeffiziente Bereitstellung*. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.energie-im-unternehmen.de/downloads/druckluft.pdf>.
- [9] N. Finnerty, R. Sterling, D. Coakley und M. M. Keane, „An energy management maturity model for multi-site industrial organisations with a global presence“, *Journal of Cleaner Production*, Jg. 167, S. 1232–1250, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.07.192.
- [10] D. Krips, *Stakeholdermanagement*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017.
- [11] G. Johnson, K. Scholes und R. Whittington, *Exploring corporate strategy*, 8. Aufl. Harlow: FT Prentice Hall, 2008.
- [12] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, *KRITIS - Sektor: Energie*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.kritis.bund.de/SubSites/Kritis/DE/Einfuehrung/Sektoren/Energie/Energie_node.html.
- [13] B. Jacobsen und M. Stange, „Vorgehensmodell zur Simulation von gebündeltem Energiebedarf“ in *25. ASIM Symposium Simulationstechnik*, 2020, S. 295–301, doi: 10.11128/arep.59.a59042.
- [14] BDEW, *Standardlastprofile Strom*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/energie/standardlastprofile-strom/>.
- [15] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Hg., „Erdwärmesonden: Informationsbroschüre zur Nutzung oberflächennaher Geothermie“, Dresden, 2014.
- [16] B. Oschatz, *Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden: Abschlussbericht*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl., 2012. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.irbnet.de/daten/rswb/12079004342.pdf>
- [17] M. Wambsganß und J. Zauner, „Beleuchtungstechnik - Licht ist mehr als Energiebedarf“ in *Hanser eLibrary, Handbuch ressourcenorientierte Produktion*, R. Neugebauer, Hg., München: Hanser, 2014, S. 425–456.
- [18] M. Grafe, M. Hörner, C. Jedek und B. Bagherian, „Entwicklung, Erprobung und Einführung einer differenzierten Verbrauchsstrukturanalyse für bestehende Nichtwohngebäude“, Darmstadt, 2014.
- [19] deutsche Energie-Agentur GmbH, *dena-MARKTMONITOR 2030 "Corporate Green PPAs": Umfrage zu Perspektiven nachfragegetriebener Stromlieferverträge bis 2030*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-MARKTMONITOR_2030_Corporate_Green_PPAs.PDF.

