




Lehrstuhl für Energieverbundtechnik

Masterarbeit



Erhebung und Darstellung der
Hauptenergieflüsse in einem
Pharmaunternehmen mit
Versorgungsverpflichtung zu Partnerfirmen

Marcel Thaler, BSc

September 2021



EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 28.08.2021

Unterschrift Verfasser/in
Marcel Thaler

GLEICHHEITSGRUNDSATZ

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

DANKSAGUNG

Diese Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Energieverbundtechnik an der Montanuniversität Leoben und einem Pharmakonzern durchgeführt.

Ich bedanke mich bei den beteiligten Personen für die ausgezeichnete fachliche Betreuung und die hervorragende Zusammenarbeit.

Ein großes Dankeschön auch an meine Freundin, meine Familie und Freunde, die mich durch meine Studienzeit begleitet haben und auf deren Unterstützung ich immer zählen kann.

KURZFASSUNG

Energieintensive Industrien stehen aufgrund der voranschreitenden Energiewende und der gesetzlichen Vorgaben hinsichtlich der Erreichung der Klimaziele, vor neuen Herausforderungen. So müssen sie ihren Umgang mit den eingesetzten Energien genauer effizienzmäßig betrachten und Maßnahmen zur Erreichung der vorgegebenen Treibhausgasreduktionsziele erarbeiten.

Die in dieser Arbeit eingesetzte Energieflussanalyse, ist ein Instrument, durch welches die Energieeffizienz der Prozesse betrachtet und in weiterer Folge verbessert werden kann. Mithilfe dieser Analyse können durch die Implementierung und die Durchführung eines Energiemanagements die Energieflüsse sowohl technisch, wirtschaftlich als auch ökologisch beeinflusst werden. Wobei in dieser Arbeit besonderes Augenmerk auf das technische Optimierungspotential gelegt wird.

Im theoretischen Teil werden die Hintergründe der angewendeten Datenerhebungs- und Analysemethoden, sowie die behandelten Technologien aufgezeigt. Die für den praktischen Teil nötigen Daten wurden erhoben, aufbereitet und ausgewertet. Dabei traten Probleme bei der Datenverfügbarkeit sowie der Datenqualität auf, deren Lösung aufwendig war und viel Zeit beanspruchte.

Aufbauend auf den aufbereiteten Daten wurde eine Energieflussanalyse durchgeführt. Aus dieser gingen Optimierungsvorschläge in Form von Wärmepumpenimplementierungen zur Abwärmenutzung von Kälteanlagen und der Errichtung einer Photovoltaikanlage, zur Senkung der Sekundärenergiebezüge hervor. Die Ergebnisse der zu diesen Optimierungsvorschlägen getätigten Kalkulationen liefern Informationen über die möglichen Potentiale, sowohl die Treibhausgasemissionen, als auch die Bezüge an elektrischer Energie vom Stromnetz senken zu können.

Durch die Ergebnisse der Energieflussanalyse konnte weiter aufgezeigt werden, wo zusätzliche Möglichkeiten für Optimierungen bestehen, für die allerdings nach momentanem Stand viele Daten fehlen oder die verfügbaren Daten nicht detailliert genug erfasst sind. Für zukünftige Verbesserungen können dadurch für die vielversprechendsten Bereiche mit dem höchsten Optimierungspotential Datenerhebungen durchgeführt werden. Zudem können Effizienzsteigerungsmaßnahmen getätigt werden, was letztlich zur Erreichung der gesetzlichen und firmeninternen Klimaziele bis zu den Jahren 2050 bzw. 2040 beiträgt.

ABSTRACT

Energy-intensive industries are facing new challenges due to the advancing energy transition and the legal requirements regarding the achievement of climate targets. They have to take a closer look at their use of energy in terms of efficiency and develop measures to achieve the specified greenhouse gas reduction targets.

The energy flow analysis used in this work is an instrument through which the energy efficiency of the processes can be observed and subsequently improved. With the help of this analysis, the energy flows can be influenced technically, economically and ecologically through the implementation and execution of energy management. In this paper, special attention is paid to the technical optimisation potential.

In the theoretical part, the background of the data collection and analysis methods used, as well as the technologies dealt with, are presented. The data required for the practical part was collected, processed and evaluated. In the process, problems arose with data availability and data quality, the solution of which was costly and took a lot of time.

Based on the processed data, an energy flow analysis was carried out. This resulted in optimisation proposals in the form of heat pump implementations for the use of waste heat from refrigeration plants and the installation of a photovoltaic system to reduce secondary energy consumption. The results of the calculations carried out for these optimisation proposals provide information on the possible potential for reducing both greenhouse gas emissions and the amount of electrical energy drawn from the power grid.

The results of the energy flow analysis also showed where there are additional opportunities for optimisation, for which, however, a lot of data is missing at the moment or the available data is not recorded in sufficient detail. For future improvements, data collection can be carried out for the most promising areas with the highest optimisation potential. In addition, efficiency improvement measures can be implemented, which ultimately contributes to achieving the legal and internal climate targets by the years 2050 and 2040.

INHALTSVERZEICHNIS

Nomenklatur.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VII
1 Einleitung.....	9
1.1 Ausgangssituation.....	9
1.2 Zielsetzung.....	10
1.3 Methodische Vorgangsweise.....	10
1.4 Aufbau der Arbeit	11
1.5 Die Takeda Pharmaceutical AG.....	12
2 Theoretischer Hintergrund - Stand der Technik	13
2.1 Unternehmenspolitik zur Treibhausgasreduktion.....	13
2.1.1 Carbon Footprint	13
2.1.2 CO ₂ -Zertifikate	14
2.1.3 CO ₂ -Steuern.....	16
2.1.4 Energiepreisentwicklung.....	16
2.2 Instrumente zur Steuerung der Treibhausgasemissionen	18
2.2.1 Gesetze	18
2.2.2 Förderungen.....	19
2.3 Ökobilanzierung.....	20
2.4 Wärmepumpen.....	23
2.4.1 Wärmepumpenarten	23
2.4.2 Wärmepumpensysteme.....	25
2.5 Photovoltaik	33
2.6 Investitionsrechnung.....	45
2.7 Bezeichnung der Energieformen.....	47
3 Praktischer Teil	49

Inhaltsverzeichnis

3.1 Das Energiesystem von Takeda.....	49
3.2 Datenerhebung und erste Schritte.....	57
3.3 Probleme und Herausforderungen bei der Datenerhebung.....	58
3.4 Datenverarbeitung und Auswertung.....	62
3.4.1 Sekundärenergieverteilung.....	62
3.4.2 Umwandlung von Sekundär- zu Endenergie.....	67
3.4.3 Endenergiebedarf.....	73
3.5 Sankey-Diagramm.....	77
3.6 Optimierungspotentiale.....	79
3.6.1 Wärmepumpenimplementierung.....	80
3.6.2 Photovoltaik-Anlagenimplementierung.....	90
3.6.3 Ergebnisse der Optimierungsvorschläge.....	94
4 Zusammenfassung und Ausblick.....	96
5 Literaturverzeichnis.....	98
6 Anhang.....	102

NOMENKLATUR

Abkürzungen

GMP	Good Manufacturing Practice
EAG	Erneuerbaren Ausbau Gesetz
THG	Treibhausgas
EEffG	Energieeffizienzgesetz
EED	Energieeffizienzrichtlinie
MEFA	Material- und Energieflussanalyse
EFA	Energieflussanalyse
CF	Carbon Footprint
PCF	Product Carbon Footprint
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
LFA	Life Cycle Assessment
LFC	Life Cycle Costing
LFT	Life Cycle Thinking
WRG	Wärmerückgewinnung
WP	Wärmepumpe
KWP	Kompressionswärmepumpe
SWP	Sorptionswärmepumpe
AWP	Absorptionswärmepumpe
ADWP	Adsorptionswärmepumpe
KM	Kältemittel
SM	Sorptionsmittel
PV	Photovoltaik
AM	Air-Mass-Zahl

Nomenklatur

RLT	Rücklauftemperatur
VLT	Vorlauftemperatur
EZ	Elektrozentrale
EVN	Energieversorgungsunternehmen
Si	Silizium
ALDIS	Austrian Lightning Detection & Information System
BT	Bauteil (entspricht Gebäude)
HWW	Heizungswarmwasser
EER	Energy Efficiency Ratio

Formelzeichen

kW	Kilowatt
kVA	Kilovoltampere
kWh	Kilowattstunde
GWh	Gigawattstunden
TWh	Terrawattstunden
MW _p	Megawatt Peak
kW _p	Kilowatt Peak
h	Stunde
€	Euro
K	Kelvin
g	Gramm
P	Leistung [W]
W	Arbeit [J]
%	Prozent
λ	Lambda

Nomenklatur

η	Nabla
nm	Nanometer
C°	Celsius
t	Tonne
mio	Million
eV	Elektronenvolt
m ³	Kubikmeter
l	Liter
p	Druck [bar]

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1: Darstellung der methodischen Vorgehensweise in dieser Arbeit. (Eigene Darstellung.).....	11
Abbildung 2-1: CO ₂ -Preisentwicklung (Eigene Darstellung in Anlehnung an [5]).....	15
Abbildung 2-2: Darstellung der Strom- und Gaspreisentwicklung von 2009 bis 2020. Zertifikatspreise sind darin nicht berücksichtigt. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [9].).....	17
Abbildung 2-3: Darstellung eines Input-Output Prozesses. (Eigene Darstellung.).....	22
Abbildung 2-4: Darstellung eines einfachen Sankey-Diagramms. (Eigene Darstellung.).....	23
Abbildung 2-5: Funktionsprinzip einer Luft-Luft Wärmepumpe. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [20].).....	24
Abbildung 2-6: Auflistung der verschiedenen Wärmepumpensysteme. (Eigene Darstellung.)	25
Abbildung 2-7: Kreislauf einer Kompressionswärmepumpe. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [19].)	26
Abbildung 2-8: Darstellung eines einfachen rechtsläufigen Kreisprozesses. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [19].)	26
Abbildung 2-9: Linksläufiger Kreisprozess. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [19].)	28
Abbildung 2-10: Linksläufiger Carnot-Prozess, dargestellt in einem Energieflussdiagramm. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [19].)	29
Abbildung 2-11: Funktionsprinzip einer Absorptionswärmepumpe. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [22])......	31
Abbildung 2-12: Funktionsprinzip einer Adsorptionswärmepumpe. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [21].).....	32
Abbildung 2-13: Jährlich in Österreich neu installierte und kumulierte PV-Anlagen Leistung. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [26].)	34
Abbildung 2-14: Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].).....	36
Abbildung 2-15: Elektromagnetisches Strahlungsspektrum. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].)	36
Abbildung 2-16: Spektrale Strahlungsintensität der Sonne und Strahlenintensität eines schwarzen Strahlers. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].).....	37
Abbildung 2-17: Solarpotential im Raum Wien für eine Solarthermie- und PV-Anlage, mit einer Fläche von 1 m ² . (Eigene Darstellung in Anlehnung an [28].)	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-18: Gitterstruktur von reinem Si. [27].....	40
Abbildung 2-19: Bändermodell von reinem Silizium. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].).....	41
Abbildung 2-20: Gitterstruktur und Bändermodell von n-leitendem Silizium. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].).....	42
Abbildung 2-21: Aufbau einer PV-Zelle mit p-n-Übergang. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].).....	43
Abbildung 2-22: Definition der Energieformen für diese Arbeit. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [31].).....	48
Abbildung 3-1: Standortübersicht mit markierten Energie- und Elektrozentralen. (Eigene Darstellung in Anlehnung an Takeda.).....	51
Abbildung 3-2: 16 Zylinder-Notstromdieselgenerator mit einer elektrischen Maximalleistung von 2.050 kW. (Quelle: Takeda).	52
Abbildung 3-3: Energiezentrale. (Quelle: Takeda.).....	53
Abbildung 3-4: Mit 8 MW Leistung, größter Brenner der Energiezentrale am Werksgelände. (Quelle: Takeda.).....	54
Abbildung 3-5: Größter Kälteanlagenverbund am Standort. (Quelle: Takeda.).....	57
Abbildung 3-6: Datenlage der Dampfdaten zu Beginn der Arbeit vor Ort. (Stand November 2020.) (Quelle: Takeda.).....	59
Abbildung 3-7: Manuelle Aufzeichnung der Dampflieferungen der Energiezentrale an die Bauteile. (Stand November 2020.) (Quelle: Takeda.).....	61
Abbildung 3-8: Anteilsmäßige Darstellung des Sekundärenergieeinsatzes von Strom, Gas und Diesel am Standort. (Eigene Darstellung.).....	63
Abbildung 3-9: Anteil am Sekundärenergiebedarf je Unternehmen. (Eigene Darstellung.)....	64
Abbildung 3-10: Prozentuale Sekundärenergiebezüge der einzelnen Bauteile. (Eigene Darstellung.).....	65
Abbildung 3-11: Sekundärenergieeinsatz je Bauteil, bezogen auf den Gesamtsekundärenergieeinsatz von Takeda. (Eigene Darstellung.).....	66
Abbildung 3-12: Sekundärenergieeinsatz je Bauteil, bezogen auf den Gesamtsekundärenergieeinsatz von Takeda, nach Sekundärenergieform. (Eigene Darstellung.).....	67
Abbildung 3-13: Verluste beim Umwandlungs- und Transportprozess von Gas bzw. Diesel zu HWW und Dampf bis zu den Bauteileingängen. (Eigene Darstellung.).....	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-14: Verluste beim Umwandlungsprozess von Diesel zu elektrischer Energie. (Eigene Darstellung.)	69
Abbildung 3-15: Transportverluste der elektrischen Energie, von der EVU-Übergabestation und den Elektrozentralen zu den Bauteileingängen. (Eigene Darstellung.)	70
Abbildung 3-16: Verluste bei der Druckluftbereitstellung am Standort. (Eigene Darstellung.)	71
Abbildung 3-17: Umwandlungsprozess von elektrischer Energie zu Kälte. (Eigene Darstellung.).....	72
Abbildung 3-18: Endenergiebedarf je Bauteil, bezogen auf den Gesamtendenergieeinsatz (exkl. Endenergieanteil durch Strom) von Takeda. (Eigene Darstellung.).....	73
Abbildung 3-19: Heizungswarmwasserverbrauchsverlauf von Takeda, pro Monat, im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.).....	74
Abbildung 3-20: Dampfverbrauch von Takeda, pro Monat, im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.).....	75
Abbildung 3-21: Gesamte erzeugten Kälte am Standort, im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.).....	76
Abbildung 3-22: Elektrischer Endenergieverbrauch je Monat, im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.)	77
Abbildung 3-23: Hauptenergie- und Medienflüsse am Standort. (Eigene Darstellung.)	78
Abbildung 3-24: Verfügbare Abwärme der drei größten Kälteanlagen im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.).....	81
Abbildung 3-25: Kälteanlagen- und Wärmepumpen-Parameter für die.....	82
Abbildung 3-26: Gegenüberstellung des HWW-Bedarfes mit Verlusten zur verfügbaren Abwärme der drei betrachteten Kälteanlagen. (Eigene Darstellung.).....	85
Abbildung 3-27: Theoretisches THG-Einsparpotential durch eine WP-Errichtung, bezogen auf den gesamten CO ₂ -Ausstoß durch die Erdgasverfeuerung von Takeda. (Eigene Darstellung.).....	89
Abbildung 3-28: Zeitlicher Verlauf des elektrischen Sekundärenergiebezuges am Standort, durch Takeda. (Eigene Darstellung.)	90
Abbildung 3-29: Mögliche Flächen für eine PV-Anlagenerrichtung am Firmenstandort. (Eigene Darstellung in Anlehnung an Takeda.)	91
Abbildung 3-30: THG-Einsparpotential in Prozent, in Bezug auf die von Takeda zugekaufte elektrische Sekundärenergie im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.)	94

Tabellenverzeichnis

Abbildung 3-31: Gegenüberstellung des Sekundärenergiebezuges von Takeda und den erarbeiteten Einsparpotentialen. (Eigene Darstellung.).....	95
Abbildung 6-1: Datenlage der Druckluftdaten zu Beginn der Arbeit vor Ort. (Stand November 2020) (Quelle: Takeda.).....	102
Abbildung 6-2: Datenlage der Trinkwasserdaten zu Beginn der Arbeit. (Stand November 2020) (Quelle: Takeda.).....	102
Abbildung 6-3: Datenlage der elektrischen Energieversorgung (EZ1 & EZ2) zu Beginn der Arbeit. (Stand November 2020) (Quelle: Takeda.).....	103
Abbildung 6-4: Datenlage der elektrischen Energieversorgung (EZ3 & Orth gesamt) zu Beginn der Arbeit. (Stand November 2020) (Quelle: Takeda.).....	104
Abbildung 6-5: Strombedarf je Bauteil, bezogen auf den Gesamtstrombedarf von Takeda. (Eigene Darstellung.)	105
Abbildung 6-6: Gasbedarf je Bauteil, bezogen auf den Gesamtgasverbrauch von Takeda. (Eigene Darstellung.)	105
Abbildung 6-7: Dieselbedarf je Bauteil, bezogen auf den Gesamtdieserverbrauch von Takeda. (Eigene Darstellung.)	106
Abbildung 6-8: Ausgearbeitete HWW-Verbrauchsdaten für Takeda und Pfizer. (Eigene Darstellung.).....	107
Abbildung 6-9: Ausgearbeitete Dampfverbrauchsdaten für Takeda und Pfizer. (Eigene Darstellung.).....	108
Abbildung 6-10: Ausgearbeitete Dampfverbrauchsdaten für Takeda und Pfizer. (Eigene Darstellung.).....	109

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: THG-Emissionen bei der Strom- und Wärmeerzeugung. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [3].).....	14
Tabelle 2-2: Typische Jahressumme der Globalstrahlung für Großstädte in Europa. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [25] .)	38
Tabelle 2-3: Solarpotential im Raum Wien für eine Solarthermie- und PV-Anlage, mit einer Fläche von 1 m ² . (Eigene Darstellung in Anlehnung an [28] .)	38
Tabelle 2-4: Real erreichbare Wirkungsgrade unterschiedlicher Photovoltaikzellentypen bei Standardbedingungen. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].)	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-5: Primärenergieaufwand für PV-Anlagen unterschiedlicher Zellentechnologien. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].)	44
Tabelle 2-6: Allgemeine Definition der Energieformen nach Quelle [31]. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [31]).	47
Tabelle 3-1: Auflistung der zugekauften Energieträger für den Standort und der bereitgestellten Medien am Standort. (Eigene Darstellung.)	50
Tabelle 3-2: Auflistung der Elektrozentralen am Standort. (Eigene Darstellung.)	50
Tabelle 3-3: Auflistung der Unterbringungsorte und der technischen Daten der Dieselgeneratoren am Standort. (Eigene Darstellung.)	52
Tabelle 3-4: Zu ermittelnde Energieflüsse der unterschiedlichen Energieformen am Standort. (Eigene Darstellung.)	58
Tabelle 3-5: Zugekaufte Sekundärenergie am Standort, für Takeda und Pfizer. (Eigene Darstellung.)	63
Tabelle 3-6: Anteile an zugekaufter Sekundärenergie. (Eigene Darstellung.)	64
Tabelle 3-7: Abwärme- und Verlust-Quellen am Firmenstandort. (Eigene Darstellung.)	79
Tabelle 3-8: Durch die Implementierung einer WP in das HWW-System einbringbare Abwärme. (Eigene Darstellung.)	88

1 EINLEITUNG

Zu Beginn dieses Kapitels wird auf die momentane Lage in den energieintensiven, produzierenden Betrieben, im Speziellen auf die Situation der Takeda Pharmaceutical AG eingegangen. Dabei wird auch auf die aktuellen Herausforderungen hingewiesen. Daran anknüpfend werden die Ziele, welche in dieser Arbeit erreicht werden sollen, angeführt. Danach werden die Methodik und die Vorgehensweise zur Erreichung dieser Ziele, sowie der Aufbau der Arbeit abgehandelt. Dieses Kapitel schließt mit der Vorstellung der Takeda AG, in dem ein Einblick in das Unternehmen gegeben wird, ab.

1.1 Ausgangssituation

Die Energiewende, zu erreichende Klimaziele, neue umweltpolitische Vorschriften und die Unsicherheit der Energieversorgungssicherheit führen dazu, dass die industrielle Energieeffizienz in produzierenden Unternehmen erhöht werden muss. Insbesondere energieintensive Industrien sind mit den Herausforderungen der Energieeffizienzerhöhung in ihren Prozessen konfrontiert. Die Energieeffizienz kann unter anderem durch den systematischen Einsatz organisatorischer und durch die Implementierung technischer Maßnahmen verbessert werden. Eine geeignete Methode zur Erhöhung der Energieeffizienz in Produktionsprozessen stellt die in dieser Arbeit behandelte Energieflussanalyse dar. Sie ist ein Instrument zur Implementierung und Durchführung eines Energiemanagements, welches auf ökologische, ökonomische und technische Beeinflussung von Energieströmen abzielt. In dieser Arbeit wird der Fokus insbesondere auf das technische Optimierungspotenzial gelegt.

Die Takeda Pharmaceutical AG hat erkannt, dass es zur Erreichung der Energieeinsparungsziele, worunter auch das Ziel der CO₂-Neutralität bis 2040 fällt, nötig ist, über die exakten Energieflüsse am Standort Bescheid zu wissen.

Es wurden bis zum Start der Arbeit zwar Einsparungsmaßnahmen, wie etwa die Drucksenkung der Druckluftanlagen auf den tatsächlich nötigen Druck, die Verringerung der Leerlaufzeiten der Druckluftanlagen und die Absenkung der Vorlauftemperaturen der Heizungswarmwasseranlagen angewandt, doch reicht dies nicht aus, um das maximale Potenzial auszuschöpfen und die Unternehmensziele erreichen zu können. Mittels einer für den Firmenstandort, Orth an der Donau durchgeführten Energieflussanalyse, wurden die einzelnen Medienverbräuche so genau wie möglich aufgezeigt, um so die Optimierungs- und Einsparungspotentiale bestmöglich ausschöpfen zu können.

1.2 Zielsetzung

Als erstes Ziel dieser Arbeit wurde die Datenanalyse festgelegt. Zur Datenanalyse zählen, die Identifikation einer repräsentativen Datenerhebungsmethodik, die Durchführung der Datenerfassung, eine Strategieentwicklung zur Eruierung der ausständigen Daten und die Ermittlung der Energiebilanzen der Prozesse. Zusätzlich stellte auch die Erfassung der energieintensivsten Bereiche des Unternehmens ein Ziel im Zuge der Datenerfassung dar.

Als zweites Ziel wurde die Erhebung und Darstellung der Hauptenergieflüsse am Firmenstandort, welche als Grundlagen für die Identifikation möglicher Verlustquellen bzw. von Einsparungspotentialen dienen sollen, festgelegt. Mit der Erhebung der Hauptenergieflüsse möchte die Takeda AG eine nachvollziehbare und somit einfachere Investitions- und Planungsentscheidungsgrundlage für zukünftige Energieeinsparungs- und Optimierungsprojekte erhalten.

Das dritte Ziel basiert auf den Ergebnissen der ersten beiden Ziele und beinhaltet Optimierungsmöglichkeiten, welche für diesen Standort des Pharmaunternehmens erarbeitet werden sollen. Mithilfe der dadurch lukrierten Informationen über mögliche Potentiale, soll die Takeda Pharmaceutical AG bei der Erreichung der Energieeffizienz- und CO₂-Einsparungsziele unterstützt werden. Unter den Optimierungsmöglichkeiten versteht man in diesem Zusammenhang, die Ausarbeitung und Bewertung von Optionen zur Nutzung von Einsparungspotentialen und zur Senkung von Verlusten.

1.3 Methodische Vorgangsweise

Zu Beginn der Arbeit wurde am Firmenstandort, in Orth an der Donau eine Erfassung der Ausgangssituation hinsichtlich der Medien- und Energieverteilung, inklusive standortspezifischer Besonderheiten durchgeführt. Parallel dazu wurden die involvierten Abteilungen und Verantwortlichen der Energieversorgungs- und Bereitstellungsanlagen identifiziert. Nach dem Kennenlernen des Datenerfassungs- und Verarbeitungssystems konnte mit der Datenaufbereitung begonnen werden. Diese wurde um die Ausarbeitung der Datenlücken erweitert. Durch Mitarbeitergespräche, Vergleiche mit verfügbaren Datenaufzeichnungen der Vorjahre, sowie Testmessungen, konnten diese Datenlücken behoben werden. Mit den bereinigten Daten, wurden dann die standortspezifischen Energiebilanzen ermittelt. Um die Ergebnisse, Verluste und möglichen Einsparungspotenziale darzustellen, wurde ein Sankey-Diagramm angefertigt. Mithilfe einer Literaturrecherche konnten derzeit etablierte Verfahren im Bereich der Energieeffizienzsteigerung und der Implementierung von erneuerbaren Energiequellen näher betrachtet werden. Abschließend

wurden auf Basis der Auswertungen der Energiebilanzen und der aus der Literaturrecherche erhaltenen Informationen, Optimierungsmöglichkeiten ausgearbeitet. Die methodische Vorgehensweise ist in Abbildung 1-1 dargestellt.

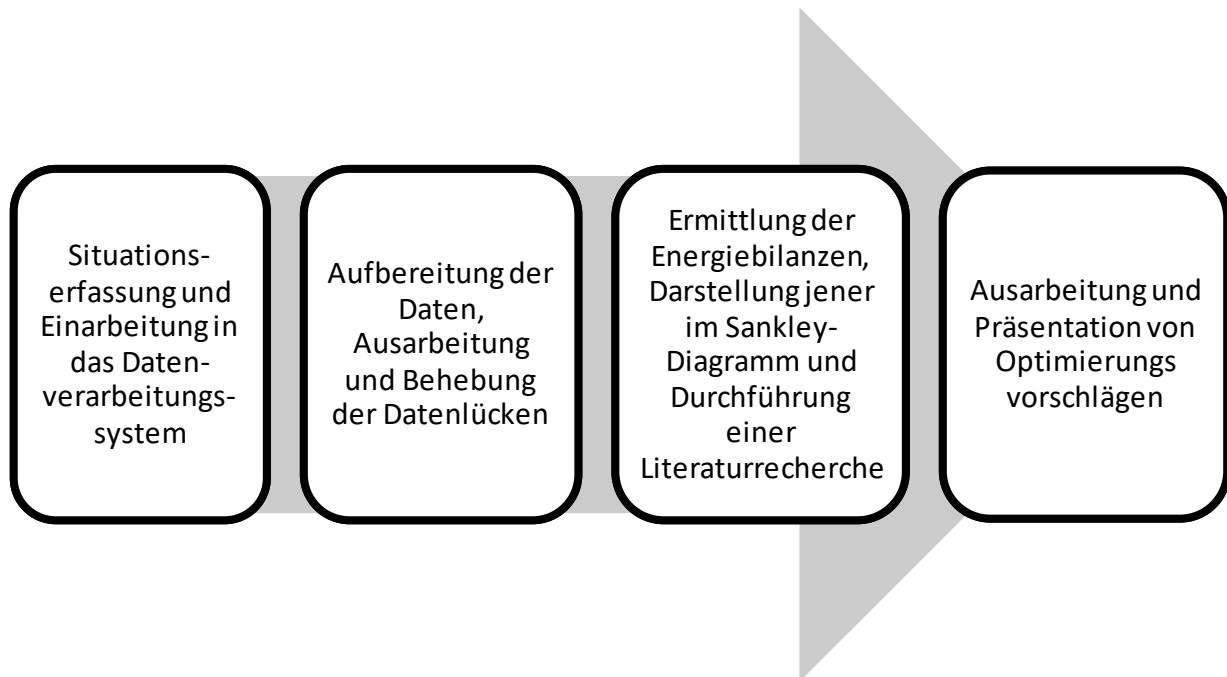


Abbildung 1-1: Darstellung der methodischen Vorgehensweise in dieser Arbeit. (Eigene Darstellung.)

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit unterteilt sich in sechs Kapitel. Das erste Kapitel leitet in die Problemstellung ein, wobei die Situation zu Beginn der Arbeit und die Zielsetzung näher erläutert werden. Außerdem wird die Takeda Pharmaceutical AG, mit deren Kooperation diese Arbeit durchgeführt wurde, vorgestellt. Kapitel zwei handelt von den theoretischen Hintergründen und der Motivation für die Auftragsvergabe dieser Arbeit. Zusätzlich wird auf die Unternehmenspolitik und die politischen Anreize eingegangen. Außerdem handelt dieses Kapitel von der Literaturrecherche zur angewandten Analysemethode und den behandelten Technologien. Weiters wird darin die Investitionsrechnung erläutert und es werden die standortspezifischen Energieformen definiert. Kapitel drei beinhaltet den praktischen Teil. Darin wird auf die am Standort eingesetzten Aggregate zum Zeitpunkt des Arbeitsstarts, die verfügbaren Daten zum Arbeitsbeginn und auf die Herausforderungen und die Lösungsansätze eingegangen. Zudem werden die lukrierten Daten, die Umwandlungsprozesse und die ermittelten Energieflüsse am Standort genauer erörtert. Auch findet sich das Sankey-Diagramm in diesem Kapitel. Als letzter Unterpunkt wird in Kapitel drei das Optimierungspotential, in welchem auch die zwei Optimierungsvorschläge

enthalten sind, angeführt. In Kapitel vier finden sich die Zusammenfassung und der Ausblick. Abgeschlossen wird mit Kapitel 5 und 6, dem Literaturverzeichnis bzw. dem Anhang.

1.5 Die Takeda Pharmaceutical AG

Die Takeda Pharmaceutical AG zählt zu den zehn weltweit größten Pharmaunternehmen. Der Umsatz betrug 2020 circa 30 Milliarden US-Dollar, bei einer Mitarbeiterzahl von rund 50.000. Das Unternehmen, welches vor 230 Jahren gegründet wurde und in 80 Ländern und Regionen weltweit tätig ist, fokussiert sich auf die Bereiche der Onkologie, Gastroenterologie, seltene Krankheiten, Neurowissenschaft, Plasma-basierte Therapien und Impfstoffe. In Österreich ist Takeda mit 4.500 Mitarbeiterinnen der größte pharmazeutische Betrieb. Bei dem in dieser Arbeit betrachteten Standort, Orth an der Donau, liegt der Fokus auf der Prozessentwicklung und Herstellung von Gentherapie-Produkten und Biologika. Als Besonderheit hat dieser Standort vorzuweisen, dass er als Einziger des globalen Takeda-Netzwerks für die GMP-Produktion (Good Manufacturing Practice) von Gentherapie-Produkten ausgestattet ist. In Orth befindet sich ein Quality Control Labor, welches globale Bedeutung für die Testung von Biologika und plasmabasierte Produkte hat. [1]

Der Prozess der Arzneimittelherstellung ist verhältnismäßig energieaufwendig. Am Standort werden jährlich ungefähr 28 Gigawattstunden (GWh) Erdgas, in der Energiezentrale verfeuert. Außerdem werden circa 19 GWh elektrische Energie pro Jahr benötigt. Hierbei ist zu erwähnen, dass für die Takeda AG eine Versorgungsverpflichtung zu anderen Pharmaunternehmen am Standort besteht. Zu den versorgten Pharmafirmen zählen Evotec und Pfizer.

2 THEORETISCHER HINTERGRUND - STAND DER TECHNIK

In diesem Kapitel wird über die theoretischen Hintergründe der in dieser Arbeit behandelten Anlagen aufgeklärt und die am Standort vorhandenen Aggregate werden besprochen. Zudem werden die für diese Arbeit relevanten Auszüge der jeweiligen Gesetze, Richtlinien und Förderungen angeführt. Außerdem werden neben der Unternehmenspolitik auch die Herausforderungen denen sich energieintensive Betriebe, besonders im Hinblick auf die Energiepreis- und Treibhausgasemissions-Entwicklung (THG-Emissions-Entwicklung) stellen müssen, behandelt.

2.1 Unternehmenspolitik zur Treibhausgasreduktion

Der Klimawandel kann sich negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken und unter anderem dazu führen, dass sich infektiöse Krankheiten besser ausbreiten können. Deshalb hat Takeda beschlossen, den Umweltschutz und damit einhergehend die Erreichung der Klimaneutralität zu einem dringenden Ziel zu machen. Bis zum momentanen Zeitpunkt hat es die Takeda AG geschafft, die selbstauferlegten Klimaziele bis zum Jahr 2020 zu übertreffen, wobei der CO₂-Ausstoß im Vergleich zum Jahr 2005 um 33,7 % reduziert werden konnte. [2]

Im Jahr 2020 hat Takeda beschlossen, entlang der Wertschöpfungskette klimaneutral zu werden. Bis 2025 hat der Konzern das Ziel, die THG-Emissionen um 40 % im Vergleich zum Jahr 2016 zu reduzieren. Bis zum Jahr 2040 will die Takeda Pharmaceutical AG den Ausstoß von THG unternehmensintern auf „Null“ reduzieren und die Zulieferer-THG-Emissionen sollen im Vergleich zum Jahr 2018 um 50 % vermindert werden. [2]

2.1.1 Carbon Footprint

Die Treibhausgasemissionen spielen für Unternehmen eine immer größere Rolle. Einerseits gehen mit dem THG-Ausstoß auch finanzielle Aufwendungen einher, andererseits müssen gewisse firmenpolitische und auch gesetzlich vorgeschriebene Ziele hinsichtlich des CO₂-Fußabdruckes eingehalten werden. Dieser Unterpunkt behandelt die für den Standort maßgeblichsten Emissionen.

CO₂-Emission bei der Nutzung von elektrischer Energie in Österreich

Laut dem österreichischen Umweltbundesamt fällt für die „Produktion“ einer durchschnittlichen Kilowattstunde (kWh) Stromes in Österreich, ein Äquivalenzwert von 258 g [3] Kohlendioxid an.

Tabelle 2-1: THG-Emissionen bei der Strom- und Wärmeerzeugung. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [3].)

Energieträger	Emissionsfaktor CO₂-Äquivalent (gesamte Emissionen)
Stromaufbringung Österreich	0,258 kg/kWh
Erdgas für die Wärmeproduktion	0,271 kg/kWh
Erdgas für die Stromerzeugung	0,440 kg/kWh

Dieser Wert setzt sich zusammen aus den Emissionswerten des österreichischen Kraftwerksparks und der Emissionswerte der Länder, aus denen der Importstrom bezogen wird und ist unter anderem, ebenso wie der THG-Ausstoß bei der Erzeugung einer kWh Stromes aus Erdgas, in Tabelle 2-1 ersichtlich. [3]

CO₂-Emissionen bei der Verfeuerung von Erdgas

Bei der Produktion einer Kilowattstunde elektrischer Energie aus Erdgas fallen laut österreichischem Umweltbundesamt 440 g CO₂ an. [3] Der für diese Arbeit relevante Wert beträgt allerdings 271 g/kWh [3]. Dies resultiert daraus, da aufgrund des Wirkungsgradunterschiedes bei der Wandlung von Gas zu Wärme, anstatt von Gas zu elektrischer Energie, nur 271 g pro kWh für die Erzeugung entstehen. Das am Standort verfeuerte Erdgas wird ausschließlich zur Wärmegewinnung eingesetzt, womit für die Berechnungen in dieser Arbeit 271 g/kWh für die durch Erdgas erzeugten Wärmemengen angenommen wird. Bei der Wärmeproduktion aus Erdgas werden sowohl die indirekten- (0,071 kg/kWh), als auch die direkten- (0,200 kg/kWh) THG-Emissionen als CO₂-Äquivalente mit berücksichtigt. Zu den indirekten-THG-Emissionen zählen auch die entstandenen Emissionen bei der Erdgasförderung und beim Erdgastransport, wobei die direkten Emissionen unmittelbar im Verfeuerungsprozess entstehen.

2.1.2 CO₂-Zertifikate

Dadurch, dass sich die Europäische Union zur THG-Reduktion verpflichtet hat, werden vor allem energieintensive Unternehmen und Energieversorger stark beeinflusst, denn das Maßnahmenpaket zur THG-Minderung betrifft insbesondere diese Bereiche. Der Emissionshandel mit Zertifikaten stellt unter anderem eine der Maßnahmen mit Ziel der Emissionsminderung dar. Dieser Handel hat je nach Marktsituation große monetäre Auswirkungen auf betroffene Unternehmen. Der Emissionshandel soll zu einem kontrollierten Ausstoß an THG führen, wobei durch eine limitierte Anzahl an Zertifikaten die Gesamt-THG-Ausstoßmenge begrenzt werden soll. Diese bepreisten Zertifikate sollen dazu

führen, Unternehmen dazu zu bringen, den Ausstoß klimaschädlicher Emissionen zu minimieren. [4] Hierbei muss festgehalten werden, dass es auch Betriebe spezieller Branchen gibt, welchen die sogenannten „CO₂-Zertifikate“ kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Bei solchen, von „carbon leakage“ betroffenen Unternehmen, handelt es sich um Betriebe, welche als abwanderungsgefährdet eingestuft werden. Dies bedeutet, dass im Falle einer Abwanderung in ein Land ohne CO₂-Zertifikatshandel die gleiche Menge an THG ausgestoßen werden würde und für diesen Ausstoß keine Zertifikate gekauft werden müssten. Um diesen Wettbewerbsnachteil auszugleichen, werden in diesen Sonderfällen Gratiszertifikate vergeben. [4] Einige pharmazeutische Produktionsstätten gehören bzw. gehörten ebenso zu diesen Ausnahmebetrieben. Da der in dieser Arbeit untersuchte Standort allerdings nicht dazu gehört, zählen CO₂-Zertifikate sehr wohl zu den Energiekostentreibern und stellen somit auch einen Grund für Emissionsminderungsmaßnahmen dar.

Durch einen zwischenzeitlichen Preisverfall der Zertifikate auf teilweise unter 5 €/t CO₂-Ausstoß wurden die THG-Ausstoßminderungseffekte dieser Zertifikate jedoch stark in Frage gestellt. Momentan beläuft sich der Preis eines Zertifikates, welches an der European Energy Exchange (EEX), einer europäischen Energiebörse gehandelt wird, auf 52 €/t CO₂. [5] In Abbildung 2-1 ist die Preisentwicklung der Kohlendioxidzertifikate über nahezu ein Jahrzehnt ersichtlich.



Abbildung 2-1: CO₂-Preisentwicklung (Eigene Darstellung in Anlehnung an [5]).

Bei einem CO₂-Ausstoß durch das Verfeuern von Erdgas, werden am Standort in Orth a. d. Donau jährlich ungefähr 4.700 t CO₂ ausgestoßen, wodurch sich nur die Kosten des THG-Ausstoßes bei aktuellem Zertifikatspreis [5] auf rund 250.000 € belaufen würden. Das

Ergebnis dieser Schlussrechnung entspricht nicht den tatsächlich entstandenen standortspezifischen THG-Emissionskosten. Es soll aber verdeutlichen, welchen Einfluss der Zertifikatspreis auf den „Gesamt“-Energiepreis, sprich die für die Bereitstellung von, in diesem Fall Wärmeenergie und Dampf anfallenden Kosten hat. Weiterführend haben diese Kosten auch indirekt Einfluss auf die Investitionsbereitschaft hinsichtlich THG-Minderungsmaßnahmen von Unternehmen.

2.1.3 CO₂-Steuern

Im Gegensatz zu den CO₂-Zertifikaten bzw. zum Zertifikatshandel, stellt eine CO₂-Steuer einen festgelegten Betrag dar, mit dem eine Tonne Kohlendioxid bewertet wird. Somit wird überall wo Treibhausgase ausgestoßen werden eine Zahlung dieser Steuer fällig. Wohingegen die CO₂-Zertifikate zurzeit nur in gewissen Branchen und in diesen auch nicht einheitlich, erworben werden müssen. [6] Aktuell existiert in Österreich keine explizite CO₂-Steuer, allerdings wird Energie besteuert. Diese Kosten werden an den Kunden weitergegeben. Beispielsweise entsprach die Mineralölsteuer im Jahr 2019, umgerechnet einem Preis von 220 €/t ausgestoßener Emissionen, bei der Verbrennung von Benzin. [7] Aktuell sind laut der Quelle [8] weitere CO₂-Steuern geplant, allerdings gibt es noch keine bestätigten Informationen über den genauen Einführungszeitpunkt oder über die Höhe der Steuerlast.

2.1.4 Energiepreisentwicklung

Die Energiepreise haben einen wesentlichen Einfluss auf die Investitionsbereitschaft von Unternehmen für Energieeinspar- und in dieser Verbindung auch Klimaschutzmaßnahmen. Für den in dieser Arbeit untersuchten Standort der Takeda Pharmaceutical AG, haben der Strom und der Gaspreis die maßgeblichsten Auswirkungen auf die Standortenergiekosten.