- [20] Next Kraftwerke GmbH, *Was ist ein Power Purchase Agreement (PPA)?* [Online]. Verfügbar unter: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/power-purchase-agreement-ppa>.
- [21] J. Hilpert, „Rechtliche Bewertung von Power Purchase Agreements (PPAs) mit erneuerbaren Energien“, *Würzburger Studien zum Umweltenergierecht* 12, 2018.
- [22] C. Huder und P. Petruschke, „Grüne Energielösungen für Industrie- und Gewerbebetriebe: PPAs, Eigenerzeugung und Contracting im Vergleich“, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Jg. 70, Nr. 6, S. 32, 2020.
- [23] R. Y. Wang und D. M. Strong, „Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers“, *Journal of Management Information Systems*, Jg. 12, Nr. 4, S. 5–33, 1996, doi: 10.1080/07421222.1996.11518099.
- [24] G. Reinhart, S. Reinhardt und M. Graßl, „Energieflexible Produktionssysteme. Einführungen zur Bewertung der Energieeffizienz von Produktionssystemen“, *wt Werkstattstechnik Online*, Jg. 102, Nr.9, S. 622–628, 2012.
- [25] M. Putz, A. Schlegel, F. Enrico, T. Langer und J. Stoldt, „Energy-sensitive control strategies for discrete parts manufacturing“ in *Towards implementing sustainable manufacturing: Proceedings*, G. Seliger und S. E. Kiliç, Hg., Istanbul: CIRP, 2012.
- [26] T. Langer, A. Schlegel, J. Stoldt und M. Putz, „A Model-based Approach to Energy-saving Manufacturing Control Strategies“, *Procedia CIRP*, Jg. 15, S. 123–128, 2014.
- [27] S. Willeke, G. Ullmann und P. Nyhuis, „Method for an Energy-Cost-Oriented Manufacturing Control to Reduce Energy Costs: Energy Cost Reduction by Using a New Sequencing Method“ in *ICIMSA 2016: International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Applications*, 2016, S. 193–197, doi: 10.1109/ICIMSA.2016.7504018.
- [28] J. Beier, S. Thiede und C. Herrmann, „Energy flexibility of manufacturing systems for variable renewable energy supply integration: Real-time control method and simulation“, *Journal of Cleaner Production*, Jg. 141, S. 648–661, 2017.
- [29] C. Schultz, S. Braun, S. Braunreuther und G. Reinhart, „Integration of Load Management into an Energy-oriented Production Control“, *Procedia Manufacturing*, Jg. 8, S. 144–151, 2017.
- [30] E. Köse und A. Sauer, „Impacts of Energy Flexibility on Energy Efficiency of Hybrid and Bivalent Facilities“, *Procedia Manufacturing*, Jg. 39, S. 1297–1306, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.339.
- [31] G. Hausladen *et al.*, *Lastverhalten von Gebäuden unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bauweisen und technischer Systeme - Speicher- und Lastmanagementpotenziale in Gebäuden: Endbericht*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014.
- [32] K. Klein, M. Hermann und S. Herkel, „Gebäude als netzdienliche Wärmespeicher“, *Bautechnik*, Jg. 93, Nr. 1, S. 1–7, 2016, doi: 10.1002/bate.201500033.
- [33] T. Klaus, C. Vollmer, k. Werner, H. Lehmann und K. Müschen, „Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen“, Umweltbundesamt, 2010. Zugriff am: 15. Juli 2020.
- [34] L. Fraccascia, V. Yazdanpanah, G. van Capelleveen und D. M. Yazan, „Energy-based industrial symbiosis: a literature review for circular energy transition“, *Environ Dev Sustain*, Jg. 23, Nr. 4, S. 4791–4825, 2021, doi: 10.1007/s10668-020-00840-9.
- [35] Umwelt Bundesamt, *Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energie-traeger-sektoren#entwicklung-des-endenergieverbrauchs-nach-sektoren-und-energie-traeger>.
- [36] M. A. Butturi, F. Lolli, M. A. Sellitto, E. Balugani, R. Gamberini und B. Rimini, „Renewable energy in eco-industrial parks and urban-industrial symbiosis: A literature review and a conceptual synthesis“, *Applied Energy*, Jg. 255, S. 113825, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113825.
- [37] Umweltbundesamt, Hg., „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger: Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2017“, Dessau-Roßlau, 2018. [Online]. Verfügbar unter:

- https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-10-22_climate-change_23-2018_emissionsbilanz_erneuerbarer_energien_2017_fin.pdf.
- [38] H. Wirth, „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“, Freiburg, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>.
- [39] BDEW, Hg., „BDEW-Strompreisanalyse Januar 2021: Haushalte und Industrie“, Berlin, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/BDEW-Strompreisanalyse_no_halbjaehrlich_Ba_online_28012021.pdf.
- [40] M. Wietschel, A. Held, M. Pudlik, B. Schломann, S. Linder und S. Oberle, „Efficiency First“ bei ausgewählten Vorhabenplanungen mit kommunaler Beteiligung“, Karlsruhe, Köln, Berlin, 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/Efficiency_First/Efficiency-First_Leitfaden.pdf.
- [41] M. Lödl, G. Kerber, R. Witzmann, C. Hoffmann und M. Metzger, „Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland“ in *11. Symposium Energieinnovation*, Graz, 2010.
- [42] B. Burger, K. Kiefer, C. Kost und et al., *Photovoltaics Report*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>.
- [43] Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz, Hg., „Praxisleitfaden: Effizienzmanagement in Gewerbegebieten“, Berlin, 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://www.mittelstand-energiewende.de/fileadmin/user_upload_mittelstand/MIE_vor_Ort/Leitf%C3%A4den/Praxisleitfaden_MIE_Effizienzmanagement_in_Gewerbegebieten_web.pdf.
- [44] Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk, „Kleinwindkraftanlagen: Hintergrundinformationen und Handlungsempfehlungen“, Straubing, 2015.
- [45] G. Müller-Syring und M. Henel, „Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen: Abschlussbericht“, Bonn, 2014. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g1_02_12.pdf.
- [46] C. Ipser, T. Steiner und K. Stieldorf, „Energieeffizienz und gebäudeintegrierte regenerative Energieträgertechnologien in Vorentwurf und Entwurf: Entwurfsleitfaden Solarthermie“, Wien, 2012. [Online]. Verfügbar unter: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/berichte/endbericht_1256_annex_i_leitfaden_teil_6_entwurfsleitfaden_solarthermie.pdf.
- [47] F. Giovannetti, O. Kastner, C. Lampe, R. Reineke-Koch, S. Park und J. Steinweg, „Technologiebericht 1.4 Solare Wärme und Kälte“ in *Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)*, Wuppertal Institut, ISI, IZES, Hg., Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken. [Online]. Verfügbar unter: <https://bit.ly/34w4gyC>
- [48] Bundesverband Geothermie e.V., *Oberflächennahe Geothermie*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.geothermie.de/geothermie/geothermische-technologien/oberflaechennahe-geothermie.html>.
- [49] C. Thomsen, Hg., *Leitfaden zur geothermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes: Erdwärmekollektoren - Erdwärmesonden ; Empfehlungen für Planer, Ingenieure und Bauherren*. Kiel: Ministerium für Landwirtschaft Umwelt und Ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, 2011. [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/geologie/geothermie_2011.pdf
- [50] Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, *Bodentemperatur*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.pik-potsdam.de/services/klima-wetter-potsdam/klimazeitreihen/bodentemperatur/index_html.
- [51] I. Bogdanov und A. Sauer, „Effizienzsteigerung in der Industrie durch Einsatz von Effizienztechnologien zur Sektorkopplung an der Schnittstelle zwischen Gebäudeinfrastruktur und Fertigungsprozess“ in *5. Symposium Energieinnovation 2018: 14. bis 16. Februar 2018*.

- [52] J. Nitsch *et al.*, „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global: Schlussbericht BMU - FKZ 03MAP146“, Stuttgart, Kassel, Teltow, 2012.
- [53] Umweltbundesamt, *Energie als Ressource*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/energie-als-ressource> (Zugriff am: 10. Februar 2021).
- [54] W. Schufft, Hg., *Taschenbuch der elektrischen Energietechnik: Mit 388 Bildern und 102 Tabellen*. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl-Hanser-Verlag, 2007. [Online]. Verfügbar unter: http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=2948223&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm
- [55] M. Mittendorf, „Das natürliche Monopol in der Elektrizitätsversorgung“ (deUR - <https://www.beck-elibrary.de/10.15358/0340-1650-2006-5-266/das-natuerliche-monopol-in-der-elektrizitaetsversorgung-jahrgang-35-2006-heft-5>), *WIST*, Jg. 35, Nr. 5, S. 266–272, 2006, doi: 10.15358/0340-1650-2006-5-266.
- [56] W. Eucken, E. Eucken-Erdsiek und K. P. Hensel, Hg., *Grundsätze der Wirtschaftspolitik*, 7. Aufl. Tübingen: Mohr Siebeck, 2004.
- [57] *Energiewirtschaftsgesetz: EnWG*, 2018.
- [58] F. Gangale, J. Vasiljevka, C. F. Covrig und G. Fulli, „Smart grid projects outlook 2017: Facts, figures and trends in Europe“, Luxembourg, 2017. [Online]. Verfügbar unter: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106796/sgp_outlook_2017-online.pdf.
- [59] E. E. Veldman, „Power play : impacts of flexibility in future residential electricity demand on distribution network utilisation“ (en), 2013, doi: 10.6100/IR761384.
- [60] W. Konrad und D. Scheer, „Das Smart Grid aus gesellschaftlicher Perspektive“, Stuttgart, 2014. [Online]. Verfügbar unter: https://www.innosmart-projekt.de/data/innosmart/user_upload/Dateien/Smart_Grid_Gesellschaftliche_Perspektiven_NEU_01.pdf.
- [61] T. Waerder, „450 MHz – eine eigene Funkfrequenz für die Energie- und Wasserwirtschaft“, Bonn, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/sicherheit/wasser/ewp-450-mhz-funkfrequenz-gas-wasser-versorgung.pdf>.
- [62] M. Sterner und I. Stadler, *Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017.
- [63] A. Hauer, „Speicherung thermischer Energie - Möglichkeiten und Grenzen“ (ger), *gwf - Gas + Energie. Das Gas- und Wasserfach*, Jg. 159, Nr. 11, S. 50–57, 2018.
- [64] A. Emde, I. Bogdanov, M. Königer und A. Sauer, „Effizienzbetrachtung eines gekoppelten Energieversorgungssystems in der Industrie“, *ZWF*, Jg. 113, Nr. 10, S. 673–677, 2018, doi: 10.3139/104.111976.
- [65] D. Halstrup und M. Schriever, „Zur Akzeptanz von Stromspeichern in Unternehmen“, *Z Energiewirtschaft*, Jg. 42, Nr. 1, S. 13–20, 2018, doi: 10.1007/s12398-017-0215-x.
- [66] Sandia National Laboratories, *DOE OE Global Energy Storage Database*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database-home/>.
- [67] D. Kim, A. Geissler, C. Menn und D. Hengevoss, „Quantifizierung des Umweltnutzens von gebrauchten Batterien aus Elektrofahrzeugen als gebäudeintegrierte 2nd-Life-Stromspeichersysteme“, *Bauphysik*, Jg. 37, Nr. 4, S. 213–222, 2015, doi: 10.1002/bapi.201510022.
- [68] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, *Die Nationale Wasserstoffstrategie*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20.
- [69] T. Smolinka, *Studie IndWEde: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Publikationen/Studien/Studie-IndWEde.pdf>.
- [70] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW), *DVGW-Regeln für klimafreundliche Energieinfrastruktur: Mehr Wasserstoff technisch sicher verankern*. Berlin, 2019. [Online]. Verfügbar