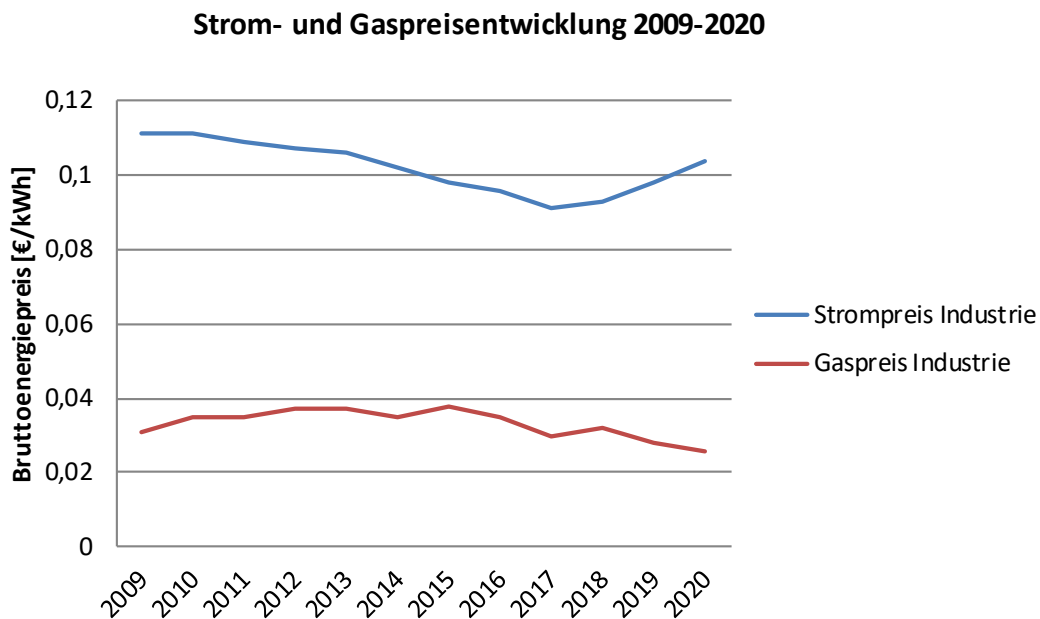


Abbildung 2-2: Darstellung der Strom- und Gaspreisentwicklung von 2009 bis 2020. Zertifikatspreise sind darin nicht berücksichtigt. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [9].)

Wie in der Abbildung 2-2 ersichtlich ist, gab es im Zeitraum von 2017 bis 2020 einen nicht unwesentlichen Anstieg des Strompreises um rund 15 %. Der Gaspreis für Unternehmen hingegen sinkt seit dem Jahr 2012 kontinuierlich und befindet sich im Jahr 2021 annähernd auf dem Niveau des Jahres 2009. [9] Anhand dieser Zahlenwerte könnte schlussgefolgert werden, dass die Takeda AG aus rein ökonomischer Sicht wenig Interesse an einer Verringerung des Erdgasbedarfs bei gleichzeitiger Steigerung des Bedarfs an elektrischer Energie haben sollte. Dies wäre beispielsweise bei der Implementierung einer Wärmepumpe als Optimierungsvorschlag der Fall.

Somit soll dieser Unterpunkt einerseits veranschaulichen, dass der reine Energiepreis nicht immer das unmittelbar ausschlaggebende Kriterium für Innovationen im Energiesektor ist, andererseits wird dadurch auch aufgezeigt welche Wichtigkeit Förderungen, gegebenenfalls Steuern oder anderen Preisbeeinflussungsmechanismen und eine zukunftsorientierte klimaschutzpolitische Einstellung der Unternehmen, zukommt. [10] Gleichsam gilt es zu erwähnen, dass die dargestellten Zahlenwerte in vorangegangenen Grafik nur die Energiepreise ohne Zertifikatskosten widerspiegeln.

Wie in den vorhergehenden Unterpunkten behandelt, haben diese, je nach Marktsituation einen essenziellen Einfluss auf die tatsächlichen Kosten pro Kilowattstunde und somit auch auf Unternehmensbezogene energiewirtschaftliche Entscheidungen. [10]

2.2 Instrumente zur Steuerung der Treibhausgasemissionen

Um von staatlicher Seite die THG-Emissionen besser reglementieren und die Emissions-Minderungsmaßnahmen besser vorantreiben zu können, existieren diverse Hilfsmittel in Form von Gesetzen und Förderungen, welche in den nachfolgenden Unterpunkten erläutert werden.

2.2.1 Gesetze

Um die Emissionen gezielt begrenzen und somit den Klimawandel verlangsamen zu können, dienen unter anderem Gesetze und Richtlinien als Lenkungsmechanismen. Die anschließend behandelten Gesetze und Richtlinien sind für das in dieser Arbeit betrachtete Unternehmen anzuwenden.

Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz

Das Ziel der Bundesregierung in klima- und energiepolitischer Hinsicht ist es, die Stromversorgung Österreichs bis zum Jahr 2030 zu 100 Prozent auf erneuerbare Energieträger umzustellen, überdies soll Österreich bis zum Jahr 2040 klimaneutral gemacht werden. Um ein Investitionsklima zu schaffen, welches langfristig stabil besteht, soll das Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG) die dafür nötigen Rahmenbedingungen im rechtlichen und organisatorischen Aspekt bereitstellen. [11] Bis 2030 soll die aus erneuerbaren Energien jährlich erzeugte Strommenge, unter Einhaltung strenger ökologischer Richtlinien, um 27 Terawattstunden gesteigert werden. Um Betriebe und Unternehmen für die klima- bzw. CO₂-neutrale Gas- und Stromproduktion zu gewinnen, kommen Investitionszuschüsse aber auch Betriebsförderungen in Form gleitender Marktprämien zum Einsatz. [11] Für die durch Photovoltaik (PV)-, Wasserkraft-, Windkraft-, Biomasse- und Biogasanlagen erzeugte elektrische Energie sind Förderungen angedacht, wobei die Förderdauer 20 Jahre, ab Inbetriebnahme beträgt. [11]

Weiters werden Investitionszuschüsse für den Neubau von PV-Anlagen, Stromspeichern und Windkraftanlagen bis 1 Megawatt, abhängig von der individuellen Reihung und zur Verfügung stehenden Fördergeldern, gewährt. [11] In Kapitel 2.2.2 werden Beispiele für diese Förderprogramme genannt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das EAG maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung der industriellen Energieversorgung und Bereitstellung hat und somit ein wichtiges Werkzeug der Politik darstellt, um den THG-Ausstoß von Konzernen und Betrieben zu steuern bzw. zu senken.

Energieeffizienzrichtlinie

Zur Forcierung der Energieeffizienz und entsprechender expliziter Maßnahmen wurde mit der Energieeffizienzrichtlinie (EED; 2012/27/EU) ein unionsrechtlicher Rahmen gelegt. [12] Hauptaufgabe dieser Richtlinie ist es, einen maßgeblichen Anteil zur Erfüllung des Energieeffizienzziels der Energie Union beizutragen. [12]

Das Energieeffizienzgesetz (EEffg) inkludiert mitunter:

1. Die Pflicht von großen Unternehmen ein externes Energieaudit durchzuführen, oder ein Umwelt- oder Energiemanagementsystem einzuführen. [12]

Die getätigten Energieeffizienzmaßnahmen und die abgehaltenen Energieaudits, welche zur Erreichung der Verpflichtungen des EEffG getätigt wurden, sind der Monitoringstelle zu melden. [12]

Unter einem Energieaudit, zu dessen Durchführung auch die Takeda Pharmaceutical AG verpflichtet ist, versteht man ein in einem Bericht zusammengefasstes, systematisches Verfahren, welches zur Gewinnung einer hinreichenden Menge an Informationen über das existierende Energieverbrauchsprofil und zur Ermittlung von kostenwirksamen Energieeinsparungsoptionen dient. [12] Vorgeschrieben wird die Durchführung eines Energieaudits bei großen Unternehmen laut §9 EEffG, wobei diese Verpflichtung 2015 in Kraft getreten ist. [12] Energieaudits müssen alle vier Jahre erneuert werden, wobei die Meldungen der abgehandelten Audits online erfolgt. Im Jahr 2018 waren 2039 Unternehmen als verpflichtete Unternehmen gemeldet. [12]

2.2.2 Förderungen

Als Mittel des Staates, um Unternehmen und Konzerne vermehrt dazu zu bewegen, Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen durchzuführen, dienen unter anderem Förderungen. Nachfolgend finden sich Beispiele an Förderungen, welche auch für die in dieser Arbeit vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen verfügbar sind. Die anschließend angeführten Förderungen wurden vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technik und von der Abwicklungsstelle für Ökostrom ausgeschrieben.

Wärmerückgewinnung bei Kälte-, Lüftungsanlagen und Umluftsystemen

Mit der Förderung laut Quelle [13] werden Maßnahmen unterstützt, welche zur Wärmerückgewinnung bei Kälte- und Lüftungsanlagen sowie bei Umluft-Systemen dienen. Bestimmt wird diese Förderung pauschal anhand der Nennwärmeleistung bzw. anhand des Volumenstroms. Die Förderung ist mit 30 % der förderungsfähigen Kosten begrenzt und wird in Form eines Investitionskostenzuschusses vergeben. Gefördert wird unter anderem eine

Anlage zur Wärmerückgewinnung mit einer Wärmetauscher-Maximalleistung von 100 kW, bei Kälteanlagen (Kühl-Prozesskälte sowie Klimaanlage) oder Lüftungsanlagen. Der Förderungszuschuss beläuft sich für einen 100 kW Wärmetauscher auf maximal 10.400 €. [13]

Wärmerückgewinnung, Beleuchtungsoptimierung und effiziente Nutzung von Energie

Die Förderung laut Quelle [14] steht für Maßnahmen zur effizienteren Nutzung von Energie in Produktionsprozessen gewerblicher Art, sowie für Wärmerückgewinnungssysteme zur Verfügung. Gefördert werden Wärmerückgewinnungsanlagen (WRG-Anlagen) zur WRG von Kälteanlagen über 100 kW Wärmetauscherleistung. Weiters werden Anlagen gefördert, welche bisher ungenutzte Wärmeströme verwenden. Zusätzlich werden Wärmepumpen (WP) zur Erschließung von Niedertemperaturabwärme gefördert. Es werden auch Optimierungen von fossilen Prozesswärmeerzeugern gefördert, sofern nicht auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden kann. Maximal werden 30 % der Investitionskosten bezuschusst. [14]

Photovoltaik-Förderaktionen

Die OeMAG (Abwicklungsstelle für Ökostrom AG) hat eine Förderaktion für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) ausgeschrieben. Die Förderung laut Quelle [15] wird als Investitionsförderung angeführt, welche für Anlagen bis maximal 500 kW_p Spitzenleistung verfügbar ist. Außerdem werden auch Stromspeicher gefördert. Maßgeblich richtet sich dieser Zuschuss aber an die Errichtung von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energie. Bei einer 500 kW_p Anlage, kann maximal mit einer Fördermenge in der Höhe von rund 100.000 € gerechnet werden. Hier beträgt die Maximalförderhöhe, 30 % des für die Errichtung der Anlage nötigen Investitionsvolumens. [15]

2.3 Ökobilanzierung

Als Basis für die Ökobilanzierung von Produkten kommen unter anderem die meist in Kombination eingesetzte Material- und die Energieflussanalyse (EFA) zum Einsatz. [16] Einen der zwei wichtigsten Punkte der Ökobilanz stellt dabei die Bilanzierung von der Entnahme der Rohstoffe aus der Umwelt bis zur Wiedereinbringung der Reststoffe in die Umwelt dar. Nach dem zweiten wichtigen Punkt, müssen die relevantesten Material- und Energieflüsse beachtet werden, die zu den bedeutsamsten Umweltwirkungen beitragen. [16]

Die Ökobilanz ist ein komplexes und umfangreiches Analyseinstrument, welches unter anderem Schutzzielen wie Lärm, Ökotoxizität, Versauerung, Ozonabbau und dem Treibhauseffekt dient. Betrachtet man nur das Schutzziel der Ökobilanz, so erhält man den

Begriff, „Carbon Footprint“ (CF). Dieser CF befasst sich mit der Treibhausgasemissionsbilanzierung und kann als ein Analyseverfahren angesehen werden. [16] Der CF stellt praktisch eine minimierte Form einer Ökobilanz, welche nur CO₂ betrachtet, dar. Er lehnt sich am Life Cycle Thinking (LCT) an. Mit ihm ist im Gegensatz zur Ökobilanzierung die Reduzierung der Ergebnisse auf eine einzige Zahl möglich. Diese Reduzierung birgt aber das Risiko, dass oftmals nur mehr allein dieser Wert betrachtet und für Entscheidungen herangezogen wird. Zudem werden bei der Betrachtung des CF, andere Kategorien wie Luftschadstoffemissionen oder Ressourcenbedarf, die ebenso Einflüsse auf den Klimawandel haben, nicht berücksichtigt. Allerdings bietet diese Analyseform des LCT einen einfachen Vergleich von Alternativen von Produktionsprozessen. Dies ist auch ein Grund dafür, dass der CF immer mehr an Auftrieb erfährt. [16] Im Bereich der Material- und Energieflussanalyse (MEFA) in dem das Bezugsobjekt ein ganzer Konzern bzw. ein ganzes Unternehmen ist, gewinnt das LCT ebenso zunehmend an Bedeutung. [16] Anders als früher in Unternehmen üblich, bei Umweltberichten nur die direkten Emissionen anzuführen, sind mittlerweile auch die indirekten THG-Emissionen der gesamten Lieferkette zu berücksichtigen. [16] Bei der MEFA haben diese neuen Einsatzgebiete auch Auswirkungen auf die Qualität und Quantität der Datenerfassung, da dafür wesentlich mehr Datenpunkte implementiert, kontrolliert und überwacht werden müssen. [16] Der Product Carbon Footprint (PCF) bezieht alle Treibhausgasemissionen von einem Produkt oder einer Dienstleistung mit ein und bewertet diese. Somit ist beim Bezug auf eine Produktmenge, nun der PCF unterschiedlicher Produkte miteinander vergleichbar. Als Ergebnis gibt der PCF einen Wert aus, der dem CO₂-Mengen äquivalent des gesamten entstandenen THG-Ausstoßes eines Produktsystems entspricht. [16]

Die Material- und Energieflussanalyse kann verwendet werden um einen PCF zu erstellen. [16] Mit ihr kann der Produktlebensweg und dessen einzelne Prozessschritte dargestellt werden. Bei den Prozessschritten werden Energien und Materialien umgesetzt und dabei Emissionen ausgestoßen. Wobei die wichtigen Energien, Materialien und Emissionen typischerweise in einem „Input-Output“ Diagramm, dargestellt werden. In Abbildung 2-3 ist ein simpler Input-Output-Prozess dargestellt. [16]

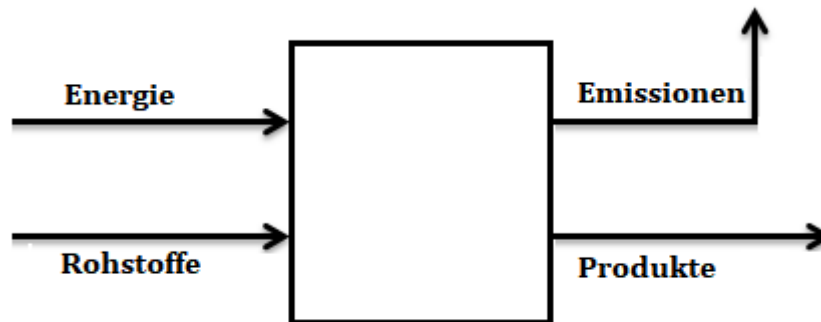


Abbildung 2-3: Darstellung eines Input-Output Prozesses. (Eigene Darstellung.)

Dabei werden die zugeführten Energien, Materialien an der Eingangsseite angegeben und die Treibhausgasemissionen auf der Ausgangsseite angeführt. Für umfangreiche Produktionsprozess-Strukturen können dabei aufwendige Systeme entstehen. Die Summation der einzelnen Schritte ergibt letztendlich die gesamten THG-Emissionen. [16]

Zusammenfassend und speziell mit Blick auf ein pharmazeutisches Unternehmen kann also festgehalten werden, dass der effiziente Umgang mit materiellen und energetischen Ressourcen ein maßgebliches Ziel der Nachhaltigkeitsbestrebungen in der pharmazeutischen Industrie darstellt. Die MEFA wird eingesetzt, um bei der Optimierung von Produktionsprozessen zu unterstützen. Weiters kann sie auch genutzt werden, um den CF eines Produktes und weiterführend eines Gesamtunternehmens zu ermitteln. Die EFA verbindet die wirtschaftlichen Unternehmensziele mit den Umweltschutzziele. Das Hauptaugenmerk der EFA liegt darin, die Material- und Energieausnutzung zu erhöhen. Die EFA und weiterführend Prozessoptimierungen tragen aufgrund der Steigerung der wirtschaftlichen Effizienz auch dazu bei, dass die Klimaziele von Unternehmen und Staaten aufgrund von ökonomischen Vorteilen, mit dem positiven Nebeneffekt der THG-Reduktion, früher erreicht werden können. [17]

Energieflussdiagramme

Energieflussdiagramme (EFD) kommen zur Anwendung, um Informationen über Energien grafisch darzustellen. Dabei kann es beispielsweise um die Umwandlung von Energie gehen. Häufig werden EFD auch bei Energiebilanzen von Ländern auf nationaler Ebene oder wie in dieser Arbeit, in Unternehmen bzw. an Unternehmensstandorten eingesetzt. Am häufigsten werden die EFDs als „Sankey-Diagramme“ dargestellt. In Abbildung 2-4 ist ein Beispiel eines einfachen Sankey-Diagramms angeführt.

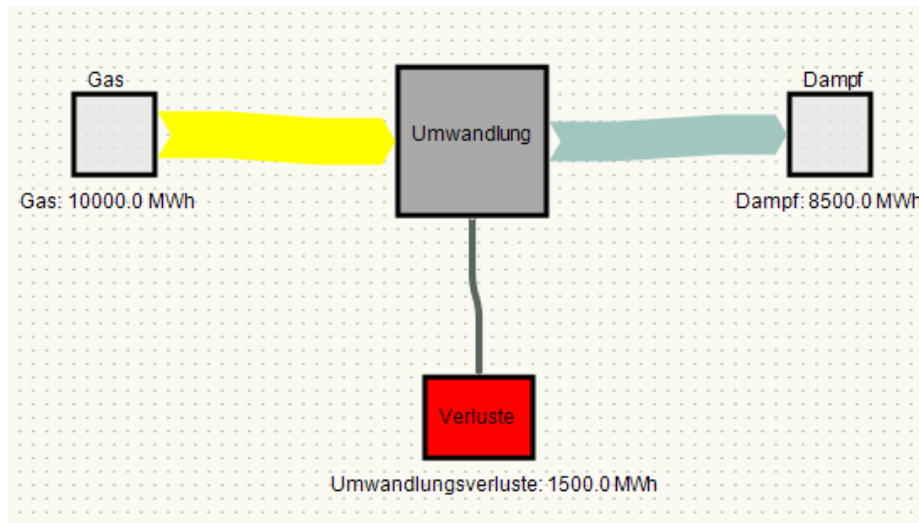


Abbildung 2-4: Darstellung eines einfachen Sankey-Diagramms. (Eigene Darstellung.)

Bei Sankey-Diagrammen geben die Dicke des Pfeiles die Menge der Energie und der Pfeil selbst die Energieflussrichtung an. Meist werden alle Pfeile in einem Sankey-Diagramm in der gleichen Einheit dargestellt, wobei sich die unterschiedlichen Energieträger, wie etwa Gas oder elektrischer Strom, farblich unterscheiden. [18]

2.4 Wärmepumpen

Wärmepumpen (WP) zählen, neben den Wärmekraftmaschinen zu den thermodynamischen Maschinen. Bei WP bewirkt der Einsatz mechanischer Arbeit einen Wärmeumsatz. Sofern dieser Wärmeumsatz nur einseitig genutzt wird, spricht man von Heizwärmepumpen (reine Wärmeabgabe) beziehungsweise von Kältemaschinen (reine Wärmeaufnahme). [19] Wärmepumpensysteme bieten die Möglichkeit, Abwärme eines geringen Temperaturniveaus nutzen zu können. Sie stellen eine sinnvolle Option dar, um fossile Energieträger zu substituieren, dabei die Energieeffizienz zu steigern und somit Energiekosten und THG-Emissionen zu verringern.

2.4.1 Wärmepumpenarten

Je nachdem welche Wärmequelle eingesetzt wird und für welchen Einsatzzweck die Wärmepumpe genutzt wird, sind unterschiedliche Arten der Implementierung einer WP möglich. Wärmeübertrager müssen an die jeweils genutzte Wärmequelle angepasst werden. Auch eignet sich nicht jede Wärmequelle für jeden Einsatzbereich.

Luft-Luft Wärmepumpe

Bei der Luft-Luft WP wird auf die in der Abluft bzw. Luft enthaltene Energie zurückgegriffen. Allerdings wird hier die Energie nicht genutzt, um ein Kältemittel zu verdampfen. Es wird die

Luft der Umwelt über einen Plattenwärmetauscher mit der Wärme der Abluft aufgeheizt und ins Gebäude geführt. Diese WP wird hauptsächlich bei Passivhäusern eingesetzt, wo wegen der sehr gut gedämmten, dichten Gebäudehülle eine kontrollierte Wohnraumlüftung notwendig ist, um die nötigen Bedingungen für Wohnräume zu erfüllen. Zusätzlich werden diese Systeme auch bei moderneren, optimal isolierten Bürogebäuden und je nach Auslegung auch in gedämmten Produktionshallen eingesetzt. Bei der Luft-Luft WP wird der Abluft Energie über einen Kreuzstrom Wärmetauscher entzogen und an die Frischluft übertragen. Nur an besonders kalten Tagen wird hier zusätzlich die ins Gebäude eingebrachte Luft über eine kleine Kompressionswärmepumpe erwärmt. Abbildung 2-5 zeigt das Funktionsprinzip einer Luft-Luft-WP. [20]

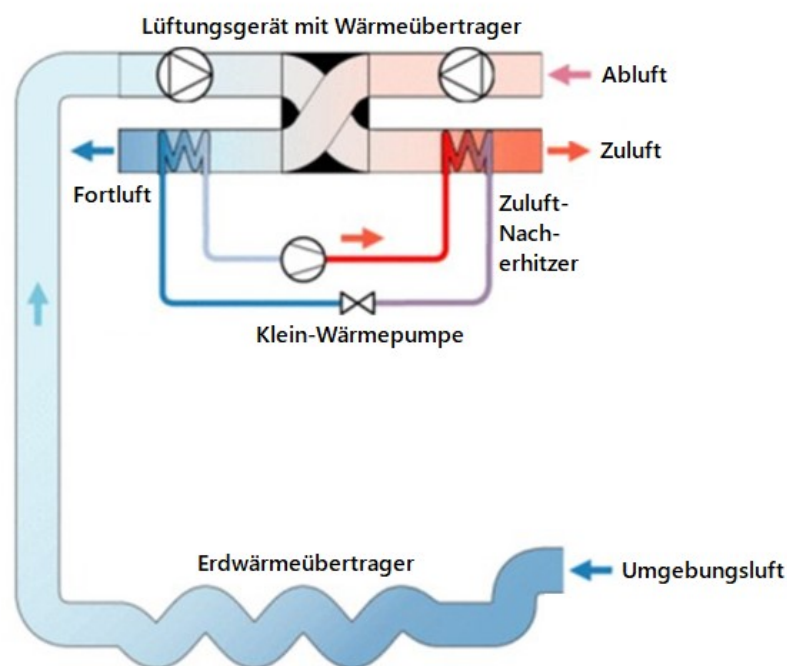


Abbildung 2-5: Funktionsprinzip einer Luft-Luft Wärmepumpe. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [20].)

Luft-Wasser Wärmepumpe

Die Luft-Wasser-WP nutzt die in der Außenluft enthaltene Energie um ein Kältemittel (KM) zum Verdampfen zu bringen. Eine Luft-Wasser-WP kann sowohl als Kompressions- als auch als Sorption-WP ausgeführt werden. [20]

Sole-Wasser Wärmepumpe

Die Sole-Wasser-WP nutzt einen Teil der im Erdreich enthaltene Energie, um ein KM zum Verdampfen zu bringen. Auch diese WP kann als Sorption- oder Kompressions-WP ausgeführt sein. [20]

Wasser-Wasser Wärmepumpe

Die Wasser-Wasser-WP nutzt einen Teil der im Grundwasser enthaltenen Energie, um ein KW zum Verdampfen zu bringen. Das Funktionsprinzip entspricht, je nach Ausführung jenem einer KWP oder einer SWP. [20]

2.4.2 Wärmepumpensysteme

Es existieren unterschiedliche Wärmepumpensysteme, welche nach unterschiedlichem Funktionsprinzip und mit unterschiedlichen „Antrieben“ arbeiten. In Abbildung 2-6 sind diese aufgeführt.

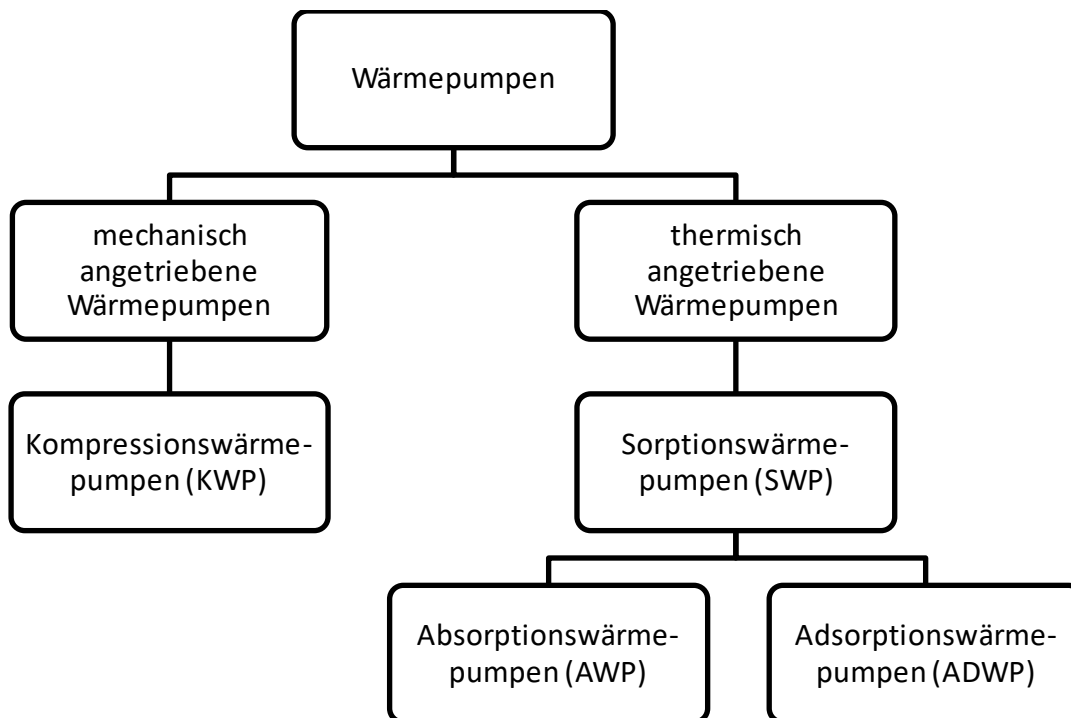


Abbildung 2-6: Auflistung der verschiedenen Wärmepumpensysteme. (Eigene Darstellung.)

Kompressionswärmepumpen

Eine KWP wird eingesetzt, um das Temperaturniveau von Wärmeströmen zu erhöhen und diese dadurch nutzbar zu machen. Als Antriebsleistung wird mechanische Energie, in Form einer mechanischen Pumpe eingesetzt. [19]

Dem flüssigen Kältemittel (KM), welches niedrigen Druck und niedrige Temperatur aufweist, wird im Verdampfer Wärme (Q_{zu}) zugeführt. Dieses Q_{zu} kommt aus der Umgebung und führt dazu, dass das KM verdampft. Das verdampfte KM wird nun komprimiert, wodurch es sich erwärmt. Für diesen Kompressionsvorgang muss mechanische Energie, durch einen Kompressor, zugeführt werden. Im Kondensator wird dem erhitzten Dampf die Wärme entzogen (Q_{ab}). Beim Entzug kondensiert das KM und nimmt nun wieder die flüssige Phase

an, wobei das Fluid noch unter hohem Druck steht. Abschließend wird die Flüssigkeit durch das Drosselventil entspannt, wobei das KM abkühlt und nun wieder dem Verdampfer für einen neuerlichen Kreislauf zugeführt wird. [14] In der Abbildung 2-7 wird das Prinzip des Kreislaufes aufgezeigt.

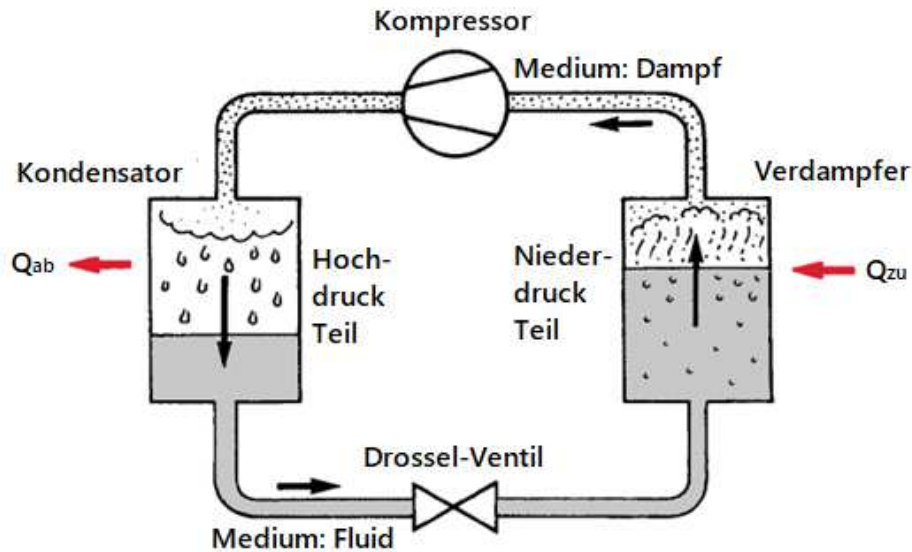


Abbildung 2-7: Kreislauf einer Kompressionswärmepumpe. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [19].)

Das Prinzip der KWP basiert auf einem Kreisprozess. Wenn ein System mehrere Zustandsänderungen durchläuft und der Endzustand mit dem Anfangszustand übereinstimmt, dann entspricht dies einem Kreisprozess. Dargestellt werden kann ein Kreisprozess unter anderem mittels eines p,V -Diagramms (Druck-/Temperatur-Diagramm). Läuft ein Kreisprozess im p,V -Diagramm im Uhrzeigersinn ab, so handelt es sich dabei um einen rechtsläufigen Kreisprozess. In der Abbildung 2-8 ist ein solcher rechtsläufiger Kreisprozess ersichtlich. [19]

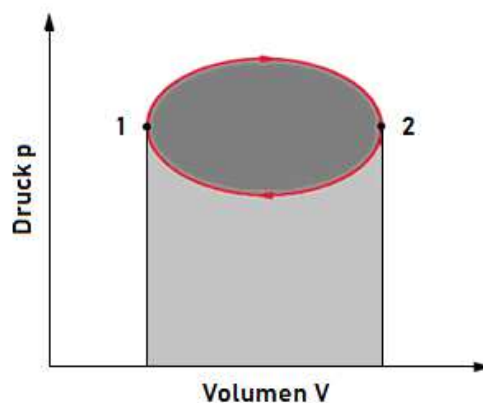


Abbildung 2-8: Darstellung eines einfachen rechtsläufigen Kreisprozesses. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [19].)

Bei diesem dargestellten Kreisprozess wird bei der Expansion von 1 nach 2 eine Arbeit abgegeben, diese nennt sich Volumenänderungsarbeit. Diese Arbeit entspricht in der Grafik der Fläche unter der oberen Kurve (hell- und dunkelgraue Fläche). Beim Schritt von Punkt 2 nach Punkt 1, handelt es sich um einen Kompressionsvorgang. Während dieses Vorgangs wird Arbeit zugeführt, wobei diese Arbeit der Fläche unter der unteren Kurve entspricht (hellgraue Fläche). Somit wird beim rechtsläufigen Kreisprozess mehr Arbeit abgegeben als zugeführt. Dies ist auch visuell ersichtlich, wenn man von der Expansionsarbeit, der gesamten grauen Fläche, die Kompressionsarbeit, die hellgraue Fläche abzieht. [19] Die dunkelgraue Ellipse entspricht dabei der Nutzarbeit, welche je Umlauf nach außen abgegeben wird. [19]

Diese Figur kann mittels eines Kreisintegrals mit nachfolgender Formel (2-1) [19] beschrieben werden.

$$W = \oint \delta W = - \oint p dV \quad (2-1)$$

Wobei der erste Hauptsatz der Thermodynamik laut Formel (2-2) [19] die Form:

$$\oint dU = 0 = \oint \delta Q + \oint \delta W \quad (2-2)$$

annimmt. Da nach einem ganzen Umlauf des Kreisprozesses, die innere Energie wieder den Anfangswert annimmt, ist das Kreisintegral über alle Änderungen der inneren Energie Null. Daraus resultiert, dass sich die Nutzarbeit aus der Abweichung der zugeführten und der abgeführten Wärme ergibt. [19] Bei einem Kreisprozess, der gegen den Uhrzeigersinn läuft, ist die abgegebene Expansionsarbeit kleiner als die zugeführte Kompressionsarbeit. Das bedeutet, dass der Prozess nur abläuft, wenn mechanische Arbeit zyklisch mittels eines Motors zugeführt wird. Unter diese linksläufigen Kreisprozesse fallen auch Kältemaschinen und die in diesem Kapitel ausführlicher behandelten Wärmepumpen. [19]

Die KWP basiert auf dem linksläufigen Carnot Prozess. Im Falle dieses Prozesses wird das p,V-Diagramm im Gegenuhrzeigersinn durchlaufen. Dies ist in der Abbildung 2-9 ersichtlich.

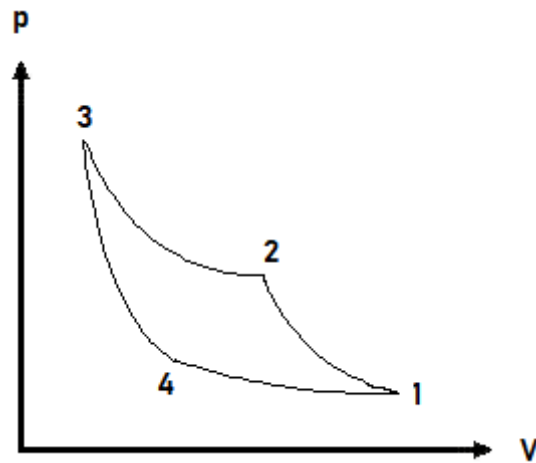


Abbildung 2-9: Linksläufiger Kreisprozess. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [19].)

Auch in diesem Fall wird Wärme bei niedrigen Temperaturen aus der Umgebung entnommen und bei höheren Temperaturen wieder abgegeben. Von 4 auf 1 läuft eine isotherme Expansion ab. Dabei kommt es zur Wärmeaufnahme des Arbeitsmediums aus der Umgebung und zum Verdampfen des Fluides bei Umgebungstemperatur (T_1). Von 1 auf 2 findet eine annähernd adiabatische Kompression statt, wobei dies mittels einer mechanischen Pumpe geschieht, wodurch das Arbeitsmedium auf das höhere Temperaturniveau (T_3) gebracht wird. Von 2 auf 3 gibt das Arbeitsmedium Wärme ab, wobei es weiterhin isotherm komprimiert wird. Die abgegebene Wärme kann auf höherem Temperaturniveau genutzt werden. Letztlich expandiert das Arbeitsmedium rapide, im Schritt 3 auf 4. Dies geschieht nahezu adiabatisch. Nach der Expansion befindet sich das Arbeitsmedium wieder auf dem Temperaturniveau der Umgebung und der Kreislauf kann erneut durchlaufen werden. In der Abbildung 2-10 wird dieser Prozess im Energieflussdiagramm dargestellt. [19]

Laut der Formel (2-3) [19]:

$$|Q_{ab}| = Q_{zu} + W \quad (2-3)$$

ergibt die Summe aus mechanischer Arbeit, welche von der Pumpe geleistet wird und zugeführter Wärme aus der Umgebung (auf niedrigem Temperaturniveau), gleich die abgegebene Wärme (auf hohem Temperaturniveau), welche beispielsweise für die Heizungswarmwasseraufbereitung genutzt werden kann. [19]

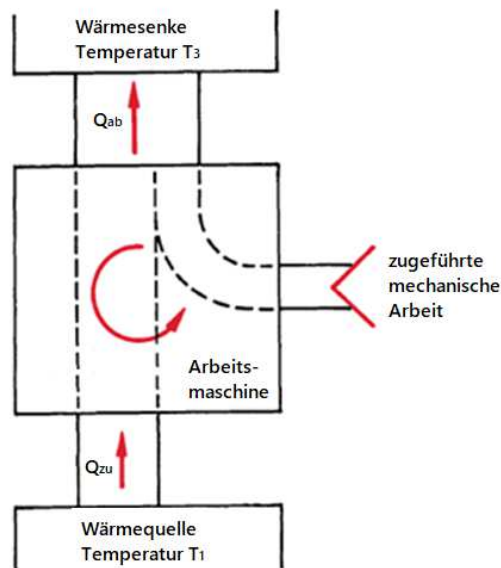


Abbildung 2-10: Linksläufiger Carnot-Prozess, dargestellt in einem Energieflussdiagramm. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [19].)

Die Leistungszahl der Wärmepumpe gibt Auskunft über ihre Effizienz. Dabei berechnet sich die Leistungszahl gemäß der Formel (2-4) [19]:

$$\epsilon_W = \frac{|Q_{ab}|}{W} = \frac{|\dot{Q}_{ab}|}{P} \quad (2-4)$$

Dabei ist Q_{ab} die bei hohen Temperaturen abgegebene Wärme. W stellt die aufzuwendende mechanische Arbeit der Pumpe dar. Eine Leistungszahl von „5“ bedeutet, dass bei einer Heizwärmeleistung von 5 kW, eine Pumpenleistung von 1 kW aufgebracht werden muss. Wobei 4 der 5 kW aus der Umgebung bezogen werden und nur 1 kW durch den Betreiber aktiv bereitgestellt werden muss. [19] Die Leistungszahl einer WP lässt sich ebenso über das Temperaturverhältnis errechnen. Es ergibt sich die Leistungszahl laut dem Carnot-Prozess aus nachfolgender Formel (2-5) [19]:

$$\epsilon_{W,C} = \frac{T_3}{T_3 - T_1} = \frac{1}{\eta_{th,C}} \quad (2-5)$$

T_1 stellt dabei die Temperatur der „Umgebung“ dar und T_3 entspricht der Temperatur bei der Senke, jener Temperatur auf dem Nutzungsniveau. Eingesetzt werden die Werte in Kelvin, dabei stellt das Ergebnis die ideale Leistungszahl dar. Um von der idealen auf die reale Leistungszahl zu gelangen, muss mit dem Gütegrad multipliziert werden. Dieser gibt Auskunft über das Verhältnis zwischen idealer und realer Leistungszahl. Üblicherweise bewegen sich Gütegrade im Bereich von 0,4 – 0,6. [19] Nach Carnot ist die Leistungszahl

einer WP immer größer als eins. Der Carnot Wirkungsgrad steigt desto mehr, je kleiner der thermische Wirkungsgrad eines Carnot Prozesses der gleichen Temperaturgrenzen ist. Sprich, je geringer die Temperaturdifferenz zwischen T_3-T_1 , desto höher ist die Leistungszahl der Wärmepumpe. [19] In realen Prozessen sind die Leistungszahlen wesentlich niedriger als jene in einem Carnot-Prozess. Dies liegt unter anderem daran, da die reale WP kein reversibler Prozess und somit verlustbehaftet ist. KWP weisen übliche Leistungszahlen von 2 bis 12 auf, je nach Einsatzbereich. In der Heizungswärmebereitstellung von Wohnhäusern in Österreich sind Werte um 4 als realistisch zu betrachten. [14]

Absorptionswärmepumpen

Die Absorptionswärmepumpe (AWP) gehört zu den Sorptions-WP (SWP). Auch eine AWP wird eingesetzt um das Temperaturniveau von Wärmeströmen zu erhöhen. Jedoch wird im Gegensatz zur KWP, als Antriebsleistung keine mechanische Energie, in Form eines Kompressors, sondern eine thermische Quelle, meist als Gasbrenner ausgeführt aber auch durch Solarkollektoren realisierbar, eingesetzt. Bei dieser Art von Wärmepumpen, wird das KM nicht dampfförmig, sondern flüssig in einer Lösung verdichtet. In der Praxis wird als KM Ammoniak (NH_3) und als Lösungsmittel, Wasser (H_2O) eingesetzt. [21]

Funktionsprinzip einer Absorptionswärmepumpe:

Im ersten Schritt wird das flüssige KM im Verdampfer, welcher als Wärmeübertrager ausgeführt ist, durch Energiezufuhr aus der Umwelt verdampft. Anschließend strömt das dampfförmige KM in einen Absorber. Hier wird das Sorptionsmittel (SM), welches den Dampf aufnimmt, absorbiert. Ist das SM gesättigt, wird die Lösung bestehend aus SM und KM mittels einer Pumpe zu einem weiteren Wärmeübertrager geleitet. Hier wird die Lösung durch einen Gasbrenner, oder über Solarkollektoren so weit erhitzt, bis sich das KM und das SM trennen. Wobei das KM desorbiert bzw. ausgetrieben wird. Daraufhin strömt das ausgetriebene, dampfförmige KM zum Kondensator, wo es die durch die Umwelt und durch das Zuheizen aufgenommene Wärme, an das Heizungssystem abgibt. Bei diesem Vorgang verflüssigt sich das, zum Eintrittszeitpunkt in den Kondensator noch gasförmige KM wieder. Abschließend wird das KM über eine Drossel entspannt und in den Verdampfer eingeleitet. Auch das SM wird so konditioniert, dass es den Kreislauf von Neuem durchlaufen kann. Beginnend mit der Aufnahme des verdampften KMs. [21] In der Abbildung 2-11 ist das Funktionsprinzip einer AWP dargestellt.