- unter: https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/aktuelles/presse/2019-04-09_-_Wasserstoff_technisch_verankern.pdf
- [71] H. Bartels, *Wasserstoff statt Kohle: Wie wird Stahl grün?* [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/verband/magazin-2050/wasserstoff-statt-kohle-der-stahl-der-zukunft-ist-klimafreundlich/>.
- [72] T. Rothacher, H. Schwarzburger und T. Timke, Hg., *Stromspeicher für Gewerbe und Industrie: Technik, Auswahl und Auslegung : mit Anmerkungen für Heimspeicher*, 1. Aufl. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag GmbH, 2018.
- [73] M. Wietschel et al., „Sektorkopplung: Definition, Chancen und Herausforderungen“, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, Working Paper Sustainability and Innovation No. S01/2018.
- [74] W. Suttor, *Blockheizkraftwerke: Ein Leitfaden für den Anwender*, 8. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., 2014.
- [75] M. Dehli, *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020.
- [76] R. Hartel et al., *Dekarbonisierung des Energiesystems durch verstärkten Einsatz erneuerbaren Stroms im Wärme-, Verkehrs- und Industriesektor bei gleichzeitigen Stilllegungen von Kraftwerken - Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit in Süddeutschland*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2019.
- [77] H. Proff, H. V. Proff, T. M. Fojcik und J. Sandau, *Management des Übergangs in die Elektromobilität: Radikales Umdenken bei tiefgreifenden technologischen Veränderungen*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1802965>
- [78] T. von Stokar et al., *Sharing Economy - teilen statt besitzen*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <http://hdl.handle.net/20.500.11850/258312>
- [79] M. Günther, B. Jacobsen, M. Rehme, U. Götze und J. F. Krems, „Understanding user attitudes and economic aspects in a corporate multimodal mobility system: results from a field study in Germany“, *Eur. Transp. Res. Rev.*, Jg. 12, Nr. 1, 2020, doi: 10.1186/s12544-020-00456-0.
- [80] B. Born et al., „ECoMobility – Connected E-Mobility. Vernetzte Elektromobilität am Beispiel der Technischen Universität Chemnitz: Abschlussbericht der Technischen Universität Chemnitz zum Forschungsvorhaben“, Chemnitz, 2019.
- [81] F. C. Matthes, B. Greiner, N. Ritter und V. Cook, „EKI - Energiekosten Industrie: Bericht 2017/03“, Berlin, 2017. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/EKI-Bericht-2017.pdf>.
- [82] BDEW, Hg., „BDEW-Strompreisanalyse Januar 2020“, BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Berlin, 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/20200107_BDEW-Strompreisanalyse_Januar_2020.pdf.
- [83] M. Kube, M. Schimmel und J.-M. e. a. Rhiemeier, *Marktverfügbare Innovationen mit hoher Relevanz für die Energieeffizienz in der Industrie*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/marktverfuegbare-innovationen-mit-hoher-relevanz-fuer-energieeffizienz-in-der-industrie.pdf%3F__blob%3Dpublication-File%26v%3D14.
- [84] E. Müller, J. Engelmann, T. Löffler und J. Strauch, *Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [85] Business Metropole Ruhr GmbH, Hg., „Ressourceneffiziente Gewerbegebiete: Abschlussbericht 2019“, 2019.
- [86] zero emission GmbH, „Klimaschutz-Teilkonzept: Gewerbegebiet Lister Damm / Am Listholze Hannover“, Hannover, 2016.
- [87] Wissenschaftsladen Bonn e. V., Hg., „Mehr Natur im Gewerbegebiet: Leitfaden für Kommunen zur Beratung von Unternehmen“, 2019.