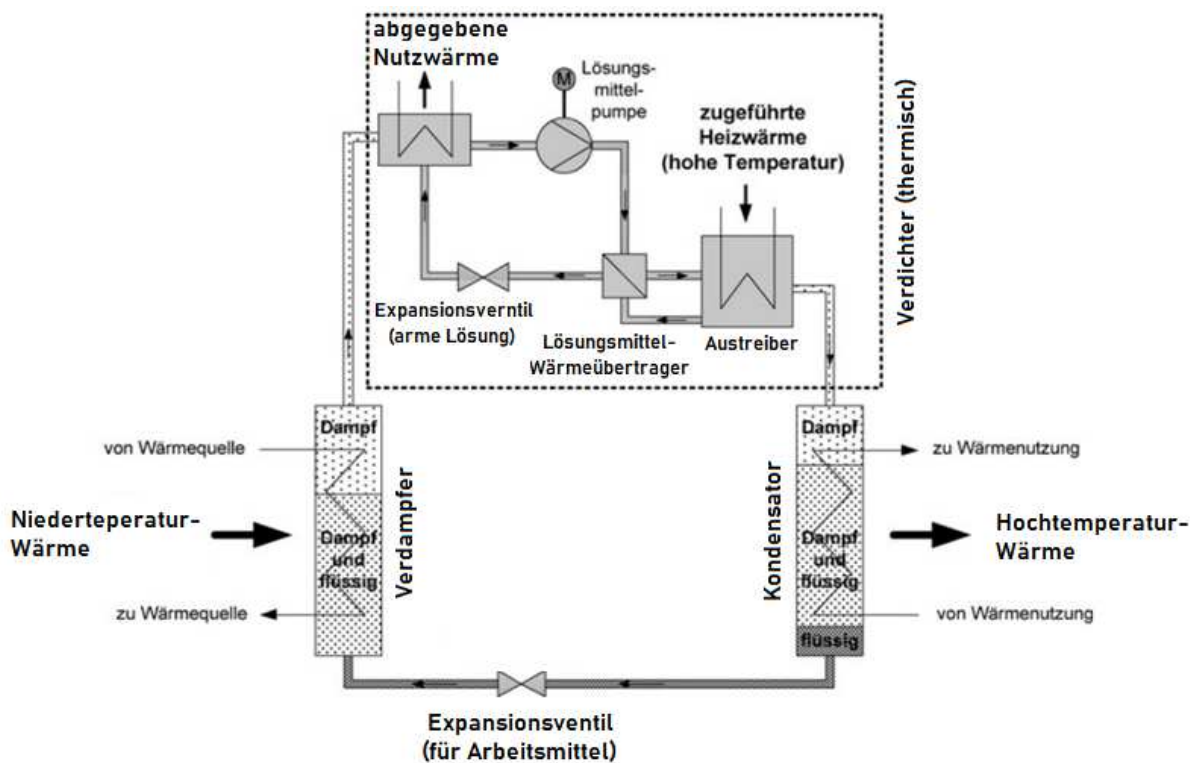


Abbildung 2-11: Funktionsprinzip einer Absorptionswärmepumpe. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [22]).

Als Vorteil kann bei SWP angesehen werden, dass, sofern sie die erforderliche Austreiber-Temperatur erreicht, jede Wärmequelle, genutzt werden kann. Meist wird jedoch aufgrund der hohen Verfügbarkeit, Erdgas eingesetzt. Zudem ist eine zusätzliche Implementierung von Sonnenkollektoren teuer und platztechnisch nicht immer möglich. [21]

Adsorptionswärmepumpen

Diese Ausführung einer SWP ist eine Unterordnung der AWP. Im Gegensatz zur AWP arbeitet die ADWP mit einem festen SM. Als SM können beispielsweise Aktivkohle, Silicagel oder Zeolith genutzt werden. Das SM ist zusätzlich zum zirkulierenden KM nötig. Es ist statisch in einem Behälter untergebracht. SM haben die Eigenschaft, dass sie feinporig sind. Die daraus resultierende große Oberfläche hat zur Folge, dass sich ein gasförmiges Fluid an einer geringen Anzahl an SM-Molekülagern anlagern kann. Die Anlagerung, wird in der Verfahrenstechnik, Adsorption genannt. Da bei diesem Adsorptionsvorgang Wärme frei wird, entspricht er physikalisch-energetisch gesehen einer Kondensation. Für den umgekehrten Fall, in welchem Verdampfungswärme aufgebracht werden muss, spricht man von Desorption. [21] Diese WP besteht aus einem De- bzw. Adsorber und einem Kondensator bzw. Verdampfer. Sie sind mit einem Rohr miteinander verbunden oder im gleichen Behältnis untergebracht. Nachstehend ist in Abbildung 2-12 der prinzipielle Aufbau einer ADWP dargestellt. [21]

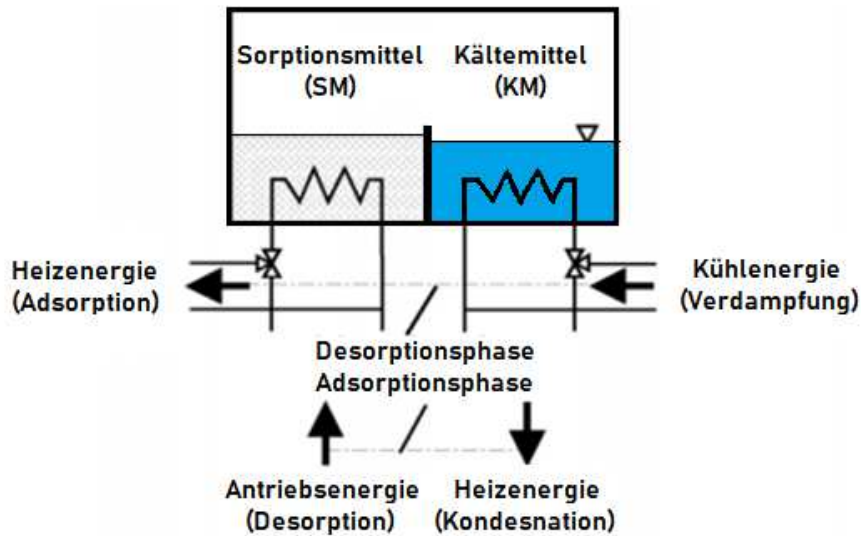


Abbildung 2-12: Funktionsprinzip einer Adsorptionswärmepumpe. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [21].)

Bei der ADWP kann das SM nicht umgewälzt werden. Dies hat zur Folge, dass sowohl Adsorber und Desorber, als auch Verdampfer und Kondensator je aus demselben Apparat bestehen. Ihre Funktion erfüllen sie jedoch zeitversetzt. Daraus resultiert, dass die ADWP eine diskontinuierlich arbeitende Wärmepumpe ist, welche in einer Phase die Adsorption mit der Verdampfung und in der anderen die Desorption mit der Kondensation verbindet. Bei der Adsorption wird der Druck im Behälter abgesenkt, bei der Desorption wieder angehoben. Die Druckabsenkung passiert aufgrund der Aufnahme des KMs im SM. Der Siedepunkt wandert zwischen diesen zwei Druckwerten, womit die Grundlage für das Funktionsprinzip einer WP gegeben ist. [21] Um das KM zu transportieren, genügt eine Temperaturanpassung des SMs. Wird Wärme mit der geeigneten Temperatur zugeführt (meist durch einen Gasbrenner), passiert die Desorption. Dies hat die Austreibung des KMs aus den Poren und die Kondensation im Kondensator, zur Folge. Beim Kondensationsvorgang wird die Kondensationswärme bei hohen Temperaturen über einen Wärmeübertrager abgeführt. Die auf höherem Temperaturniveau abgeführte Wärme kann nun beispielsweise zu Heizzwecken genutzt werden. Wird im SM sowohl der Druck als auch die Temperatur abgesenkt, so agiert dieses als Adsorber. Wobei das KM als Dampf an das SM „angesaugt“ wird. Der Dampf entsteht durch Wärmezufuhr bei niedriger Temperatur im Verdampfer, wobei die dafür nötige Energie von der Umwelt zugeführt wird. Abschließend muss die Sorptionswärme bei niedrigen Temperaturen aus dem Sorptionsmittel abgeführt werden. [21]

In der Praxis wird häufig H₂O als KM eingesetzt. Diesem wird bei niedrigem Druck, Wärme aus der Umgebung (oft aus Abwärme anderer Aggregate) zugeführt. Dabei verdampft das Wasser, wobei der Wasserdampf vom Sorptionsmittel „angesaugt“ wird. Ist das SM

vollständig gesättigt, wird thermische Energie, meist durch einen Gasbrenner, zugeführt. Dabei wird das KM aus dem SM bei hohen Temperaturen ausgetrieben. Das ausgetriebene KM kondensiert dann am zweiten Wärmeübertrager, welcher die Wärme auf höherem Temperaturniveau an das Heizungssystem abgibt. [21]

Vergleich Kompressionswärmepumpen zu Sorptionswärmepumpen

Am häufigsten werden KWP eingesetzt. Sie spielen sowohl im privaten als auch im industriellen Bereich für Gebäudeenergiesysteme eine zahlenmäßig wesentlich größere Rolle als Sorptionswärmepumpen. [23] SWP bieten zwar, wie nachfolgend angeführt auch Vorteile gegenüber KWP, allerdings werden in Anbetracht der standortspezifischen Anforderungen, KWP in dieser Arbeit genauer betrachtet. Beispielsweise erfolgt auch einer der Optimierungsvorschläge auf Basis einer KWP-Anlage. Als Vorteil von SWP im Vergleich zu „konventionellen“ Wärmepumpen, kann angesehen werden, dass die zum Betrieb aufzuwendenden Energiekosten meist niedriger sind, sofern man die Erdgaskosten für die Erzeugung einer kWh Wärme, mit den Stromkosten für die Erzeugung derselben Wärmemenge vergleicht. Ein weiterer Vorteil ist, dass gesetzt des Einsatzes von H₂O als KM im Leckage-Fall keine klimaschädlichen Gase oder Fluide in die Atmosphäre gelangen. Nachteilig kann für SWP angeführt werden, dass ohne gleichzeitige Errichtung von Solarkollektoren oder anderen, auf erneuerbaren Energieträgern basierenden Einrichtungen, weiterhin fossile Brennstoffe für dieses Wärmepumpenkonzept eingesetzt werden müssen, um die Energie zum Austreiben des KM aus dem SM aufzuwenden. Der am häufigsten bei SWP eingesetzte fossile Brennstoff, Erdgas kann zwar teilweise durch CO₂-neutral hergestellten Wasserstoff substituiert werden, dies ist aber zum momentanen Zeitpunkt erst in sehr geringem Ausmaß der Fall. [24] Auch haben SWP nur solange einen Preisvorteil, wie der Energiepreis und die damit verbundenen Abgaben, Zertifikaten und Steuern geringer sind, als jene Kosten beim Einkauf von 100 % erneuerbarer elektrischer Energie im Falle von KWP. Bei KWP kann der THG-Ausstoß durch den Zukauf von reinem erneuerbarem Strom verhindert werden.

2.5 Photovoltaik

Die Strahlungsenergie der Sonne übersteigt den täglichen Primärenergiebedarf des Menschen um ein zigtausend Faches. [25] Bis vor wenigen Jahren, machte die mittels Sonnenenergie erzeugte elektrische Energie, jedoch nur einen verschwindend geringen Anteil des weltweiten- aber auch des österreichischen Strommixes aus. Mittlerweile hat sich dies, unter anderem durch Förderprogramme und durch immer günstiger werdende Einsatzmaterialien stark geändert. Wobei die zeitliche Entwicklung der installierten PV-

Anlagen in Abbildung 2-13 ersichtlich ist. Die Photovoltaik machte im Jahr 2019 rund 2,4 % [26] des österreichischen Strommixes aus. Um jedoch das Ziel der 100 %-igen Versorgung mit elektrischer Energie Österreichs, durch erneuerbare Energieträger bis zum Jahr 2030 zu erreichen, ist weiterhin ein massiver Ausbau der „Erneuerbaren“, unter anderem auch PV-Anlagen, nötig. [25]

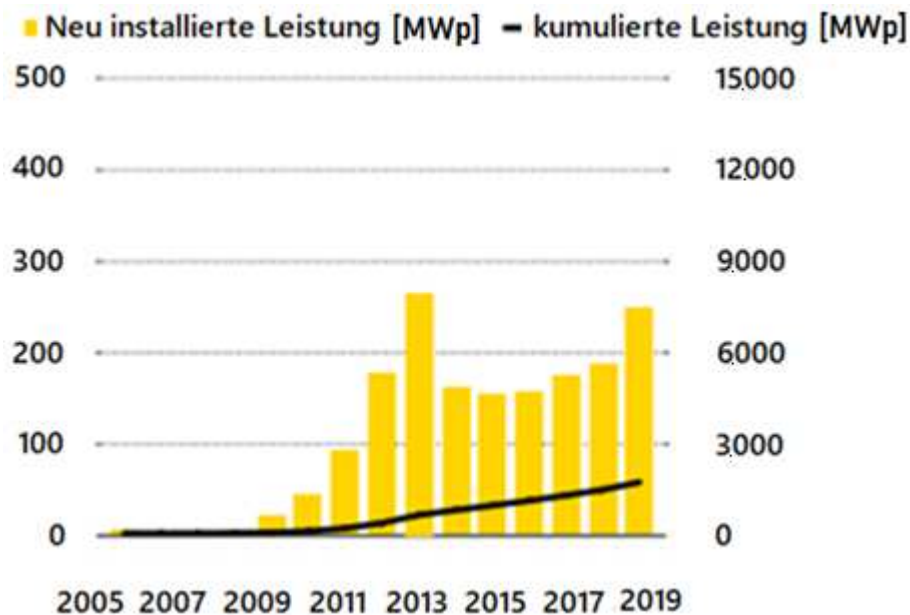


Abbildung 2-13: Jährlich in Österreich neu installierte und kumulierte PV-Anlagen Leistung. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [26].)

Entwicklung der Photovoltaik-Zelle über die Zeit

Dass Materie durch Licht beeinflusst werden kann, wurde bereits von Alexandre E. Becquerel (1820-91) untersucht. Erfunden wurde die PV-Solarzelle allerdings erst 1954. Sie ist ein Bauteil, welches selbst im Sonnenlicht eine elektromotorische Kraft entwickelt. An die erste funktionierende PV-Zelle wurden sehr hohe Erwartungen gestellt. Sie sollte das weltweite Energieversorgungsproblem lösen. Obwohl sie diese Erwartungen nicht erfüllen konnte, wurde in den darauffolgenden Jahrzehnten des letzten Jahrhunderts massiv an der Weiterentwicklung der PV-Zelle geforscht. Dabei wurde die gute Eignung von kristallinem Silizium (Si) im Sonnenspektrum erkannt. Weiters wurde der ultimative Wirkungsgrad für die Konvertierung zu elektrischer Energie aus Lichtstrahlung ermittelt. Dieses „Shockley-Queisser-Limit“ wurde mit $\eta = 44\%$ berechnet. Vorangetrieben wurde die Forschung im PV-Bereich durch Einsätze von teils extrem kostspieligen PV-Generatoren im Weltall, später aber auch durch die Energiekrise Anfang der 1970er-Jahre. [25] In den späten 1980er-Jahren wurden die ersten Großprojekte mit PV-Anlagen gestartet. Dabei waren Förderungen maßgeblich für die Umsetzung industrieller Projekte verantwortlich. Auch spielten diese Förderungen einen wichtigen Einfluss bei der Errichtung von PV-Anlagen auf privaten

Hausdächern. [27] Nachfolgend wird über die Grundlagen der PV-Zelle und deren Funktion aufgeklärt und der theoretische Hintergrund der unterschiedlichen Zellenarten besprochen.

Grundlagen:

Um die Wechselwirkung zwischen Materie und Strahlung und somit auch die energietechnische Nutzung von Strahlung zu verstehen, wird angenommen, dass die Strahlung ein Teilchen (Strahlungsteilchen) ist. Denn Strahlung kann sowohl als Welle, als auch als Teilchen betrachtet werden. Dieses Strahlungsteilchen, auch als Photon bezeichnet, besitzt keine Ruhemasse und es bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit. Die Energie eines Photons wird durch die Formel (2-6) [27],

$$E = h * \nu = h * \frac{c}{\lambda} \quad (2-6)$$

beschrieben. [27]

Dabei entspricht h dem Planck'schen Wirkungsquantum, E der Energie eines Photons und ν der Frequenz. Der Wellencharakter wird dabei ausgedrückt, durch die Abhängigkeit der Energie durch die Frequenz. [27] Wenn Strahlung auf Materie trifft, können zwei Zustände eintreten. Entweder überträgt das Photon die Energie auf ein Atom, oder es überträgt sie gar nicht. Sofern die Energie auf das Atom übertragen und somit absorbiert wird, existiert das Photon danach nicht mehr. Im Falle der nicht Absorption, passiert eine verlustfreie Ablenkung des Photons, auch Streuung genannt. Es gibt zwei Arten von Streuung, die Transmission und die Reflexion. Wie sich ein Photon verhält, hängt jedoch von der atomaren Struktur der Materie ab. Wird das Photon absorbiert, kann die Bewegungsenergie des Atoms der Materie erhöht, oder der innere Zustand geändert werden. Verändert sich die Bewegungsenergie des Atoms, so erwärmt sich die Materie durch die Zunahme der inneren Energie. Wird jedoch der innere Zustand durch die Absorption verändert, so führt dies zum Photoeffekt. Hierbei stehen die Elektronen zum Ladungstransport zur Verfügung, und zwar, weil sie aus ihrer Bindung zum Atom gelöst werden. In der Abbildung 2-14 werden diverse Wechselwirkungsarten zwischen Materie und Strahlung abgebildet. [27]

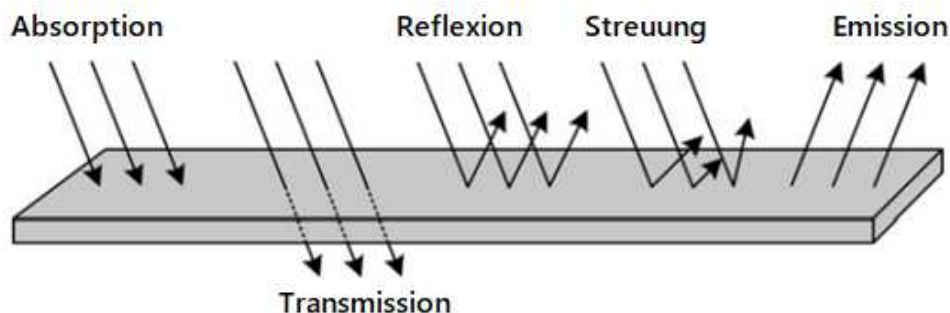


Abbildung 2-14: Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].)

Durch das Verhalten von Stoffe bezüglich ihrer Absorptionsfähigkeit wurden diese unterschiedlich eingeteilt. Weiße Stoffe reflektieren alle auftreffenden Photonen, schwarze Stoffe nehmen alle Photonen auf und graue Stoffe absorbieren Photonen teilweise. Zusätzlich gibt es noch selektive Stoffe, diese absorbieren nur Photonen eines bestimmten Wellenlängenbereichs. Diese selektiven Stoffe spiegeln auch das Verhalten realer Körper wider. [27] Abhängig von der Energie der Photonen, werden Strahlungen unterschiedlich bezeichnet. Die Energie hängt dabei direkt mit der Wellenlänge (λ) zusammen. In Abbildung 2-15 sind die unterschiedlichen Strahlungsarten abgebildet. Der für Menschen sichtbare λ -Bereich ist mit 380 - 780 Nanometer relativ gering. Für die Anwendung im solarthermischen Bereich ist die Infrarotstrahlung ebenfalls von Bedeutung. [27]

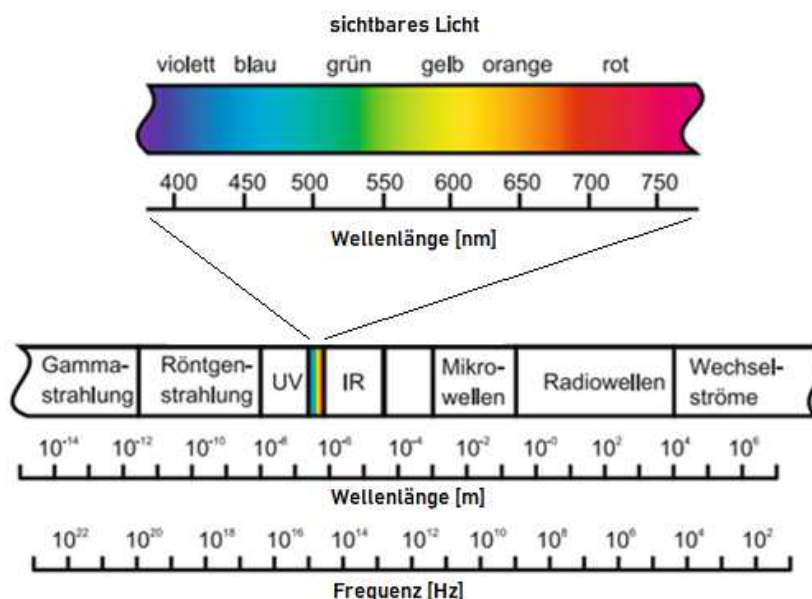


Abbildung 2-15: Elektromagnetisches Strahlungsspektrum. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].)

Bei PV-Anlagen dient die Sonne als Strahlungsquelle. Zur Ermittlung des Strahlungsspektrums, welches von der Sonne ausgesendet wird, kann das Planck'sche

Strahlungsgesetz herangezogen werden. Zudem kann die Sonne durch einen schwarzen Körper angenähert werden. Somit ist die Energie, die von der Sonne bei einer bestimmten Wellenlänge emittiert wird, ausschließlich von der Temperatur und der Naturkonstante abhängig. Die Intensität der Strahlung nimmt dabei mit dem Quadrat der Entfernung ab. In der Abbildung 2-16 sind die Strahlungsintensität eines schwarzen Strahlers und der Sonne illustriert. [27]

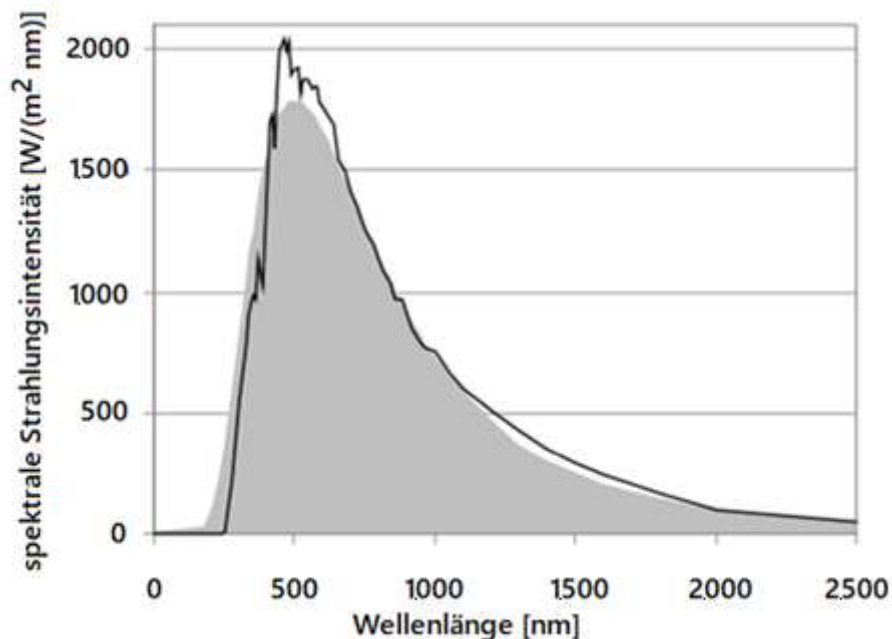


Abbildung 2-16: Spektrale Strahlungsintensität der Sonne und Strahlenintensität eines schwarzen Strahlers. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].)

Die schwarze Linie in der Abbildung entspricht der spektralen Strahlungsintensität der Sonne und die graue Fläche repräsentiert die Strahlungsintensität eines schwarzen Strahlers, mit einer Temperatur von 5.780 K. Somit ist ersichtlich, dass das Strahlungsspektrum der Sonne vom ultravioletten, über den sichtbaren, bis hin zum infraroten Bereich geht. Wobei das Maximum im sichtbaren Bereich erreicht wird. Die mittlere Strahlungsleistung pro Fläche wurde mit $E_0 = 1.367 \frac{W}{m^2}$ von der Weltorganisation für Meteorologie in Genf festgelegt. Daraus ergibt sich eine auf die Erde einfallende Strahlungsleistung von $1,74 * 10^{17} W$ und weiters eine auf die Erde abgestrahlte Jahresenergiemenge von $1,53 * 10^{18} kWh$, was ungefähr dem Zehntausendfachen des jährlichen globalen Primärenergiebedarfs entspricht. [27] In der Tabelle 2-2 werden typische Jahresenergiesummen von Großstädten um Österreich angeführt. Bei diesen Werten handelt es sich um die Jahressumme der Energiemenge, welche an den genannten Orten auf die Oberfläche auftrifft. Dabei ist im Falle der photovoltaischen Nutzung noch der Wirkungsgrad der PV-Zelle und etwaiger elektronischer Spannungswandlungseinrichtungen zu berücksichtigen.

Tabelle 2-2: Typische Jahressumme der Globalstrahlung für Großstädte in Europa. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [25] .)

Ort	Jahressumme der Energie (kWh/(m²·a))
Berlin	1.050
Paris	1.130
Rom	1.680

Bei Solarzellen spielt aber auch der Einstrahlungswinkel eine wichtige Rolle. Wenn die Sonne tief steht, ist der Weg der Strahlung durch die Atmosphäre länger und die Intensität wird abgeschwächt. Zur Beschreibung dieses Effektes dient die Air-Mass-Zahl (AM). Hier stellt AM0 die Strahlungsintensität außerhalb der Erdatmosphäre und AM 1 die Intensität bei senkrechtem Strahlengang durch die Erdatmosphäre dar. In der Photovoltaik wird oft AM 1,5 zu Testzwecken herangezogen. Dabei entspricht dies einer 1,5-fachen Wegstrecke durch die Atmosphäre, verglichen mit AM1. Außerdem geht man von einer Strahlungsintensität von 1.000 W/m², bei 25 C° Zelltemperatur und AM 1,5 als Standardtestbedingung aus. [27]

Tabelle 2-3: Solarpotential im Raum Wien für eine Solarthermie- und PV-Anlage, mit einer Fläche von 1 m². (Eigene Darstellung in Anlehnung an [28] .)

Ertrag der Dachfläche von 1 m² in kWh per Anno (berechnet)	
Photovoltaik:	183 kWh elektrisch
Solarthermie:	800 kWh thermisch
Ertrag der Dachfläche von 1 m² in kWh pro Winterhalbjahr (berechnet)	
Photovoltaik:	43 kWh elektrisch
Solarthermie:	186 kWh thermisch
Ertrag der Dachfläche von 1 m² in kWh pro Sommerhalbjahr (berechnet)	
Photovoltaik:	140 kWh elektrisch
Solarthermie:	614 kWh thermisch

Für den Standort Orth an der Donau wird mit einer Jahresstromproduktion von rund 0,18 MWh/m² pro Jahr [28] gerechnet. Dies ist in der Tabelle 2-3 dargestellt. Zudem ist darin

ersichtlich, dass circa drei Viertel der erzeugten elektrischen Energie im Sommerhalbjahr erzeugt werden.

Das Potential der Warmwassererzeugung ist ungefähr um den Faktor vier höher als das PV-Potential, dies spiegelt sich in der Abbildung 2-17 wider. Zudem ist auch der monatliche Verlauf des Erzeugungspotentials ersichtlich.

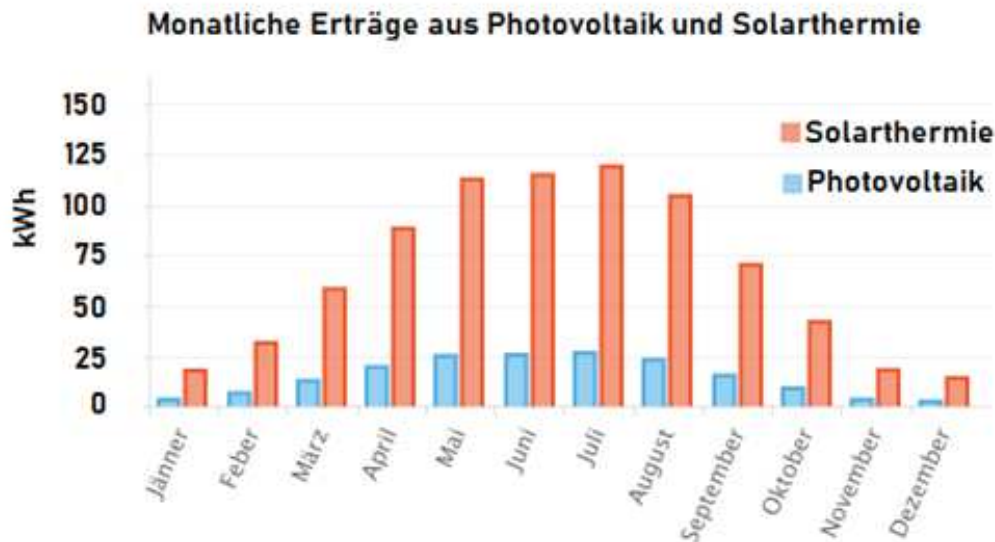


Abbildung 2-17: Solarpotential im Raum Wien für eine Solarthermie- und PV-Anlage, mit einer Fläche von 1 m². (Eigene Darstellung in Anlehnung an [28] .)

Funktionsprinzip:

Um das Funktionsprinzip einer PV-Zelle zu beschreiben, muss auch auf die Halbleiter näher eingegangen werden. Unter Halbleiter versteht man Festkörper, kristalliner oder amorpher Struktur, deren elektrische Leitfähigkeit temperaturabhängig ist. Bei extrem tiefen Temperaturen, nahe dem absoluten Nullpunkt, existiert keine elektrische Leitfähigkeit. Mit zunehmenden Temperaturen steigt die Leitfähigkeit extrem an. Dabei liegt diese bei Umgebungstemperatur, im Bereich zwischen derer von Isolatoren und Metallen. [27] Aufgrund dessen, dass ungefähr 85 Prozent aller Solarzellen auf dem Halbleitergrundstoff Si basieren, werden die Leitungsmechanismen anhand der Eigenschaften von Si erläutert. [27] In Abbildung 2-18 ist die Gitterstruktur des Si mit seinem Atomkern und seinen vier Valenzelektronen abgebildet. Ebenso ist ersichtlich, dass jedes Si-Atom mit vier anderen Atomen eine Elektronenpaarbildung über die Valenzelektronen ausbildet. [27]

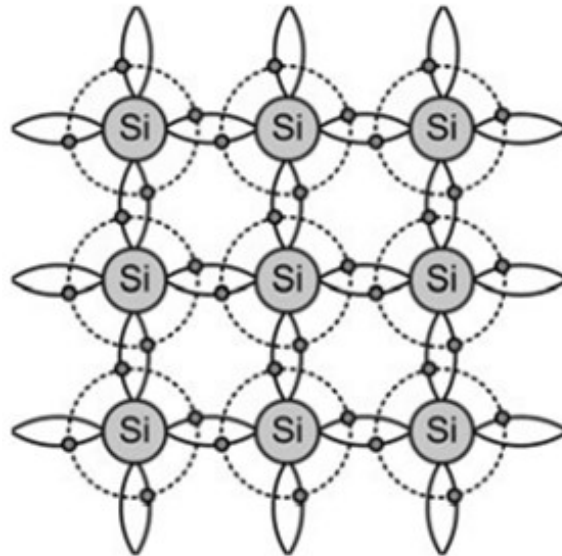


Abbildung 2-18: Gitterstruktur von reinem Si. [27]

Diese Valenzbindungen müssen aufgebrochen werden, damit elektrische Leitfähigkeit vorliegt. Beim Aufbrechen der Bindungen werden Elektronen freigesetzt, welche als Ladungsträger agieren. Der Prozess des Aufbrechens benötigt Energie, welche entweder durch Strahlung, in Form eines Strahlungsquants oder in Form von thermischer Anregung zugeführt werden kann. Die aufgebrochenen Valenzbindungen agieren wie positive Ladungen. Nach ihrer Eigenschaft, benachbarte, gebundene Elektronen aufnehmen zu können, werden diese positiven Ladungen als „Löcher“ bezeichnet. Durch diese Aufnahme sind Löcher ebenso beweglich wie freie Elektronen. Die Leitfähigkeit in einem angelegten elektrischen Feld wird dadurch unterstützt, da durch das Aufbrechen freie negative Ladungsträger und positive Ladungsträger in Form von Löchern umherwandern und somit den Effekt der „Eigenleitung“ darstellen. [27] Ein sich in einem Kristallgitter bewegendem Ladungsträger stößt in geringen Zeitabständen an andere Ladungsträger, Gitteratome oder Störstellen. Wobei letztere durch Fehler im Gitteraufbau oder Fremdatome im Kristall beschrieben werden können. Fremdatome in der Kristallstruktur werden häufig auch als Verunreinigungen bezeichnet. Zusammenstöße bewirken eine Begrenzung der Aufnahmefähigkeit an Bewegungsenergie durch ein äußeres elektrisches Feld. Somit wird die Beweglichkeit der Ladungsträger durch Zusammenstöße sehr stark eingeschränkt, mit dem Effekt, dass bei höheren Temperaturen die zunehmenden Gitterschwingungen im Kristall, neben der Störstellendichte den größten Einfluss auf eben jene Beweglichkeit haben. [27] Die freien Elektronen und die Löcher werden Elektronen-Loch-Paare genannt. Die Generationsrate beschreibt die Erzeugung dieser Paare je Zeit- und Volumeneinheit. Dem gegenübergestellt versteht man unter Rekombination, das Zurückfallen von Elektronen in Löcher, wobei diese Elektronen dann wieder an der Valenzbindung beteiligt sind. [27]

Elektronen können in kristallinen Festkörpern unterschiedliche Energiezustände annehmen. Die Energieniveaus eines Elektrons in einem Kristallgitter können sich in Energiebänder aufspalten, was bedeutet, dass ein Valenzelektron einen weiten Bereich eines zulässigen Energieniveaus annehmen kann, anstatt an das konkrete Niveau des Einzelatoms gebunden zu sein. In der Abbildung 2-19 sind die Zonen bzw. Energieniveaus, welche von den Elektronen eingenommen werden können, dargestellt. Dazwischen befindet sich eine Zone von Energieniveaus, welche von den Elektronen nicht angenommen werden können. Dieser „Verbotene Zone“ genannte Bereich variiert je nach Halbleitermaterial. [27] Dabei stellt die Differenz zwischen der Grenze des Leitungsbandes E_L , welches auf höherem Energieniveau wie die „Grenz“-Energie des höchsten nichtleitenden Valenzband E_V ist, den Bandabstand ΔE und somit die Breite der verbotenen Zone dar. Für Silizium beträgt die Energiemenge 1,12 eV. [27]

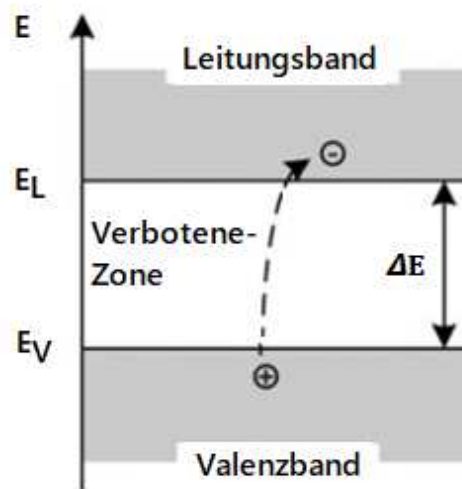


Abbildung 2-19: Bändermodell von reinem Silizium. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].)

Der Abstand zwischen E_L und E_V variiert je nach Material. Bei Metallen beispielsweise überlappen Valenz- und Leitungsband einander, bei Isolatoren hingegen ist der Abstand zwischen E_L und E_V so groß, dass er von thermisch angeregten Elektronen bei Raumtemperatur nicht überwunden werden kann. [27] Durch Zufügen von Verunreinigungen können somit die elektrischen Eigenschaften verändert werden. Das Zufügen von Verunreinigungen wird Dotierung genannt. Hierbei werden Fremdatome in die Gitterstruktur des Si-Kristalls eingebaut. Wenn ein Element der fünften Hauptgruppe des Periodensystems zugegeben wird, kann das fünfte Außenelektron, welches für eine stabile Bindung nicht nötig ist, durch geringen Energieeinsatz abgespalten und zum Ladungstransport genutzt werden. Der Leitungsvorgang wird hierbei größtenteils durch negative Ladungsträger bewirkt, weshalb dieser Halbleiter auch als n-Halbleiter bezeichnet

wird. Bei einer p-Dotierung wird ein Element der dritten Hauptgruppe als Verunreinigung zugefügt. Das hierbei entstehende Loch, welches hervorgerufen wird, weil ein Elektron fehlt, um die vierte Elektronenpaarbindung einzugehen, führt dazu, dass der Leitungsvorgang hauptsächlich durch positive Ladungsträger verursacht wird. Die Dotierungsatome selbst, tragen sowohl bei n-, als auch bei p-dotierten Halbleitern nicht zur Leitfähigkeit bei. In der Abbildung 2-20 wird ein Beispiel für n-dotiertes Si angeführt. E_D entspricht dabei dem Energieniveau der nicht für die Valenzbindung benötigten Ladungsträger der Dotierungsatome. Da sich dieses Energieniveau in der Bandlücke befindet, muss wesentlich weniger Ionisierungsenergie aufgewendet werden, um die Ladungsträger in das Leitungsband zu heben. Diese Energie ist bedeutend geringer als der Bandabstand, weshalb alle Störstellen schon bei Raumtemperatur ionisiert sind. [27]

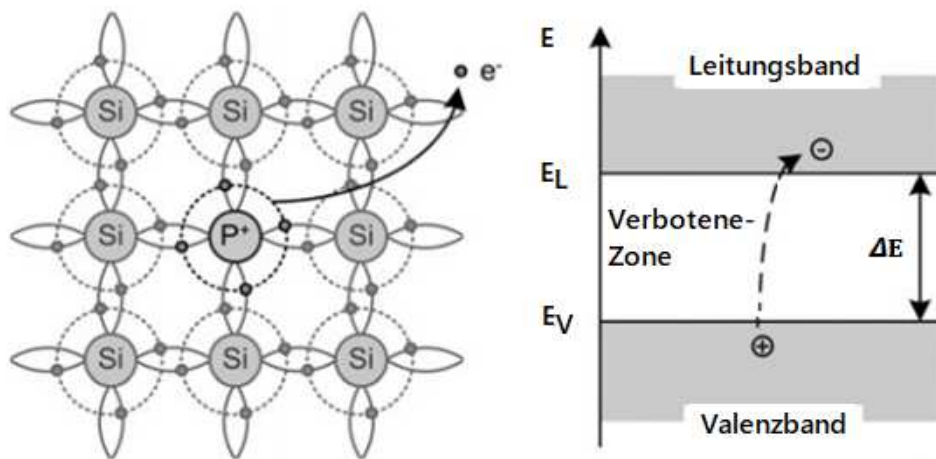


Abbildung 2-20: Gitterstruktur und Bändermodell von n-leitendem Silizium. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].)

Der größte Anteil der weltweit produzierten Solarzellen besteht aus p-n-Übergängen in kristallinem Si. Ein p-n-Übergang bildet sich aus, wenn zwei unterschiedlich dotierte Schichten aneinanderstoßen. Im Bereich, wo die dotierten Schichten aneinander stoßen, kommt es zu einer Verarmung an Ladungsträgern. Grund dafür sind Ausgleichsvorgänge, hervorgerufen durch Konzentrationsunterschiede, welche wiederum zu Strömungen von Elektronen in die p-dotierte Schicht und von Löchern in die n-dotierte Schicht führen. Der Strömung entgegen wirkt ein elektrisches Feld, welches durch Raumladungen der zurückbleibenden, in das Kristallgitter eingebauten Dotierungsatome hervorgerufen wird. Dargestellt werden die beschriebenen Vorgänge in Abbildung 2-21. [27]

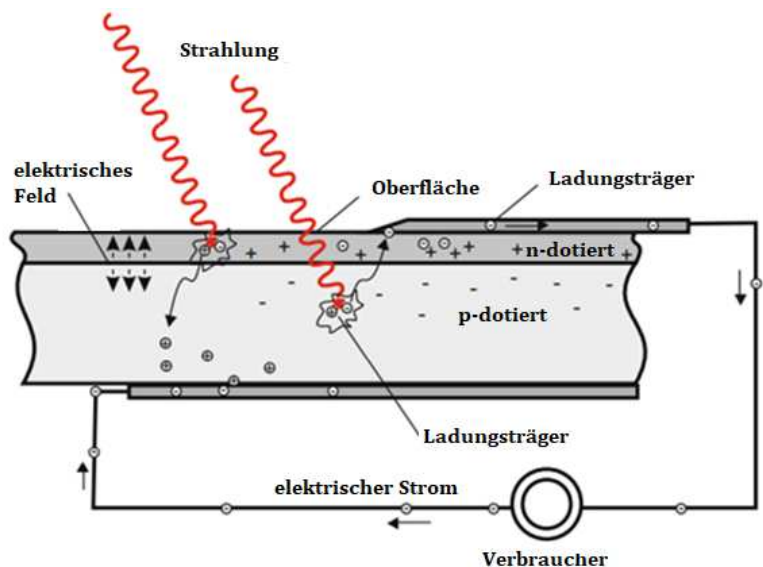


Abbildung 2-21: Aufbau einer PV-Zelle mit p-n-Übergang. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].)

Wenn nun durch die Bestrahlung mit Sonnenlicht, Photonen auf den Halbleiter auftreffen, führt dies dazu, dass durch die Absorption der Photonen zusätzliche Ladungsträger generiert werden. Getrennt werden die innerhalb der Raumladungszone generierten Elektron-Loch-Paare durch das elektrische Feld, wobei die Löcher Richtung p- und die Elektronen Richtung n-Gebiet beschleunigt werden. Nicht alle so erzeugten Ladungsträger können bis an die Oberfläche des Halbleiters gelangen und somit der Energiegewinnung mittels einer PV-Zelle beitragen. Rekombinationsprozesse und Diffusionsvorgänge wirken der Trennung der Elektron-Loch-Paare entgegen und verringern so den Wirkungsgrad und die Ausbeute an erzeugter elektrischer Energie. [27]

In der Praxis eingesetzte PV-Paneele

Für diese Arbeit spielen die in der Praxis am häufigsten eingesetzten Halbleitermaterialien eine große Rolle, weshalb im nachfolgenden Text nur auf Solarzellen mit Halbleitermaterialien aus mono-, poly- und amorphem-Si eingegangen wird. In Tabelle 2-4 wird auf die realen Wirkungsgrade bei Standardbedingungen verwiesen. Die real erreichbaren Wirkungsgrade, der in dieser Tabelle angeführten Halbleitermaterialien, weichen nur im einstelligen Prozent-Bereich von den maximalen theoretischen Wirkungsgraden der jeweiligen Materialien ab. [27] Somit kann schlussgefolgert werden, dass sich die realen Wirkungsgrade zukünftig nicht stark steigern werden. Sehr wohl jedoch kann man davon ausgehen, dass die Herstellungskosten für Solarzellen, mit den in der Tabelle genannten Halbleitermaterialien sinken werden. [27]

Tabelle 2-4: Real erreichbare Wirkungsgrade unterschiedlicher Photovoltaikzellentypen bei Standardbedingungen. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].)

Solarzellentyp	Wirkungsgrad	Bandabstand
mono-Si	25,0 %	1,12 eV
poly-Si	20,4 %	1,12 eV
amorphes Si	10,1 %	1,70 eV

Grundsätzlich kann bei Solarzellen zwischen unterschiedlichen Herstellungsverfahren und unterschiedlichem Zellaufbau differenziert werden. Der Großteil der industriell eingesetzten PV-Paneele besteht aus kristallinen Solarzellen, weshalb diese nachfolgend behandelt werden. Kristalline Solarzellen werden in mono- und poly-kristalline Zellen unterteilt. Visuell ist der Unterschied dadurch ersichtlich, dass die monokristalline Zelle eine homogene Struktur aufweist, wohingegen die Korngrenzen bei der polykristallinen Zelle eindeutig identifizierbar sind. Im privaten, sowie im gewerblichen Einsatz stellen polykristalline PV-Zellen den größten Teil der hergestellten Paneele dar. Der etwas geringere Wirkungsgrad wird durch wesentlich niedrigere Herstellungskosten wettgemacht. [27]

Umwelteinflüsse der PV-Paneel Herstellung

Die Herstellung von Solarzellen ist verhältnismäßig Energieaufwendig. In Tabelle 2-5 ist der typische Energieaufwand, für die Herstellung der am häufigsten verbauten PV-Zellen, aufgelistet. Begründbar ist dieser hohe Energiebedarf durch den Einsatz aufwendiger Technologie. [25]

Tabelle 2-5: Primärenergieaufwand für PV-Anlagen unterschiedlicher Zellentechnologien. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [27].)

PV-Zellentyp	kWh/kW _p
Si mono-/polykristalline Zelle	7.500
Si-Dünnschichtzelle	5.500 - 6.000

Um die heutzutage immer wichtiger werdende Frage der Nachhaltigkeit beantworten zu können, wurden die Begriffe des „Erntefaktors“ oder der „Erntezeit“ eingeführt. Diese Begriffe beschreiben die Zeit, die nötig ist, um die aufgewendete Energie für den Herstellungsprozess, wiederzugewinnen. Für eine multikristalline Solarzelle beträgt die Erntezeit ungefähr 4 - 6 Jahre. Somit erhält man einen Erntefaktor von circa 5 bis 7, sofern

man anhand der nachfolgenden Formel (2-7) [25] von einer Lebensdauer von 20 bis 30 Jahren ausgeht. [25]

$$\left(\text{Erntefaktor} = \frac{\text{Lebensdauer}}{\text{Erntezeit}} \right) \quad (2-7)$$

Einsatzhäufigkeit der unterschiedlichen Solarzellentypen

30 % aller erzeugten PV-Module werden aus monokristallinem Si hergestellt. [25] Als Beispiel hierfür, kann der momentan größte Solarpark der Welt genannt werden. Dieser weist eine Leistung von 2,2 GW_p auf und befindet sich in China, in der Provinz Qinghai.

Rund 60 % der hergestellten PV-Module werden aus polykristallinem Si erzeugt. [25] Im privaten Bereich werden aufgrund der geringeren Kosten meist polykristalline PV-Paneele verbaut. Hierbei werden am häufigsten Anlagen mit einer Maximalleistung von höchstens fünf kW_p errichtet. Da die meisten Dachflächen für solch eine Leistung groß genug sind, ist ein möglichst hoher Wirkungsgrad nicht so relevant wie die Kosten pro installierter kWh.

Weiters werden 5 % der PV-Anlagen aus amorphem Si erzeugt. Die verbleibenden 5 % werden durch andere verfügbaren Materialien zur PV-Zellenherstellung abgedeckt. [25]

2.6 Investitionsrechnung

Um Investitionsgüter, insbesondere von Anlagen und Aggregaten beurteilen zu können, wird oftmals die Investitionsrechnung angewendet. Mit ihrer Hilfe können Investitionen geplant und gesteuert werden. Unterteilt werden kann die Investitionsrechnung in dynamische als auch in statische Modelle. Für eine erste Abschätzung kann die einfach aufgebaute statische Abschätzung herangezogen werden. Der große Unterschied zur dynamischen Investitionsrechnung besteht darin, dass in der statischen Investitionsrechnung keine zeitlichen Abhängigkeiten der Investitionen und Erlöse berücksichtigt werden. Ein Vorteil der dynamischen Methode ist, dass die gesamten Ausgaben und Einnahmen des Betrachtungszeitraumes, dem Zeitraum der Nutzungsdauer, in der Bewertung berücksichtigt werden. Das Ziel der Investitionsrechnungsmethoden besteht darin, eine Basis zu schaffen, anhand derer über die Umsetzung einer Investition entschieden werden kann. Weiterführend können bei kontinuierlicher Anwendung dieser Berechnungsmethoden, mehrere Investitionsvarianten miteinander verglichen und bewertet werden. Für den Einsatz der Kapitalwertmethode spricht, dass sie die am weitesten verbreitete Methode zur Bewertung von Investitionsprojekten darstellt. Diese häufige Anwendung ist unter anderem auf die einfache Verständlichkeit und auf die simple Darstellbarkeit zurückzuführen. [29]

Um nun die Gesteungskosten eines Energieproduktes zu ermitteln, wird oft eine Sonderform der dynamischen Investitionsrechnung eingesetzt. Sie basiert auf der Kapitalwert- beziehungsweise Annuitätenmethode. Unter Gesteungskosten versteht man jene Kosten, die zur Erzeugung einer Energieeinheit aufgebracht werden müssen. Mit dieser Kalkulation können unterschiedliche Energieformen verglichen werden. Diese Energieformen gleichen sich zwar hinsichtlich des Produktes, unterscheiden sich jedoch in Bezug auf ihre Erzeugungsstrukturen. Durch den Ansatz, welchen die Gesteungskostenkalkulation liefert, können somit unterschiedliche Technologien bzw. Alternativen miteinander verglichen werden. Unter Anwendung der Annuitätenmethode können nachfolgende Formeln 2-8 [30] und 2-9 [30], angeführt werden. Sie stellen eine vereinfachte Form zur Ermittlung der Gesteungskosten (GK) dar. [30]

$$GK = \frac{(CAPEX * AF) + OPEX}{M} \quad (2-8)$$

$$AF = \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (2-9)$$

Um die GK unterschiedlicher Anlagen miteinander vergleichen zu können, ist es wichtig die Grundlage der individuellen Berechnungen zu kennen. Generell werden diese GK aus den Kosten für die Errichtung der Energieerzeugungsanlage, auch als Investitionskosten (CAPEX) bezeichnet, den Kosten für deren Betrieb (OPEX) und der über die gesamte Lebensdauer (n) erzeugten Energieeinheiten, in den Formeln mit „M“ bezeichnet, berechnet. Diese Gesteungskosten werden auf einen gemeinsamen Zeitpunkt, auf welchen sich alle angestellten Berechnungen beziehen, abgezinst. Die Zinsen werden in den Formeln mit „i“ in Prozent bezeichnet. Der Vergleich komplexer Systeme mittels der Gesteungskostenrechnung bringt den Vorteil, dass jene verwobenen Systeme, durch eine einzige Kennzahl repräsentiert werden können. Allerdings bringt eine solche Vereinfachung auch Probleme mit sich. Beispielsweise werden einige Punkte nicht in der Berechnung beachtet, was bei zu ungenauer Betrachtung der Rahmenbedingungen der Kalkulation leicht zu Missinterpretationen führen kann. So wird beispielsweise nicht zwischen den eingesetzten Technologien differenziert. Das führt dazu, dass bei Investitionsrechnungen nicht hinsichtlich der unterschiedlichen Wettbewerbspositionierung der diversen Investitionsoptionen unterschieden wird. Dies hat zur Folge, dass nicht die Wirtschaftlichkeit, sondern nur Kosten unterschiedlicher Investitionsoptionen miteinander verglichen werden. Um die Ergebnisse gut interpretieren zu können, ist es von Bedeutung, dass die Einflüsse der schwankenden Eingabewerte auf ihre Auswirkungen in Bezug auf das Ergebnis der Investitionskostenrechnung berücksichtigt werden. Zudem ist es wichtig die

Punkte, welche nicht von der Investitionskostenrechnung berücksichtigt werden, ebenso zu beachten, bevor eine Investitionsentscheidung getroffen wird. [30]

2.7 Bezeichnung der Energieformen

Dieser Unterpunkt behandelt die Benennungen der Energien beim Durchlaufen der Energieumwandlungskette von der Primärenergie bis zur Nutzenergie. Die Bezeichnungen der unterschiedlichen Energieformen sind von der jeweiligen Versorgungssituation am Betrachtungsstandort abhängig. Die allgemeine Definition der Energieformen wird in Tabelle 2-6 abgebildet.

Tabelle 2-6: Allgemeine Definition der Energieformen nach Quelle [31]. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [31]).

Energieform	Definition
Primärenergie:	Unter Primärenergie versteht man jene Energieform, die ursprünglich vorliegt. (z. B.: Kohle, Erdöl, Erdgas)
Sekundärenergie:	Sekundärenergie beschreibt eine aus der Primärenergie umgewandelte Energieform (z. B.: Diesel, Erdgas)
Endenergie:	Als Endenergie wird die vom Verbraucher bezogene Energie bezeichnet. Jene Energie, die nach Abzug der Verteilverluste von der Sekundärenergie, übrig bleibt. (z. B.: Erdgas, Strom, Diesel)
Nutzenergie:	Die vom Verbraucher genutzte Energie, welche zur Energiedienstleistung eingesetzt wird, wird Nutzenergie bezeichnet. (z. B.: Kraft, Licht, Wärme)

Die standortspezifische Definition der Energieformen wird anhand des Beispiels von Gas in Abbildung 2-22 veranschaulicht. An der Betriebsstätte wird unmittelbar keine Primärenergie eingesetzt. Sekundärenergie in Form von Erdgas wird zugekauft. Das Gas wird in der Energiezentrale zur Erzeugung von Dampf und Heizungswarmwasser eingesetzt. Die aus dem Gas erzeugten Medien werden an die Gebäude transportiert. Diese an die Gebäudeeingänge, in Form von HWW und Dampf gelieferte Energiemenge entspricht der Endenergie. In den Gebäuden wird die Energie eingesetzt, um eine Dienstleistung zu

verrichten. Beispielsweise wird ein Autoklav mit Dampf betrieben. Die zum Betrieb des Aggregates eingesetzte Energie entspricht der Nutzenergie.

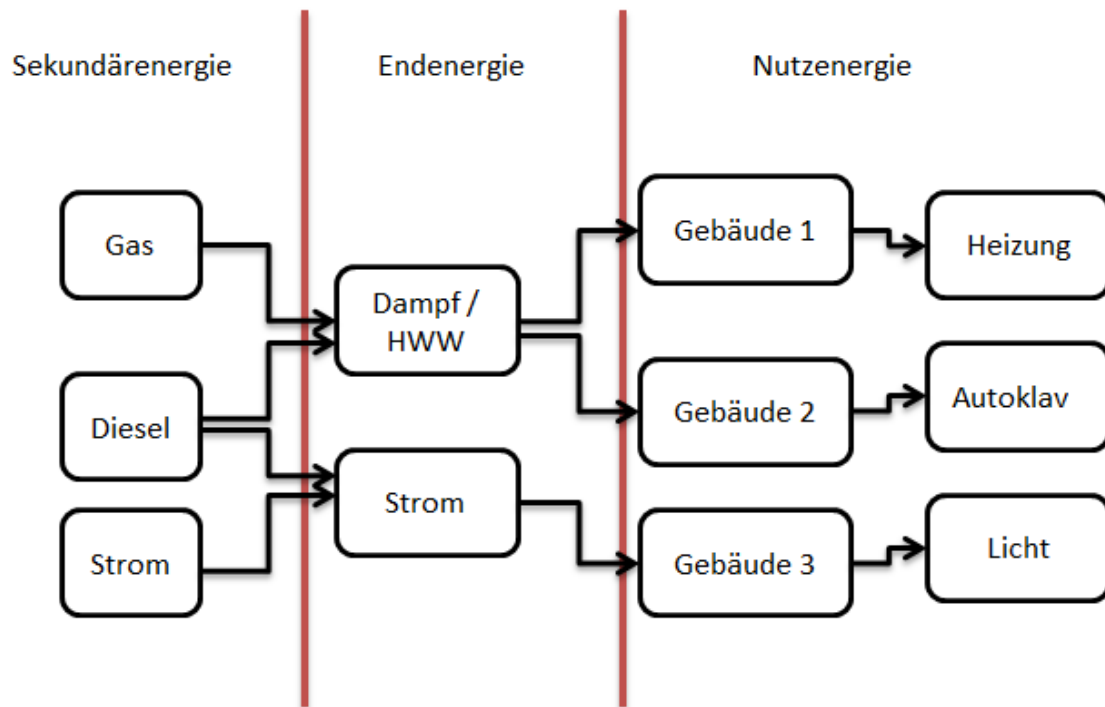


Abbildung 2-22: Definition der Energieformen für diese Arbeit. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [31].)

3 PRAKTISCHER TEIL

Zu Beginn des Kapitels wird auf das Energiesystem-Takeda, auf die Datenerfassung und die damit einhergehenden Probleme und Herausforderungen eingegangen. Ferner werden die Lösungen der Datenprobleme und die Ermittlung der Energieflüsse behandelt. Aufbauend auf den ausgearbeiteten Energieflüssen, werden diese grafisch dargestellt. Zusätzlich werden standortspezifische Optimierungsvorschläge, mit dem Zweck der Treibhausgasreduktion und Sekundärenergiebezugs-minderung angeführt.

Die in diesem Kapitel durchgeführten Berechnungen sollen einen Überblick über mögliche Optimierungsmaßnahmen geben. Diese Berechnungen ersetzen keine Investitionsrechnung. Sie sollen das Potential, der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Energieflussanalyse und der daraus erarbeiteten Optimierungsoptionen, aufzeigen. Die theoretischen Hintergründe zu Investitionsrechnungen finden sich in Kapitel 2.6. Für eine solche Berechnung sind eine Erhebung der anfallenden Kosten, sowie eine Analyse der aktuellen Kostensituation nötig. Die in dieser Arbeit erhobenen Daten stellen nur einen Teil der für eine Investitionskostenrechnung benötigten Daten dar. Somit müssen zur Durchführung einer Investitionskostenberechnung noch weitere Daten erhoben werden.

3.1 Das Energiesystem von Takeda

Dieses Kapitel behandelt alle relevanten Aggregate am Firmenstandort Orth an der Donau. Unter relevanten Aggregaten werden große Medien-Erzeuger und energieintensive Verbraucher verstanden. Als Medien werden die am Standort aus den zugekauften Energieträgern umgewandelten Erzeugnisse sowie auch die Trink- und Abwässer bezeichnet.

Zuerst werden Energieerzeugungs- und Umwandlungsanlagen vorgestellt. Wobei darunter die Elektrozentralen, die darin untergebrachten Dieselgeneratoren und die Energiezentrale fallen. Danach werden die energieintensivsten Verbrauch vorgestellt. Zu den Verbrauchern zählen sowohl jene die Dampf beziehen, wie Autoklaven, Luftbefeuchtungsanlagen und Heizungswarmwasseranlagen, als auch Druckluftverbraucher.

Die gesamte für den Standort nötige Sekundärenergie wird über die Takeda AG bezogen. Dabei handelt es sich um Erdgas-, Diesel- und Strom-Bezug. Ebenso wird die gesamte Versorgung mit Medien bis auf eine Ausnahme durch die Takeda AG sichergestellt. Diese Ausnahme stellt die Druckluftversorgung dar, da diese durch eine Anlage von Pfizer bereitgestellt wird. Das dritte Unternehmen am Betriebsgelände, Evotec stellt keine Medien bereit, ist somit ausschließlich Bezieher. Nachfolgend sind die eingekauften Energieformen und die Medien in Tabelle 3-1 aufgelistet.

Tabelle 3-1: Auflistung der zugekauften Energieträger für den Standort und der bereitgestellten Medien am Standort. (Eigene Darstellung.)

Zugekaufte Energieträger	Energetechnisch relevante, eingesetzte Medien am Standort	Energetechnisch weniger relevante, eingesetzte Medien am Standort
Diesel	Druckluft	Wasser
Erdgas	Dampf	Infektiöses Abwasser
Elektrische Energie	Heizungswarmwasser Elektrische Energie Prozess-, Raumkälte	Nichtinfektiöses Abwasser

Die in der Tabelle angeführten Energieträger werden in den Energie- und Elektrozentralen umgewandelt, wobei elektrische Energie auch mittels Dieselgeneratoren am Standort erzeugt wird.

Elektrozentralen

Takeda betreibt drei Elektrozentralen, welche der Einspeiseanlage des Energieversorgers nachgeschaltet sind. Die elektrische Versorgung am Campus wird über eine Ringleitung sichergestellt, welche diese drei Energiezentralen (EZ1, EZ2 und EZ3) miteinander verbindet. Nachstehend sind die technischen Daten der elektrischen Versorgung in Tabelle 3-2 angeführt:

Tabelle 3-2: Auflistung der Elektrozentralen am Standort. (Eigene Darstellung.)

Benennung der Elektrozentralen	Anzahl der Trafos je Elektrozentrale	Gesamtleistung aller Trafos je Elektrozentrale
EZ1	4	2.520 kVA / 2.400 kW
EZ2	3	3.000 kVA / 2.850 kW
EZ3	2	2.000 kVA / 1.900 kW

Somit ergibt dies eine maximal mögliche Gesamtleistung von 7.520 kVA / 7.150 kW. In Abbildung 3-1 sind die Elektrozentralen und die Energiezentrale am Standort dargestellt. Die Elektrozentralen sind rot und die Energiezentrale ist orange umrandet.

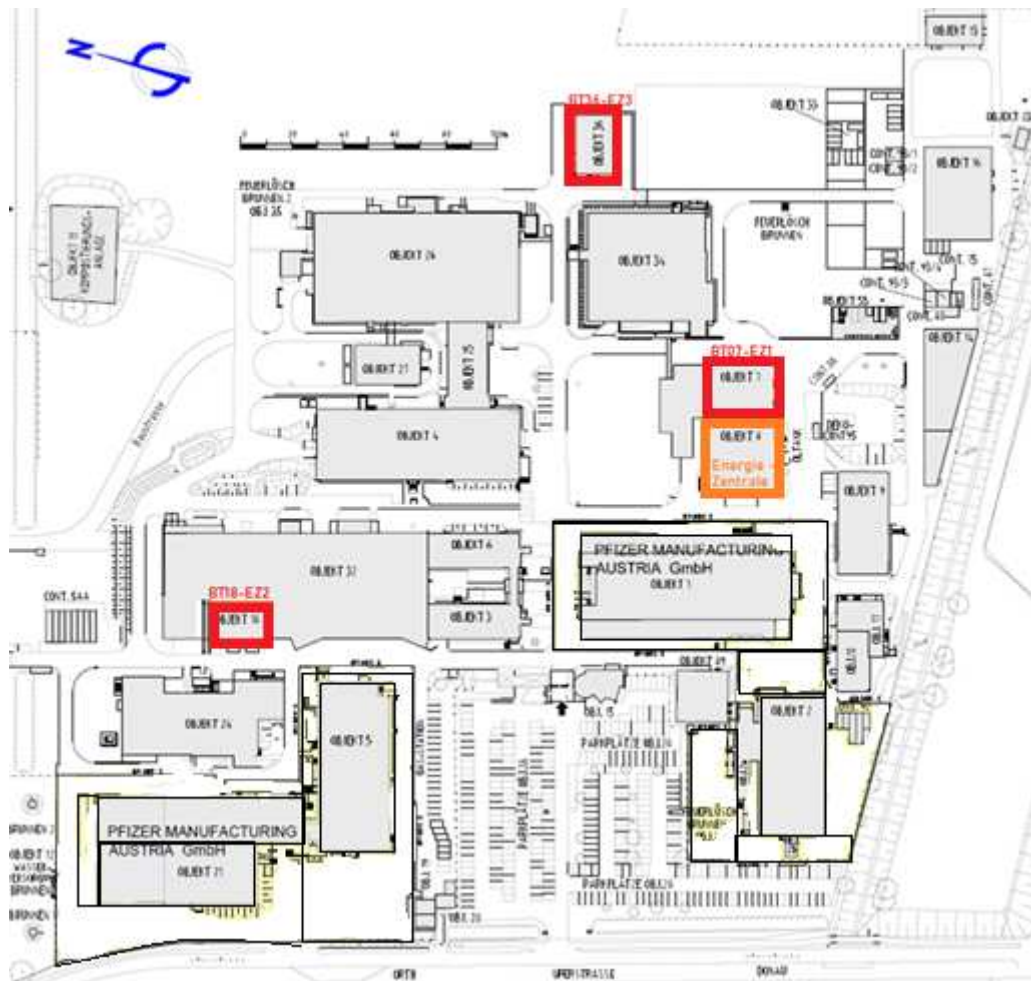


Abbildung 3-1: Standortübersicht mit markierten Energie- und Elektrozentralen. (Eigene Darstellung in Anlehnung an Takeda.)

Dieselgeneratoren

Der Sekundärenergiebedarf dieser Dieselgeneratoren beläuft sich auf unter 1 % der am Standort eingekauften Gesamt-Sekundärenergie. Diese Dieselaggregate dienen ausschließlich der Versorgung im Störfall oder zur Vorbeugung von Versorgungsunterbrüchen. Die Dieselgeneratoren sind in den rot eingefärbten Elektrozentralen untergebracht. Dabei handelt es sich um insgesamt sechs Aggregate mit den in Tabelle 3-3 angeführten technischen Daten. Diese Notstromanlagen haben in Summe eine Maximalleistung von 7.750 kW, wobei im Betrachtungszeitraum (Nov. 2019 - Nov. 2020) 58.500 Liter Dieselkraftstoff umgesetzt und daraus 186.170 kWh elektrische Energie generiert wurden.

Tabelle 3-3: Auflistung der Unterbringungsorte und der technischen Daten der Dieselgeneratoren am Standort. (Eigene Darstellung.)

Standort der Dieselgeneratoren	Anzahl der Dieselgeneratoren je Elektrozentrale	Elektrische Gesamtleistung aller Generatoren je Elektrozentrale
EZ1	2	3.000 kVA / 2.850 kW
EZ2	3	3.000 kVA / 2.850 kW
EZ3	1	2.160 kVA / 2.050 kW

Die Notstromanlage ist an den Blitzortungsdienst ALDIS (Austrian Lightning Detection & Informations-System) gekoppelt. Im Falle eines netzseitigen Versorgungsunterbruches oder im Falle einer Unwetterwarnung, werden zur Steigerung der Versorgungssicherheit die Notdiesel in Betrieb genommen, um vom Netz unabhängig agieren zu können. Neben der Energiezentrale sind die Dieselaggregate die einzigen anderen Diesel-Verbraucher am Standort. In der Abbildung 3-2 ist der größte Dieselgenerator des Standortes dargestellt.



Abbildung 3-2: 16 Zylinder-Notstromdieselgenerator mit einer elektrischen Maximalleistung von 2.050 kW. (Quelle: Takeda).

Aufgrund des geringen Dieselbedarfs, der sehr hohen Notstromversorgungs-Anlagenkosten und des bereits hohen Wirkungsgrades der bestehenden Anlagen, wird eine Optimierung zum momentanen Zeitpunkt als weder wirtschaftlich noch ökologisch sinnvoll bewertet.

Somit wird in diese Arbeit nicht näher auf Optimierungsmöglichkeiten der Dieselaggregate und die damit einhergehenden Energieeinsparungsmöglichkeiten eingegangen. Dennoch wird der Umwandlungsprozess von Diesel zu elektrischer Energie in Kapitel 3.4.2 näher erläutert.

Energiezentrale

Die in Abbildung 3-3 ersichtliche Energiezentrale versorgt den gesamten Standort, inklusive der Campuspartner mit Dampf und bzw. oder Heizungswarmwasser (HWW). Einige Gebäude werden nur mit Dampf versorgt und generieren sich daraus das HWW selbst.



Abbildung 3-3: Energiezentrale. (Quelle: Takeda.)

Der bereitgestellte Dampf hat am Energiezentralen-Ausgang eine Temperatur von $173\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei einem Druck von 8,5 bar. Das HWW verlässt die Energiezentrale Jahreszeiten- und Außentemperaturabhängig mit einer Vorlauftemperatur von $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ und gelangt wieder in die Energiezentrale mit einer Rücklauftemperatur von $54\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $74\text{ }^{\circ}\text{C}$. Um im Falle einer Unterbrechung der Gasversorgungsleitung den Standort weiter mit Dampf und HWW versorgen zu können, werden in solchen Ausnahmefällen die Brenner mit Dieselkraftstoff weiterbetrieben.

Die Maximalleistung der Öl-Wärmeträgeranlage ist mit 11.500 kW angegeben, wobei für die HWW-Versorgung maximal 3.200 kW zur Verfügung stehen. Die Anlage für die Dampfproduktion weist eine maximale Auslegungsleistung von 10.800 kW auf, was maximal 14 t/h Dampf der vorher genannten Spezifikationen entspricht. Die tatsächliche maximale Dampfproduktion beläuft sich allerdings auf 10 t/h. In Abbildung 3-4 ist der größte Brenner der Energiezentrale dargestellt. Anzumerken ist, dass das HWW auch durch Wärmerückgewinnungseinrichtungen (WRG-Einrichtungen) aus dem Dampf erzeugt wird,

weshalb die Summen der HWW und der Dampferzeugung zusammen die angegebene Maximalleistung der Wärmeträgeranlage überschreiten. Ferner stellen diese Werte die Maximalleistungen der jeweiligen Systeme dar, wobei diese nicht gleichzeitig abgerufen werden können.



Abbildung 3-4: Mit 8 MW Leistung, größter Brenner der Energiezentrale am Werksgelände. (Quelle: Takeda.)

In der Energiezentrale wurden im betrachteten Zeitraum (1. November 2019 – 1. November 2020) 98.000 kWh Diesel und 27.898.758 kWh Erdgas verfeuert. In den nachfolgenden Unterpunkten wird näher auf die genauen Daten eingegangen.

Dampfverbraucher

Die Dampfbereitstellung zählt zu den energieintensivsten Aufgaben am Standort. Der Dampf wird für Autoklaven, die Luftbefeuchtung für Produktionsräume und partial zur Heizungswarmwassererzeugung eingesetzt. Nachfolgend wird auf die Dampfverbraucher näher eingegangen.

Autoklaven

Ein Autoklav wird eingesetzt, um Stoffe im Überdruckbereich thermisch behandeln zu können. Er ist gasdicht verschließbar. In pharmazeutischen Betrieben wird er unter anderem zur Sterilisation verwendet. Hierbei wird das zu sterilisierende Material so verpackt, dass Wasserdampf zum Material vordringen kann. Keime beziehungsweise Mikroorganismen können diese Verpackung allerdings nicht durchdringen. Der Raum im Autoklaven, welcher der Sterilisation dient, wird evakuiert. Anschließend wird, bei diesem Sterilisationsverfahren, Wasserdampf eingeleitet. Durch die Beaufschlagung des zu sterilisierenden Gutes mit heißem Dampf, findet die Abtötung der Keime und Mikroorganismen statt. Die

Sterilisationszeit hängt von der Dampftemperatur ab. Beispielsweise wird beim Autoklavieren für fünf Minuten, Dampf mit einer Temperatur von 134 °C eingeleitet. Aufgrund dessen, dass zwischen der flüssigen Phase und der Dampfphase ein Gleichgewicht herrscht, wird so viel Dampf eingeleitet wie im Sterilisationsraum zeitgleich kondensiert. Am Standort wird Dampf eingesetzt, da dies die Sterilisationsdauer im Vergleich zu Heißluftbetriebenen Sterilisationsanlagen maßgeblich verkürzt. [32]

Dies ist dadurch zu begründen, da Wasserdampf im Vergleich zu flüssigem Wasser eine maßgeblich höhere Gesamtenthalpie aufweist. Mit ungefähr 80 % der Gesamtenthalpie der Dampfphase, macht die Verdampfungsenthalpie einen extrem großen Teil der Gesamtenthalpie aus. Im Autoklaven wird beim Auftreffen des Dampfes auf das Sterilisationsgut, die sogenannte Kondensationswärme, aufgrund der Kondensation des Dampfes am zu sterilisierenden Gut, frei. Diese Kondensationswärme, welche in einem Kubikmeter Dampf enthalten ist, ist wesentlich höher als die im selben Volumen in Heißluft enthaltene Energie. Dies hat zur Folge, dass das Sterilisationsgut länger mit Heißluft beaufschlagt werden muss, um dieselbe Energiemenge wie bei der Beaufschlagung mit Dampf, aufnehmen zu können. So dauert eine Sterilisation mit 160 °C Heißluft etwa 120 Minuten. Der Nachteil ist jedoch, dass die Bereitstellung des Dampfes und der Transport an die Gebäude sehr energieintensiv und Verlustbehaftet sind. [32]

Luftbefeuchtung

Es existieren verschiedene Arten der Luftbefeuchtung. Energieeffiziente Methoden sind meist als adiabate Befeuchtungen ausgeführt. Hier wird dem Raum Energie entzogen, wenn ein Wassernebel eingesprüht wird. Diese Energie dient dazu, das flüssige Wasser zu verdunsten. Nachteilig kann je nach Anwendungsfall allerdings sein, dass sich hier die Raumtemperatur aufgrund der Energieaufnahme des flüssigen Wassers aus der Raumluft absenkt. Eine konstante Temperatur, also keine Abkühlung in den zu befeuchtenden Räumlichkeiten, erreicht man mit einer Luftbefeuchtung durch Dampf. Hier liegt beim Eintritt in den zu befeuchtenden Raum, das Wasser schon als Dampf in Gasphase vor, somit wird keine Energie aus der Raumluft aufgenommen. Zusätzlich hat eine Befeuchtung mittels Dampf den Vorteil, dass aufgrund der hohen Dampftemperaturen von mindestens 100 °C alle Bakterien und Keime abgetötet werden. Somit eignet sich dieses Verfahren optimal für den Einsatz in Reinräumen, wie man sie unter anderem in pharmazeutischen Produktionsanlagen vorfindet. [33]

Bei der Luftbefeuchtung mittels Dampf fallen jedoch sehr hohe Energiekosten aufgrund der energieintensiven Dampferzeugung an.

Heizungswarmwasserverbraucher

Das HWW wird am Firmenstandort in Orth ausschließlich zur Gebäude- bzw. Raumheizung eingesetzt. Da die Gebäude im Zeitabstand von einigen Jahren bis Jahrzehnten, beginnend 1979 errichtet wurden, wird der Großteil der Gebäude mittels Hochtemperatur-Warmwasserheizungen beheizt. Deshalb sind beim HWW Vorlauftemperaturen von 70 C° - 90 C° nötig. Das HWW wird teilweise über Wärmerückgewinnung, wie Rauchgasrückgewinnung oder Kondensat-Wärmerückgewinnung und partiell über Gasbrenner erzeugt. Die Gasbrenner für die HWW-Erzeugung weisen eine Maximalleistung von 3.200 kW auf.

Am Standort gibt es auch drei Gebäude, welche nicht an das HWW-Netz angeschlossen sind. Diese erzeugen sich das benötigte HWW selbst aus dem Dampf über Wärmeübertrager. Den Dampf beziehen sie über Versorgungsleitungen von der Energiezentrale. Ebenso gibt es ein modernisiertes Gebäude, welches mittels einer Wärmepumpe beheizt wird.

Druckluftverbraucher

Die Druckluft kann am Standort einerseits in „Steuerungs“-Druckluft und andererseits in „Fermentations“-Druckluft aufgeteilt werden. Die Steuerungs-Druckluft wird hauptsächlich eingesetzt um Armaturen, wie Ventile in den Produktionsanlagen zu betätigen. Die Fermentations-Druckluft wird spezifisch aufbereitet und gefiltert und gelangt danach in die Produktionsanlagen. Eingesetzt wird diese Druckluft beispielsweise bei der Tablettierung. Die Fermentations-Druckluft findet in der Anlagen- oder Behälterreinigung, für den Transport für Bestandteile und in den Verpackungsanlagen Anwendung. Die Druckluftanlagen werden von der Firma Pfizer betrieben. Für die am Standort nötige Druckluftmenge werden drei Kompressoren mit einer elektrischen Anschlussleistung von 165 kW betrieben, wobei maximal 1.330 m³/h Luft mit 8 bar erzeugt werden können. Bei den Kompressoren handelt es sich um Öl frei verdichtende Schraubenkompressoren. Schraubenkompressoren werden häufig in Industriebetrieben eingesetzt, da sie dauerhaft große Druckluftmengen effizient bereitstellen können. Diese Druckluftanlagen sind mit Adsorptionstrocknern ausgestattet, um den hohen Qualitätsanforderungen in der pharmazeutischen Produktion gerecht zu werden. Aufgrund dieser Anforderungen sind die Anlagen nach ISO 8573-1 Klasse 0 (2010) zertifiziert.

Kälteverbraucher

Die 67 Kälteanlagen stellen mit einer Gesamtkälteleistung von maximal 7.700 kW einen sehr großen Anteil am elektrischen Energiebedarf am Standort dar. Dabei kann von einem Gesamt Energy Efficiency Ratio (EER) von „vier“ für den expliziten Betrachtungsfall

ausgegangen werden. Ermittelt wurde der EER messtechnisch über mehrere Jahre. Eingesetzt werden die Kälteanlagen zum Zweck der Büro- und Produktions-Raumkühlung, der Bereitstellung von Prozesskälte und zur Versorgung von Kühl- und Tiefkühl-Anlagen. Die größten Kälteanlagen am Standort sind als „Turbo-Kaltwassersätze“ ausgeführt, wobei die maximale Kälteleistung der Einzelaggregate 280 kW beträgt. Am Standort sind von den 7.700 MW Kälteleistung, 2.400 MW redundant ausgelegt. Diese magnetgelagerten Turboflüssigkeitskühler zeichnen sich durch eine hohe Effizienz im Teillastbereich aus. [34] Als Verdichter werden „Danfoss-Turbocor“-Verdichter wie in Abbildung 3-5 illustriert, eingesetzt. Bei diesen Anlagen findet R134a als Kältemittel Verwendung. Zusätzlich werden am Standort auch Schraubenflüssigkeitskühler eingesetzt, welche allerdings hauptsächlich als Redundanzsysteme fungieren.



Abbildung 3-5: Größter Kälteanlagenverbund am Standort. (Quelle: Takeda.)

Kälteanlagen basieren auf dem Carnot Prinzip. Eine ausführliche Erklärung findet sich in Kapitel 2.4 da die am Standort eingesetzten Kälteanlagen auf dem gleichen Funktionsprinzip wie Wärmepumpen basieren.

3.2 Datenerhebung und erste Schritte

Zu Beginn der Arbeit wurde ein Betrachtungszeitraum von einem Jahr gewählt. Dies ist deshalb von Bedeutung, da die Medienverbräuche teilweise sehr stark von der Jahreszeit abhängen. Der Betrachtungszeitraum beginnt am 1. November 2019 und endet am 1. November 2020. Der Zeitraum wurde so gewählt, um die aktuellsten Daten zu erhalten. Nach der Festlegung des betrachteten Zeitraumes wurde begonnen, sich in das Datenerfassungssystem einzuarbeiten. Die über 15.000 Messpunkte werden bei Takeda in

Orth an der Donau im PI Coresight 2014 (2.0.0.8), der Firma OSIsoft LLC verwaltet. Zusätzlich zu den Aufzeichnungen des Datenverarbeitungssystems PI Coresight, wurden Energie und Mediendaten auch schriftlich auf Papier und in manuell angefertigten Microsoft Excel-Listen festgehalten. In Tabelle 3-4 sind jene Medien und Energieformen angeführt, für die die Energieflüsse ermittelt werden.

Tabelle 3-4: Zu ermittelnde Energieflüsse der unterschiedlichen Energieformen am Standort. (Eigene Darstellung.)

zugekaufte Sekundärenergie	am Standort eingesetzte zu ermittelnde Medienströme
elektrische Energie	elektrische Energie
Erdgas	Kälte
Diesel	Heizungswarmwasser
	Dampf
	Abwasser infektiös
	Abwasser biologisch

3.3 Probleme und Herausforderungen bei der Datenerhebung

Im betrachteten Zeitraum bestanden sowohl digitale als auch manuelle Aufzeichnungen über die Energie- und Medienverbräuche. Daraus ergeben sich mehrere Probleme:

1. Mangelhafte digitale Datensammlung

Viele Messstellen wurden erst im Laufe des Jahres 2020 in das Datenerfassungssystem, PI-Coresight implementiert. Somit existieren noch keine langfristigen Aufzeichnungen im neu eingeführten Datenerfassungssystem.

2. Falsche manuelle Aufzeichnungen

Die manuellen Aufzeichnungen waren unvollständig oder inkorrekt, da aufgrund der PI-Coresight-Implementierung viele Messwerte nicht mehr überprüft, sondern direkt übernommen und abgespeichert wurden.

3. Inkonsistente Datenerfassung

Es existieren teilweise sehr viele unterschiedliche Versionen, von denselben Medienverbräuchen im selben Zeitraum. Zudem wurden die Daten doppelt bzw. mehrfach, mit unterschiedlichen Werten aufgezeichnet.

Mangelhafte digitale Datensammlung

Mit der nachfolgenden Abbildung soll ein Beispiel, für die Problematiken der mangelhaften digitalen Datensammlung veranschaulicht werden. Bei den dargestellten Daten in Abbildung 3-6, handelt es sich um die Daten, die durch das PI-Coresight zum Zeitpunkt des Arbeitsbeginns im November 2020 erfasst wurden.

Beschreibung	Startwert: 01.11.2019	Endwert: 01.11.2020	Verbrauch	Verbrauch %
Dampf-Zähler BT1 MASSE	Unable to write	5323119 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT2 MASSE	Unable to write	1974082 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT4 MASSE	Unable to write	2020286 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT05 Masse	Unable to write	10220154 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT07 MASSE	Unable to write	936380 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT08 MASSE	Unable to write	7803038 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT10 MASSE	Unable to write	3513673 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT17 MASSE	Unable to write	416392 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT21 MASSE	Unable to write	0 kg	411,39 t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT24 kg/Zählwertfaktor	Unable to write	14241634 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT24 Zubau kg/Zählwertfaktor	Unable to write	1411599 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT27 MASSE	Unable to write	25539260 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT32 CAPS kg/Zählwertfaktor	Unable to write	222906 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT34 Masse	Unable to write	-999 kg	#WERT! t	#WERT! %
Dampf-Zähler BT89 MASSE	Unable to write	105567 kg	#WERT! t	#WERT! %
Gesamtmenge:			#WERT! t	#WERT! %

Abbildung 3-6: Datenlage der Dampfdaten zu Beginn der Arbeit vor Ort. (Stand November 2020.) (Quelle: Takeda.)

In der Abbildung ist erkennbar, dass mit ersten November 2020 zwar viele Messdaten im System verfügbar waren (in der Spalte „Endwert 01.11.2020“ ersichtlich), doch waren am Beginn des Betrachtungszeitraums, noch keine Daten im System hinterlegt. Dies ist in der Spalte: „Startwert 01.11.2019“ ersichtlich, da hier keinerlei Daten ausgegeben werden. Dadurch kann mit diesen Daten keine sinnvolle Aussage über den Medienverbrauch, in diesem Fall über die Dampfversorgung der unterschiedlichen Gebäude, getroffen werden. Bei Takeda werden Gebäude, Bauteile genannt und daher im Folgenden mit BT abgekürzt. Im Anhang dieser Arbeit werden weitere Abbildungen (Abbildung 6-1 bis Abbildung 6-4) dargestellt. Diese beschreiben die Datenlage im Pi-Coresight für den gleichen Zeitpunkt (November 2020) aber für andere Medien.