- [88] B. Hollbach-Grömig, D. Zwicker-Schwarm und S. Däßler, „Unternehmensstandorte zukunftsfähig entwickeln: Flächenpotenziale gewinnen - nachhaltig bauen - Synergien nutzen“, Karlsruhe, 2014.
- [89] Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz, „Praxisleitfaden Effizienzmanagement in Gewerbegebieten“, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mittelstand-energie-wende.de/unsere-angebote/leitfaeden.html>.
- [90] D. Wimmer, „Vorstellung des Klimaschutzteilkonzepts und der Klimaschutz-Maßnahmen im Projekt GIP Hochdorf“. Freiburg, 4. März 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://energieagentur-regio-freiburg.eu/wp-content/uploads/2021/03/210304_GIPHochdorf_MasterPP_v4.pdf
- [91] M. Richter, „Green Industry Park Freiburg“ in *Innovative Wirtschaftsförderungen in Deutschland: Praxisberichte, Konzepte und Zukunftsstrategien*, J. Stember, Hg., Wiesbaden: Springer Gabler, 2020, S. 195–204.
- [92] PEGA Treuhand GmbH, „Nachhaltige Immobilie. Einzigartiges Energiekonzept.“, Berlin, 2015.
- [93] Medienbüro „Deutschland macht’s effizient“, Hg., „Infotexte zum Thema Abwärme: 3. Ratgeber-Text“. Abwärmenutzung für Unternehmen: „Viele Maßnahmen sind wirtschaftlich“, BMWi, 2017.
- [94] S. Blömer *et al.*, „EnEff:Wärme - netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA): Kombinierte räumlich-zeitliche Modellierung von Wärmebedarf und Abwärmeangebot in Deutschland“, Heidelberg, 2019.
- [95] J. Lambauer, E. Heyden, R. Schelle, U. Fahl und A. Voß, „Ausschöpfung der Potenziale für Energieeffizienzverbesserungen durch integrierte Bedarfs-Netzwerke in bestehenden Gewerbe- und Industriestandorten: Überbetriebliche Nutzung industrieller Abwärme“ in *Energieeffizienz: Tagungsband des VDI-Expertenforums „Energieeffizienz in den Städten und der Industrie von morgen“ vom 22. und 23. Februar 2011 am KIT, Karlsruhe*, R. McKenna und W. Fichtner, Hg., Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2011, S. 115–128.
- [96] A. Kühn, R. Heuke und T. Raulien, „Mehr als heiße Luft: Industrielle Abwärme als Stellschraube der Energiewende“, *Unternehmermagazin - Fachzeitschrift für Familienunternehmen*, Jg. 65, 1/2, S. 44–45, 2017.
- [97] A. Schneller, L. Frank und K. Töpfer, „Wärmenetze 4.0 im Kontext der Wärmewende: Analyse der Regelungs- und Förderlandschaft innovativer Wärmenetzsysteme“, adelphi, Berlin, 2017.
- [98] Amt der Oö. Landesregierung Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Hg., „Industrielle Abwärmenutzung: Beispiele & Technologien“, Linz, 2008.
- [99] Stadt Singen, Hg., „Klimaschutz im Unternehmen“, 2018.
- [100] *Leuchtturmprojekt Saisonalwärmespeicher: Abwärme der Eversfrank Gruppe in Meldorf wird künftig mehrere Liegenschaften mit Wärme versorgen*. Meldorf, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.eversfrank.com/neuigkeiten/presse/>
- [101] *Aurubis und enercity starten größte Industriewärme-versorgung Deutschlands*. Hamburg, 2018.
- [102] G. Hirn, *Energie sparen in Gewerbe- und Industrieparks: Planungstool hilft, sparsame Energieverbundnetze zu knüpfen*, 2014.
- [103] KUMAS - Kompetenzzentrum Umwelt e. V., *Niedertemperaturnetz Meitingen – Versorgung eines Neubaugebietes mit industrieller Abwärme*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.kumas.de/fileadmin/nutzer_inhalte/kumas/PDF/Umweltpreise/Leitprojekte/KUMAS-LP-Banner2017-MEITINGEN-WEB.pdf.
- [104] A. Kampker, C. Deutskens, K. Deutschmann, A. Maue und A. Haunreiter, „Increasing Ramp-up Performance By Implementing the Gamification Approach“, *Procedia CIRP*, Jg. 20, S. 74–80, 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.05.034.
- [105] K. M. Kapp, *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education*. San Francisco, CA: Pfeiffer, 2012.