Das Problem bezüglich der mangelhaften digitalen Datensammlung kann nicht unmittelbar gelöst werden. Für den Fall, dass ein Zeitraum betrachtet werden soll, für welchen aufgrund eines zu geringen Datenaufzeichnungszeitraumes zu wenig Daten existieren, sind die Lösungsansätze für die Punkte 2 (Falsche manuelle Aufzeichnungen) und 3 (Inkonsistente Datenerfassung) von Relevanz. Diese Lösungsansätze werden auch in dieser Arbeit angewendet.

Falsche manuelle Aufzeichnungen

Ein weiteres Problem bei der Datenlukrierung war, dass nach der Implementierung des Datenerfassungssystems die manuellen Aufzeichnungen teilweise nicht mehr weitergeführt bzw. die von den Messinstrumenten abgelesenen Zahlenwerte nicht mehr auf Plausibilität geprüft wurden. Dies hatte zur Folge, dass weder Daten durch das Erfassungssystem, noch korrekte Daten durch die manuelle Aufzeichnung verfügbar waren. In Abbildung 3-7 werden die fehlerhafte manuelle Aufzeichnungsliste für die Dampflieferungen der Energiezentrale abgebildet. Die absoluten Dampfliefmengen an die BT wurden in kg erfasst. Hier ist ersichtlich, dass laut dieser Aufzeichnung sogar negative Dampfmengen (in der Zeile: „Dampf ges.“) an die BT geliefert wurden. Daraus kann fälschlicherweise schlussgefolgert werden, dass Dampf von den zu versorgenden Gebäuden an die Energiezentrale geliefert wird.

Um das Problem bezüglich der falschen manuellen Aufzeichnungen zu lösen, mussten die Verfasser der manuellen Aufzeichnungen ausfindig gemacht werden. Zusätzlich wurden langjährige Mitarbeiter zurate gezogen, um die durch falsche händische Aufzeichnung lukrierten Daten auf einen aktuellen und plausiblen Stand bringen zu können. Diese erfahrenen Mitarbeiter konnten die Medienverbräuche anhand persönlicher Aufzeichnungen, individueller Erfahrungen und durch zu Hilfenahme von eigens dafür installierten mobilen Durchflussmessern, auf einen nachvollziehbaren und realistischen Stand bringen. Dieser Datenstand stellt die Basis für die angestellten Berechnungen in dieser Arbeit dar.

Praktischer Teil

Energiezentrale Daten manuelle Aufzeichnung, monatliche Verbrauchswerte errechnen sich nach Eingabe selbst														
	2019	2019	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	Summe Zeitraum
	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch	
	Nov	Dez.	Jänner	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.		
Dampf														
Dampf ges.(laut VISU)	2105507	2608061	2882564	2694222	2801576	2799272	2731714	2380365	1895194	2230769	2118824	1923984	29172052	kg
Dampf														
BT01 Pfizer	2	58134	565	17	141109	180123	0	-189898	110188	108348	119806	-1	528393	kg
BT02 Pfizer	62658	-6775	97873	96291	108806	112099	76515	13723	7347	5895	7427	24809	606668	kg
BT04	30892	42496	65328	66494	51872	-1	0	33782	32000	34179	19191919	36874	19585835	kg
BT05 Pfizer	97898	192137	213	134539	139954	118039	-13	146305	1	256460	0	0	1085533	kg
BT07	23313	3604	47235	58014	96251	115632	51274	3126	2	13999	7785	2650	422885	kg
BT08 Heizedampf->Reindampf	135456	0	213220	-13	129236	134563	132117	93599	94335	94577	70264	106683	1204037	kg
BT10	70720	0	85643	73304	77154	74616	85417	76210	86103	75664	-11	90382	795202	kg
BT17	-1111	0	0	0	11111	0	0	0	0	0	0	0	10000	kg
BT21 Pfizer	457750	491380	559880	5	534660	585520	15	411390	470430	380490	397140	13	4288673	kg
BT24	248257	255253	250524	246892	226660	112120	198191	219334	127002	198733	230489	238133	2551588	kg
BT24a	250000	260211	255253	-11	0	203934	151191	-7878787	124038	185479	0	135167	-6313525	kg
BT27	-11111111	0	2323	319747	502966	502821	501718	452253	325245	366213	409112	439998	-7288715	kg
BT32	1	0	0	0	0	xxxxx	2	0	0	0	0	0	3	kg
BT34 (QCB)	155717	211481	262321	196364	330469	341577	1	384605	191400	216830	340517	89	2631371	kg
BT89	89898	3290	1	2829	208	0	999999	0	0	0	0	0	1096225	kg
Dampf ges.	-9489660	1511211	1840379	1194472	2350456	2481043	2196427	-6234358	1568091	1936867	20774448	1074797	21204173	kg
Dampf Diff. Kg	11595167	1096850	1042185	1499750	451120	318229	535287	8614723	327103	293902	-18655624	849187	7967879	kg
Dampf Diff. %	550,71	42,06	36,15	55,67	16,10	11,37	19,60	361,91	17,26	13,17	-880,47	44,14	27,31	%

Abbildung 3-7: Manuelle Aufzeichnung der Dampflieferungen der Energiezentrale an die Bauteile. (Stand November 2020.) (Quelle: Takeda.)

Inkonsistente Datenerfassung

Eine Problematik stellte die Vielzahl an verschiedenen Ordnern mit Dokumenten zu den Energie- und Medienverbräuchen dar. In den Dateien wurden oftmals dieselben Zeiträume der gleichen Medien betrachtet, allerdings wurden dabei sehr unterschiedliche Zahlenwerte der Medienverbräuche aufgezeichnet. Diese Dateien wurden von unterschiedlichen Personen angefertigt und auf die Firmen-Server gestellt. Dadurch und durch mangelnde Dokumentation der Verfasser war eine Nachprüfbarkeit und Nachverfolgbarkeit teilweise gar nicht mehr oder nur sehr eingeschränkt möglich.

Die Problematik ob der inkonsistenten Datenerfassung konnte nur durch das Ausfindig machen der verantwortlichen Mitarbeiter und eine umfangreiche Prüfung auf Plausibilität behoben werden. Mithilfe dieser Mitarbeiter wurden die Listen geprüft und überarbeitet. Somit konnte aus den diversen Listen ein einziges Dokument mit den Standort-Energie- und Medien-Daten für den Betrachtungszeitraum erstellt werden. Dieses Dokument gibt Auskunft über den Medienverbrauch und die Energieflüsse zu den einzelnen BT, sowie über die insgesamt zugekauften Sekundärenergien für den Zeitraum vom 1.11.2019 bis zum 1.11.2020.

3.4 Datenverarbeitung und Auswertung

Hier werden die ausgearbeiteten Daten aufbereitet dargestellt. Diese Daten werden anschließend für die Darstellung der Hauptenergieflüsse und die Optimierungsvorschläge herangezogen.

3.4.1 Sekundärenergieverteilung

Durch die in Kapitel 3.3 genannten Lösungsansätze, können die Energie- und Medienflüsse am Standort ausgearbeitet werden. Aus diesen Ausarbeitungen gehen unter anderem die in Tabelle 3-5 angeführten Werte hervor. Diese entsprechen der gesamten am Standort eingesetzten Sekundärenergie.

Tabelle 3-5: Zugekaufte Sekundärenergie am Standort, für Takeda und Pfizer. (Eigene Darstellung.)

Sekundärenergie	Energiemenge	Einheit
Elektrische Energie	19.616,2	MWh
Gas	27.898,8	MWh
Diesel	671,3	MWh
Summe	48.186,3	MWh

In Abbildung 3-8 wird die eingesetzte Sekundärenergie anteilmäßig dargestellt. Aus dieser Grafik ist ersichtlich, dass Diesel nur einen sehr geringen Anteil vom Sekundärenergieeinsatz und weiterführend auch vom CO₂-Ausstoß ausmacht. Zusätzlich wird Diesel nur in Ausnahmesituationen eingesetzt, wodurch eine Energieeffizienzbetrachtung als nicht zweckmäßig erachtet wird.

Alle in dieser Arbeit betrachteten Optimierungsmaßnahmen zielen somit auf die Reduktion von Gas und vom Netz bezogener elektrischer Energie ab.

Anteil des jeweils eingesetzten Sekundärenergieträgers am Standort

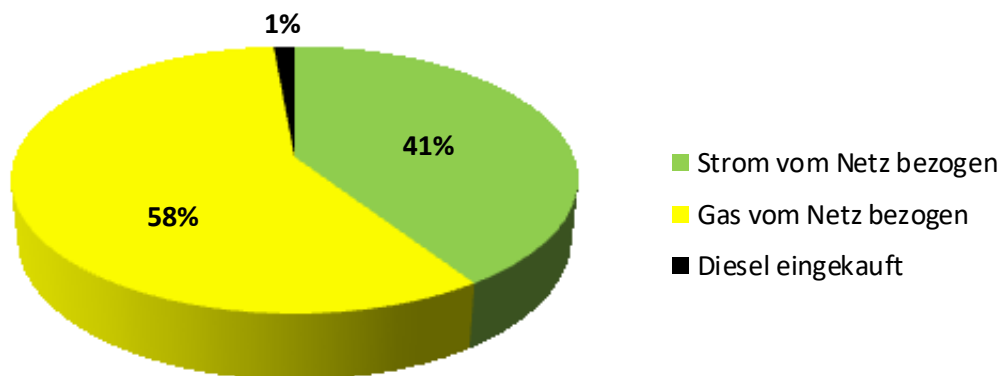


Abbildung 3-8: Anteilmäßige Darstellung des Sekundärenergieeinsatzes von Strom, Gas und Diesel am Standort. (Eigene Darstellung.)

Da am Standort mehrere Pharmafirmen ansässig sind, kann diese Sekundär-Energiemenge anteilmäßig aufgeteilt werden. Dabei werden allerdings nur Pfizer und Takeda beachtet, da Evotec im Betrachtungszeitraum keine signifikanten Energie- oder Medienmengen bezogen hat. Aufgelistet wird die Aufteilung in Tabelle 3-6.

Betrachtet werden aber nicht nur die direkt zuteilbaren Sekundärenergieverbräuche, welche anhand der Medienverbräuche der Bauteile anteilig zugeteilt werden, sondern auch die unternehmensintern als „Facility“-Anteile, bezeichneten Verbräuche. Damit sind die anteiligen Verbräuche jener Bauteile gemeint, welche die Energie- und Medienversorgung für den Standort bereitstellen bzw. welche nur für den Zweck der Versorgung betrieben werden. Diese Aufschlüsselung ist nötig, um eine faire und korrekte Verteilung der gesamten Energiebereitstellungskosten sicherzustellen.

Tabelle 3-6: Anteile an zugekaufter Sekundärenergie. (Eigene Darstellung.)

	Energiemenge	Einheit
direkt Pfizer zurechenbar	17.962,6	MWh
Pfizer Anteil an „Facility“	1.250,7	MWh
direkt Takeda zurechenbar	26.209,7	MWh
Takeda-Anteil an „Facility“	2.763,2	MWh
Gesamtsumme	48.186,2	MWh

Die soeben angeführten Energiebezugs-Anteile können zusammengefasst und in nachfolgender Abbildung 3-9 prozentual dargestellt werden.

Anteil am Sekundärenergieverbrauch je Unternehmen

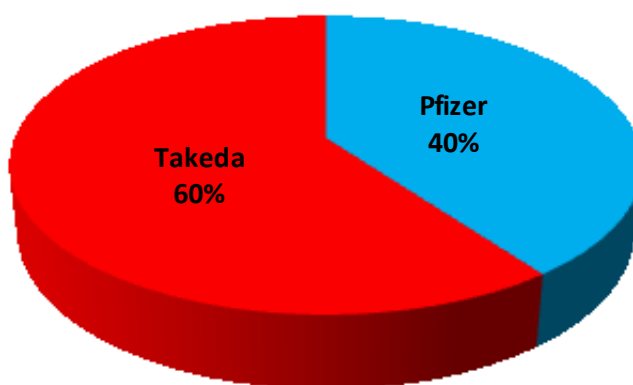


Abbildung 3-9: Anteil am Sekundärenergiebedarf je Unternehmen. (Eigene Darstellung.)

Weiterführend wurde die Sekundärenergie des Standortes anteilmäßig den einzelnen Bauteilen zugeordnet. Dies ist in Abbildung 3-10 ersichtlich.

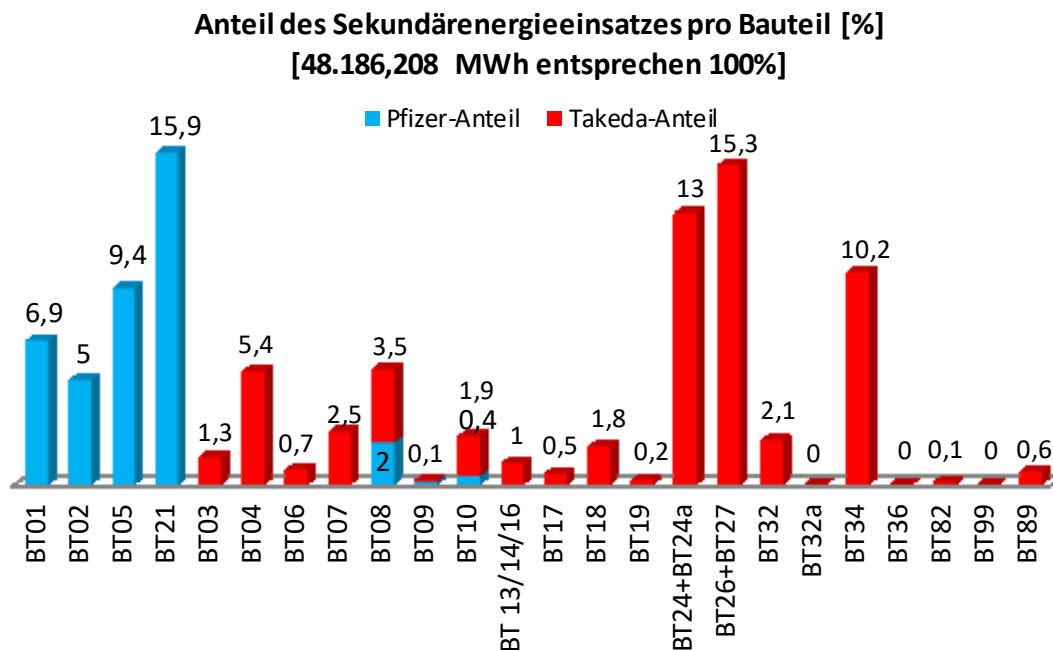


Abbildung 3-10: Prozentuale Sekundärenergiebezüge der einzelnen Bauteile. (Eigene Darstellung.)

Bei der vorangegangenen Grafik werden auch die oben erwähnten „Facility“-Anteile mit berücksichtigt. Beispielsweise ist BT08 die Energiezentrale. Hier wird unter anderem der Dampf und HWW aus Gas und Diesel produziert. Dieses BT dient ausschließlich der Medienerzeugung. Aus der Abbildung geht hervor, dass die BT08 gebäudeinternen Verbräuche auf Takeda und Pfizer aufgeteilt werden. Die Umrechnung erfolgt in diesem Fall auf Basis des HWW- und Dampfbedarfes der zwei Firmen. So wird auch bei den anderen Bauteilen, welche der Medienproduktion oder Verarbeitung dienen, wie BT09 und BT10, verfahren. Allerdings werden bei diesen Gebäuden andere Umrechnungsschlüssel, gemäß der zurechenbaren Medienverbräuche der Firmen verwendet.

Nachfolgend wird auf die größten Verbraucher, aufgeschlüsselt nach deren Medienbezug, eingegangen. Zuvor muss erwähnt werden, dass die weiteren Ausarbeitungen nur noch das Unternehmen, Takeda Pharmaceutical betreffen. Dies ist darin begründet, da die Firma Takeda der Auftraggeber dieser Arbeit ist. Da die später ausgearbeiteten Optimierungsvorschläge allerdings ebenfalls nur auf den durch Takeda verursachten Verlusten bzw. ungenützten Abwärmen aufbauen, stellt dies kein Problem bei der Nachvollziehbarkeit der Daten dar. In Abbildung 3-11 wird die gesamte von Takeda eingesetzte Sekundärenergie, auf die Bauteile aufgeteilt. Hier entspricht die gesamte

eingesetzte Sekundärenergie der Summe der in der Abbildung dargestellten Anteile. Diese Anteile ergeben insgesamt 100 % bzw. 28.972,8 MWh.

Anteile der Bauteile am Sekundärenergieeinsatz, bezogen auf den Takeda Gesamtverbrauch, in Prozent [%]

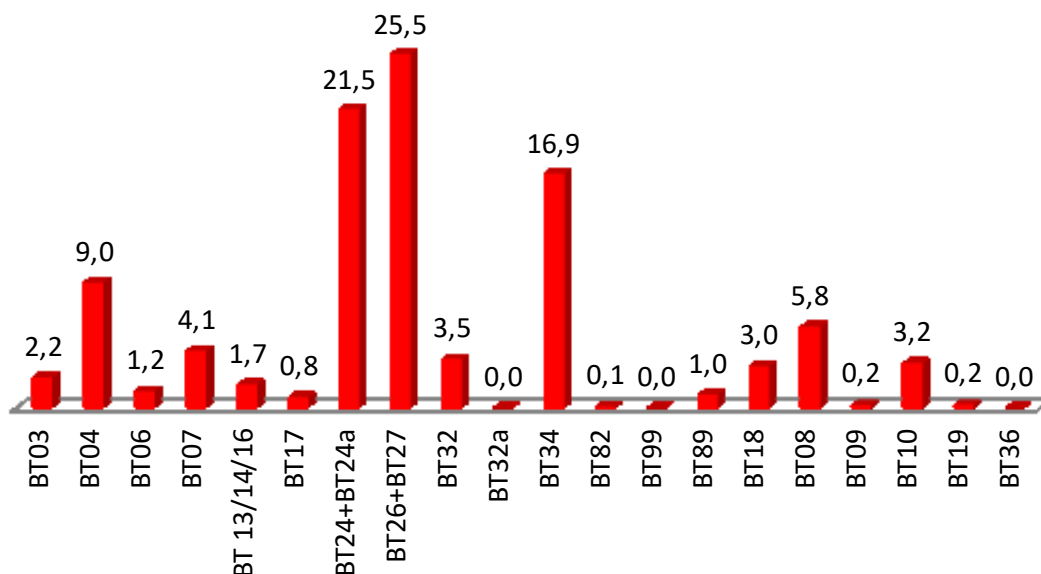


Abbildung 3-11: Sekundärenergieeinsatz je Bauteil, bezogen auf den Gesamtsekundärenergieeinsatz von Takeda. (Eigene Darstellung.)

In Abbildung 3-12 werden die lukrierten Daten zum Sekundärenergieeinsatz, in absteigender Reihenfolge und in die drei eingesetzten Sekundärenergieformen aufgeteilt, abgebildet. Somit sind jene Bauteile identifiziert, welche anteilsmäßig die größten Mengen an Sekundärenergie beziehen. Die Sekundärenergie wird allerdings nur indirekt von diesen BT bezogen. Diese BT beziehen Gas, Diesel und Strom nicht unmittelbar beziehen, sondern erst die aus der Sekundärenergie umgewandelten Medien. Diese Identifizierung der größten Verbraucher ist notwendig, um einerseits jene Bauteile mit den größten Auswirkungen auf den Standortenergieverbrauch zu erfassen und andererseits einen Einblick in die Energieflüsse am Standort zu erhalten, worauf letztendlich die Optimierungsarbeiten mit dem Ziel der THG-Reduktion aufbauen.

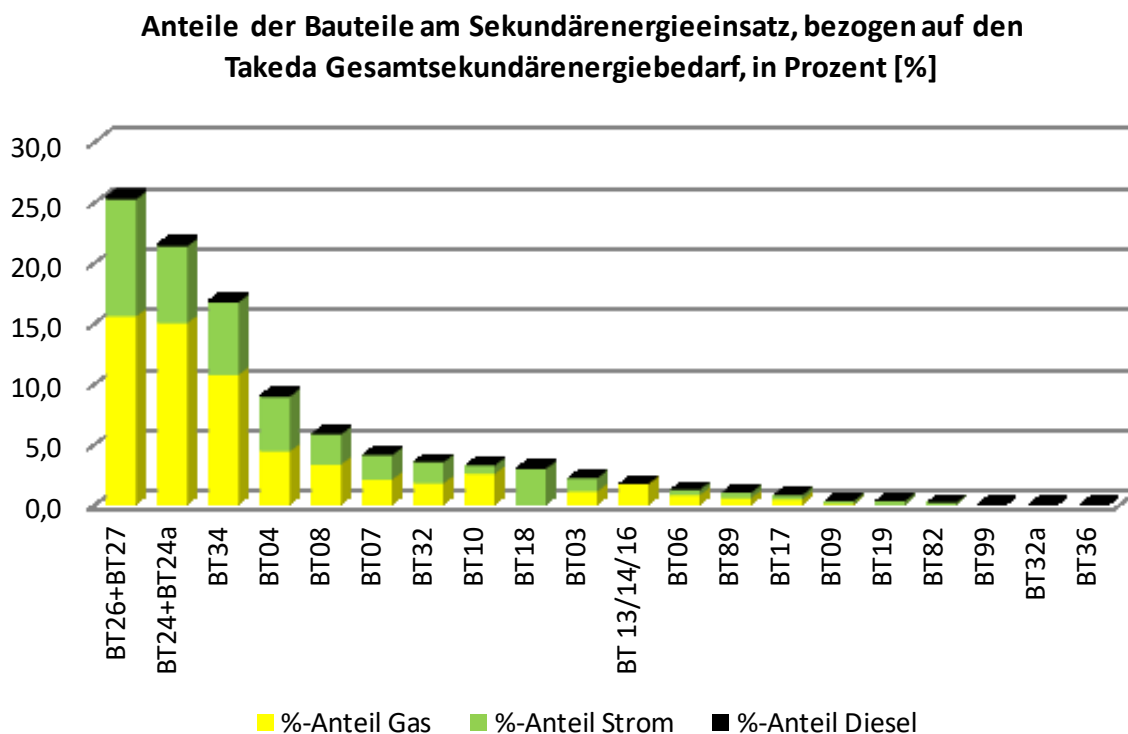


Abbildung 3-12: Sekundärenergieeinsatz je Bauteil, bezogen auf den Gesamtsekundärenergieeinsatz von Takeda, nach Sekundärenergieform. (Eigene Darstellung.)

3.4.2 Umwandlung von Sekundär- zu Endenergie

In diesem Unterpunkt werden die Energieumwandlungsprozesse von der zugekauften Sekundärenergie bis hin zur Endenergie, welche an die Gebäudeeingänge geliefert wird, behandelt. Auch wird auf die dabei auftretenden, messtechnisch erfassten Verluste eingegangen.

Umwandlungs- und Transportprozess von Gas und Diesel zu HWW und Dampf bis zu den Bauteileingängen

In Abbildung 3-13 wird der Umwandlungsprozess von der Sekundärenergie, hier Gas und Diesel zu Heizungswarmwasser und Dampf abgebildet, wobei zusätzlich auch die Transportverluste von der Energiezentrale zu den Bauteileingängen erfasst sind. Dabei beträgt der Sekundärenergieeinsatz 17.217,8 MWh was den in der Abbildung angegebene 100 % entspricht.

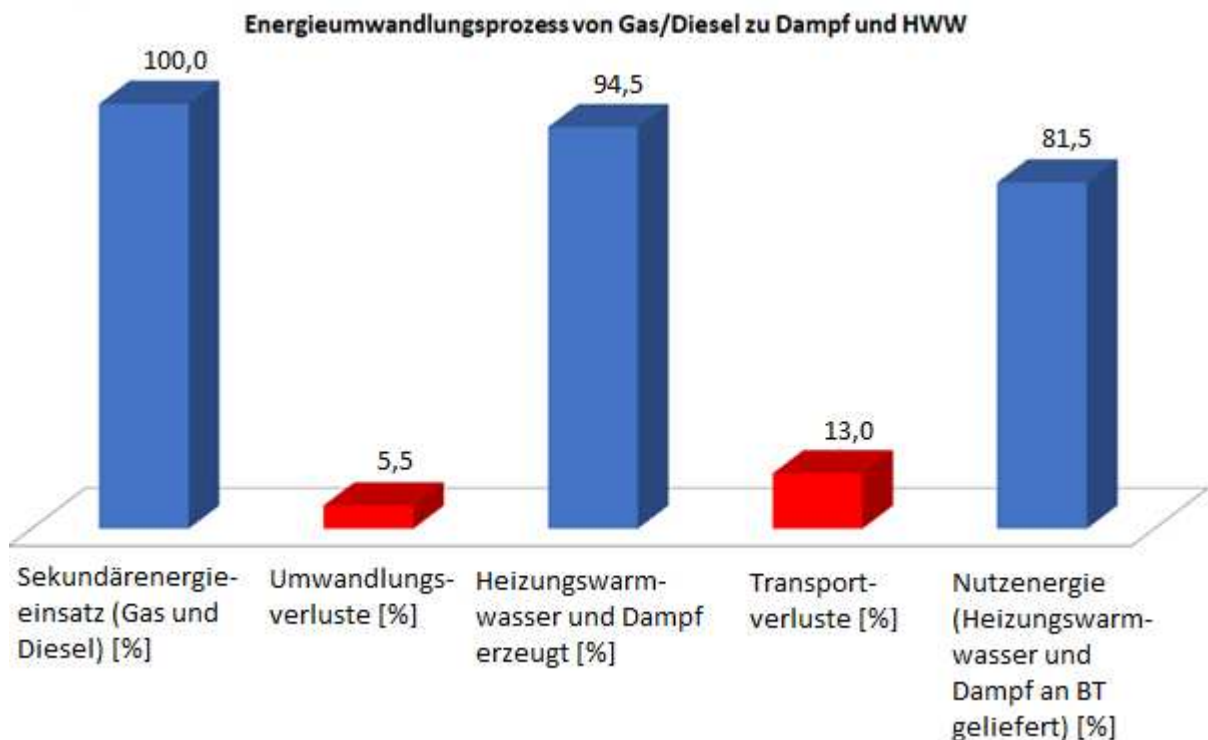


Abbildung 3-13: Verluste beim Umwandlungs- und Transportprozess von Gas bzw. Diesel zu HWW und Dampf bis zu den Bauteileingängen. (Eigene Darstellung.)

Umwandlungsprozess von Diesel zu elektrischer Energie

In den Elektrozentralen wird Dieselkraftstoff in den Notdieselanlagen eingesetzt, um elektrische Energie zu erzeugen. Die in Abbildung 3-14 visualisierten Verluste ergeben indirekt auch den Wirkungsgrad des Dieselaggregates und des elektrischen Generators. Die eingesetzte Sekundärenergie bei den Notdieseln betrug im Betrachtungszeitraum 197,2 MWh. Dieser Wert entspricht den 100 % in der Abbildung. Dabei ist erkennbar, dass man bei dieser Dieselmotor-Generator-Kombination laut den Werten auf einen Wirkungsgrad von 54,8 % kommt. Dieser Wert scheint nicht realistisch, da moderne Dieselgeneratoren eher Werte um 40 – 54 % erreichen. Dabei sind die Werte nahe 40 % für die am Standort eingesetzten Dieselgeneratoren eher realistisch, als die 54 % der Groß- und Größtdieselgeneratoren. Diese 40 - 54 % ergeben sich aus den Wirkungsgraden von Großdieselmotoren (50 - 55%) [35] und von Generatoren (90 - 99%) [36]. Die Abweichungen zwischen den ermittelten und den realen Wirkungsgraden, können auf Messtoleranzen zurückgeführt werden.

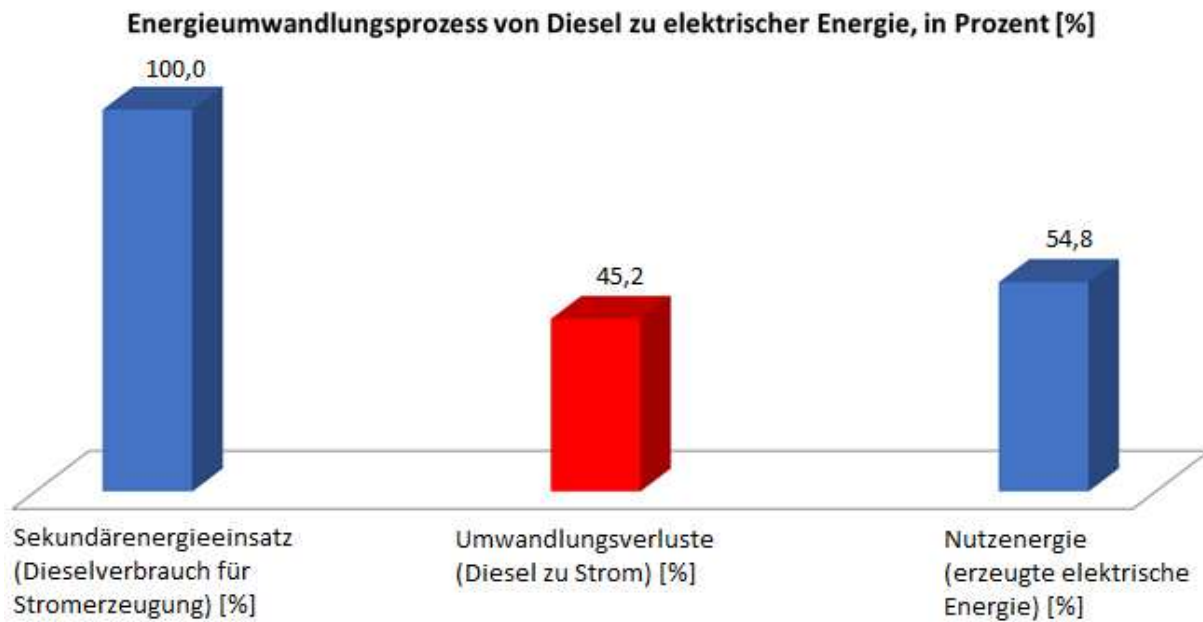


Abbildung 3-14: Verluste beim Umwandlungsprozess von Diesel zu elektrischer Energie. (Eigene Darstellung.)

Umwandlungs- und Transportprozess von elektrischer bis zu den Bauteileingängen

In Abbildung 3-15 werden die Transportverluste der elektrischen Energie, von der Energieversorgungsunternehmer-Übergabestation und den Energiezentralen bis zu den Bauteileingängen dargestellt. Die 100 % (11.499,2 MWh) entsprechen dabei der gesamten aufgewendeten elektrischen Energie für Takeda am Standort. Die Verluste in der Abbildung können sowohl auf Messtoleranzen, sowie auf tatsächliche Übertragungsverluste zurückgeführt werden.

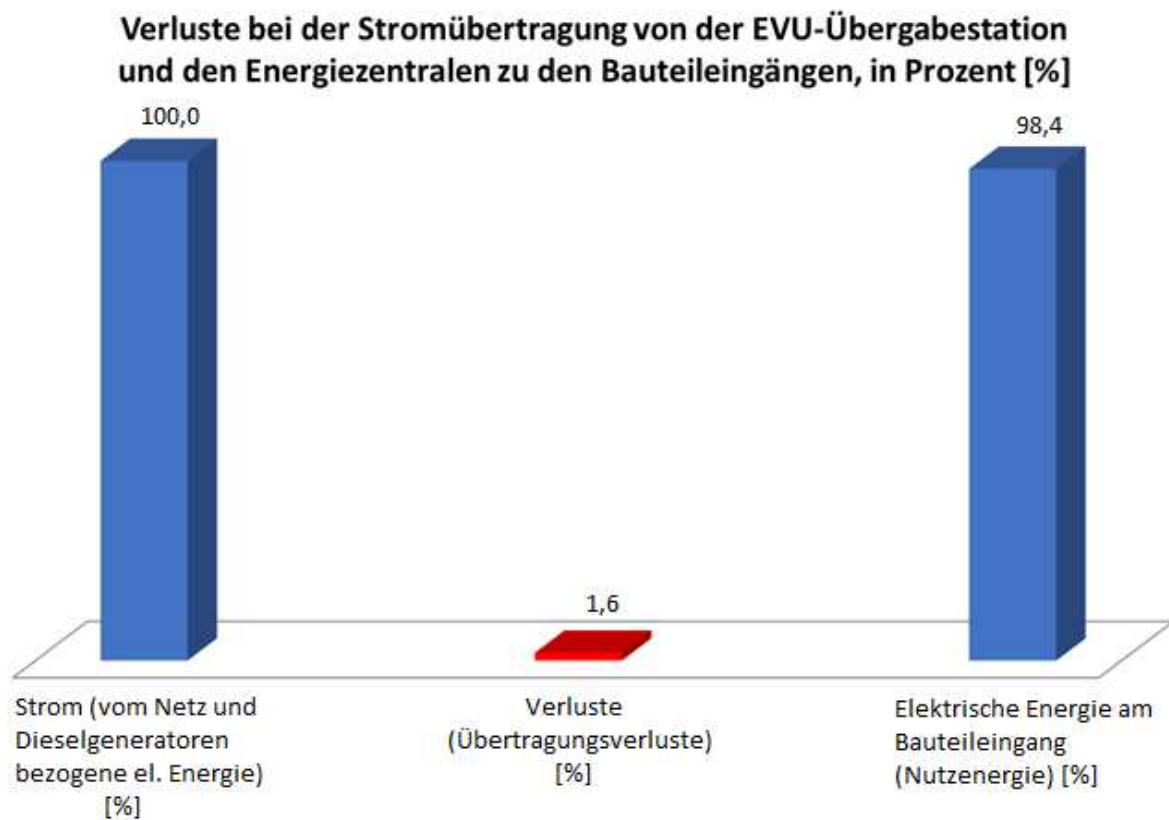


Abbildung 3-15: Transportverluste der elektrischen Energie, von der EVU-Übergabestation und den Elektrozentralen zu den Bauteileingängen. (Eigene Darstellung.)

Umwandlungs- und Transportprozess von Strom zu Druckluft bis zu den Bauteileingängen

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, wird auch Druckluft am Standort erzeugt. Die dafür aufgewendete elektrische Energie und die dabei anfallenden Verluste werden in Abbildung 3-16 illustriert. Die eingesetzte elektrische Energie entspricht den 100 % in der Abbildung und beträgt 716,1 MWh. Daraus wurden messtechnisch erfasst, 29,9 MWh an Energie, in Form von Druckluft, an den Bauteileingängen bereitgestellt. Da diese Druckluftanlagen bei Pfizer stehen, wird im Verlauf dieser Arbeit nicht näher auf die mögliche Nutzung, der durch diese Anlagen anfallenden Abwärme, eingegangen.

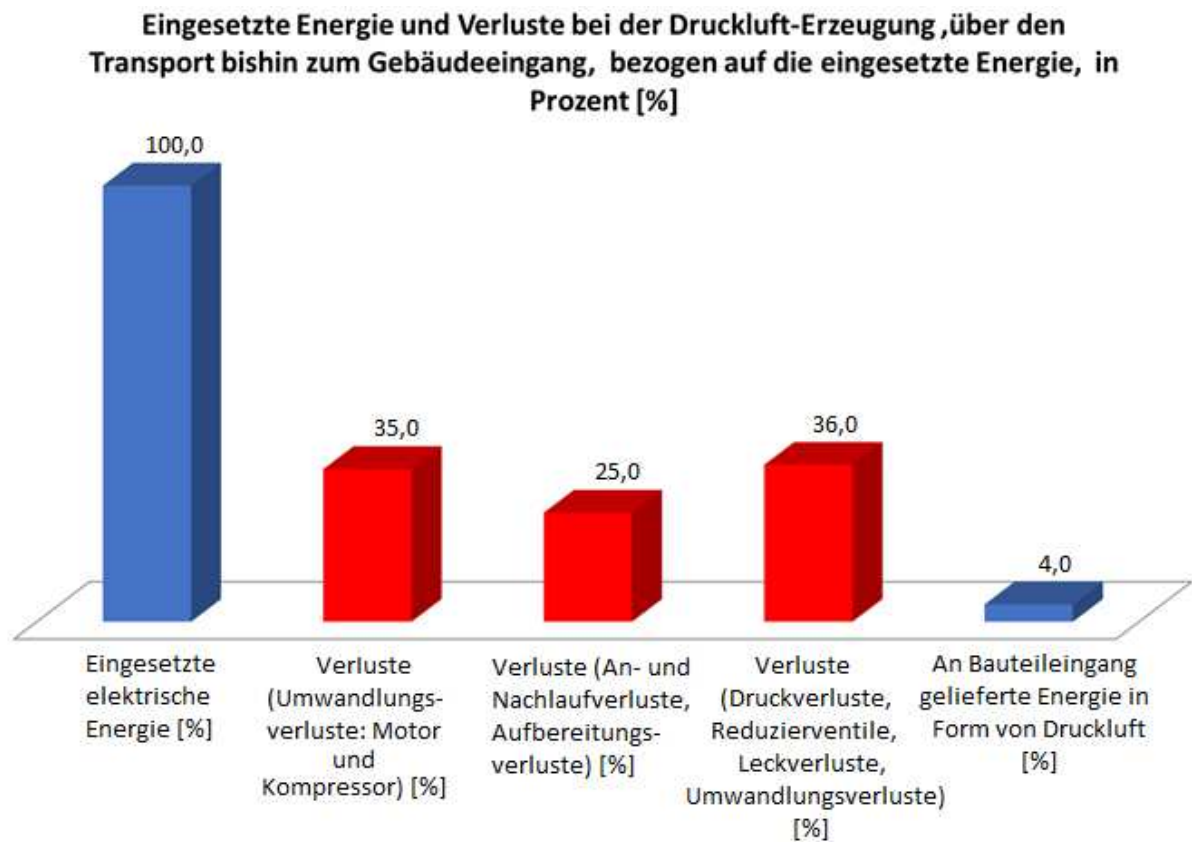


Abbildung 3-16: Verluste bei der Druckluftbereitstellung am Standort. (Eigene Darstellung.)

Umwandlungs- und Transportprozess von Strom zu Kälte bis zu den Bauteileingängen

Anschließend wird in Abbildung 3-17 die Umwandlung von elektrischer Energie zu Kälte dargestellt. Dabei wurde bei den gesamten am Standort für Takeda eingesetzten Kälteanlagen ein Coefficient of performance (COP) von „4“ messtechnisch ermittelt. Bei der nachfolgenden Abbildung beträgt die eingesetzte elektrische Energie 1.381,2 MWh. Dieser Wert entspricht den abgebildeten 100 %. Die theoretisch verfügbare Abwärme auf einem Temperaturniveau zwischen 40 – 65 C° entspricht nach den Berechnungen, dem Vierkommaachtfachen der eingesetzten elektrischen Energie. Dies ergibt sich daraus, da die Verdichter einen Wirkungsgrad von 81 %, laut Datenauszug, aufweisen. Diese 19 % an Verlusten stellen zwar größtenteils Abwärmeverluste dar, jedoch fallen sie beim Verdichter direkt an und werden nicht über denselben Wärmeübertrager wie die Abwärme der Kälteanlage, an die Umgebung abgegeben.

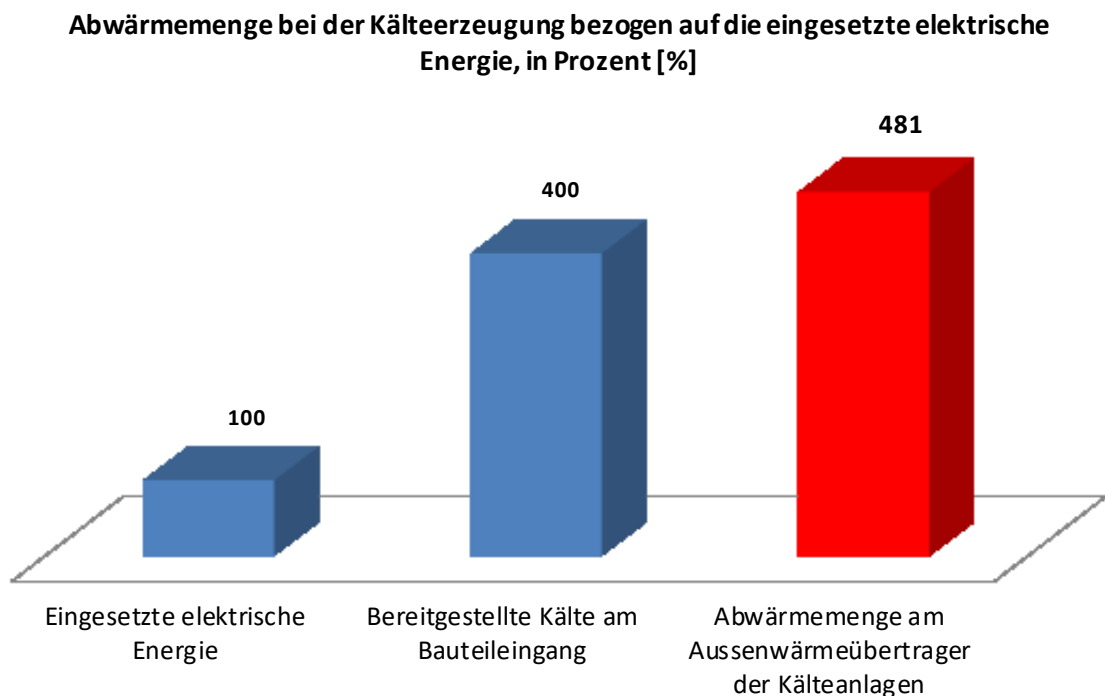


Abbildung 3-17: Umwandlungsprozess von elektrischer Energie zu Kälte. (Eigene Darstellung.)

Achtzig Prozent der gesamten von Takeda erzeugten Kälte, werden von drei der insgesamt 67 Anlagen bereitgestellt. Diese großen Anlagen weisen, laut firmeninternen Aufzeichnungen ebenso einen COP von „4“ auf und werden hier näher betrachtet, da eine in Kapitel 3.6.1 beschriebene Abwärme-Nutzung zum aktuellen Zeitpunkt nur von diesen drei Anlagen sinnvoll ist. Begründet werden kann dies dadurch, da die restliche Kälte am Standort meist in kleineren oder Kleinstkälteanlagen erzeugt wird. Somit ist eine Implementierung einer Wärmeübertragereinrichtung, zur Nutzung der durch diese kleinen Kälteanlagen anfallenden Abwärme, nicht als wirtschaftlich zu bewerten. Unterstützt wird dies dadurch, da sich diese kleineren und Kleinstanlagen dezentral in den BT befinden, wo deren erzeugte Kälte unmittelbar genutzt wird. Somit ist Abbildung 3-17 auch für die Umwandlung der elektrischen Energie in Kälte, welche von den drei betrachteten Großanlagen erzeugt wird, repräsentativ. Für diese drei Großanlagen wurde bei der Abwärmemengen-Ermittlung gleich vorgegangen wie bei der Ermittlung der gesamten anfallenden Abwärme aller Kälteanlagen am Standort. Die dabei eingesetzte elektrische Energie, welche für den Fall der Betrachtung der drei Großanlagen in der vorangegangenen Abbildung dem Balken mit 100 % entspricht, beträgt 1.110,5 MWh. Nachfolgend an die Darstellung der Umwandlungsprozesse, folgt in Kapitel 3.4.3 die Auswertung des Endenergiebedarfes am Standort.

3.4.3 Endenergiebedarf

In diesem Unterpunkt wird nun auf die von den einzelnen Bauteilen bezogene Energie eingegangen. Diese Energie wird gegliedert nach Medienform dargestellt. Aufbauend auf diesen Daten, können die Energieflüsse in einem Sankey-Diagramm abgebildet werden.

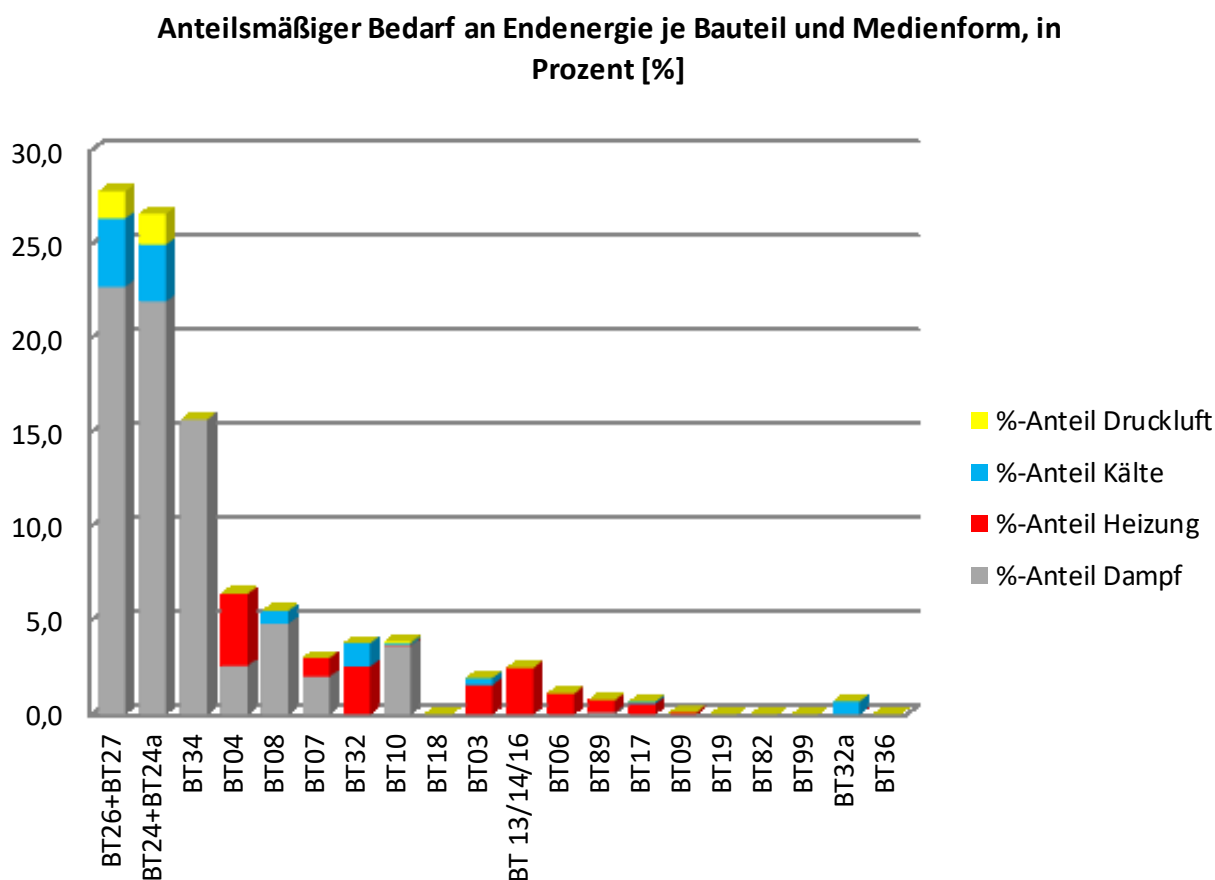


Abbildung 3-18: Endenergiebedarf je Bauteil, bezogen auf den Gesamtendenergieeinsatz (exkl. Endenergieanteil durch Strom) von Takeda. (Eigene Darstellung.)

In Abbildung 3-18 sind die Verbräuche, unterteilt nach bezogenen Medien, exklusive elektrischer Energie, abgebildet. Die Bauteilkomplexe BT26 und BT27, sowie BT24 und BT24a und das BT34 sind mit Abstand die größten Medienbezieher. Diese BT erzeugen sich das HWW aus Dampf selbst. Somit kann davon ausgegangen werden, dass ein nicht unerheblicher Anteil der bezogenen Dampfmenge zur HWW-Erzeugung herangezogen wird. Dabei entsprechen die in der Abbildung aufsummierten 100 %, einem Wert von 18.003,1 MWh. Es ist ersichtlich, dass die meiste Energie am Standort, neben elektrischer Energie, welche unmittelbar als solche genutzt wird, für die Dampf- und Heizungswarmwasser-Produktion aufgewendet wird.

Heizungswarmwasser

In der Abbildung 3-19 wird der HWW-Endenergie-Verbrauchsverlauf der HWW beziehenden Bauteile, über den Betrachtungszeitraum, abgebildet. Die HWW-Mengen, welche in den Bauteilen 26, 27, 24, 24a und 34 selbst aus Dampf erzeugt wurden, können nicht messtechnisch erfasst werden, womit diese weder in Abbildung 3-18 noch in Abbildung 3-19 dargestellt werden können.

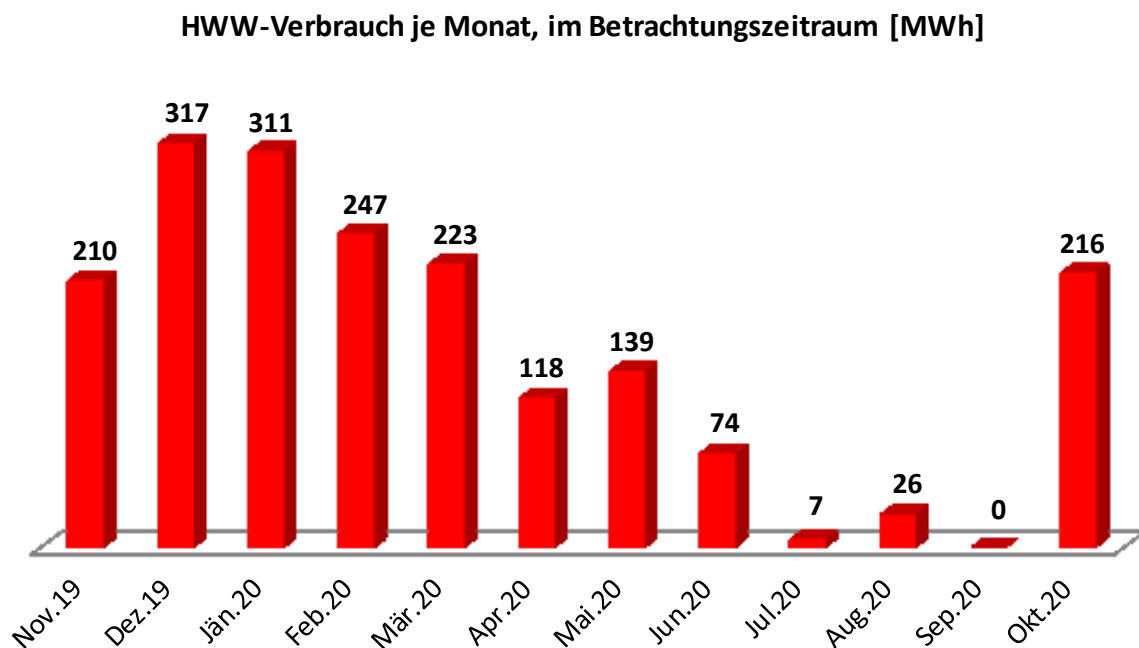


Abbildung 3-19: Heizungswarmwasserverbrauchsverlauf von Takeda, pro Monat, im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.)

Der HWW-Verbrauchsverlauf weist bei anderer Darstellung (Januar bis Dezember) eine deutlich erkennbare Badewannenform auf. Die Daten aus der Abbildung werden in Kapitel 3.6.1 noch näher behandelt.

Dampf

In Abbildung 3-20 wird der Dampfverbrauch im Zeitraum dargestellt. Dabei ist die HWW-Erzeugung aus Dampf von gewissen Bauteilen, zu berücksichtigen. Dies bedeutet, dass in der Heizperiode ein nicht vernachlässigbarer Anteil des Dampfes zu HWW-Generierungszwecken gebraucht wird. Mit der Folge, dass der nicht zu Heizzwecken benötigte Dampfverbrauchsverlauf eine „umgekehrte Badewannenform“ ergibt, sofern die Darstellung der Abbildung auf die Grenzen „Jänner“ bis „Dezember“ angepasst wird. Daraus lässt sich schließen, dass bei konstantem Betrieb der Produktionsanlagen über den Betrachtungszeitraum, auch die Autoklaven konstant betrieben werden. Mit der Folge, dass

die Luftbefeuchtung allein einen sehr hohen, beziehungsweise den größten Anteil an den Dampfbezügen ausmacht.

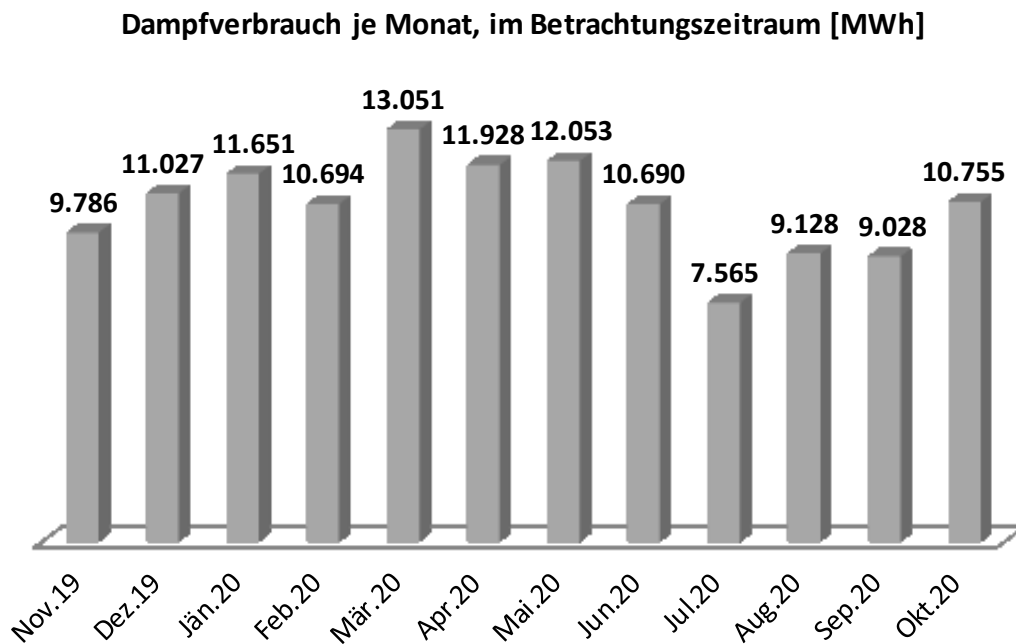


Abbildung 3-20: Dampfverbrauch von Takeda, pro Monat, im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.)

Kälte

Die von allen Takeda-Bauteilen bezogene Kälte beträgt 5.524,8 MWh. In der Abbildung 3-21, wird der zeitliche Verlauf der Kältebezüge illustriert. Der saisonale Bedarf ist hier klar ersichtlich. Der Bedarf entspricht einer umgekehrten Badewannenform, wenn der Darstellungszeitraum von Jänner bis Dezember gewählt wird. So wird in den heißesten drei Monaten rund 50 % der gesamten erzeugten Kälte bezogen. Auf diese Verbräuche wird in Kapitel 3.6.1 noch näher eingegangen.

**Gesamt-Kälteerzeugung am Standort, je Monat, im Betrachtungszeitraum
[MWh]**

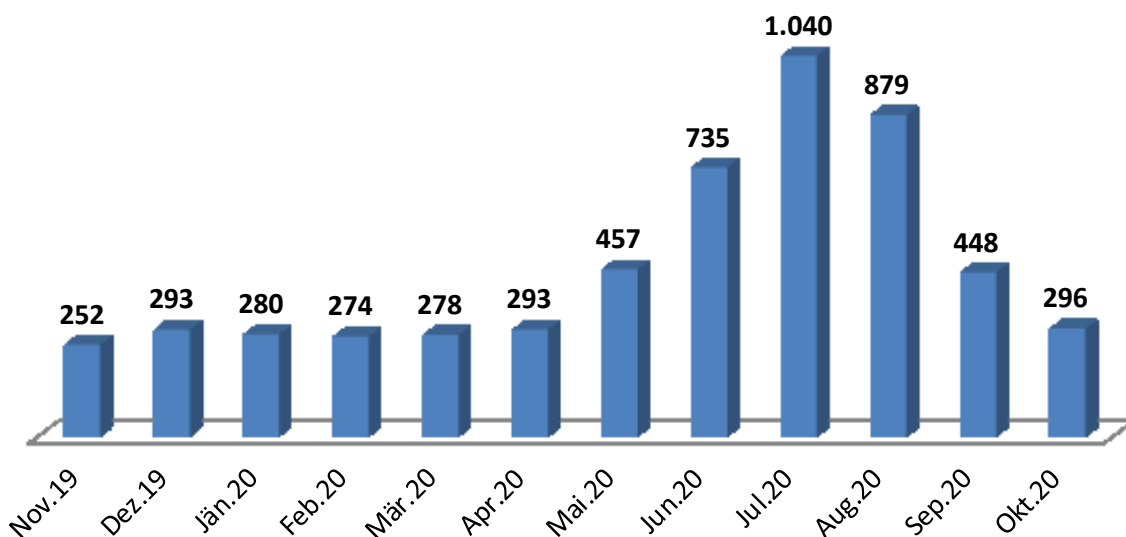


Abbildung 3-21: Gesamte erzeugten Kälte am Standort, im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.)

Strom

Da die Druckluftanlagen bei Pfizer implementiert sind, gibt es keine exakten Druckluftbezugsverläufe, aufgeschlüsselt nach monatlichen Bezügen. Als letztes Medium bzw. als letzte bezogene Energieform wird in der Abbildung 3-22, die bezogene elektrische Energie, dargestellt. Diese elektrische Energie entspricht allen Strombezügen der Bauteile, exklusive jener für die Druckluftherzeugung und Kälteerzeugung eingesetzter elektrischer Energie. Somit spiegelt die dargestellte elektrische Energie den Endenergiebedarf an Strom wider, welcher direkt an die Bauteile geliefert wird und dort als „Strom“ vorliegt. Erkennbar ist ein, bis auf die heißen Sommermonate annähernd gleichmäßiger monatlicher Verbrauch. Dieser leichte Anstieg ist auf Belüftungs- und Ventilations-Einrichtungen zurückzuführen, welche nicht zu den Kälteanlagen zugerechnet wurden. Die Summe der im Betrachtungszeitraum an die Bauteile gelieferten elektrischen Nutz-Energie beträgt 9.218,33 MWh.

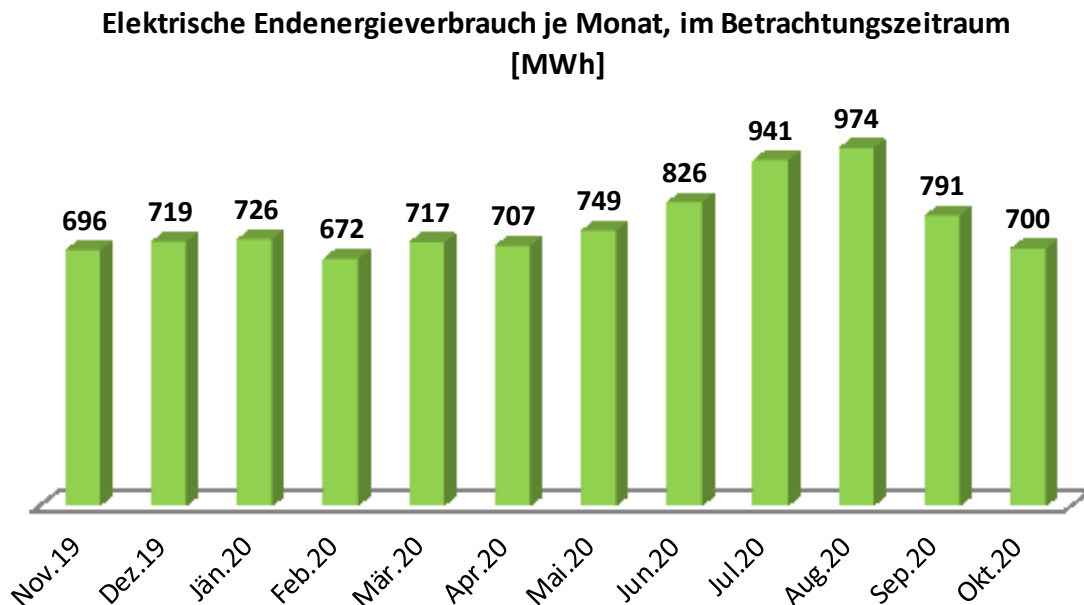


Abbildung 3-22: Elektrischer Endenergieverbrauch je Monat, im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.)

3.5 Sankey-Diagramm

Aus den Energie- und Medienflüssen kann letztendlich ein Sankey-Diagramm erstellt werden. Es gibt die Flüsse von der zugekauften Sekundärenergie, bis zur Endenergie wieder. Mithilfe dieser Visualisierung sind die Verhältnisse der eingesetzten Energiemengen, zu den erzeugten Medien und insbesondere die dabei auftretenden Verluste und Abwärmemengen, gut abbildbar. Das nachstehend abgebildete Sankey-Diagramm, stellt die Energieflüsse am Standort ausschließlich für Takeda dar. Ebenso werden die Verluste bei der Druckluftherzeugung illustriert, obwohl die Anlagen nicht zu Takeda gehören. Abgebildet werden allerdings nur jene Energiemengen, welche zur Druckluftherstellung für Takeda bezogen werden. Die dabei entstehenden Abwärmemengen können wie in Kapitel 3.1 erläutert, nicht genutzt werden.

Im Sankey-Diagramm, in Abbildung 3-23 sind die anfallenden Abwärmemengen anhand der Pfeildicke und Zahlenwerte ersichtlich. Auf Basis dieser Werte können nun einige Schlüsse hinsichtlich der Optimierungsmöglichkeiten mit Hinblick auf CO₂-Ausstoßreduktionsmaßnahmen gezogen werden. Diese Rückschlüsse werden im Kapitel 3.6 erläutert.

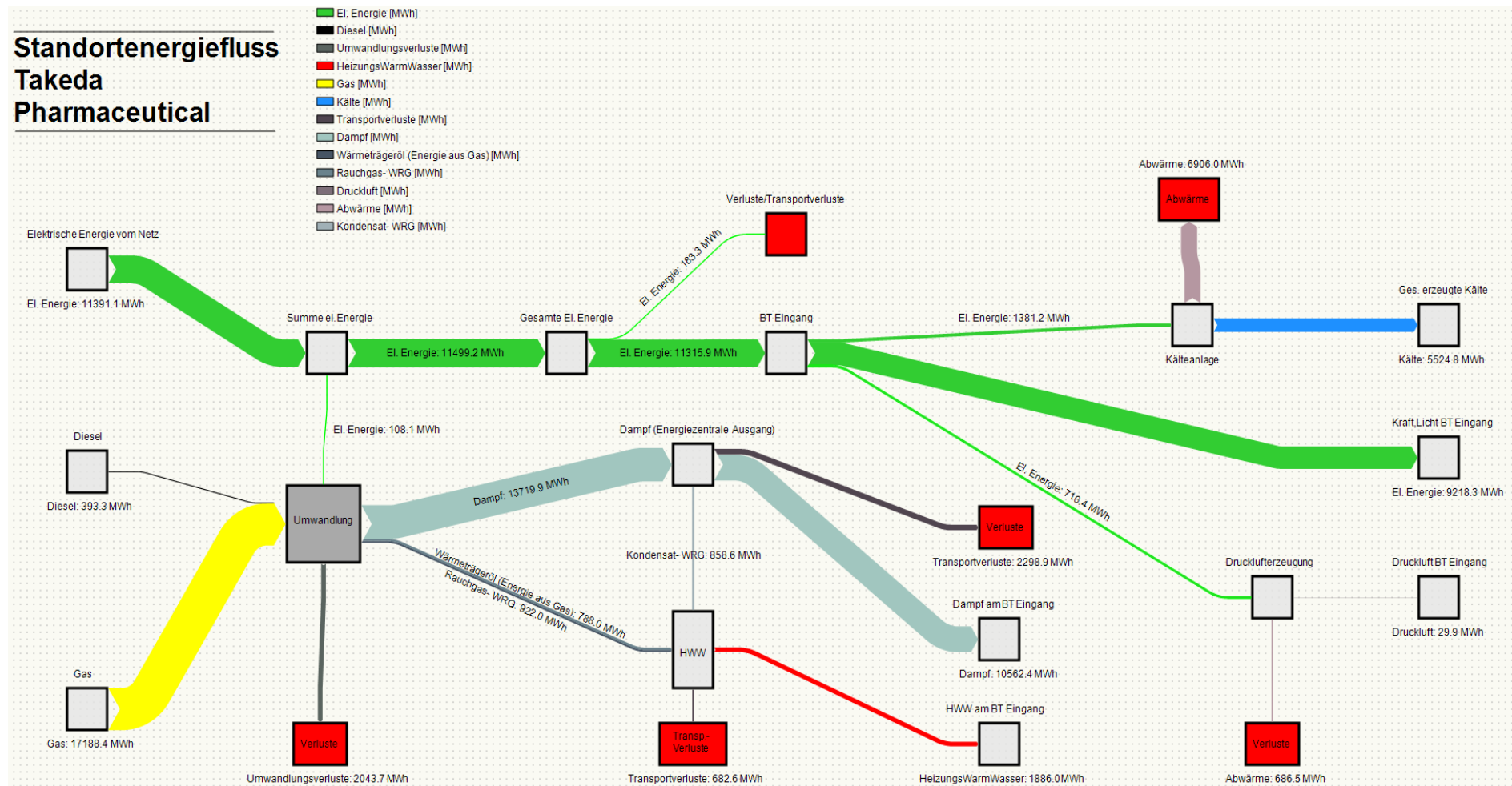


Abbildung 3-23: Hauptenergie- und Medienflüsse am Standort. (Eigene Darstellung.)

3.6 Optimierungspotentiale

Als Ziel dieser Arbeit kann, neben der Datenerfassung, die Ermittlung von Verlusten und das Ausarbeiten von Optimierungsvorschlägen, zur Effizienzsteigerung und CO₂-Minderung verstanden werden. Betrachtet man das erstellte Sankey-Diagramm, so sind einige Abwärme- und Verlust-Quellen im Betrachtungszeitraum, aufgelistet in Tabelle 3-7, erkennbar.

Tabelle 3-7: Abwärme- und Verlust-Quellen am Firmenstandort. (Eigene Darstellung.)

Abwärme- und Verlustquellen	Energiemenge
Abwärme der Kälteanlagen	6.906 MWh
Dampf-Transportverluste	2.298,9 MWh
Umwandlungsverluste von Gas/Diesel zu Strom, Dampf und HWW	2.043,7 MWh
Verluste bei der Druckluftbereitstellung	686,5 MWh
HWW Transportverluste	682,6 MWh
Verluste beim Stromtransport	183,3 MWh

Bereits vor, aber auch im Betrachtungszeitraum wurden Maßnahmen gesetzt, um Transportverluste der Dampf- und HWW-Leitungen zu minimieren. Im Rahmen dieser Bemühungen wurden beispielsweise Dampf- und HWW-Leitungen, unter anderem aufgrund des Leitungsalters gewisser Teilstücke aber auch zu Optimierungszwecken erneuert und im Zuge dessen auch bestmöglich isoliert. Somit ist eine weitere Verringerung der Übertragungsverluste von Dampf und HWW schwierig umzusetzen.

Weiters ist eine Reduktion der Umwandlungsverluste von Diesel zu Strom, aufgrund der Erläuterungen in Kapitel 3.4.2, schwer realisierbar. Zudem ist nach einer Betrachtung der Umwandlungsverluste von Gas und Diesel zu Dampf und HWW, auch hier bereits ein sehr hoher Effizienzgrad erreicht. Somit kann eine weitere Optimierung, nach aktuellem Datenstand, als nicht zweckmäßig bewertet werden.

Die Verluste bei der Übertragung der elektrischen Energie von der Energieversorger-Übergabestation und den Notdieseln bis zu den Bauteileingängen, können teilweise auf Messabweichungen zurückgeführt werden. Der Anteil der tatsächlichen Übertragungsverluste kann nicht exakt ermittelt werden, beläuft sich aber nach aktuellem

Kenntnisstand auf unter ein Prozent. Aufgrund dessen, wird für diesen Fall kein Optimierungspotential erarbeitet.

Die Optimierung der Druckluftanlagen stellt eine sinnvolle Maßnahme zur Steigerung der Effizienz und Senkung der Kosten dar. Hier treten hohe Verluste in Form von Übertragungsverlusten und Verlusten im Zuge der Bereitstellung der Druckluft auf. Zudem liegt die anfallende Abwärme auf einem verhältnismäßig hohen Temperaturniveau vor. Dadurch ist eine Nutzung dieser Abwärme, beispielsweise für HWW-Bereitstellungszwecke optimal. Diese Anlagen sind allerdings bei der Firma Pfizer untergebracht, weshalb nicht näher auf das Optimierungspotential eingegangen wird.

Die größten Abwärmemengen werden, wie im Sankey-Diagramm ersichtlich, von den Kälteanlagen emittiert. Anhand einer nachfolgenden durchgeführten Ausarbeitung wird ein Optimierungsvorschlag, für die Nutzung dieser Abwärme, erarbeitet.

Außerdem ist ersichtlich, dass ein sehr hoher Anteil der Sekundärenergie aus elektrischer Energie besteht. Diese wird größtenteils vom Netz bezogen. Auch macht die elektrische Endenergie einen sehr hohen Anteil am Gesamt-Endenergieverbrauch von Takeda aus. Somit wird auch für diesen Umstand eine Optimierungsberechnung angestellt.

In den nachfolgenden Kapiteln 3.6.1 und 3.6.2 werden zwei Optimierungsszenarien ausgearbeitet.

3.6.1 Wärmepumpenimplementierung

Als ein Optimierungsvorschlag wird die Abwärmenutzung der Kälteanlagen, mit dem Zweck der partialen Substitution von Gas durch diese Kälteanlagen-Abwärme, zur Heizungswarmwassererzeugung ausgearbeitet.

Verfügbare Abwärmemenge

Da die Kälteanlagen am Standort nicht zentral in einem Bauteil untergebracht sind und eine Abwärmenutzung von Klein- und Kleinst-Anlagen nicht als wirtschaftlich betrachtet werden kann, werden zum Zweck der Optimierung die drei größten der 67 Anlagen am Standort betrachtet. In der Abbildung 3-24, werden die verfügbaren Abwärmemengen jener drei Kälteanlagen abgebildet.

Verfügbare Abwärme der drei Kälteerzeugung am Standort, je Monat, im Betrachtungszeitraum [MWh]

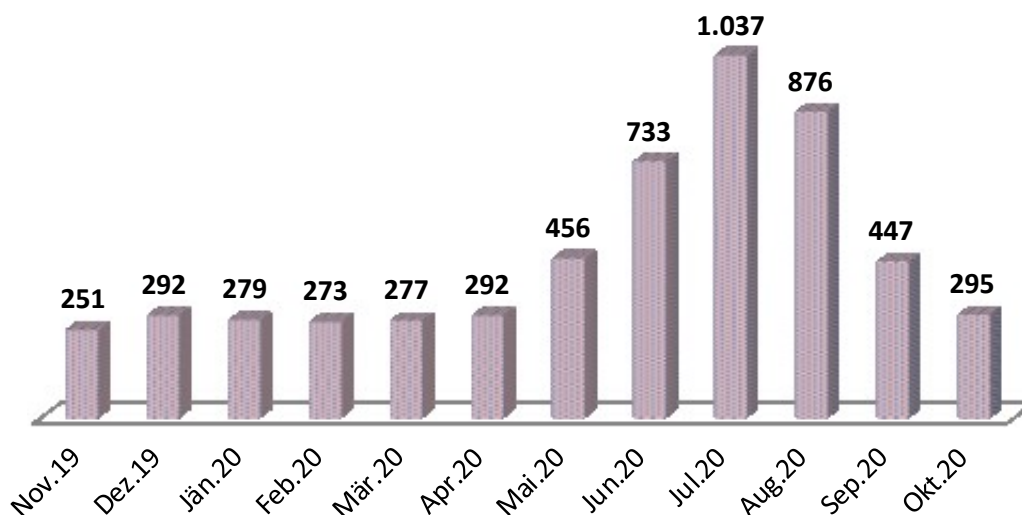


Abbildung 3-24: Verfügbare Abwärme der drei größten Kälteanlagen im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.)

Kälteanlagensteuerung und Temperaturniveau der anfallenden Abwärme

Die verfügbaren Abwärmemengen fallen nicht auf dem Temperaturniveau an, wie sie für eine unmittelbare HWW-Erzeugung nötig sind. Tatsächlich variierten die Temperaturniveaus, sowohl der anfallenden Abwärme, als auch des HWW-Systems, jahreszeitenabhängig. In Abbildung 3-25 ist die Steuerung der drei betrachteten Kälteanlagen illustriert. Da keine exakten Daten für die Regelung der Kälteanlagen sowie der Heizungsanlagen, zum Zeitpunkt dieser Arbeit verfügbar waren, wurde nach Absprache mit den technischen Verantwortlichen, Annäherungen ausgearbeitet. Bei diesen Annäherungen werden die Abwärmeparameter der Kälteanlagen („Heißgas-Temperatur“) und die Rücklaufparameterniveaus (RLT-Niveaus) der HWW-Anlagen behandelt.

Monat	"höchste" Aussen-T je Monat [C°]	Heißgas-T [C°]	Rücklauf-T HWW [C°]	WP-Verdampfer-T (7K unter Heißgas-T) [C°]	WP-Kondensator-T (15K über RL-T HWW) [C°]	Epsilon real
Nov.19	15	40	70	33	85	3,4
Dez.19	5	40	70	33	85	3,4
Jän.20	5	40	70	33	85	3,4
Feb.20	10	40	70	33	85	3,4
Mär.20	20	50	65	43	80	4,8
Apr.20	25	50	65	43	80	4,8
Mai.20	25	65	55	58	70	14,3
Jun.20	35	65	55	58	70	14,3
Jul.20	40	65	55	58	70	14,3
Aug.20	40	65	55	58	70	14,3
Sep.20	40	65	55	58	70	14,3
Okt.20	25	50	65	43	80	4,8

Abbildung 3-25: Kälteanlagen- und Wärmepumpen-Parameter für die drei jahreszeitenabhängigen Betriebszustände. (Eigene Darstellung.)

Die Gasbrenner zur HWW- und Dampf-Erzeugung müssen für diesen Betrachtungsfall weiterhin betrieben werden. Somit wird aus Effizienzgründen eine Rücklauf Temperaturanhebung (RLT-Anhebung), anstatt einer Vorlauf Temperaturanhebung (VLT-Anhebung) gewählt. Dies wird gemacht, um den Temperaturhub, welcher mittels einer WP erreicht werden muss, möglichst gering zu halten. Dadurch kann der COP der WP-Anlage gesteigert werden. Zudem kann durch die Wahl einer niedrigeren Endtemperatur eine günstigere WP-Technologie eingesetzt werden. Da der HWW-Bedarf nicht vollständig durch die Kälteanlagenabwärme gedeckt werden kann, müssen die Gasbrenner in jedem Fall weiter betrieben werden, was die Entscheidung zur RLT-Anhebung anstatt einer VLT-Anhebung weiter unterstützt. Bei der RLT-Anhebung wird nicht das zu den BT hingeführte HWW auf das Vorlauf Temperaturniveau gebracht, sondern es wird das von den BT zur Energiezentrale zurückgeführte HWW temperaturmäßig angehoben. Dieses zurückgeführte HWW wird Rücklauf genannt. Der Rücklauf gelangt dann mit einer höheren Temperatur in die Energiezentrale. In dieser Energiezentrale wird dann mittels Gas-Zuheizung die nun geringere Differenz zwischen der VL- und der nun höheren RL-Temperatur ausgeglichen.

In Abbildung 3-25 werden, abhängig von der Jahreszeit, verschiedene Heißgas-Temperaturen der Kälteanlagen angefahren. Aufgeteilt wird in drei Betriebszustände: „Übergangszeit“, „Winter“ und „Sommer“. Dabei wird die Heißgastemperatur so gewählt, dass zumindest eine Temperaturdifferenz von 25 °C zur „höchsten“ Außentemperatur eingehalten werden kann, damit eine Wärmeübergabe vom Heißgas an die Außenluft problemlos möglich ist. Unter der „höchsten“ Außentemperatur versteht man hier jene Temperatur, welche im betrachteten Monat, am wärmsten Tag, über mehrere Stunden hinweg auftritt. Die Heißgastemperatur entspricht dabei jener Temperatur, bei welcher die Abwärme von den Kälteanlagen abgeführt wird. Ebenso wie die Heißgastemperatur der Kälteanlagen, wird auch die Rücklauf Temperatur des HWW in die drei selben Betriebszustände, abhängig von der Jahreszeit eingeteilt. Um den theoretischen und daraus dann den realen COP der hier als Optimierungsvorschlag geplanten WP ermitteln zu können, werden Temperaturbereiche in denen die WP bei den angegebenen Randbedingungen arbeitet, angegeben. Hier wird die Verdampfer-Temperatur der WP so gewählt, dass diese die Heißgastemperatur der Kälteanlage um 7 K unterschreitet. Dieser Wert von 7 K kann als ein realistischer „Pinch Point“-Wert angenommen werden. Der Pinch Point, oder auch Klemmstelle genannt, ist jener Punkt im Wärmeübertrager, an welchem der Temperaturunterschied zwischen kalter und heißer Flüssigkeit minimal ist. Um eine sinnvolle Wärmeübertragung sicherzustellen, ist eine Differenz von mindestens 5 K bis 10 K nötig. Die Temperatur im Kondensator der WP wird mit 15 K über der HWW RL-Temperatur angenommen. In diesem Fall wird deshalb ein höherer Wert als 7 K gewählt, da auch noch Wärme auf das Rücklauffluid des HWW

übertragen werden muss. Diese Differenz von 8 K ($15\text{ K} - 7\text{ K} = 8\text{ K}$) entspricht jener „Menge“ an Wärme, die durch das HWW aufgenommen werden kann. Da die Wärmeaufnahme bei festgelegtem, konstantem Volumenstrom auch einen Temperaturanstieg zur Folge hat.

Der ideale COP wird dann nach Formel (2-5) errechnet. Indem man den idealen COP mit einem typischen Gütegrad von 0,5 [37] multipliziert, erhält man nun den realen COP. Dieser wird in Abbildung 3-25 als „Epsilon real“ bezeichnet wird.

Nötige HWW-Menge und nötiges Temperaturniveau im Betrachtungszeitraum

Die im Betrachtungszeitraum benötigte HWW-Menge wurde für Takeda mit 1.887 MWh ermittelt. Allerdings müssen hier noch die Transport und teilweise auch die Umwandlungsverluste zugerechnet werden, womit die gesamte für die HWW-Bereitstellung benötigte Energiemenge, 2.311 MWh beträgt. Das Temperaturniveau des Rücklaufes bewegt sich dabei Jahreszeitenabhängig zwischen 55 C° und 70 C° , was in Abbildung 3-25 ersichtlich ist.

Gegenüberstellung des HWW-Energiebedarfes und der verfügbaren Abwärme

Um nun einen Überblick über die verfügbare Abwärmemenge der drei Kälteanlagen, in Relation zur nötigen Energie für die HWW-Bereitstellung zu erhalten, werden die dazu erarbeiteten Daten in Abbildung 3-26 einander gegenübergestellt.

In der Abbildung ist zu erkennen, dass ein Großteil der nötigen Energie für die HWW-Bereitstellung durch die Abwärme der Kälteanlagen gedeckt werden könnte. Allerdings entspricht diese Schlussfolgerung nicht der Realität, denn es treten einige limitierende Faktoren auf. Der größte Faktor besteht in den unterschiedlichen Temperaturniveaus, da die Abwärme der Kälteanlagen im Bereich zwischen $40\text{ C}^\circ - 65\text{ C}^\circ$ anfällt, die Vorlauftemperatur des HWW sich aber im Bereich von $70\text{ C}^\circ - 90\text{ C}^\circ$ bewegt. Da aus Gründen der Effizienz entschieden wird, eine RLT-Anhebung anstatt einer VLT-Anhebung zu betrachten, kann zwar das Temperaturniveau gesenkt werden, dies bringt aber weitere Einschränkungen mit sich. Beispielsweise ist bei der Wahl dieses Verfahrens der RLT-Anhebung eine Zuheizung mittels Gas nötig. Zudem stellt auch die Durchflussmenge des HWW-Kreislaufes und damit verbunden, die maximal mögliche Wärmeübertragungsmenge von der Abwärme der Kälteanlagen auf das HWW, einen einschränkenden Faktor dar. Der Volumenstrom des HWW kann aktuell am Standort, nicht ohne größere technische Änderungen erhöht werden. Zudem ist eine Implementierung der Abwärme in das HWW ohne größere Änderungen am HWW Kreislauf, seitens Takeda für den Berechnungsfall erwünscht, wodurch die im

Betrachtungszeitraum aktuelle Durchflussmenge für die nachstehenden Berechnungen herangezogen wird.

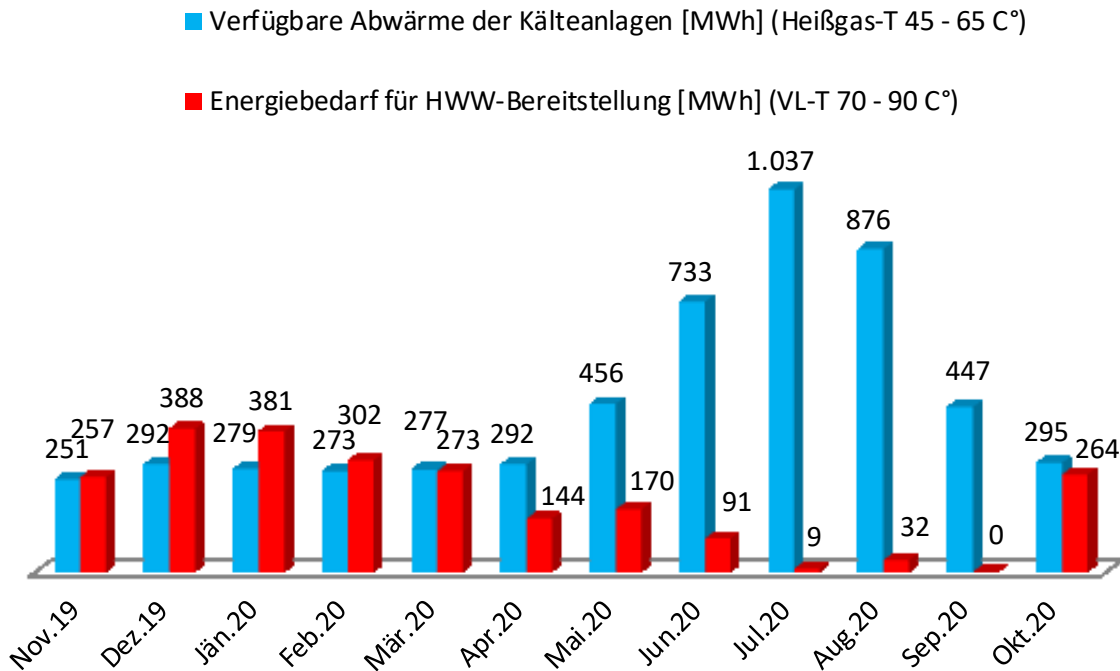


Abbildung 3-26: Gegenüberstellung des HWW-Bedarfes mit Verlusten zur verfügbaren Abwärme der drei betrachteten Kälteanlagen. (Eigene Darstellung.)

Berechnung zur WP-Implementierung

Exemplarisch wird hier für den Monat November 2019 die Berechnung des CO₂-Einsparungspotentials bei einer WP-Implementierung zur Abwärmenutzung der Kälteanlagen durchgeführt. Die Werte für alle anderen Monate sind aus der Abbildung 3-25 zu entnehmen, wobei die Berechnungen der restlichen elf Monate, bis auf die in der Tabelle angeführten, abweichenden Parameter, analog durchgeführt werden.

Im November 2019 wurde eine Energiemenge von 257 MWh zur HWW-Erzeugung aufgewendet, nach Umwandlungsverlusten (5,5 % von 257 MWh) wurden 243 MWh im Heizkreislauf umgewälzt, wovon nach Transportverlusten (13 % von 257 MWh) tatsächlich 209,5 MWh in den BT zur Verfügung standen. Der betrachtete Monat weist eine Stundenzahl von 720 h auf, wodurch sich bei einer konstanten HWW-Zirkulation, welche laut technischem Verantwortlichen am Standort vorherrscht, eine Wärmeleistung am Energiezentralenausgang von 0,337 MWh/h

$$\left(\frac{243 \text{ MWh}}{720\text{h}} = 0,337 \frac{\text{MWh}}{\text{h}} = 0,337 \text{ MW Dauerwärmeleistung}\right) \text{ ergibt.}$$

Nach Umformen der Formel (3-1) [31]:

$$\dot{Q} \left[\frac{kJ}{h} \right] = \dot{m} \left[\frac{kg}{h} \right] * cp \left[\frac{kJ}{kg * K} \right] * \Delta T [K] \quad (3-1)$$

auf \dot{m} ergibt dies, bei einem ΔT (T-Differenz zwischen VL und RL des HWW bei Normalbetrieb) im November von 20 K (siehe Abbildung 3-25), einem \dot{Q} von 0,337 MW, letztlich einen Massenstrom von 14.498 kg/h. Dabei beträgt das für Wasser in allen Berechnungen gleichbleibende $cp = 4,19 \frac{kJ}{kg * K}$. Zudem ergibt 1 MWh \cong 3.600.000 kJ. Im gesamten Monat November werden somit 10.438.500 kg Heizungswarmwasser umgewälzt.

Daraus folgt unter Verwendung der Formel (3-2) [31]:

$$Q[kJ] = m[kg] * cp \left[\frac{kJ}{kg * K} \right] * \Delta T [K] \quad (3-2)$$

die maximal mögliche Energieaufnahme (im November 2019) des HWW, bei Einhaltung der zuvor festgelegten Grenzen, laut Abbildung 3-25. Dabei wird für $\Delta T = 8$ K eingesetzt und m ergibt sich aus den Berechnungen davor. Die Temperaturdifferenz wird ermittelt, indem man die Differenz aus Wärmepumpen Kondensationstemperatur, welche 85 °C (358,15 K) beträgt und der Rücklauftemperatur des HWW (70 °C / 343,15 K) bildet. Allerdings wird aufgrund des Pinch Points, 7 K von den 85 °C / 358,15 K abgezogen, um eine sinnvolle Wärmeübertragung zu erreichen, wodurch sie der Wert von 78 °C / 351,15 K ergibt. Somit erhält man für $\Delta T = 78^{\circ}C(352,15K) - 70^{\circ}C(343,15K) = 8^{\circ}C(8K)$.

Berechnung des realistisch möglichen Abwärmenutzungspotentials

Setzt man nun in Formel (3-2) ein, so erhält man $Q = 349.898.519$ kJ bzw. 97.194 kWh. Diese 97 MWh entsprechen der maximal auf das HWW übertragbaren Energiemenge unter den gegebenen Rahmenbedingungen. Die Bedingungen sind in Abbildung 3-25 angeführt. Die für die Berechnung herangezogene Durchflussmenge geht aus vorangehenden Kalkulationen hervor. Der errechnete Wert gilt für den Monat November 2019. Anhand des in der Abbildung angeführten „Epsilon real“ bzw. COP von „3,4“ ergibt dies eine elektrisch aufzuwendende Energiemenge von 28 MWh. Inklusive der Verdichterverluste von 10 % erhält man eine nötige elektrische Energie von 31 MWh. Laut Formel (2-3) berechnet sich die an das HWW abgegebene Energie, aus der von den Kälteanlagen aufgenommenen Abwärme und der im Verdichter eingesetzten elektrischen Energie. Somit werden im betrachteten Fall 69 MWh (97 MWh – 28 MWh = 69 MWh) aus der Kälteanlagenabwärme bezogen und 31 MWh aus elektrischer Energie. Vergleicht man nun mit dem Wert für die verfügbare

Abwärmemenge auf „niedrigem“ Temperaturniveau für November 2019, in Abbildung 3-26, so ist ersichtlich, dass aufgrund der Randbedingungen nur ungefähr 28 % ($\frac{100\%}{251 \text{ MWh}} * 69 \text{ MWh} = 27,5\%$) der verfügbaren Abwärme, auch tatsächlich in das HWW-System übertragen werden können.

Berechnung des theoretisch möglichen Abwärmennutzungspotentials

Im Falle einer bestmöglichen Optimierung des HWW-Systems kann dieser Wert von 69 MWh nahezu ver-zweikommafünf-facht werden. Dadurch kann das Einsparungspotential an fossilen Brennstoffen am Standort weiter wesentlich gesteigert werden. Diese Aussagen lassen sich aus den nachfolgend angeführten Berechnungen tätigen.

$$\frac{\text{nötige HWW Energiemenge (mit Transportverlusten)}}{\text{COP (Betriebszustand "Winter")}} = \frac{242,9 \text{ MWh}}{3,4} = 71,5 \text{ MWh}$$

$$\text{nötige HWW Energie} - \text{nötige el. Energie} = 242,9 \text{ MWh} - 71,5 \text{ MWh} = 171,4 \text{ MWh}$$

$$\frac{\text{max. nutzbare Abwärme}}{\text{lt. Berechnungen genutzte Abwärme}} = \frac{171,4 \text{ MWh}}{69 \text{ MWh}} = 2,48$$

Schlussfolgerung aus Berechnung des realistischen Abwärmennutzungspotentials

Die in dieser Arbeit berechneten Werte sollen auf die aktuellen Gegebenheiten angewendet werden. Durch eine Wärmepumpenimplementierung können im Betrachtungszeitraum 912 MWh, von den insgesamt mit Transportverlusten benötigten 2184 MWh bereitgestellt werden. Somit sind rund 42 % des HWW-Bedarfes durch diese WP-Lösung bereitstellbar ($\frac{100\%}{2.184 \text{ MWh}} * 912 \text{ MWh} = 41,8\%$). Von den 912 MWh werden 210 MWh durch elektrische Energie (bzw. 231 MWh mit WP-Verdichterverlusten) und 701 MWh ($911,5 \text{ MWh} - 210,4 \text{ MWh} = 701,1 \text{ MWh}$) durch die Abwärme der betrachteten Kälteanlagen gedeckt. Eine genaue Auflistung des durch die WP-Implementierung aufbereitbaren HWW findet sich in Tabelle 3-8. Nach Umrechnung ergibt diese einen Sekundärenergieeinsatz von 965.000 kWh ($\frac{912 \text{ MWh}}{94,5\%} * 100\% = 965 \text{ MWh}$).

Tabelle 3-8: Durch die Implementierung einer WP in das HWW-System einbringbare Abwärme. (Eigene Darstellung.)

Monat	max. durch WP aufbereitetes HWW (Qges) [MWh]	dafür benötigte el. Energie [MWh]	dafür benötigte el. Energie mit 10 %-Verlusten [MWh]	Wärmenutzung aus Kälteanlagen-Abwärme [MWh]
Nov.19	97	28	31	69
Dez.19	147	43	47	104
Jän.20	144	42	46	102
Feb.20	114	33	36	81
Mär.20	103	22	24	82
Apr.20	54	11	13	43
Mai.20	86	6	7	80
Jun.20	46	3	4	43
Jul.20	4	0	0	4
Aug.20	16	1	1	15
Sep.20	0	0	0	0
Okt.20	100	21	23	79
Summe	912	210	231	701

Multipliziert mit den in Tabelle 2-1 angegebenen 0,271 kg CO₂ / kWh, ergibt dies ein THG-Einsparpotential von rund 262 Tonnen CO₂. Vorausgesetzt, die für die Wärmepumpen eingesetzte elektrische Energie wird aus erneuerbaren Energieträgern hergestellt. Bestätigt wird der Einsatz von rein erneuerbarer elektrischer Energie am Firmenstandort durch die Energie Allianz Austria, mit einem Zertifikat. Wäre dies nicht der Fall und würde man für die aufzuwendende elektrische Energie, die in Tabelle 2-1 gemäß dem europäischen Strommix üblichen 0,258 kg CO₂ / kWh veranschlagen, dann würden für die 960 MWh HWW, 59,6 t CO₂-Emissionen anfallen. Errechnet wird dieser Wert einerseits durch die Berücksichtigung der Umwandlungsverluste der Wärmepumpen (5 % WP-Umwandlungsverluste) ($\frac{912 \text{ MWh}}{95 \%} * 100 \% = 960 \text{ MWh}$) und andererseits durch Multiplikation der mit 10 %

Kompressorverlusten beaufschlagten 231.000 kWh elektrischer Energie (210.000 kWh * $\frac{110\%}{100\%}$ = 231.000 kWh), mit den 0,258 kg CO₂ / kWh.

Somit können im Idealfall, bei einem darauf ausgelegten HWW-Leistungssystem, durch diesen Optimierungsvorschlag, bei rein erneuerbarem elektrischen Energieeinsatz rund 626 t CO₂ pro Jahr eingespart werden ($2.311.000 \text{ kWh} * 0,271 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} = 626.281 \text{ kg CO}_2$). Veranschaulicht werden die THG-Einsparungspotentiale in Abbildung 3-27. Das maximal mögliche Einsparpotential ist in der Abbildung orange eingefärbt. Die unter aktuellen Bedingungen möglichen THG-Einsparungen belaufen sich auf 202,4 Tonnen (262 t – 59,6 t = 202,4 t), wenn der EU-Strommix herangezogen wird, bzw. 262 Tonnen CO₂ pro Jahr, bei rein erneuerbarem elektrischen Energieeinsatz. In der Abbildung entsprechen die Einsparpotentiale von 202,4 t dem grünen und die 262 t dem blauen Balken. Der schwarze Balken entspricht mit 4.658 t CO₂ dem gesamten, durch die Verfeuerung von Erdgas, von Takeda ausgestoßenem CO₂ ($17.188.400 \text{ kWh} * 0,271 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} = 4.658.056,4 \text{ kg CO}_2 = 4.658 \text{ t CO}_2$).

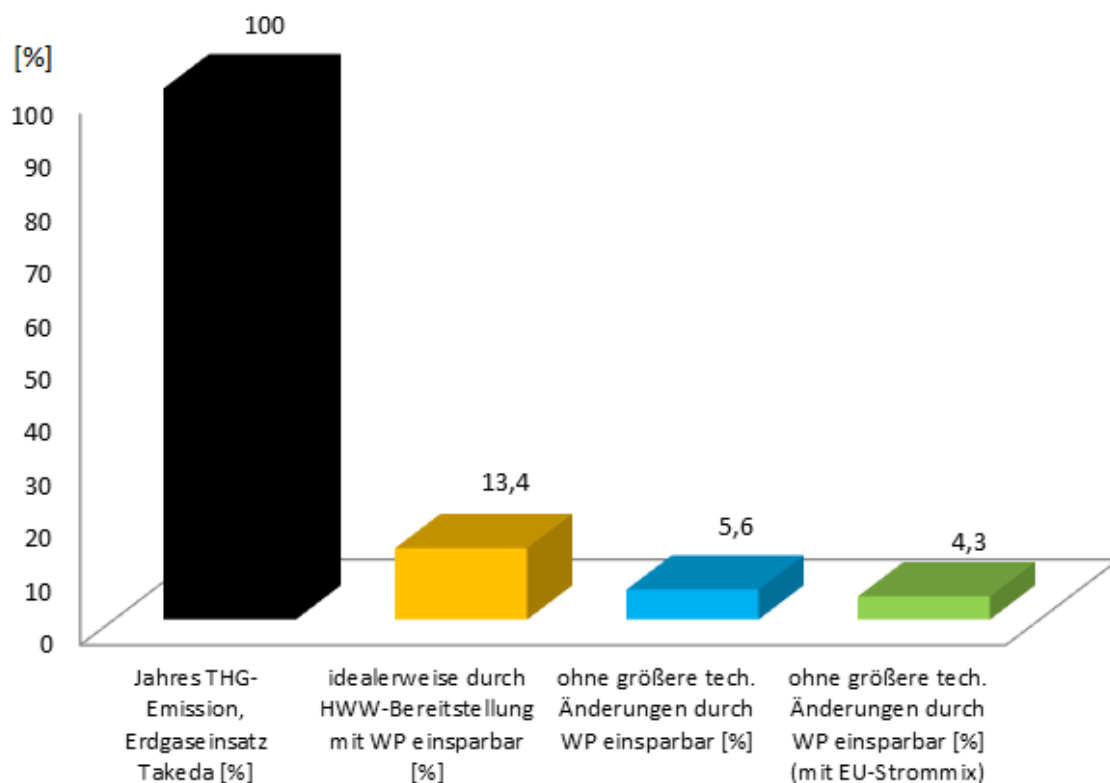


Abbildung 3-27: Theoretisches THG-Einsparpotential durch eine WP-Errichtung, bezogen auf den gesamten CO₂-Ausstoß durch die Erdgasverfeuerung von Takeda. (Eigene Darstellung.)

3.6.2 Photovoltaik-Anlagenimplementierung

Als ein weiterer Optimierungsvorschlag wird die Implementierung einer Photovoltaikanlage am Firmengelände durchgerechnet. Diese Optimierung soll die Auslastung der Versorgungsleitung zu Spitzenlastzeiten mindern und dazu beitragen einen beachtlichen Anteil des Strombedarfes am Standort, durch erneuerbar generierten Strom zu decken.

Sekundärenergiebedarf in Form von Strom, vom Netz bezogen

In der Abbildung 3-28 wird der Lastgang der vom Energieversorger gelieferten elektrischen Energie dargestellt.

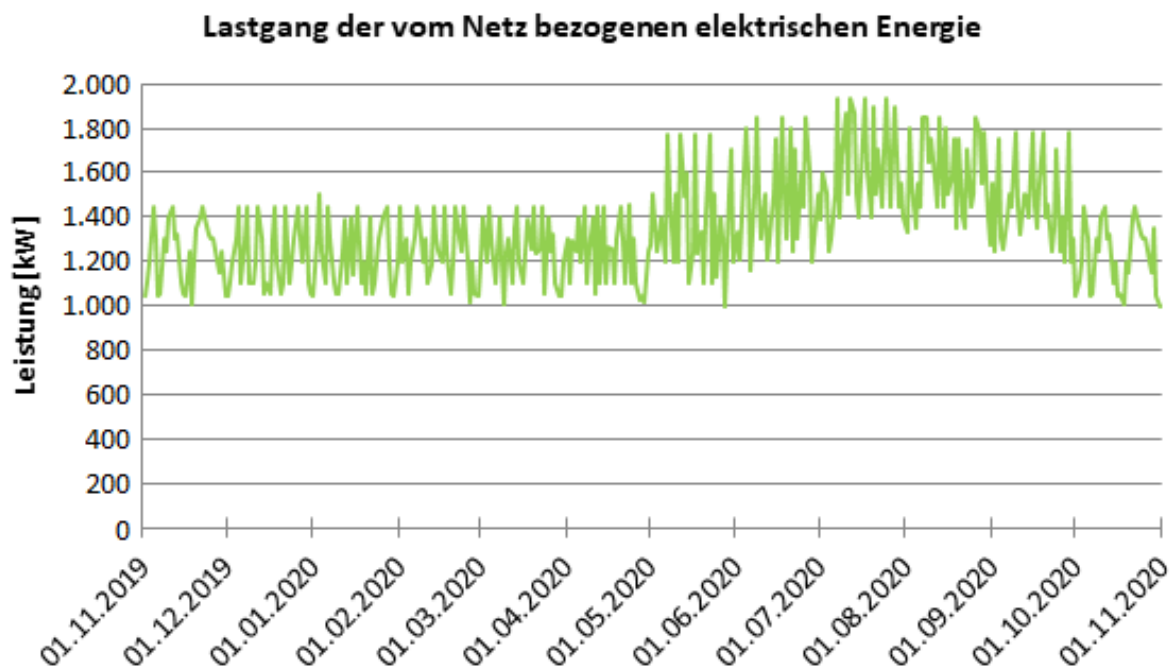


Abbildung 3-28: Zeitlicher Verlauf des elektrischen Sekundärenergiebezuges am Standort, durch Takeda. (Eigene Darstellung.)

Die Abbildung zeigt, dass sich der Strombezug sehr stark jahreszeitenabhängig verhält, wobei die konstanten Bezüge in den Monaten November bis April und Oktober auf eine kontinuierliche Produktion schließen lassen. Die Spitzenbezüge von Mai bis September sind größtenteils auf die Kälte und Lüftungsanlagen zurückzuführen, welche auch in den Winter- und Übergangsmonaten konstant elektrische Energie für Prozesskälte beziehen. Doch sind die Spitzenbezüge auf die zusätzlich nötige Raumklimatisierung und eine gesteigerte Prozesskälteanforderung in den heißesten Monaten zurückzuführen.

Verfügbare Fläche für Photovoltaik-Anlagen

PV-Anlagen benötigen im Verhältnis zu kalorischen Kraftwerken eine relativ große Fläche, um eine ähnliche Energiemenge bereitstellen zu können. Dieser Platzbedarf ist in vielen Stadt- aber auch Industriegebieten ein wesentlicher Limitierungsfaktor für die Errichtung einer Großanlage. Abbildung 3-29 zeigt den Standort von Takeda Pharmaceutical in Orth an der Donau, mit den verfügbaren Flächen für die Errichtung einer PV-Anlage.

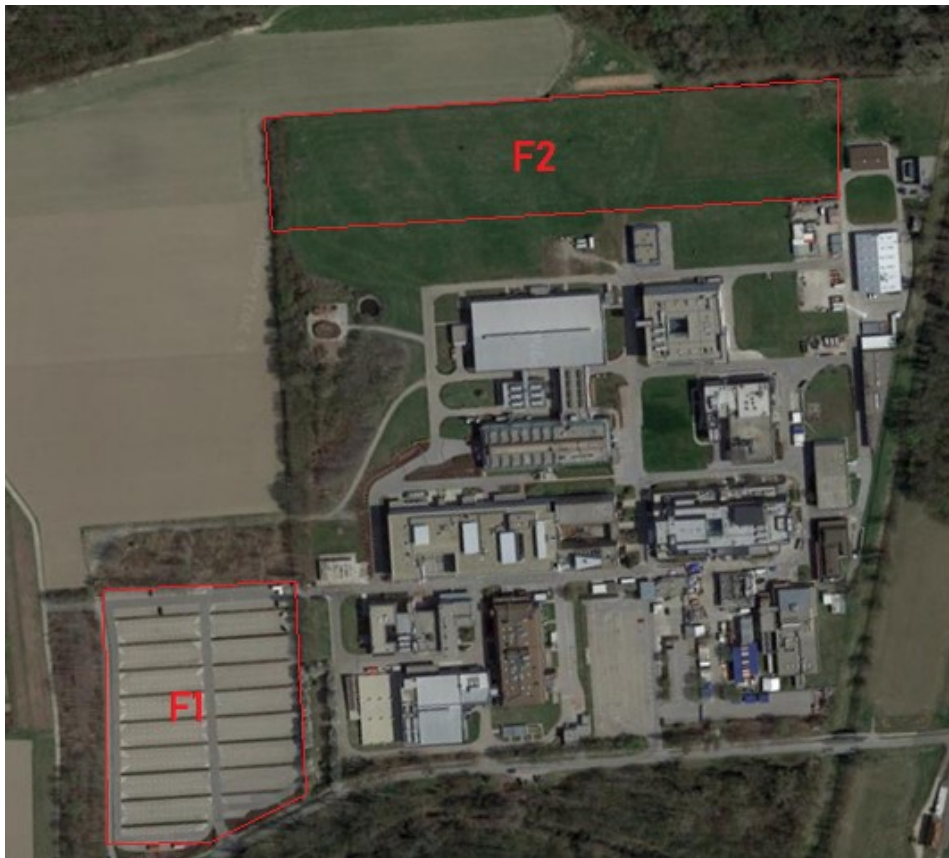


Abbildung 3-29: Mögliche Flächen für eine PV-Anlagenerrichtung am Firmenstandort. (Eigene Darstellung in Anlehnung an Takeda.)

Fläche 1 beträgt 13.000 m^2 und Fläche 2 nimmt 20.100 m^2 ein. Auf Fläche 1 befindet sich der Betriebsparkplatz des Unternehmens. Eine PV-Anlageninstallation hat den Vorteil, dass keine bebaubare Fläche genutzt werden muss. Zusätzlich werden die Kraftfahrzeuge aufgrund der Überdachung durch die PV-Module beschattet und vor Umwelteinflüssen besser geschützt. Die Fläche 2 ist eine Grünfläche, welche allerdings ungenutzt und nach Absprache mit den technischen Verantwortlichen, verfügbar für Optimierungsprojekte ist. Die Dächer der BT stehen nicht für PV-Anlagen zur Verfügung, da die Lüftungs- und Klimaanlage einen Großteil der Dachflächen benötigen.

Berechnung (theoretisch erzeugbare Energiemenge auf F1 und F2)

Die gesamte theoretisch verfügbare Fläche beträgt 33.100 m^2 . Das theoretische Potential der Gesamtfläche ergibt sich aus den Daten aus Tabelle 2-3, multipliziert mit der verfügbaren Fläche in Quadratmeter (m^2) und dem Betrachtungszeitraum in Jahren (a) ($183 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} * 33.100 \text{ m}^2 * 1 \text{ a} = 6.057.300 \text{ kWh} = 6.057 \text{ MWh}$). Theoretisch können bei Errichtung einer solchen 4.138 kW_p -Anlage ($\frac{0,125 \text{ kW}_p}{\text{m}^2} * 33.100 \text{ m}^2 = 4.137,5 \text{ kW}_p$) somit rund 53% ($\frac{100 \%}{11391,1 \text{ MWh}} * 6.057 \text{ MWh} = 53,3 \%$) des elektrischen Sekundärenergiebezuges von Takeda abgedeckt werden. Allerdings existieren limitierende Faktoren, die die maximal erzeugbaren Energiemenge pro Fläche beeinflussen. Zudem gibt es Gründe die PV-Anlage kleiner zu dimensionieren. Darauf wird nachfolgend eingegangen.

Auslegung

Die als Optimierungsvorschlag eingebrachte PV-Anlage weicht von der theoretisch auf der verfügbaren Fläche errichtbaren Anlage ab. Faktoren für diese Abweichung werden nachfolgend angeführt.

Beispielsweise können auf den verfügbaren Flächen, nicht 100% dieser Flächen auch tatsächlich mit Modulen bestückt werden. Auf Fläche F1 beispielsweise müssen Zonen für Transport und Einsatzfahrzeuge freigehalten werden. Fläche F2 kann zwar dichter bebaut werden, dennoch ist eine 100% -ige Flächenausnutzung nicht möglich. Gründe dafür sind unter anderem die nötigen Abstände zwischen den Modulen, um gegenseitige Beschattung zu verhindern, sowie das Freihalten von Korridoren für das Wartungs-Personal. Zudem soll die Anlage so ausgelegt werden, dass eine Netzeinspeisung durch die Überschussenergie, so selten wie möglich stattfindet. Dadurch soll verhindert werden, dass die erzeugte Energie zu einem im Verhältnis zum Bezugspreis, sehr niedrigen Preis in das Netz eingespeist wird. Untermuert wird dieser Aspekt dadurch, da aktuell eine Akkumulatorsystem-Anschaffung nicht angedacht ist und somit die erzeugte elektrische Überschussenergie nicht von Takeda genutzt werden könnte und folgernd auch nicht zur Reduktion der THG-Emissionen beitragen würde. Somit wird auf Basis der in Abbildung 3-28 dargestellten Werte, eine Anlage mit 1.000 kW_p berechnet, da die minimale Dauerleistung im Betrachtungszeitraum 1.000 kW betrug.

Eine PV-Anlage welche diese Peakleistung aufweist, nimmt bei 100% -iger Flächennutzung, theoretisch eine Fläche von 8.000 m^2 in Anspruch. [38] Bei Errichtung auf Fläche F1, dem Parkplatz, kann nach Abzug der Fläche, welche mit hohen Einsatzfahrzeugen oder Baumaschinen befahren werden können sollen, mit einer verfügbaren Restfläche von 50%

der theoretisch möglichen Fläche kalkuliert werden. Somit stehen auf F1 effektiv 6.500 m^2 ($1.300 \text{ m}^2 * \frac{100 \%}{50 \%} = 6.500 \text{ m}^2$) zur Verfügung. Dies entspricht $81,3 \%$ der für eine 1 MW_p -Anlage nötigen Fläche ($\frac{100 \%}{8.000 \text{ m}^2} * 6.500 \text{ m}^2 = 81,25 \%$).

Realistisch auf den Flächen F1 und F2 erzeugbare elektrische Energie

Auf der Fläche F1 kann eine realistische Jahresenergiemenge von $1.189,5 \text{ MWh}$ ($183 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{a}} * 6.500 \text{ m}^2 * 1 \text{ a} = 1.189.500 \text{ kWh} = 1.189,5 \text{ MWh}$) erzeugt werden. Auf Fläche F2 stehen 20.100 m^2 zur Verfügung. Allerdings beträgt die realistisch nutzbare Restfläche nur 80% der theoretisch verfügbaren Fläche und somit 16.080 m^2 ($20.100 \text{ m}^2 * \frac{80 \%}{100 \%} = 16.080 \text{ m}^2$). Auf dem realistisch nutzbaren Areal F2 können $2.942,6 \text{ MWh}$ ($183 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{a}} * 16.080 \text{ m}^2 * 1 \text{ a} = 2.942.640 \text{ kWh} = 2.942,6 \text{ MWh}$) elektrische Energie erzeugt werden. Damit ergibt sich durch die partielle Nutzung der Flächen F1 und F2 eine potenzielle erneuerbare Energieerzeugungsmenge von $4.132,1 \text{ MWh}$. Diese Menge entspricht $36,3 \%$ der im Betrachtungszeitraum bezogenen elektrischen Sekundärenergie von $11.391,1 \text{ MWh}$ ($\frac{100 \%}{11.391,1 \text{ MWh}} * 4.132,2 \text{ MWh} = 36,3 \%$).

Bei Errichtung einer 1 MW_p -Anlage erzeugbare elektrische Energie

Um allerdings eine Peakleistung von 1 MW_p nicht zu überschreiten, ist nicht die gesamte Restfläche von 16.080 m^2 ($20.100 \text{ m}^2 * \frac{80 \%}{100 \%} = 16.080 \text{ m}^2$) nötig. Die benötigte Fläche von Areal F2 beläuft sich auf 1.500 m^2 ($8.000 \text{ m}^2 - 6.500 \text{ m}^2 = 1.500 \text{ m}^2$). Hier ist eine Jahresenergieproduktion von $274,5 \text{ MWh}$ ($183 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{a}} * 1.500 \text{ m}^2 * 1 \text{ a} = 274.500 \text{ kWh} = 274,5 \text{ MWh}$) möglich. Somit kann eine 1 MW_p -PV-Anlage am Standort 1.464 MWh im Jahr erzeugen, was $12,9 \%$ des elektrischen Sekundärenergiebedarfes entspricht. Die $12,9 \%$ werden in der Abbildung 3-30 als grüner Balken dargestellt. In dieser Abbildung werden die durchgerechneten Potentiale einer PV-Implementierung visualisiert.

Am Standort wird die elektrisch zugekaufte Sekundärenergie mit $0 \text{ kg} / \text{kWh}$ CO_2 -Emissionen bewertet, da die bezogene elektrische Energie zu 100% aus erneuerbaren Energieträgern erzeugt wird. Bewertet man die zugekaufte elektrische Sekundärenergie allerdings mit dem europäischen Strommix nach Tabelle 2-1, so hat dies einen THG-Ausstoß von 2.938 t zur Folge ($11.391.100 \text{ kWh} * 0,258 \frac{\text{kg-CO}_2}{\text{kWh}} = 2.938.904 \text{ kg} = 2.938 \text{ t}$). Diese 2.938 t entsprechen in der Abbildung den 100% und werden durch den schwarzen Balken visualisiert. Theoretisch ist bei 100% Flächenausnutzung von F1 und F2 eine THG-Emissionseinsparung von 1.563 t ($6.057.300 \text{ kWh} * 0,258 \frac{\text{kg-CO}_2}{\text{kWh}} = 1.562.783 \text{ kg} =$

1.563 t) möglich. Der orange Balken in der Abbildung entspricht den 1.563 t. Bei einer Anlagenauslegung für die realistisch verfügbaren Flächen F1 und F2 ist eine Einsparung von 1.066 t $\left(4.132.100 \text{ kWh} * 0,258 \frac{\text{kg-CO}_2}{\text{kWh}} = 1.066.082 \text{ kg} = 1.066 \text{ t}\right)$ möglich, was dem blauen Balken in der Abbildung entspricht. Unter der Annahme einer 1 MW_p-Anlage sind 378 t $\left(1.464.000 \text{ kWh} * 0,258 \frac{\text{kg-CO}_2}{\text{kWh}} = 377.712 \text{ kg} = 378 \text{ t}\right)$ einsparbar. Dieses Einsparpotential ist durch den grünen Balkens abgebildet.

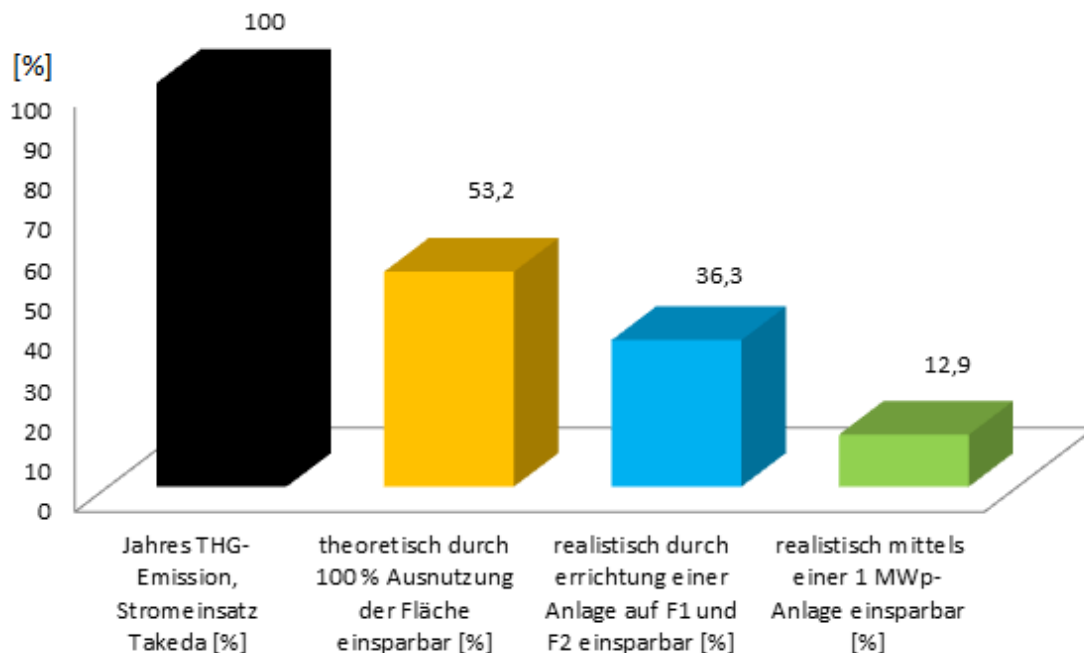


Abbildung 3-30: THG-Einsparpotential in Prozent, in Bezug auf die von Takeda zugekaufte elektrische Sekundärenergiemenge im Betrachtungszeitraum. (Eigene Darstellung.)

3.6.3 Ergebnisse der Optimierungsvorschläge

Nach der Ausarbeitung der zwei Optimierungsvorschläge in Kapitel 3.6.1 und 3.6.2, befasst sich dieses Kapitel mit der Zusammenfassung der durch diese Vorschläge erreichbaren Einsparungspotentiale. Für die ausgearbeiteten Optimierungsvorschläge lassen sich verschiedene THG-Einsparpotentiale ermitteln. Diese THG-Einsparpotentiale hängen von der Bewertung der eingesetzten Sekundärenergie ab.

In Abbildung 3-31 werden die Ergebnisse so dargestellt, dass das durch die Maßnahmen der Optimierungsvorschläge erreichbare Sekundärenergieeinsparungspotential in MWh, ersichtlich ist. Dies wurde deshalb so gewählt, da für die elektrische Energie am Standort, durch den Zukauf von 100 % erneuerbarer elektrischer Energie kein CO₂ durch die Errichtung einer PV-Anlage eingespart wird, wodurch bei einer Darstellung der CO₂ Einsparmenge diese Optimierungsoption keinen Effekt hätte.

So wird die gesamte von Takeda eingesetzte Sekundärenergiemenge, durch den schwarzen Balken in der Abbildung visualisiert. Diese Energiemenge beträgt 28.973 MWh.

Durch die Errichtung einer 1 MW_p-Photovoltaik-Anlage können 1.464 MWh elektrische Energie erzeugt werden. Diese Energie wird zu 100 % firmenintern verbraucht. Somit sinkt der jährliche Sekundärenergiebezug, durch die Implementierung einer solchen Anlage um rund 5 % ($\frac{100\%}{28.973 \text{ MWh}} * 1.464 \text{ MWh} = 5,05\%$). Die einsparbare Sekundärenergiemenge durch diesen Optimierungsvorschlag, ist in der Abbildung durch einen grünen Balken dargestellt.

Durch die Installation einer Wärmepumpenanlage zur Nutzung der Abwärme der Kälteanlagen können 734 MWh (965 MWh – 231 MWh = 734 MWh) an Sekundärenergie eingespart werden, wobei sich dieser Wert aus dem einsparbarem Erdgas, abzüglich der für die WP nötigen elektrischen Energie ergibt. Die Einsparung an fossilem Erdgas beträgt 965 MWh, woraus sich eine Ersparnis an THG von 262 t ergibt. Die durch eine WP-Anlage einsparbare Sekundärenergiemenge, ist in der Abbildung durch einen orangen Balken ersichtlich.

Im Betrachtungsfall bedeuten die in der Abbildung dargestellten Werte, dass durch die in dieser Arbeit ausgearbeiteten Optimierungsvorschläge pro Jahr 2.198 MWh Sekundärenergie eingespart und 262 t weniger CO₂ emittiert werden. Dieses THG-Einsparpotential ist durch den blauen Balken dargestellt.

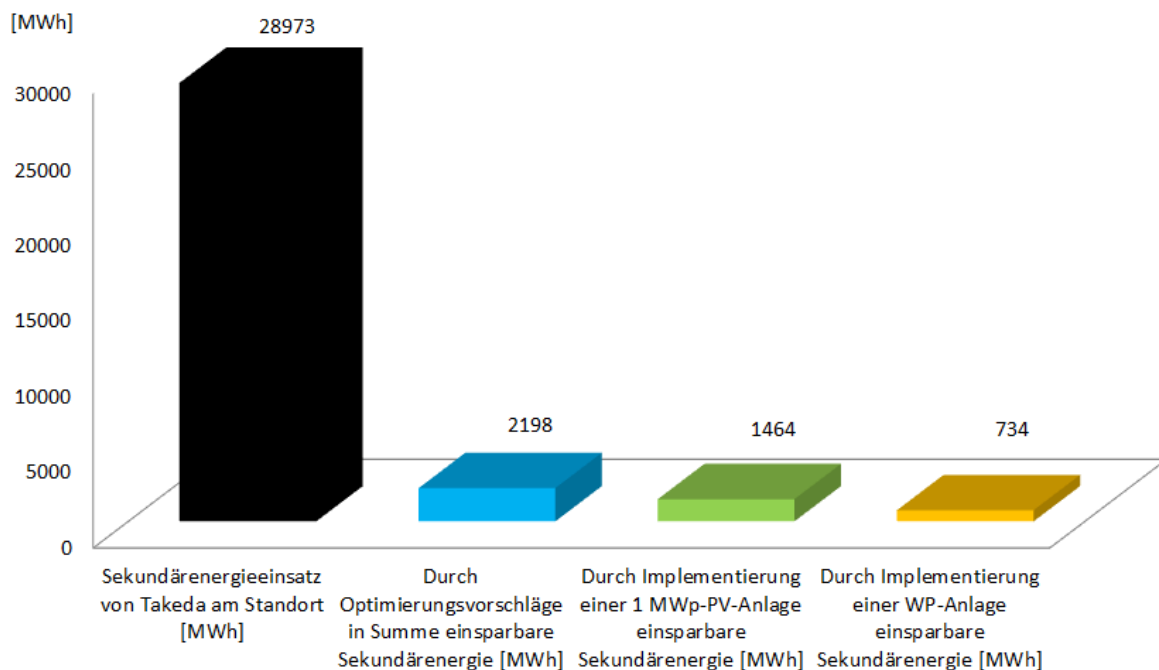


Abbildung 3-31: Gegenüberstellung des Sekundärenergiebezuges von Takeda und den erarbeiteten Einsparpotentialen. (Eigene Darstellung.)

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Gesetzliche Vorgaben, firmenpolitische Entscheidungen und wirtschaftliche Faktoren haben dazu geführt, dass viele energieintensive Betriebe, darunter auch die Takeda Pharmaceutical AG, ihren Energieeinsatz effizienter gestalten müssen. Im Zuge dessen wurde in dieser Arbeit eine Energieflussanalyse für die Betriebsstätte in Orth an der Donau durchgeführt. Dabei wurden Energiedaten erhoben, ausgewertet, Datenlücken beseitigt und letztlich Verlust- und Abwärmequellen ermittelt. Anhand der erarbeiteten Daten wurde untersucht, welche Optimierungsmöglichkeiten bestehen. Als größte Potentiale stellten sich die Implementierungen von Wärmepumpen und Photovoltaikanlagen heraus. Diese Potentiale wurden umfassend aufbereitet und unter Annahme der aktuellen Bedingungen kann gezeigt werden, dass der jährliche Sekundärenergieeinsatz um 5 % und die Treibhausgasemissionen um 262 t pro Jahr gesenkt werden können.

Eine Senkung der eingesetzten fossilen Energieträger und der zugekauften elektrischen Energie hat nicht nur maßgebliche Auswirkungen auf den Treibhausgasausstoß, welcher durch den Firmenstandort verursacht wird, sondern kann damit einhergehend auch den künftig durch Steuern und Zertifikatshandel steigenden Standort-Energiekosten entgegenwirken. Zusätzlich wird die Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energieträger und die Ausnutzung von Verlustquellen durch Förderungen, bezuschusst.

Durch die Energieflussanalyse, welche aufbauend auf der Datenerfassung und den Bereinigungen der Datenlücken, mit anschließender Auswertung der Daten durchgeführt wurde, ergaben sich die Umwandlungs- und Transportverluste der eingesetzten Energieträger sowie die Energieflüsse der erzeugten Medien zu den einzelnen Gebäuden. Aus dieser Analyse konnte eine aktuell nicht nutzbare Abwärmequelle auf hohem Temperaturniveau durch die Druckluftversorgungsanlagen und eine durch eine Wärmepumpenimplementierung erarbeitete nutzbare Abwärmequelle der größten Kälteanlagen am Standort, zum Zweck der Heizungswarmwasseraufbereitung ermittelt werden. Anhand dieser Daten wurde ein Optimierungsvorschlag erarbeitet. Außerdem wurde der mit einem Anteil an 41 % der gesamten am Standort eingesetzten Energie, zugekaufte Strom und dessen zeitlicher Bezugsverlauf aufgezeigt, woraus sich der zweite Optimierungsvorschlag ergab. Der zweite Optimierungsvorschlag befasst sich mit der Entlastung des Versorgungsnetzes durch die Errichtung einer PV-Anlage, wodurch eine Senkung der Energiebezüge vom Netz erreicht werden kann.

Aus den Berechnungen zum Optimierungsvorschlag zur Implementierung einer Wärmepumpe ging hervor, dass mit 6906 MWh, zwar sehr hohe Abwärmemengen durch die

Kälteanlagen zur Verfügung stehen aber nur ein Anteil von 701 MWh ohne größere technische Änderungen der Leitungssysteme, auch tatsächlich genutzt werden kann. Dies liegt zum einen daran, dass der Großteil der Kälteanlagenabwärme nicht zeitgleich mit dem Warmwasserbedarf anfällt und andererseits stellt das Warmwasserleitungssystem einen limitierenden Faktor dar. Durch die Dimensionierung des Leitungssystems kann nur eine begrenzte Wärmemenge von den Wärmepumpen auf das Heizungswarmwassersystem bei technisch bzw. wirtschaftlich sinnvollen Temperaturen übertragen werden.

Die Kalkulationen zur Errichtung einer Photovoltaikanlage haben ergeben, dass die jährlich vom Netz bezogene elektrische Energie von 11391 MWh um 1464 MWh verringert werden kann, wenn eine 1 MW_p-PV-Anlage errichtet wird. Womit rund 13 % des elektrischen Energiebedarfs am Standort eingespart werden können. Die für die Berechnungen gewählte PV-Anlagengröße ergibt sich aus der minimalen Dauerleistung der elektrischen Energieversorgung des Betriebes, womit die gesamte erzeugte elektrische Energie am Standort genutzt werden kann.

Um die von den Produktionsprozessen verursachten Treibhausgasemissionen weiter senken zu können, ist das Wissen über die exakten Verbräuche in den einzelnen Gebäuden notwendig. Somit sind weitere Ausarbeitungen erforderlich, um das Potential von möglichen Optimierungen ermitteln zu können. Zudem hat sich während der Arbeit die Frage ergeben, wie ein Betrieb mit hohen Anforderungen an die Versorgungssicherheit die energieintensive Dampfbereitstellung durch Substitution der momentan eingesetzten fossilen Energieträger bewerkstelligen kann, um bis 2040 die gesetzten Klimaziele zu erreichen.

Durch die in dieser Arbeit ausgeführten Optimierungsvorschläge kann das Unternehmen bei strategischen Entscheidungen hinsichtlich der Erreichung der Klimaziele und Senkung der Energiebezüge unterstützt werden. Folglich trägt die Takeda AG durch die Umsetzung dieser Vorschläge nicht nur zur Ressourcenschonung und einem verantwortungsbewussten Umgang mit der Umwelt bei, sondern leistet auch einen Beitrag zur Dekarbonisierung der Europäischen Union.

5 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] TAKEDA PHARMACEUTICAL: *Gentherapie & Biologika-Produktion in Orth an der Donau*. URL <https://www.takeda.com/de-at/what-we-do/manufacturing/orth/> – Überprüfungsdatum 2021-05-18
- [2] TAKEDA PHARMACEUTICAL: *Commitment to Carbon Neutrality at Takeda*. URL <https://www.takeda.com/corporate-responsibility/environment/commitment-to-carbon-neutrality-at-takeda/> – Überprüfungsdatum 2021-05-18
- [3] UMWELTBUNDESAMT ; GLOBALES EMISSIONS-MODELL INTEGRIERTER SYSTEME ; GESAMTE RECHTSVORSCHRIFT FÜR KRAFTSTOFFVERORDNUNG 2012: *THG-Emissionen – Übersicht : die THG-Emissionen (in CO₂-Äquivalent) als Summe aus direkten und indirekten THG-Emissionen in einer Übersicht*. URL <https://secure.umweltbundesamt.at/co2mon/co2mon.html> – Überprüfungsdatum 2021-05-18
- [4] WIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH: *Klimaschutz im Unternehmen - Emissionshandel (ETS)*. 14.10.2020. URL <https://www.wko.at/service/umwelt-energie/klimaschutz-unternehmen.html> – Überprüfungsdatum 2021-05-28
- [5] WALLSTREET:ONLINE AG: *Startseite > Rohstoffe > Kohlendioxid Kohlendioxidpreis ECX EUA [CO₂ Emmission] Rohstoff : ISIN: XD0020881047 | Symbol: ECF*. URL <https://www.wallstreet-online.de/rohstoffe/kohlendioxid-preis> – Überprüfungsdatum 2021-05-28
- [6] MARC, Feist: *Klimaschutz: Warum der Emissionshandel besser als eine CO₂-Steuer ist*. URL <https://www.insm-oekonomenblog.de/21734-klimaschutz-warum-der-emissionshandel-besser-als-eine-co2-steuer-ist/> – Überprüfungsdatum 2021-08-10
- [7] IRMGARD, Kischko: *Dicke Luft um die Einführung einer CO₂-Steuer*. URL <https://kurier.at/politik/ausland/dicke-luft-um-die-einfuehrung-einer-steuer-auf/400694297> – Überprüfungsdatum 2021-08-10
- [8] JOSEPH GEPP: *Öko-Steuerreform: Die Tücken der CO₂-Steuer*. In: *Profil Redaktion GmbH* (2021-05-05)
- [9] STATISTIK AUSTRIA ; BUNDESANSTALT STATISTIK ; E-CONTROL ; BUNDESMINISTERIUM KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE: *Jahresdurchschnittspreise und -steuern für die wichtigsten Energieträger 2009-2020*. URL https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/preise/energiepreise/125551.html

- [10] KAISA, Borgnas: *Auswirkungen einer CO₂-Steuer auf sechs energieintensive Industrien sowie auf die deutsche Stromwirtschaft*. Februar 2020
- [11] BUNDESMINISTERIUM KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE: *Vortrag an den Ministerrat Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz und weitere Gesetzesnovellen (EAG-Gesetzespaket)* (idF v. Leonore Gewessler, Bundesministerin) (2021). URL https://www.bmk.gv.at/service/presse/gewessler/20210317_eag.html – Überprüfungsdatum 2021-05-18
- [12] MITARBEITER DER MONITORINGSTELLE ENERGIEEFFIZIENZ: *Stand der Umsetzung des BundesEnergieeffizienzgesetzes (EEffG) in Österreich : Bericht gemäß § 30 Abs. 1 und Abs. 3 EEffG*. Wien, Jänner 2020
- [13] BUNDESMINISTERIUM KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE: *Wärmerückgewinnung bei Kälte- und Lüftungsanlagen, Umluftsysteme*. 18.05.2021. URL <https://www.umweltfoerderung.at/betriebe/waermerueckgewinnung-und-umluftsysteme/navigator/energiesparen/waermerueckgewinnung-100-kw-und-umluftsysteme-50000-m3h.html>
- [14] BUNDESMINISTERIUM KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE: *Energiesparen in Betrieben*. 18.05.2021. URL <https://www.umweltfoerderung.at/betriebe/energiesparen/navigator/strom/energiesparmassnahmen-1.html>
- [15] OEMAG ABWICKLUNGSSTELLE FÜR ÖKOSTROM AG: *Investitionsförderung : Informationen zur Investitionsförderung bei PV-Anlagen und Stromspeicher Allgemeine Informationen*. URL <https://www.oem-ag.at/de/foerderung/photovoltaik/investitionsfoerderung/>. – Aktualisierungsdatum: 2021-05-18 – Überprüfungsdatum 2021-05-18
- [16] MARIO SCHMIDT: *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint – Anleihen aus der Kostenrechnung*. In: *Chemie Ingenieur Technik*.
- [17] CHRISTIANE DILLMANN: *Material- und Energieflussanalyse : Instrumente zur Optimierung von Produktionsprozessen*. 2002. URL <https://idw-online.de/de/news43345> – Überprüfungsdatum 2021-05-28
- [18] INSTITUT FÜR UMWELTINFORMATIK: *Definition & Anwendungsgebiete : Energieflussdiagramme*. URL <https://www.ifu.com/e-sankey/energieflussdiagramm/> – Überprüfungsdatum 2021-05-18
- [19] EKBERT, Hering (Hrsg.); ROLF, Martin (Hrsg.); MARTIN, Stohrer (Hrsg.): *Physik für Ingenieure*. 11. Aufl. : Springer, 2012

- [20] VAILLANT GROUP AUSTRIA GMBH: *Die Luft-Luft-Wärmepumpe*. URL <https://www.vaillant.at/privatanwender/tipps-und-wissen/lexikon-heizung-luftung-klima/luft-luft-warmepumpe/>. – Aktualisierungsdatum: 2021-05-19
- [21] FRANZ, Wosnitza (Hrsg.); HANS, GERD, HILGERS (Hrsg.): *Energieeffizienz und Energiemanagement : Ein Überblick heutiger Möglichkeiten und Notwendigkeiten* : Springer Spektrum, 2012
- [22] MARTIN, Kaltschmitt (Hrsg.); WOLFGANG, Streicher (Hrsg.); ANDREAS, Wiese (Hrsg.): *Erneuerbare Energien : Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte*. 5. Aufl. : Springer Vieweg, 2009
- [23] CHRISTIAN, Glück: *Generische Simulationsmodelle für Sorptionswärmepumpen zum Heizen und Kühlen*. Technische Universität Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie. Dissertation. 2015-03-05
- [24] BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN: *Regulierung von Wasserstoffnetzen : Eine Bestandsaufnahme der Bundesnetzagentur*. 2020
- [25] HANS-GÜNTHER, Wagemann (Hrsg.); HEINZ, Eschrich (Hrsg.): *Photovoltaik : Solarstrahlung und Halbleitereigenschaften* : B. G. Teubner, 2007
- [26] BUNDESMINISTERIUM KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE: *Energie in Österreich : Zahlen, Daten, Fakten*. 2020
- [27] VIKTOR, Wesselak (Hrsg.); SEBASTIAN, Voswinckel (Hrsg.): *Photovoltaik : Wie Sonne zu Strom wird* : Springer Vieweg, 2012
- [28] STADT WIEN: *Wien Umweltgut: Solarpotenzialkataster*. URL <https://www.wien.gv.at/umweltgut/public/grafik.aspx?ThemePage=9> – Überprüfungsdatum 2021-05-28
- [29] ULRICH, Döring ; GÜNTER, Wöhe: *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. München : Valen, 2010
- [30] CHRISTOPH, Kost ; SHIVENES, Shammugam ; VERENA, Jülich ; HUYEN-TRAN, Nguyen ; THOMAS, Schlegl: *Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien*. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE. März 2018
- [31] THOMAS, Kienberger: *Thermische Energietechnik* (Vorlesung zu Thermischer Energietechnik). Montanuniversität Leoben, 2019 – Überprüfungsdatum 2021-07-20

- [32] HENKEL, Georg ; STIENEKER FRANK, WESCH, MARTIN; Lukas Lehmann (Mitarb.): *Lexikon der Pharma-Technologie : Autoklav* : Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH / ECV-Editio Cantor Verlag, 2013
- [33] MIN-SUK, Jo ; JANG-HOON, Shin ; WON-JUN, Kim ; JAE-WEON, Jeong: *Energy-Saving Benefits of Adiabatic Humidification in the Air Conditioning Systems of Semiconductor Cleanrooms*. 222 Wangsimni-Ro, Seongdong-Gu, Seoul 04763, Korea, College of Engineering, Hanyang University, Department of Architectural Engineering. November / 2017 – Überprüfungsdatum 2021-06-25
- [34] BENJAMIN, Trost: *Großkälte : Magnetgelagerte Turbo-Flüssigkeitskühler*. Bauverlag BV GmbH, 2014
- [35] R, Basshuysen: *Handbuch Verbrennungsmotor: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven*. : Springer Vieweg / Teubner, 2012
- [36] KLAUS, Heuck ; KLAUS-DIETER, Dettmann ; DETLEF, Schulz: *Elektrische Energieversorgung : Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie für Studium und Praxis*. 9. Aufl., 2013
- [37] C., Glück (Hrsg.); F.-P. (Hrsg.); SCHMIDT (Hrsg.): *Simulation study of a coupling concept for solar thermal collectors to gas driven sorption heat pumps in new and retrofitted residential buildings*. Konferenzband der 10. Internationalen Konferenz für Thermische Solarenergienutzung, 2012
- [38] LISA, Henhofer: *Photovoltaik-Ausbau in Österreich bis 2030*. URL <https://positionen.wienenergie.at/studien/photovoltaik-ausbau-in-oesterreich/> – Überprüfungsdatum 2021-07-30

6 ANHANG

Beschreibung	Startwert: 01.11.2019	Endwert: 01.11.2020	Verbrauch Takeda	Verbrauch Pfizer
DL-Zähler Orth ges. BT05 Summe Durchfluss	Unable to write m3	1452056,25 m3	#WERT!	#WERT!
DL-Zähler BT01 Summe Durchfluss	Unable to write m3	64618,41016 m3		#WERT!
DL-Zähler BT02 Summe Durchfluss	Unable to write m3	189259,0469 m3		#WERT!
DL-Zähler BT4 Mengenummessung	Unable to write m3	1986,808472 m3	#WERT!	m3
DL-Zähler BT7 Mengenummessung	Unable to write m3	1459,380005 m3	#WERT!	m3
DL-Zähler BT8 Mengenummessung (alt: PO5022MM03)	Unable to write m3	226,3300171 m3	#WERT!	m3
DL-Zähler BT10 Mengenummessung (alt: PO5022MM12)	Unable to write m3	252721,8594 m3	#WERT!	m3
DL-Zähler BT13,14,16 Mengenummessung (alt: PO5022MM10)	Unable to write m3	0,745049 m3	#WERT!	m3
DL-Zähler BT17 Mengenummessung (alt: PO5022MM09)	Unable to write m3	7256,348145 m3	#WERT!	m3
DL-Zähler BT21 Summe Durchfluss	Unable to write m3	580277,0625 m3		#WERT!
DL-Zähler BT24 Mengenummessung (alt: PO5022MM01)	Unable to write m3	303060,9063 m3	#WERT!	m3
DL-Zähler BT27 Mengenummessung (alt: PO5022MM05)	Unable to write m3	310347,5938 m3	#WERT!	m3
DL-Zähler BT32 CAPS Summen Durchfluss	Unable to write m3	0 m3	#WERT!	m3
DL-Zähler BT34 Durchfluss Summe	Unable to write m3	-999,98999 m3	#WERT!	m3
DL-Zähler BT89 Durchfluss Summe	Unable to write m3	270,3833008 m3	#WERT!	m3
Druckluftverbrauch:			#WERT!	#WERT!

Abbildung 6-1: Datenlage der Druckluftdaten zu Beginn der Arbeit vor Ort. (Stand November 2020) (Quelle: Takeda.)

Zählernummer	PI Tagbezeichnung	Beschreibung	Startwert: 01.11.2019	Endwert: 01.11.2020	Verbrauch
CEZ05025	ORBT12_Z_CEZ05025_TOT_PV	TW-Zähler BT12 Brunnen 1 Menge	Unable to write m3	547654,8125 m3	#WERT! m3
CEZ05026	ORBT12_Z_CEZ05026_TOT_PV	TW-Zähler BT12 Brunnen 2 Menge	Unable to write m3	564463,25 m3	#WERT! m3
Gesamtmenge:					#WERT! m3
CEZ05011	ORBT19_Z_CEZ05011_TOT_PV	Enteisungs Filter 1 BT19 Menge	Unable to write m3	426870 m3	#WERT! m3
CEZ05016	ORBT19_Z_CEZ05016_TOT_PV	Enteisungs Filter 2 BT19 Menge	Unable to write m3	404788 m3	#WERT! m3
CEZ05019	ORBT19_Z_CEZ05019_TOT_PV	Enteisungs Filter 3 BT19 Menge	Unable to write m3	248111 m3	#WERT! m3
Gesamtmenge:					#WERT! m3
CEZ05031	ORBT19_Z_CEZ05031_TOT_PV	TW-vor UV BT19 Menge	Unable to write m3	1537592 m3	#WERT! m3
CEZ05041	ORBT12_Z_CEZ05041_TOT_PV	NW-Zähler gesamt BT12 Menge	Unable to write m3	43598,13672 m3	#WERT! m3
Gesamtmenge:					#WERT! m3
CEZ05433	ORBT01_Z_CEZ5433_TOT_PV	TW-Zähler BT1 Mengenummessung (alt: MMN001)	Unable to write m3	39122,69531 m3	#WERT! m3
CEZ05431	ORBT02_Z_CEZ5431_TOT_PV	TW-Zähler BT02 Summen Durchfluss	Unable to write m3	4656,48291 m3	#WERT! m3
CEZ05435	ORBT03_Z_CEZ5435_TOT_PV	TW-Zähler BT3 Mengenummessung (alt: MMN007)	Unable to write m3	1426,739014 m3	#WERT! m3
CEZ05015	ORBT04_Z_CEZ05015_TOT_PV	TW-Zähler BT4/25/26/27 Summen Durchfluss	Unable to write m3	225736,4219 m3	#WERT! m3
CEZ05058	ORBT04_Z_CEZ05058_TOT_PV	TW-Zähler BT4	Unable to write m3	4558,928223 m3	#WERT! m3
CEZ05039	ORBT05_Z_CEZ5039_TOT_PV	TW-Zähler BT5/WA Mengenummessung (alt: MMN207)	Unable to write m3	133417,6719 m3	#WERT! m3
CEZ05040	ORBT05_Z_CEZ5040_TOT_PV	TW-Zähler BT5/Horde Mengenummessung (alt: MMN208)	Unable to write m3	81018,17969 m3	#WERT! m3
CEZ05434	ORBT06_Z_CEZ5434_TOT_PV	TW-Zähler BT6 Mengenummessung (alt: MMN019)	Unable to write m3	1987,331787 m3	#WERT! m3
CEZ05191	ORBT07_Z_CEZ05191_TOT_PV	TW-Zähler BT07 10° dH Menge	Unable to write m3	2227,739014 m3	#WERT! m3
CEZ05013	ORBT08_Z_CEZ05013_TOT_PV	TW-Zähler für WD-Erzeugung BT08 Summen Durchfluss	Unable to write m3	378213,125 m3	#WERT! m3
CEZ05430	ORBT10_Z_CEZ05430_TOT_PV	TW-Zähler BT10 Summen Durchfluss	Unable to write m3	178,4104156 m3	#WERT! m3
CEZ05014	ORBT10_Z_CEZ05014_TOT_PV	TW-Zähler BT10 Notkühlung Summen Durchfluss	Unable to write m3	11694,31934 m3	#WERT! m3
CEZ05027	ORBT13_Z_CEZ5027_TOT_PV	TW-Zähler BT13,BT14+BT16 Mengenummessung (alt: MMN01)	Unable to write m3	25021,64844 m3	#WERT! m3
CEZ05437	ORBT15_Z_CEZ5437_TOT_PV	TW-Zähler BT15 Mengenummessung (alt: MMN010)	Unable to write m3	471,2485352 m3	#WERT! m3
CEZ05429	ORBT17_Z_CEZ5429_TOT_PV	TW-Zähler BT17 Mengenummessung (alt: MMN023)	Unable to write m3	60,23437881 m3	#WERT! m3
CEZ05060	ORBT21_Z_CEZ5060_TOT_PV	TW-Zähler BT21 Mengenummessung (alt: MMN031)	Unable to write m3	3319,313965 m3	#WERT! m3
CEZ05038	ORBT24_Z_CEZ5038_TOT_PV	TW-Zähler BT24 Mengenummessung (alt: MMN206)	Unable to write m3	155855,6406 m3	#WERT! m3
CEZ05445	ORBT24_Z_CEZ05445_TOT_PV	TW-Zähler BT24 Zubau Summen Durchfluss	Unable to write m3	537,8392334 m3	#WERT! m3
CEZ05057	ORBT27_Z_CEZ05057_TOT_PV	TW-Zähler BT25/26/27 Summen Durchfluss	Unable to write m3	10715,12305 m3	#WERT! m3
CEZ05240	ORBT32_Z_CEZ05240_TOT_PV	TW-Zähler BT32 CAPS Summen Durchfluss	Unable to write m3	9288,197266 m3	#WERT! m3
CEZ05438	ORBT32_Z_CEZ05438_TOT_PV	TW Zähler BT32 Menge	Unable to write m3	72868,96875 m3	#WERT! m3
CEZ05001	ORBT34_Z_CEZ05001_TOT_PV	TW-Zähler BT34 Durchfluss Summe	Unable to write m3	-999,98999 m3	#WERT! m3
CEZ05432	ORBT89_Z_CEZ5432_TOT_PV	TW-Zähler BT89 Mengenummessung (alt: MMN020)	Unable to write m3	876,8840942 m3	#WERT! m3
Gesamtmenge:					#WERT! m3

Abbildung 6-2: Datenlage der Trinkwasserdaten zu Beginn der Arbeit. (Stand November 2020) (Quelle: Takeda.)

	Energiezentrale 1									
	Zählernummer	PI Tagbezeichnung	Beschreibung	Zählerart	Startwert: 01.11.2019	Endwert: 01.11.2020	Verbrauch	Erzeugung	Verbrauch	Subzähler Verbrauch
	CEZ05103	ORBT07_Z_CZ05103_Aceq_PRESEN	EZ1 BT07_Trafo1	Erzeuge	Unable to w k/wh	9028610 k/wh	#WERT!	k/wh		k/wh
	CEZ05104	ORBT07_Z_CZ05104_Aceq_PRESEN	EZ1 BT07_Trafo2	Erzeuge	Unable to w k/wh	9053680 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05105	ORBT07_Z_CZ05105_Aceq_PRESEN	EZ1 BT07_Generator1	Erzeuge	Unable to w k/wh	157115 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05102	ORBT07_Z_CZ05102_Aceq_PRESEN	BT1	Verbraucher	Unable to w k/wh	6165430 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05100	ORBT07_Z_CZ05100_Aceq_PRESEN	BT02 NH02	Verbraucher	Unable to w k/wh	6985350 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05303	ORBT02_Z_CZ05303_Aceq_PRESEN	DR 89 CEZ05303	Subverbraucher	Unable to w k/wh	693870 k/wh	#WERT!	k/wh		#WERT!
	CEZ05202	ORBT01_Z_CZ05202_Aceq_PRESEN	Turbo1 BT82 (Status §Scan OFF)	Subverbraucher	Unable to w k/wh	Scan Off k/wh		k/wh		0,00 k/wh
	CEZ05235	ORBT82_Z_CZ05235_Aceq_PRESEN	BT82_205235 BT82 KM5090f2 fuer BT02 EI / Wirkenerg	Subverbraucher	Unable to w k/wh	368951 k/wh	#WERT!	k/wh		#WERT!
	CEZ05117	ORBT07_Z_CZ05117_Aceq_PRESEN	Abgang BT01 Pfizer Turbocore 3 und 4	Verbraucher	Unable to w k/wh	35114 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05116	ORBT07_Z_CZ05116_Aceq_PRESEN	Abgang BT01 Pfizer Turbocore 1, 2 und 5	Verbraucher	Unable to w k/wh	27699,5 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05101	ORBT07_Z_CZ05101_Aceq_PRESEN	BT10	Verbraucher	Unable to w k/wh	1796660 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05107	ORBT07_Z_CZ05107_Aceq_PRESEN	EZ1 BT07_Trafo3	Erzeuge	Unable to w k/wh	14401000 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05111	ORBT07_Z_CZ05111_Aceq_PRESEN	EZ1 BT07_Trafo4	Erzeuge	Unable to w k/wh	10782900 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05110	ORBT07_Z_CZ05110_Aceq_PRESEN	EZ1 BT07_Generator2	Erzeuge	Unable to w k/wh	166020 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05108	ORBT07_Z_CZ05108_Aceq_PRESEN	BT8	Verbraucher	Unable to w k/wh	7701360 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05115	ORBT07_Z_CZ05115_Aceq_PRESEN	BT09	Subverbraucher	Unable to w k/wh	596986 k/wh	#WERT!	k/wh		#WERT!
	CEZ05109	ORBT07_Z_CZ05109_Aceq_PRESEN	BT7	Verbraucher	Unable to w k/wh	3570190 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05112	ORBT07_Z_CZ05112_Aceq_PRESEN	BT17	Verbraucher	Unable to w k/wh	2048260 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05212	ORBT10_Z_CZ05212_Aceq_PRESEN	BT10_205212 BT10 Elektr. Energie / Wirkenergie KM5590	Subverbraucher	Unable to w k/wh	362495 k/wh	#WERT!	k/wh		#WERT!
	CEZ05113	ORBT07_Z_CZ05113_Aceq_PRESEN	BT01	Verbraucher	Unable to w k/wh	8300130 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05206	ORBT03_Z_CZ05206_Aceq_PRESEN	BT03_205206 elektr. Energie KM5080 / Wirkenergie KM	Subverbraucher	Unable to w k/wh	233886 k/wh	#WERT!	k/wh		#WERT!
	CEZ05114	ORBT07_Z_CZ05114_Aceq_PRESEN	FremdfirmenCamp	Verbraucher	Unable to w k/wh	712681 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05106	ORBT07_Z_CZ05106_Aceq_PRESEN	BT07 Kupplung 1(A-B)	Subverbraucher	Unable to w k/wh	-8314,75 k/wh	#WERT!	k/wh		#WERT!
							Summe Erzeugung:	#WERT!	k/wh	
							Summe Verbrauch:		#WERT!	k/wh
							Summe Subverbrauch:			#WERT!
	Energiezentrale 2									
	Zählernummer	PI Tagbezeichnung	Beschreibung	Zählerart	Startwert: 01.11.2019	Endwert: 01.11.2020	Verbrauch	Erzeugung	Verbrauch	Subzähler Verbrauch
	CEZ05128	ORBT18_Z_CZ05128_Aceq_PRESEN	EZ2 BT18_Trafo1	Erzeuge	Unable to w k/wh	15428100 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05127	ORBT18_Z_CZ05127_Aceq_PRESEN	EZ2 BT18_Generator1	Erzeuge	Unable to w k/wh	155646 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05120	ORBT18_Z_CZ05120_Aceq_PRESEN	BT19	Verbraucher	Unable to w k/wh	816999 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05121	ORBT18_Z_CZ05121_Aceq_PRESEN	BT3 NUV	Verbraucher	Unable to w k/wh	1268360 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05122	ORBT18_Z_CZ05122_Aceq_PRESEN	BT5 Kühlcont.	Verbraucher	Unable to w k/wh	965234 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05123	ORBT18_Z_CZ05123_Aceq_PRESEN	BT5 Allgemein	Verbraucher	Unable to w k/wh	1504950 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05124	ORBT18_Z_CZ05124_Aceq_PRESEN	Reserve	Verbraucher	Unable to w k/wh	2049920 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05125	ORBT18_Z_CZ05125_Aceq_PRESEN	BT5 Kältemaschine	Verbraucher	Unable to w k/wh	3209950 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05126	ORBT18_Z_CZ05126_Aceq_PRESEN	BT24 Abgang 1	Verbraucher	Unable to w k/wh	2928390 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05129	ORBT18_Z_CZ05129_Aceq_PRESEN	BT18 Kupplung 1(A-B)	Subverbraucher	Unable to w k/wh	24615 k/wh	#WERT!	k/wh		#WERT!
	CEZ05134	ORBT18_Z_CZ05134_Aceq_PRESEN	EZ2 BT18_Trafo2	Erzeuge	Unable to w k/wh	18450500 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05133	ORBT18_Z_CZ05133_Aceq_PRESEN	EZ2 BT18_Generator2	Erzeuge	Unable to w k/wh	153859 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05130	ORBT18_Z_CZ05130_Aceq_PRESEN	BT21 HUV	Verbraucher	Unable to w k/wh	5371330 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05131	ORBT18_Z_CZ05131_Aceq_PRESEN	BT32 HUV	Verbraucher	Unable to w k/wh	4935380 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05132	ORBT18_Z_CZ05132_Aceq_PRESEN	BT5 Prozess	Verbraucher	Unable to w k/wh	6080560 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05135	ORBT18_Z_CZ05135_Aceq_PRESEN	BT18 Kupplung B-C	Subverbraucher	Unable to w k/wh	29166,9 k/wh	#WERT!	k/wh		#WERT!
	CEZ05140	ORBT18_Z_CZ05140_Aceq_PRESEN	EZ2 BT18_Trafo3	Erzeuge	Unable to w k/wh	25887900 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05139	ORBT18_Z_CZ05139_Aceq_PRESEN	EZ2 BT18_Generator3	Erzeuge	Unable to w k/wh	152711 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05141	ORBT18_Z_CZ05141_Aceq_PRESEN	BT6 Allgemein	Verbraucher	Unable to w k/wh	1004330 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05142	ORBT18_Z_CZ05142_Aceq_PRESEN	BT5 Lüftung	Verbraucher	Unable to w k/wh	6069850 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05136	ORBT18_Z_CZ05136_Aceq_PRESEN	BT21 HUV	Verbraucher	Unable to w k/wh	7574540 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05137	ORBT18_Z_CZ05137_Aceq_PRESEN	BT24 IV	Verbraucher	Unable to w k/wh	7303160 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05138	ORBT18_Z_CZ05138_Aceq_PRESEN	Reserve	Verbraucher	Unable to w k/wh	898100 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
	CEZ05143	ORBT18_Z_CZ05143_Aceq_PRESEN	BT18_205143 N02-NH14 BT32 Hauptunterv	Verbraucher	Unable to w k/wh	1413570 k/wh	#WERT!	k/wh	#WERT!	k/wh
							Summe Erzeugung:	#WERT!	k/wh	
							Summe Verbrauch:		#WERT!	k/wh
							Summe Subverbrauch:			#WERT!

Abbildung 6-3: Datenlage der elektrischen Energieversorgung (EZ1 & EZ2) zu Beginn der Arbeit. (Stand November 2020) (Quelle: Takeda.)

Zählernummer	PI Tagbezeichnung	Beschreibung	Startwert: 01.11.2019	Endwert: 01.11.2020	Verbrauch	Erzeugung	Verbrauch	Subzähler Verbrauch		
Energie- zentrale 3	CEZ05145	ORBT36_Z_CEZ05145_Aceg_PRESEN	EZ3 BT36 Trafo1	Erzeuger	Unable to w/ kWh	30938600 kWh	#WERT! kWh	#WERT! kWh	kWh	kWh
	CEZ05150	ORBT36_Z_CEZ05150_Aceg_PRESEN	EZ3 BT36 Trafo2	Erzeuger	Unable to w/ kWh	30397500 kWh	#WERT! kWh	#WERT! kWh	kWh	kWh
	CEZ05147	ORBT36_Z_CEZ05147_Aceg_PRESEN	EZ3 BT36 Generator1	Erzeuger	Unable to w/ kWh	388527 kWh	#WERT! kWh	#WERT! kWh	kWh	kWh
	CEZ05146	ORBT36_Z_CEZ05146_Aceg_PRESEN	Abgang 2 BT26	Verbraucher	Unable to w/ kWh	18475800 kWh	#WERT! kWh	#WERT! kWh	kWh	kWh
	CEZ05148	ORBT36_Z_CEZ05148_Aceg_PRESEN	Reserve	Verbraucher	Unable to w/ kWh	6074040 kWh	#WERT! kWh	#WERT! kWh	kWh	kWh
	CEZ05149	ORBT36_Z_CEZ05149_Aceg_PRESEN	Abgang1 BT26	Verbraucher	Unable to w/ kWh	13775100 kWh	#WERT! kWh	#WERT! kWh	kWh	kWh
	CEZ05151	ORBT36_Z_CEZ05151_Aceg_PRESEN	Kupplung	Verbraucher	Unable to w/ kWh	0 kWh	#WERT! kWh	#WERT! kWh	kWh	kWh
	CEZ05152	ORBT36_Z_CEZ05152_Aceg_PRESEN	Abgang 2 BT34	Verbraucher	Unable to w/ kWh	12620200 kWh	#WERT! kWh	#WERT! kWh	kWh	kWh
	CEZ05153	ORBT36_Z_CEZ05153_Aceg_PRESEN	Hauptunterverteiler BT4	Verbraucher	Unable to w/ kWh	9707460 kWh	#WERT! kWh	#WERT! kWh	kWh	kWh
	CEZ05189	ORBT36_Z_CEZ05189_Aceg_PRESEN	Kühlcontainer BT99	Verbraucher	Unable to w/ kWh	142940 kWh	#WERT! kWh	#WERT! kWh	kWh	kWh
						Summe Erzeugung:	#WERT! kWh			
						Summe Verbrauch:	#WERT! kWh			
						Summe Subverbrauch:			0,00 kWh	
ORTH			EZ1+2+3			Summe Erzeugung:	#WERT! kWh			%
						Summe Verbrauch:	#WERT! kWh			100
						Summe Subverbrauch:	#WERT! kWh	#WERT! kWh		
			BT03+06 Mietobjekte			Summe Miet Gebäude:	#WERT! kWh	#WERT! kWh	#WERT!	
			Takeda Gebäude			Summe Takeda Gebäude:	#WERT! kWh	#WERT! kWh	#WERT!	
			Facility: Energiezentrale, Kläranlage, Thermische, Bannen+Enteisung			Summe Facility Gebäude:	#WERT! kWh	#WERT! kWh	#WERT!	
		Pfizer (excl. BT06)			Summe Pfizer Gebäude:	#WERT! kWh	#WERT! kWh	#WERT!		

Abbildung 6-4: Datenlage der elektrischen Energieversorgung (EZ3 & Orth gesamt) zu Beginn der Arbeit. (Stand November 2020) (Quelle: Takeda)

Anteile der Bauteile am Strombedarf, bezogen auf den Takeda Gesamtstromverbrauch, in Prozent [%]

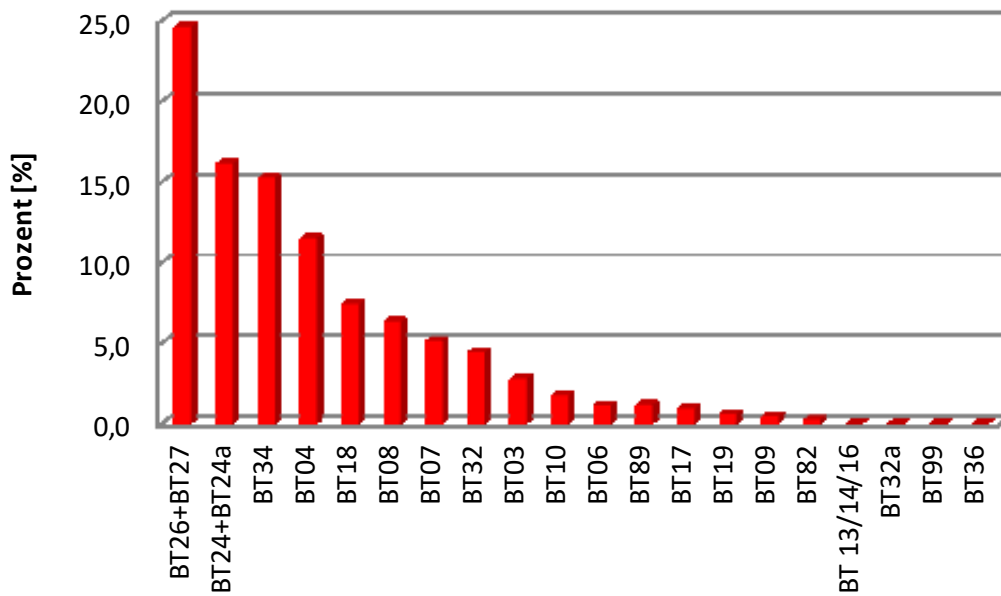


Abbildung 6-5: Strombedarf je Bauteil, bezogen auf den Gesamtstrombedarf von Takeda. (Eigene Darstellung.)

Anteile der Bauteile am Gasbedarf, bezogen auf den Takeda Gesamtgasverbrauch, in Prozent [%]

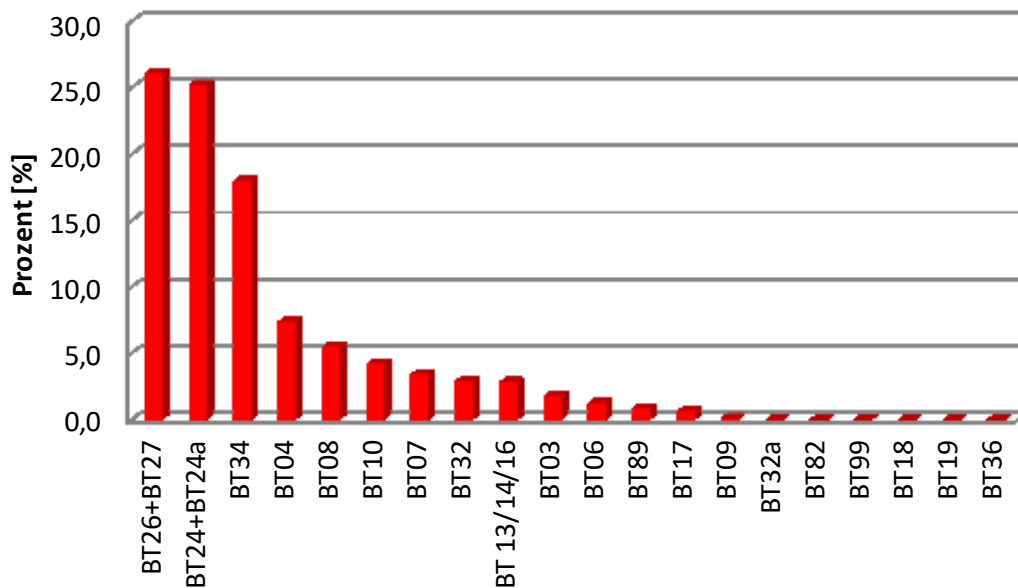


Abbildung 6-6: Gasbedarf je Bauteil, bezogen auf den Gesamtgasverbrauch von Takeda. (Eigene Darstellung.)

Anteile der Bauteile am Dieselbedarf, bezogen auf den Takeda Gesamtdieselerverbrauch, in Prozent [%]

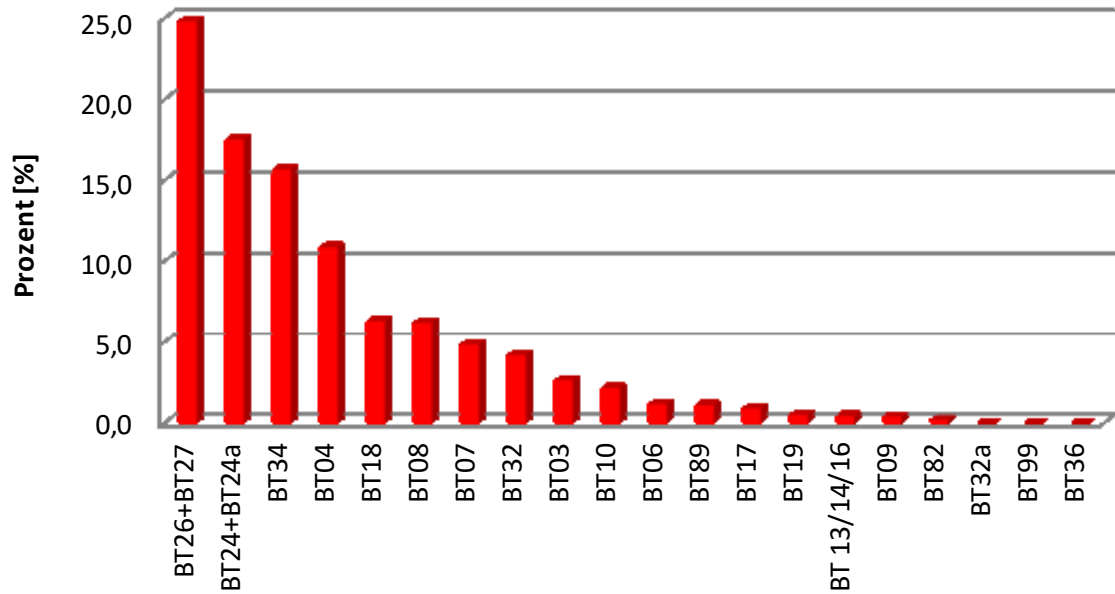


Abbildung 6-7: Dieselbedarf je Bauteil, bezogen auf den Gesamtdieselerverbrauch von Takeda. (Eigene Darstellung.)

Dampf		
BT01 Pfizer	1049223,717	kWh
BT02 Pfizer	543298,6705	kWh
BT04	423305,9813	kWh
BT05 Pfizer	1399954,227	kWh
BT07	326208,1586	kWh
BT08 Heizdampf->Reindampf	1239903,412	kWh
BT10	735231,6972	kWh
BT17	0	kWh
BT21 Pfizer	4167775,685	kWh
BT24	1965674,3	kWh
BT24a	1673163,683	kWh
BT27	3767899,623	kWh
BT32	1,53972	kWh
BT34 (QCB)	2594435,129	kWh
BT89	9787,23018	kWh
Dampf ges.	19895863,05	kWh

Abbildung 6-9: Ausgearbeitete Dampfverbrauchsdaten für Takeda und Pfizer. (Eigene Darstellung.)

Anhang

Dampfdaten TK und PF angefertigt	2019	2019	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	Summe Zeitraum	
	Verbrauch Nov	Verbrauch Dez.	Verbrauch Jänner	Verbrauch Feb	Verbrauch März	Verbrauch April	Verbrauch Mai	Verbrauch Juni	Verbrauch Juli	Verbrauch Aug.	Verbrauch Sept.	Verbrauch Okt.		
Dampf														
UFO 1														
UFO 2														
UFO 3														
UFO 4														
Dampf ges.(laut VISU)	2105507	2608061	2882564	2694222	2801576	2799272	2731714	2380365	1895194	2230769	2118824	1923984	29172052	kg
Dampf														
BT01 Pfizer	77545	58134	113140	148930	141109	180123	147392	105056	110188	108348	119806	53105	1362876	kg
BT02 Pfizer	62658	92268	97873	96291	108806	112099	76515	13723	7347	5895	7427	24809	705711	kg
BT04	30892	42496	65328	66494	51872	64111	54078	33782	32000	34179	37742	36874	549848	kg
BT05 Pfizer	97898	192137	173553	134539	139954	118039	52182	146305	269294	256460	149408	88684	1818453	kg
BT07	23313	3604	47235	58014	96251	115632	51274	3126	841	13999	7785	2650	423724	kg
BT08 Heizdampf->Reindampf	135456	182965	213220	223542	129236	134563	132117	93599	94335	94577	70264	106683	1610557	kg
BT10	70720	82999	85643	73304	77154	74616	85417	76210	86103	75664	76808	90382	955020	kg
BT17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kg
BT21 Pfizer	457750	491380	559880	493690	534660	585520	451040	411390	470430	380490	397140	180310	5413680	kg
BT24	248257	255253	250524	246892	226660	112120	198191	219334	128702	198733	230489	238133	2553288	kg
BT24a	250000	260211	255253	201960	280443	203934	151191	125659	124038	185479	0	135167	2173335	kg
BT27	353630	390042	330521	319747	502966	502821	501718	452253	325245	366213	409112	439998	4894266	kg
BT32	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	kg
BT34 (QCB)	155717	211481	262321	196364	330469	341577	391612	384605	191400	216830	340517	347116	3370009	kg
BT89	3091	3290	3295	2829	208	0	0	0	0	0	0	0	12713	kg
Dampf ges.	1966927	2266260	2457786	2262596	2619788	2545155	2292729	2065042	1839923	1936867	1846498	1743911	25843482	kg
Dampf Diff. Kg	138580	341801	424778	431626	181788	254117	438985	315323	55271	293902	272326	180073	3328570	kg

Abbildung 6-10: Ausgearbeitete Dampfverbrauchsdaten für Takeda und Pfizer. (Eigene Darstellung.)