- [106] C. R. Sunstein, „Nudging: A Very Short Guide“, *J Consum Policy*, Jg. 37, Nr. 4, S. 583–588, 2014, doi: 10.1007/s10603-014-9273-1.
- [107] N. Evans, S. Eickers, L. Geene, M. Todorovic und A. Villmow, „Green Nudging“, 2017.
- [108] M. Günther, C. Kacperski und J. F. Krems, „Can electric vehicle drivers be persuaded to eco-drive? A field study of feedback, gamification and financial rewards in Germany“, *Energy Research & Social Science*, Jg. 63, S. 101407, 2020, doi: 10.1016/j.erss.2019.101407.
- [109] D. Schallmo, *Geschäftsmodell-Innovation: Grundlagen, bestehende Ansätze, methodisches Vorgehen und B2B-Geschäftsmodelle*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2013.
- [110] D. D. Walden, G. J. Roedler, K. Forsberg, R. D. Hamelin und T. M. Shortell, Hg., *Systems engineering handbook: A guide for system life cycle processes and activities ; INCOSE-TP-2003-002-04, 2015*, 4. Aufl. Hoboken, NJ: Wiley, 2015.
- [111] E. M. G. Augenstein, „Rechnergestützte Analyse und Konzeption industrieller Energiesysteme“. Dissertation, RWTH Aachen, 2009.
- [112] U. Durak, „Model-based simulation systems engineering“. Habilitation, TU Clausthal, 2018.
- [113] A. Bierer, L. Meynerts und U. Götze, „Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing - Methodical Relationships, Challenges and Benefits of an integrated Use“ in *Re-engineering Manufacturing for Sustainability*, A. Nee, B. Song und S.-K. Ong, Hg., Heidelberg, 2013, S. 415-420.
- [114] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Hg., „Leitfaden zur Eigenversorgung: Juli 2016“, Bonn, 2016.

Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei der Unterstützung der assoziierten Partner:

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG
- Stadt Limbach-Oberfrohna

Außerdem bedanken wir uns bei den Unternehmen des Gewerbeparks Süd in Limbach-Oberfrohna, für die Unterstützung bei der Datenaufnahme sowie bei den Unternehmen die bei der Benchmark-Umfrage mitgewirkt haben.



Europa fördert Sachsen.



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushaltes.