

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK, WIRTSCHAFT UND KULTUR LEIPZIG

FAKULTÄT MASCHINENBAU UND ENERGIETECHNIK

MASTER-STUDIENGANG ENERGIE- UND UMWELTTECHNIK

**Studie zur nachhaltigen kommunalen Wärmeenergie-
versorgung von öffentlich zugänglichen Gebäuden
im Rahmen eines 5-Jahres-Energie-Stufen-Konzeptes
für die Gemeinde Borsdorf**

- Masterarbeit Nr. 190/14

von

Timo Kalks

geb. am 27.07.1986

in Nürnberg

Matr.-Nr.: 60018

Verantw. Hochschullehrer:

Prof. Dr.-Ing. U. Jung

Prof. Dr.-Ing. habil. R. Müller

Betreuer im Unternehmen:

B. Genennig

fup Umweltinstitut Leipzig GmbH

Leipzig, Februar - Oktober 2016

INHALTSVERZEICHNIS

I	Abbildungsverzeichnis	7
II	Tabellenverzeichnis	9
III	Verwendete Abkürzungen und Indizes	10
1	Einleitung und Zielstellung der Arbeit	11
2	Grundlagen zur nachhaltigen kommunalen Wärmeenergieversorgung	12
2.1	Inhalte und Ziel der kommunalen Wertschöpfung.....	12
2.2	Regenerative Energieformen und Technologien für die Wärmeerzeugung.....	12
2.2.1	Gesamtübersicht	12
2.2.2	Biomasse.....	13
2.2.3	Solarenergie	14
2.2.4	Geothermie.....	15
2.2.5	Power-to-Gas-Technologie.....	15
2.3	Ökologische Wärmebereitstellung in der Kommune	17
2.4	Maßnahmen bei der energetischen Gebäudesanierung	18
2.5	Vorstellung innovativer Praxisbeispiele zur regenerativen Energieversorgung	20
2.5.1	Energiespargemeinden (eea)	20
2.5.2	Bioenergiedörfer	22
2.5.3	Gegenüberstellung der Praxisbeispiele.....	23
3	Untersuchungsrahmen & Methodik zur Entwicklung eines Energie-Stufen-Konzeptes am Praxisbeispiel.....	24
3.1	Untersuchungsrahmen Beispielgemeinde Borsdorf.....	24
3.2	Angewandte Methodik.....	25
4	Bestandsaufnahme Gebäude.....	26
4.1	Gebäudespezifische Datenerhebung	26
4.2	Übersicht zum wärmespezifischen Endenergieverbrauch im Bestand.....	28
4.3	Energetische Einordnung der Gebäude	29
5	Einsparpotential an Endenergie zur Wärmeversorgung im Bestand.....	32
5.1	Gebäudespezifische Einsparpotentiale gemäß Kategorisierung in Handlungs- bedarfsklassen zur energetischen Gesamtsanierung	32

5.1.1	Objekte mit hohem Handlungsbedarf.....	32
5.1.2	Objekte mit mittlerem Handlungsbedarf.....	34
5.1.3	Objekte mit geringem Handlungsbedarf.....	37
5.1.4	Objekte ohne festgestellten Handlungsbedarf.....	40
5.2	Separate Betrachtung der anlagenspezifischen Einsparpotentiale.....	41
5.3	Überblick zu den theoretischen Einsparpotentialen und daraus resultierende Endenergiebedarfswerte zur Wärmeversorgung.....	43
6	Energiekonzept für die Gemeinde Borsdorf.....	45
6.1	Herleitung des theoretischen Wärmebedarfs.....	45
6.1.1	Wärmebedarf im Bestand.....	45
6.1.2	Theoretischer Wärmebedarf nach Energieeinsparung.....	46
6.2	Nahwärmenetzvarianten und Auswahl der Anlagenkonzepte zur Energieeffizienzsteigerung.....	49
6.2.1	Technische Prüfung verschiedener Nahwärmenetzvarianten.....	49
6.2.2	Auswahl der möglichen Wärmeenergieerzeuger zur Energieeffizienz- steigerung.....	52
6.3	Anlagenmodellplanung.....	54
6.3.1	Allgemein.....	54
6.3.2	Modellvariante 1.....	54
6.3.3	Modellvariante 2A.....	55
6.3.4	Modellvariante 2B.....	57
6.3.5	Übersicht zu den potentiellen Ergebnissen und Effekten der einzelnen Modellvarianten.....	58
6.4	Wirtschaftlichkeitsabschätzung zur Anlagenmodellplanung nach VDI-Richtlinie 2067.....	59
6.4.1	Kostenvergleichsrechnung nach VDI-Richtlinie 2067.....	59
6.4.2	Kapitalgebundene Kosten bei den einzelnen Modellvarianten.....	61
6.4.3	Verbrauchsgebundene Kosten bei den einzelnen Modellvarianten.....	62
6.4.4	Einnahmen bei den einzelnen Modellvarianten.....	62
6.4.5	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsabschätzung bei den einzelnen Modell- varianten.....	62
6.5	5-Jahres-Stufenplanung zur Umsetzung des Wärmekonzeptes.....	63
7	Zusammenfassung mit abschließendem Fazit.....	64
	Literaturverzeichnis.....	66

I ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2.1: Bausteine einer regenerativen Wärmeenergieversorgung.....	13
Abb. 2.2: Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse	13
Abb. 2.3: Übersicht zu den Nutzungsmöglichkeiten von Biogas	14
Abb. 2.4: Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Umgebungswärme	15
Abb. 2.5: Schemata der Power-to-Gas-Technologie	16
Abb. 2.6: Wärmeverluste und -gewinne am Gebäude	18
Abb. 2.7: Nahwärmenetz im Ortsteil Zschadraß	21
Abb. 2.8: Übersichtskarte der Bioenergiedörfer in der BRD.....	22
Abb. 4.1: Monatsspezifischer Endenergieverbrauch zur Wärmeversorgung im Bestand	28
Abb. 4.2: Kategorisierung in Handlungsbedarfsklassen (I-III) zur energetischen Sanierung	31
Abb. 5.1: Grundschule / Turnhalle Panitzsch	32
Abb. 5.2: Dacheindeckung in der Schulaula	32
Abb. 5.3: Fenstereinfassung im Schulkeller	32
Abb. 5.4: Gemeindeverwaltung	33
Abb. 5.5: Kita Apfelkörnchen	33
Abb. 5.6: Kita Löwenzahn	33
Abb. 5.7: Sportlerheim Panitzsch	34
Abb. 5.8: FFW Panitzsch	34
Abb. 5.9: Städt. Kita (Altbau)	34
Abb. 5.10: Jugendhaus	35
Abb. 5.11: Bauhof	35
Abb. 5.12: Heimatmuseum	35
Abb. 5.13: Diakonissenhaus	36
Abb. 5.14: Sportlerheim Borsdorf	36
Abb. 5.15: Kita Apfelkörnchen II	36
Abb. 5.16: Kita Zweenfurth	37
Abb. 5.17: Trabrennbahn	37
Abb. 5.18: Hort Parthenstrolche	37
Abb. 5.19: Kulturzentrum Panitzsch	38
Abb. 5.20: Städt. Kita (Neubau)	38
Abb. 5.21: FFW Borsdorf	38
Abb. 5.22: Bibliothek	39
Abb. 5.23: Bürgerhaus Zweenfurth	39
Abb. 5.24: FFW Zweenfurth	39
Abb. 5.25: Bahnhof	40

Abb. 5.26: Modell Freies Gymnasium Borsdorf	40
Abb. 5.27: Monatl. Endenergiebedarf zur Wärmeversorgung nach Einsparmaßnahmen.....	44
Abb. 6.1: Monatsspezifischer Wärmebedarf im Bestand	46
Abb. 6.2: Monatsspezifischer Wärmebedarf nach Ausschöpfung des Einsparpotentials	47
Abb. 6.3: Objektspezifische Anteile nach Potentialausschöpfung im OT Panitzsch	48
Abb. 6.4: Objektspezifische Anteile nach Potentialausschöpfung im OT Borsdorf.....	48
Abb. 6.5: Objektspezifische Anteile nach Potentialausschöpfung im OT Zweenfurth	48
Abb. 6.6: Theoretischer Wärmeverlust in Abhängigkeit von der Wärmebelegungsdichte	49
Abb. 6.7: Flurkarte OT Borsdorf mit Wärmenetzvarianten und möglichen Anlagen- standorten.....	50
Abb. 6.8: Geordnete Jahresdauerlinie Modellvariante 1	54
Abb. 6.9: Geordnete Jahresdauerlinie Modellvariante 2A.....	56
Abb. 6.10: Geordnete Jahresdauerlinie Modellvariante 2B.....	57
Abb. 6.11: 5-Jahres-Energie-Stufen-Plan für die Gemeinde Borsdorf	63
Abb. A.1: Flurkarte OT Panitzsch mit dessen prioritären Gebäuden	73
Abb. A.2: Flurkarte OT Borsdorf mit dessen prioritären Gebäuden	74
Abb. A.3: Flurkarte OT Zweenfurth mit dessen prioritären Gebäuden	75
Abb. A.4: Lageplan Diakonissenhaus	76
Abb. A.5: Objektspezifische Anteile am Wärmebedarf im OT Panitzsch (im Bestand)	80
Abb. A.6: Objektspezifische Anteile am Wärmebedarf im OT Borsdorf (im Bestand)	80
Abb. A.7: Objektspezifische Anteile am Wärmebedarf im OT Zweenfurth (im Bestand)	80

II TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1: Gegenüberstellung der Praxisbeispiele	23
Tabelle 4.1: Ergebnisse der objektspezifischen Datenerfassung.....	27
Tabelle 4.2: Einteilung in Energieeffizienzklassen nach EnEV 2016	29
Tabelle 4.3: Energetische Einordnung der Gebäude nach Kennwerten	30
Tabelle 5.1: Baujahrspezifische Jahresnutzungsgrade verschiedener Kesselarten.....	41
Tabelle 5.2: Anlagenspezifische Einsparpotentiale im Bestand.....	42
Tabelle 5.3: Gesamtübersicht zu den Einsparpotentialen an Endenergie zur Wärme- versorgung	43
Tabelle 6.1: Berechnungsgrößen zur Ermittlung der Wärmebelegungsdichten	51
Tabelle 6.2: Eigenschaften / Kennwerte von BHKW-Motoren.....	52
Tabelle 6.3: Ergebnisübersicht und mögliche Effekte bei den einzelnen Modellvarianten ...	59
Tabelle A.1: Objektspezifische Datenerhebung in den einzelnen Ortsteilen.....	72
Tabelle A.2: Ergebnisse der gebäudespezifischen Datenerfassung beim Objekt Diakonissenhaus	77
Tabelle A.3: Endenergieverbrauchswerte im Bestand und nach Energieeinsparung	78
Tabelle A.4: Berechnungsgrößen zur Ermittlung des jährlichen Wärmebedarfs im Bestand	79
Tabelle A.5: Berechnungsgrößen zur Ermittlung des jährlichen Wärmebedarfs nach Einsparung	81

III VERWENDETE ABKÜRZUNGEN UND INDIZES

a	Jahr
AZV	Abwasserzweckverband
BEB	Bürger Energie Borsdorf
BHKW	Blockheizkraftwerk
BTZ	Bildungs- und Technologiezentrum
BZ	Brennstoffzelle
EE	Erneuerbare Energien
eea	European Energy Award
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz
EnEG	Energie-Einspar-Gesetz
EnEV	Energie-Einspar-Verordnung
EW	Einwohner
GuD-KW	Gas- und Dampfkraftwerken
Kita	Kindertagesstätte
kW	Kilowatt
kW _{el}	Kilowatt elektrisch
kW _{th}	Kilowatt thermisch
kWh	Kilowattstunden
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
OT	Ortsteil
PV	Photovoltaik
WEE	Wärmeenergieerzeuger
100ee	100%-Erneuerbare-Energie

1 EINLEITUNG UND ZIELSTELLUNG DER ARBEIT

Die Energiewende ist unser Weg in eine sichere, umweltverträgliche und wirtschaftlich erfolgreiche Zukunft. Auf Bundesebene gehe es laut Bundeskanzlerin Merkel insbesondere darum, Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Bezahlbarkeit in Einklang zu bringen. Dabei hänge die Akzeptanz der Energiewende in der Bevölkerung insbesondere von der Energiepreisentwicklung ab [vgl. 1.1].

Wichtige Treiber beim Ausbau Erneuerbarer Energien (kurz: EE) sind die Kommunen. So wurden auf Kommunalebene bereits heute zahlreiche ambitionierte Klimaschutzkonzepte unter breiter Bürgerbeteiligung umgesetzt. Dabei profitieren die Kommunen auch selbst in erheblichem Umfang, sofern bisher importierte Energierohstoffe oder Endenergien durch heimische Energiequellen, Technologien und Dienstleistungen ersetzt werden.

Oftmals sind es regionale Energieinitiativen wie zum Beispiel Bürgerenergiegenossenschaften, welche Projekte mit großem Engagement in die Tat umsetzen. So hat es sich auch die „Bürger Energie Borsdorf eG“ zur Aufgabe gemacht, die Gemeinde Borsdorf mit seinen Ortsteilen Cunnersdorf, Panitzsch und Zweenfurth energetisch zukunftsfähig aufzustellen. Das Ziel der Borsdorfer Energiegenossenschaft ist es unter anderem, eine 100%-ig ökologische Energieversorgung der Gemeinde zeitnah zu realisieren. Daher soll vorerst ein eigenständiges und nachhaltiges Energiekonzept für die Gemeinde erarbeitet werden.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit, ein Konzept zur nachhaltigen kommunalen Wärmeenergieversorgung von öffentlich zugänglichen Gebäuden für die Gemeinde Borsdorf unter den Prämissen Energieeinsparung, Energieeffizienz, Erneuerbare Energien zu erarbeiten. Hierzu wurde in methodischer Hinsicht das Energiemanagement im Prozessmodell verwendet.

In einem ersten Arbeitsschritt wird der aktuelle wärmeenergetische Ist-Zustand von prioritären Gebäuden der Gemeinde Borsdorf dargestellt und anschließend bewertet. Basis dafür sind die erfassten flächenspezifischen Endenergieverbräuche zur Wärmeversorgung der jeweiligen Gebäude aus den Jahren 2013 bis 2015.

Anschließend wird das objektspezifische Einsparungspotential hinsichtlich wärmespezifischer Endenergie bei den ausgewählten Gebäuden aufgezeigt. Dabei im Fokus stehen die Gebäudehülle sowie die bereits bestehende Anlagentechnik.

Der daraufhin theoretisch hergeleitete Wärmebedarf nach Durchführung der potentiellen Energieeinsparungsmaßnahmen bildet die Grundlage für die nachfolgende Entwicklung dreier Modellvarianten zur nachhaltigen kommunalen Wärmeenergieversorgung von ausgewählten Gebäuden im Ortskern Borsdorf.

2 GRUNDLAGEN ZUR NACHHALTIGEN KOMMUNALEN WÄRMEENERGIEVERSORGUNG

2.1 Inhalte und Ziel der kommunalen Wertschöpfung

Kommunen erbringen von der Landschaftspflege bis hin zur Abfallbeseitigung, von der Wärme- und Stromerzeugung bis hin zum umweltfreundlichen Nahverkehr wesentliche Leistungen der öffentlichen Daseinsvorsorge. Aus der zunehmend dezentralen Organisation der zukünftigen Energieversorgung können Kommunen als Eigentümer von örtlichen Netzen, Investor in Erneuerbare Energien, Grundstückseigentümer sowie als Moderator und damit als Schaltstelle für den energetischen Umbau vor Ort in erheblichem Umfang profitieren [vgl. 2.1, S. 4].

Allgemeine Zielsetzung bei der kommunalen Wertschöpfung im energetischen Sinne ist der Wandel weg vom Import von Energierohstoffen und Endenergien hin zur lokalen Energieversorgung mittels heimischen Energiequellen, Technologien sowie Dienstleistungen. Die Wertschöpfung wird hierbei durch in Deutschland produzierte EE-Anlagen und die dazu gehörigen Produktionsanlagen induziert. Sie setzt sich definitionsgemäß zusammen aus:

- den erzielten Unternehmensgewinnen (nach Steuern) in der Kommune,
- dem Nettoeinkommen von Beschäftigten und
- den auf Basis der betrachteten Wertschöpfungsschritte an die Kommune gezahlten Steuern (Kommunalanteil der Einkommens- und Abgeltungssteuer, Gewerbesteuer)

[vgl. 2.2, S. 1].

2.2 Regenerative Energieformen und Technologien für die Wärmeerzeugung

2.2.1 Gesamtübersicht

Von den erneuerbaren Energiequellen (Sonnenenergie, Gravitationsenergie, Geothermie) zählen im Wesentlichen die regenerativen Energieformen Wind, Wasser, Biomasse, Solarstrahlung und Erdwärme zu den heimischen Energieträgern. Für die Erzeugung von Wärme eignen sich insbesondere Bio- und Solarenergie- sowie Geothermie-Anlagen. Zudem rückt die Power-to-Gas-Technologie vermehrt in den Fokus.

Das folgende Schaubild (*Abb. 2.1*) dient zunächst als Gesamtübersicht zu den Möglichkeiten der regenerativen Wärmeversorgung im Verbund, bevor anschließend eine Betrachtung der einzelnen Technologien erfolgt.

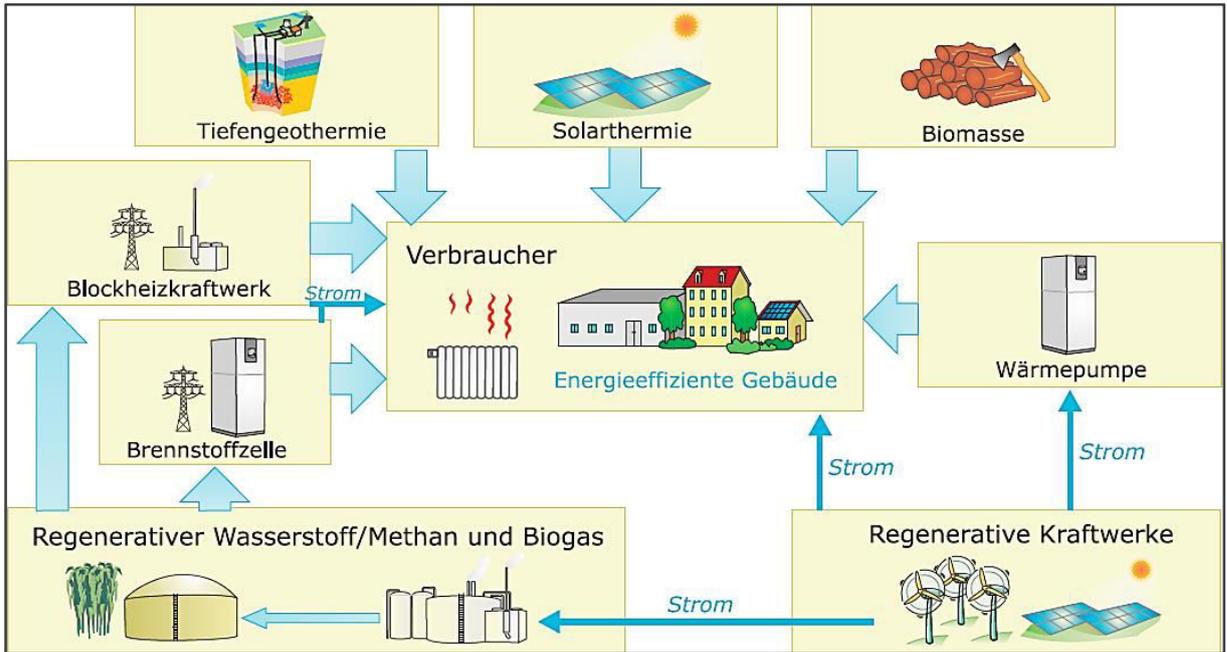


Abb. 2.1: Bausteine einer regenerativen Wärmeenergieversorgung [2.3, S. 111]

2.2.2 Biomasse

Biomasse ist sehr vielseitig einsetzbar und steht mit einem aktuellen Anteil von etwa 57 % zur regenerativen Energiebereitstellung [vgl. 2.4] an der Spitze der erneuerbaren Energieträger in Deutschland. Sie kann in festem, flüssigem und gasförmigem Zustand neben der Wärme- auch zur Stromerzeugung sowie zur Herstellung von Biokraftstoffen genutzt werden (siehe Abb. 2.2). Zur Biomasse zählen neben der land- und forstwirtschaftlich bereitgestellten Biomasse auch Reststoffe und Abfälle biogenen Ursprungs [vgl. 2.5].

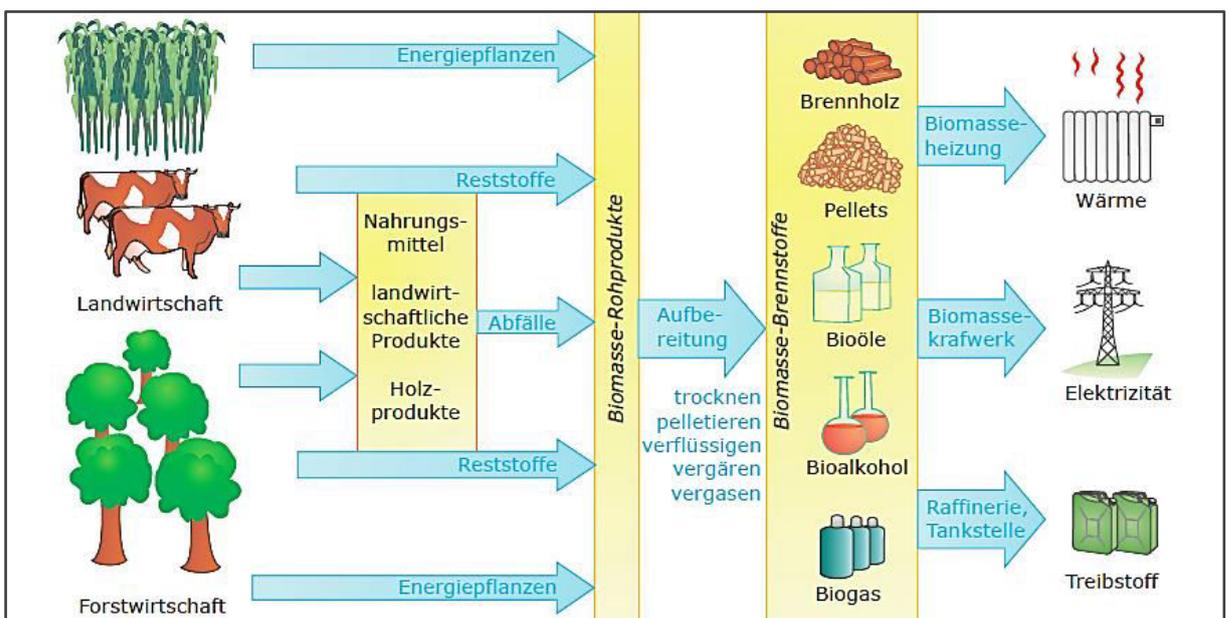


Abb. 2.2: Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse [2.3, S. 296]

Bei der energetischen Biomassenutzung finden folgende 2 Technologien Anwendung:

- Umwandlung in Biogas durch anaerobe Fermentation (von Substraten) bzw. thermochemische Vergasung (von Festbrennstoffen)
- Direkte Verbrennung von fester Biomasse wie Hackschnitzel, Scheitholz, Pellets und Holzbriketts zum Beispiel in einer Hackschnitzel-Anlage

Aus energetischer Sicht ist jedoch stets die kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (kurz: KWK) vorteilhaft.

Die Nutzung von Biogas ist sehr vielfältig (siehe *Abb. 2.3*). So kann dieses einerseits direkt in Blockheizkraftwerken (kurz: BHKWs), Gas- und Dampfkraftwerken (kurz: GuD-KW) oder Brennstoffzellen (kurz: BZ)-Heizgeräten verwendet werden. Andererseits besteht (nach Aufbereitung zu Biomethan) die Möglichkeit der Einspeisung ins Erdgasnetz, um so eine zeitliche und räumliche Entkoppelung von Erzeugung und Nutzung zu ermöglichen [vgl. 2.6].

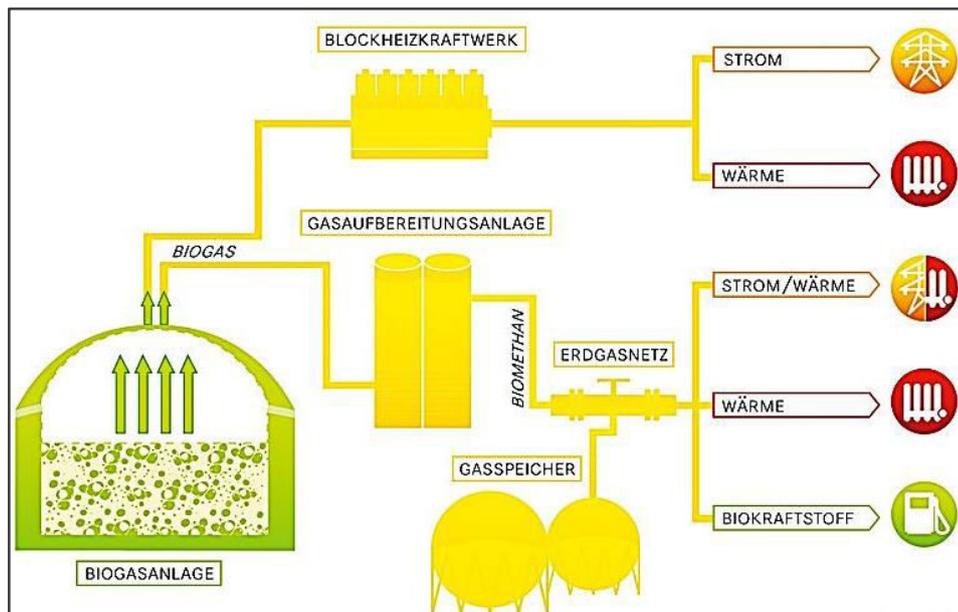


Abb. 2.3: Übersicht zu den Nutzungsmöglichkeiten von Biogas [2.6]

2.2.3 Solarenergie

Neben indirekt genutzter Sonnenstrahlung (Biomasse durch Pflanzenwachstum, etc.) kann die Solarenergie (Anteil an Gesamtenergiebereitstellung durch EE im Jahr 2015 in Deutschland: ca. 12 %) auch direkt für die Wärmeerzeugung verwendet werden. Ein Beispiel hierfür sind Solarkollektoren, welche die Strahlung der Sonne in Wärme umsetzen. Solarthermische Anlagen eignen sich besonders zur Erwärmung von Trinkwasser und zur Aufbereitung von heißem Wasser für die Heizungsanlage. Ein elementarer Punkt mit großem Potential liegt dabei in der saisonalen Speicherung von Solarwärme und der Verteilung von heißem Wasser über Nahwärmenetze [vgl. 2.7].

2.2.4 Geothermie

Die Geothermie (auch Erdwärme genannt) und Umweltwärme (Anteil an Gesamtenergiebereitstellung durch EE im Jahr 2015 in Deutschland: ca. 3 %) kann mittels verschiedenen technischen Verfahren zur Energiegewinnung genutzt werden (siehe *Abb. 2.4*). Bei Erdwärme der oberflächennahen Geothermie (bis 400 m Tiefe) bietet sich dies in Deutschland zumeist mithilfe von Wärmepumpenanlagen an. Diese versorgen Gebäude häufig mit Heizwärme, Warmwasser sowie mit Kälte [vgl. 2.8].

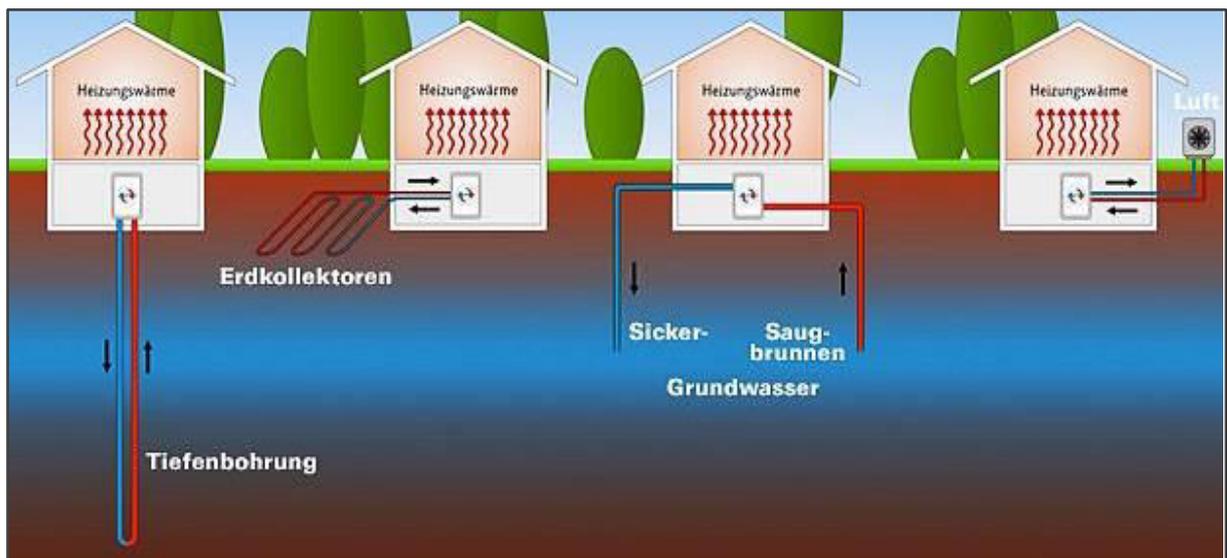


Abb. 2.4: Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Umgebungswärme [2.9]

Neben dem hohen Potential liegt ein weiterer Vorteil der Geothermie in der ständigen Verfügbarkeit. So unterliegt das Angebot an geothermischer Energie im Gegensatz zu anderen fluktuierenden regenerativen Energieträgern keinen zeitlichen Schwankungen. Dadurch kann die Geothermie zu einem elementaren Bestandteil der Versorgungssicherheit innerhalb eines Gesamtkonzeptes zur regenerativen Energieversorgung werden [vgl. 2.3, S. 276].

2.2.5 Power-to-Gas-Technologie

Mit der Power-to-Gas-Technologie (siehe *Abb. 2.5*) kann Wasser mit Hilfe von regenerativ erzeugtem Strom in seine Bestandteile Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) zerlegt werden. Der so gewonnene Wasserstoff kann einerseits direkt in der Industrie genutzt und andererseits auf folgende 2 Varianten ins lokale Erdgasnetz eingespeist werden:

- direkt (bei Anteilen von bis < 10 Vol.-% grundsätzlich möglich [vgl. 2.10, S. 27])
- indirekt nach Umwandlung in synthetisches Erdgas (SNG) durch Methanisierung (ohne Mengenbegrenzung [vgl. 2.11, S. 10])

Neben der Rückverstromung bei erhöhter Stromnachfrage kann das Synthesegas auch als regenerative Wärmequelle oder in der Mobilität als Biokraftstoff genutzt werden.

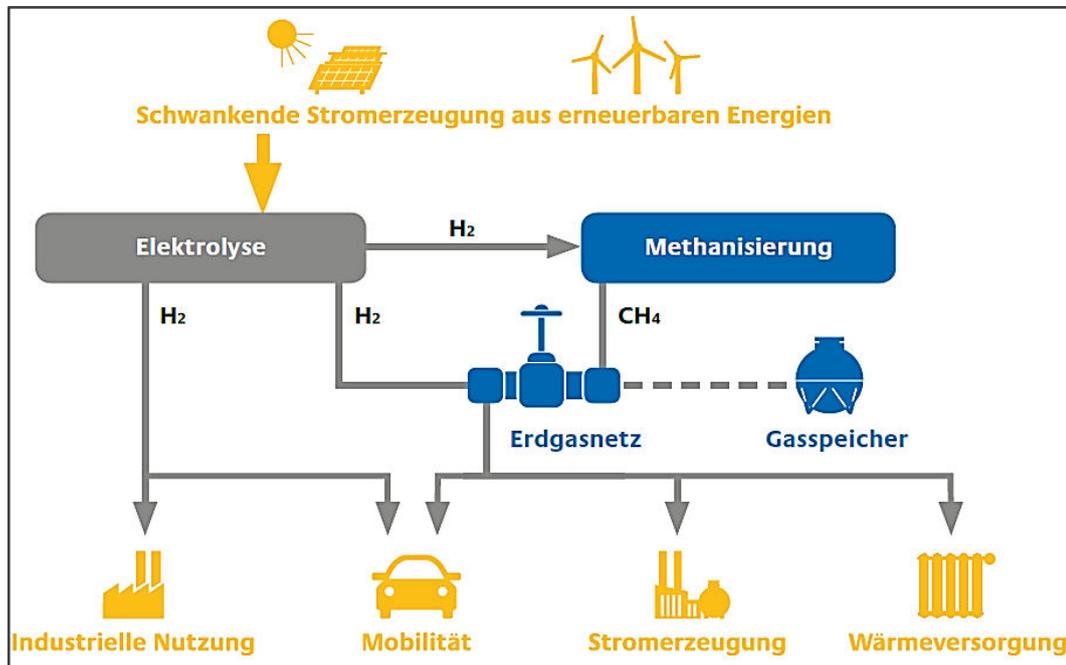


Abb. 2.5: Schemata der Power-to-Gas-Technologie [2.11, S. 5]

Die aktuellen technischen Herausforderungen beim Power-to-Gas-Konzept liegen bei der Wasserelektrolyse in der (aufgrund der Schwankungen in der Stromerzeugung) benötigten Anlagendynamik und somit in:

- der Stabilisierung des spezifischen Energieverbrauchs und
- der konsequenten Verlängerung von Wartungsintervallen.

Bei der Methanisierung besteht die Problematik im niedrigen Nutzungsgrad von ca. 80 % (Mitnutzung der Abwärme inklusive), bedingt durch die chemische Reaktion:



Für eine geeignete Standortwahl müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Verfügbarkeit einer erneuerbaren Stromquelle in unmittelbarer Nähe
- Anschlussmöglichkeit an das öffentliche Gasnetz
- Wasserstoffaufnahmekapazität des Gasnetzes bei direkter Einspeisung
- Kohlenstoffdioxidquelle bei Methanisierung

Außerdem sind Absatzmöglichkeiten für die Nebenprodukte Wärme und Sauerstoff sowie die räumliche Nähe zu Gasspeichern bei unzureichender Aufnahmekapazität durch das Netz von Vorteil [vgl. 2.11, S. 15].

2.3 Ökologische Wärmebereitstellung in der Kommune

Eine 100%-ig ökologische Wärmeenergieversorgung innerhalb einer Kommune kann generell über folgende 2 Arten realisiert werden:

- Nutzung von Biogas durch Anbindung an das öffentliche Gasnetz
- Nutzung von regenerativ erzeugter Wärme durch Anbindung an ein lokales Wärmenetz

Biogas (regenerativ erzeugtes Synthesegas) kann unter den im DVGW-Regelwerk festgelegten technischen Voraussetzungen in ein örtlich vorhandenes, **öffentliches (Erd-)Gasnetz** eingespeist und über dieses zum kommunalen Abnehmer transportiert werden. Die technischen Anforderungen dafür betreffen Stoffwerte, verbrennungstechnische Kenndaten sowie Zustand und Menge des Biogases. Weiterhin sind spezielle technische Einrichtungen für die Herstellung und Weitergabe einer netzkompatiblen Gasbeschaffenheit erforderlich. Der Endkunde kann das Biogas herkömmlich nutzen, zum Beispiel mit Hilfe einer Gas-Therme, um den örtlichen Wärmebedarf zu gewährleisten [vgl. 2.12, S. 63].

Regenerativ erzeugte Wärme kann lediglich über ein lokales Wärmenetz transportiert werden. Somit sind diese eine wichtige Voraussetzung für den Ausbau der EE und der Effizienzsteigerung durch KWK im Wärmemarkt.

Hierbei kommen **Nah- bzw. Fernwärmenetze** zum Einsatz. Rechtlich wird zwischen diesen beiden Arten nicht unterschieden, dennoch gibt es markante Unterscheidungsmerkmale.

So liegen Anlagenleistungen bei der Fernwärme-Nutzung i.d.R. im mehrstelligen Megawatt (kurz: MW)-Bereich. Dabei werden teilweise gesamte Stadtviertel bzw. Städte mit Fernwärme versorgt. In Leipzig (installierte Wärmeleistung: 625 MW) beispielsweise wurde im Jahr 2015 ein Wärmeabsatz von 1.285 GWh über ein Fernwärmenetz mit 478 km Länge generiert [vgl. 2.13]. Typische Nahwärme-Anlagen hingegen besitzen thermische Leistungen im Bereich zwischen 50 Kilowatt (kurz: kW) und wenigen MW und bedienen dabei kleinere, dezentrale Einheiten.

Ein Nahwärmenetz dient der lokalen Wärme-Energieverteilung zu Heizzwecken. Damit wird die Möglichkeit geschaffen, eine dezentrale Energieerzeugung mit einer effizienten Wärmeverteilung zu realisieren. Gerade im Zuge der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energiequellen spielt der Auf- und Ausbau von Nahwärmenetzen eine zentrale Rolle.

Da bei der Nahwärmenutzung relativ niedrige Temperaturen (üblicherweise: 80 - 90° C) übertragen werden, wird häufig bereitgestellte Wärme aus BHKWs, Hackschnitzel-Anlagen sowie aus Anlagen der oberflächennahen, mitteltiefen oder tiefen Geothermie verwertet. Zudem lassen sich auch Langzeit-Wärmespeicher wie Erdwärmespeicher in Nahwärmenetze integrieren [vgl. 2.14].

Die **Heizungssanierung** bzw. der **Austausch der Heizungsanlage** nimmt ebenso wie die Durchführung **baulicher Sanierungsmaßnahmen an der thermischen Gebäudehülle**, wie:

- Außenwanddämmung,
- Austausch der Fenster einschließlich Verglasung,
- Dämmung des Daches / der obersten Geschossdecke,
- Dämmung der Kellerdecke sowie
- ggf. Dämmung der Keller-Außenwände (Perimeterdämmung)

eine wichtige Rolle bei der energetischen Gebäudeoptimierung ein [vgl. 2.16, S. 2ff.].

Bei einzelnen Sanierungsmaßnahmen ist zu beachten, dass diese unter gewissen Voraussetzungen auch die Anforderungen der aktuellen EnEV erfüllen müssen. So dürfen zum Beispiel bei der energetischen Veränderung der Gebäudehülle die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der betroffenen Flächen die für solche Außenbauteile in der EnEV 2014 festgelegten Höchstwerte nicht überschreiten [vgl. 2.17, S. 2].

Bei umfassendem Sanierungsbedarf ist es empfehlenswert, als ersten Schritt die Verringerung der Wärmeverluste durch die Gebäudehülle (z.B. durch eine Außenwanddämmung) in Betracht zu ziehen. Da so der Heizungsbedarf verringert werden kann, reduziert sich auch der zukünftige Wärmebedarf. Als zweiten Schritt kann ein neues Heizungssystem in das Gebäude integriert werden, welches für den reduzierten Wärmebedarf ausgelegt ist und diesen somit möglichst effizient decken kann.

Bei Dämmmaßnahmen rechnet es sich in der Praxis wirtschaftlich häufig, wenn die Mindestanforderungen der aktuellen EnEV um etwa 30 % unterschritten werden. Das bedeutet, dass die U-Werte der einzelnen Außenbauteile beispielsweise jeweils ein Drittel geringer sind als die energiesparrechtlichen Vorgaben [vgl. 2.17, S. 38].

Zudem wurde im Zuge der EnEV 2014 die Pflicht zum Austausch alter Heizkessel erweitert. So müssen Konstanttemperatur-Heizkessel ab einem Anlagenalter von 30 Jahren i.d.R. mit einem neuen EnEV-konformen Gerät ersetzt werden [vgl. 2.18].

Aus energetischer Sicht empfiehlt sich ein Wechsel des Wärmeerzeugers jedoch häufig schon ab einem Alter von 15-20 Jahren. So liegen die Ursachen für Energieverschwendung beim Betrieb älterer Bestandsanlagen häufig an folgenden Ursachen [vgl. 2.19, S. 28]:

- Hohe Verluste des Anlagensystems bei Wärmeerzeugung, -verteilung und -übergabe
- Unzureichende Anpassung von Regelungsparametern an Witterung, bauliche Strukturen und Nutzungsbedingungen
- Nicht bedarfsgerechte Dimensionierung der Anlage

2.5 Vorstellung innovativer Praxisbeispiele zur regenerativen Energieversorgung

2.5.1 Energiespargemeinden (eea)

Der European Energy Award (kurz: eea) ist ein Programm für umsetzungsorientierten Klimaschutz und Energieeffizienzpolitik in Kommunen. Europaweit nehmen bereits mehr als 1.340 Kommunen aus 11 Ländern am eea teil. Deutschlandweit sind derzeit 276 Städte und Gemeinden sowie 45 Landkreise vertreten und sorgen für mehr Klimaschutz und Energieeffizienz. Im Freistaat Sachsen nutzen aktuell etwa 40 Kommunen und 4 Landkreise dieses erfolgreiche Instrument oder planen dessen Einführung [vgl. 2.20, S. 4]

2.5.1.1 Benndorf

Die Gemeinde **Benndorf** (ca. 2.200 EW) befindet sich im Landkreis Mansfeld-Südharz und ist seit 2010 mit sieben weiteren Mitgliedsgemeinden Teil der Verbandsgemeinde Mansfelder Grund-Helbra. (15.537 EW). Als eine von 4 Modellregionen in Sachsen-Anhalt und unterstützt durch die LENA (Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt) wurde das Modellprojekt Energieallianz Mansfeld-Südharz initiiert. Die Verbandsgemeinde arbeitet aktuell an einem eigenen Klimaschutzkonzept. Die Gemeinde Benndorf fungiert darin als Kerngebiet und ist seit Januar 2014 eea-Teilnehmer.

Ziel von Benndorf ist es, die CO₂-Emissionen der Gemeinde bis zum Jahr 2020 um 45 % gegenüber den Werten aus dem Jahr 1990 zu reduzieren. Zudem soll die Kraft-Wärme-Kopplung auf einen Anteil von 100 % am Stromverbrauch ausgebaut und der regenerative Anteil an Strom auf 100 % und an Wärme auf 50 % erhöht werden.

Das 1995 errichtete Nahwärmenetz versorgt eine Wohnsiedlung mit ca. 650 Wohnungen mit der Abwärme einer Biogasanlage. Diese stellt 4.000 MWh Warmwasser und Heizenergie pro Jahr bereit. Die bisher noch zu Spitzenlastzeiten eingesetzte Ölheizung soll künftig durch ein BHKW ersetzt werden.

In den Jahren 2007 bis 2012 wurden zudem auf insgesamt 6.150 m² Dachfläche 3 Photovoltaik (kurz: PV)-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 873 kWp installiert. Etwa ein Drittel davon wird direkt vor Ort verbraucht und die überschüssige Menge ins Netz eingespeist. Die dabei erzielten Gewinne werden für die weitere energetische Aufwertung der Wohnsiedlung eingesetzt [vgl. 2.21].

Im Juli 2016 von der Agentur für Erneuerbare Energien als Energie-Kommune des Monats ausgezeichnet, will die Gemeinde noch im Herbst 2016 ein integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept mit Vorschlägen zu zukünftigen Maßnahmen für die lokale Energiewende veröffentlichen [vgl. 2.22].

2.5.1.2 Colditz / OT Zschadraß

Die ehemalige Gemeinde Zschadraß, heute Ortsteil der Stadt Colditz (8.897 EW), im Landkreis Leipzig / Sachsen war im Jahr 2007 eine der ersten eea-ausgezeichneten Energiespargemeinden. Bereits 1999 begann die Gemeinde mit „Energieeffizienz Zschadraß“ ein Konzept für Nachhaltigkeit in den nächsten fünfzig Jahren zu entwickeln. Dieses sah vor, bis zum Jahr 2050 den gesamten Energiebedarf für alle öffentlichen und privaten Gebäude aus regenerativen Quellen zu gewinnen.

Neben verschiedenen Maßnahmen zur elektrischen Energieeinsparung wurde zuerst die Heizung der örtlichen Schule mit einer Kapazität von 300 kW thermisch (kurz: kW_{th}) auf die Verbrennung von Holzhackschnitzeln umgerüstet. Ergänzend dazu wurde das Sportzentrum mit einer Solarthermie-Anlage (inkl. Schichtenspeicher) ausgestattet. So werden über ein Nahwärmeversorgungsnetz aktuell eine Kindertagesstätte, die Gemeindeverwaltung sowie das Sportzentrum in unmittelbarer Nähe zusätzlich zur Schule versorgt (siehe *Abb. 2.7*).



Abb. 2.7: Nahwärmenetz im Ortsteil Zschadraß [2.23, S. 3]

Auch das Fachkrankenhaus für Psychiatrie und Psychotherapie sowie Neurologie (140 Betten und 60 Tagesklinikplätze) wurde inzwischen auf eine CO₂-neutrale Holzhackschnitzel-Anlage umgerüstet und ein Nahwärmenetz für die zentrale Versorgung (Kapazität: 1.000 kW) errichtet. Bedarfsspitzen hingegen werden mit der zusätzlichen Verbrennung von Erdgas abgedeckt.

Im Ortsteil Raschütz wurde im Jahr 2009 zudem ein weiterer Holzhackschnitzelofen (Miscanthusofen; Kapazität: 50 kW_{th}) für die Beheizung der Betriebsräume, des Gebäudes der Freiwilligen Feuerwehr sowie einer kleinen Verkaufseinrichtung installiert. Gegenwärtig steht die Errichtung der ersten Biogasanlage in der Gemeinde zur Debatte, um die Abwärme für den in Gemeindebesitz befindlichen Schlosskomplex nutzen zu können. Alternativ soll auch dort auf eine Holzhackschnitzelheizung umgerüstet werden [vgl. 2.20, S. 16f.].

2.5.2 Bioenergiedörfer

Bioenergiedörfer verfolgen das Ziel, den überwiegenden Anteil der Wärme- und Stromversorgung auf die Basis des erneuerbaren Energieträgers Biomasse umzustellen [vgl. 2.24]. So wird die Unabhängigkeit sowohl von fossilen Energieträgern als auch von der externen Energieversorgung angestrebt. In folgender Grafik (Abb. 2.8) wird die Verteilung von einzelnen (grün), mehreren (gelb) bzw. sich in der Anfangsphase befindenden (blau) 180 Bioenergiedörfern in Deutschland dargestellt.

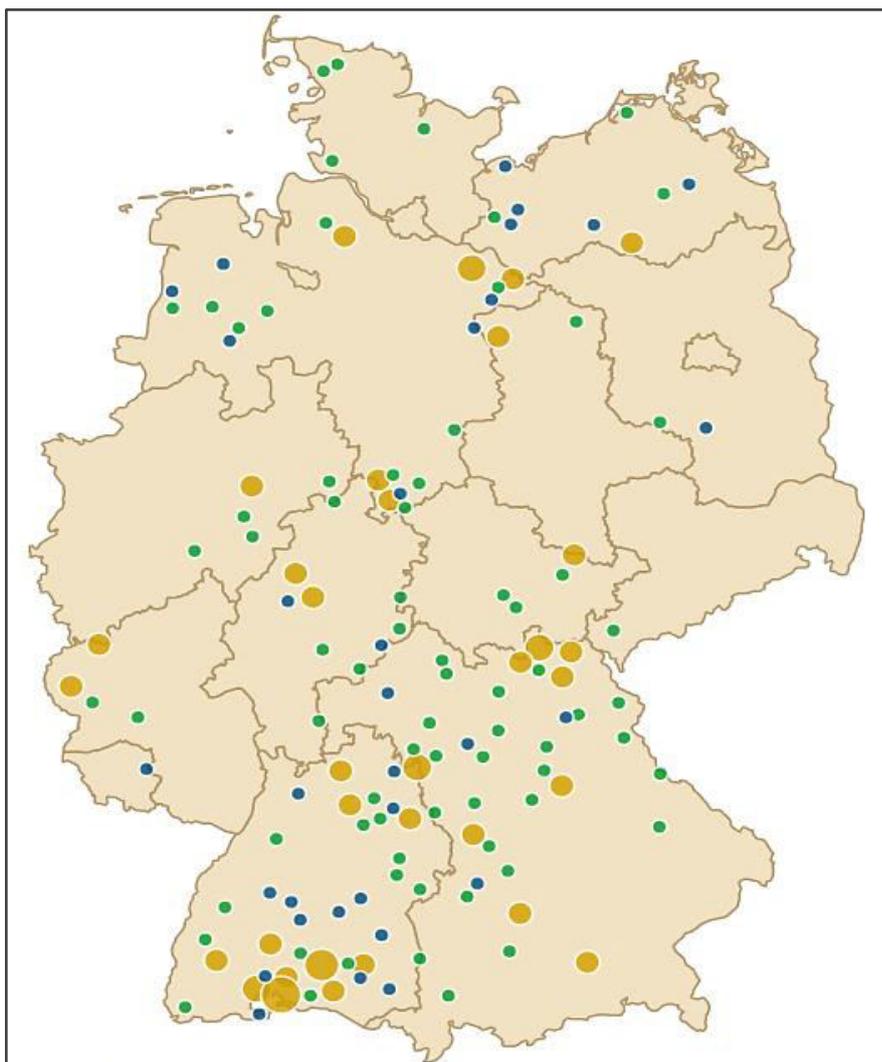


Abb. 2.8: Übersichtskarte der Bioenergiedörfer in der BRD [2.24]

2.5.2.1 Jühnde

Das Bioenergiedorf Jühnde mit 750 Einwohnern (kurz: EW) im Landkreis Göttingen / Niedersachsen gilt als Vorreiter in der dezentralen Energieversorgung mit Bürgerbeteiligung. Das Ziel der eigenständigen Strom- und Wärmeversorgung auf der Basis von Biomasse wird hier bereits seit 2005 realisiert.

Dafür wurden eine Biogasanlage mit einer BHKW-Leistung von 716 kW elektrisch (kurz: kW_{el}), ein Holzhackschnitzelheizwerk mit 550 kW_{th}, ein Spitzenlastkessel mit 1.700 kW_{th} sowie ein Nahwärmenetz errichtet. Mittels nachwachsenden Rohstoffen (kurz: NaWaRo), Gülle und Holzhackschnitzel betrieben, werden aktuell alle öffentlichen Gebäude sowie 140 private Haushalte mit Wärmeenergie über das Nahwärmenetz versorgt. Die Umsetzung erfolgte mit der Bildung einer eingetragenen Genossenschaft [vgl. 2.25].

2.5.2.2 Theuma

Die Gemeinde Theuma (1.078 EW) im Vogtlandkreis ist bisher das einzige Bioenergiedorf im Bundesland Sachsen. Seit 2006 wurden bereits 3 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von 1.820 kW_{el} (Ertrag: 8.800 MWh/a) und mehrere PV-Anlagen (Ertrag: ca. 90 MWh/a) errichtet. Die BHKWs werden mittels Gülle und Mist sowie Maissilage, Ganzpflanzensilage, Grassilage und Getreide betrieben und beliefern zurzeit 2 Kleinbetriebe sowie etwa 80 private Haushalte mit Wärmeenergie [vgl. 2.26].

2.5.3 Gegenüberstellung der Praxisbeispiele

Die nachfolgende *Tabelle 2.1* dient als Übersicht zu den wesentlichen Eckdaten der im Vorlauf beschriebenen 4 Praxisbeispiele.

Tabelle 2.1: Gegenüberstellung der Praxisbeispiele

	Benndorf [vgl. 2.21]	OT Zschadraß [vgl. 2.23, S. 2ff.]	Jühnde [vgl. 2.25]	Theuma [vgl. 2.26]
Einwohner	2.200	8.897	750	1.078
Startjahr	1995	1999	2005	2006
Wärmeerzeugungsanlage/n (Grund-/Mittellast)	Biogas → 4.000 MWh/a _{th}	3 Holzhackschnitzel (300 kW _{th} ; 1.200 kW _{th} ; 50 kW _{th}) 1 Solarthermie	Biogas (716 kW _{el}) + Holzhackschnitzel (550 kW _{th}) → 4.500 MWh/a _{th}	3 x Biogas (Σ 1.820 kW _{el}) → 9.000 MWh/a _{el} & 3.000 MWh/a _{th}
Spitzenlast	aktuell: Öl-Kessel zukünftig: BHKW	Erdgas-Kessel (1.900 kW)	Öl-Kessel (1,7 MW) 2 x 50 m ³ Speicher	
Regenerative/ Energieträger	Biomasse	Holzhackschnitzel Solarstrahlung	Gülle, NaWaRo, Holzhackschnitzel	Mais-, Gras-, Ganzpflanzensilage Gülle, Mist
Nahwärmenetz	seit 1995	seit 2004	seit 2005 (5.500 m Leitung)	seit 2008
Versorgungsgebiet	650 private Haushalte	Schule, Kita, Gemeindeverwalt., Sportzentrum, Diakonie Kliniken	öffentl. Gebäude + 140 priv. Haushalte	2 Kleinbetriebe + 80 priv. Haushalte
Betreiber	Wohnungsgesellschaft & Gemeinde	Verein & Stiftung	Bioenergiedorf Jühnde eG	Agrargenossenschaft & Gemeinde

3 UNTERSUCHUNGSRAHMEN & METHODIK ZUR ENTWICKLUNG EINES ENERGIE-STUFEN-KONZEPTES AM PRAXISBEISPIEL

3.1 Untersuchungsrahmen Beispielgemeinde Borsdorf

Die **Gemeinde Borsdorf** liegt am östlichen Stadtrand von Leipzig und zählt mit seinen Ortsteilen (kurz: OT) Borsdorf, Cunnersdorf, Panitzsch und Zweenfurth zu dessen Landkreis. Die ca. 8200 Einwohner verteilen sich in etwa wie folgt auf die Ortsteile [vgl. 3.1, S. 5]:

- Borsdorf: 3811 EW
- Cunnersdorf: 72 EW
- Panitzsch: 3272 EW
- Zweenfurth: 1077 EW

Im Leipziger Muldenland gelegen, ist Borsdorf u.a. Teil der seit 2011 identifizierten 100%-Erneuerbare-Energie- (kurz: 100ee-) Starterregion. Das ursprünglich vom Institut dezentrale Energietechnologien mit Sitz in Kassel initiierte Projekt 100ee-Regionen wird seit 2008 von der Universität Kassel weiter betreut sowie vom Umweltbundesamt fachlich beraten. Ziel dieses Projektes ist es, ein Netzwerk aufzubauen, welches Regionen, Kommunen und Städte identifiziert, begleitet und vernetzt, die ihre Energieversorgung auf lange Sicht vollständig auf Erneuerbare Energien umstellen wollen [vgl. 3.2].

Im Jahr 2012 wurde in der Gemeinde Borsdorf die ortsansässige Genossenschaft „**Bürger Energie Borsdorf**“ (kurz: BEB) ins Leben gerufen. Diese hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Gemeinde Borsdorf mit ihren Ortsteilen energetisch zukunftsfähig aufzustellen. Eine notwendige Bedingung dafür ist laut BEB, dass sich zahlreiche Borsdorfer an der Energiegenossenschaft beteiligen. Diesbezüglich werden folgende Gründe genannt [vgl. 3.3]:

1. Energieversorgung ist Daseinsvorsorge und gehört in die Hände der Borsdorfer
2. Ziel ist eine 100%-ige ökologische Energieversorgung der Gemeinde bis 2020

Vor diesem Hintergrund soll ein **5-Jahres-Energie-Stufen-Konzept** für die Gemeinde Borsdorf und seine Ortsteile mit der tendenziellen Zielstellung einer energieautarken Selbstversorgung der Gemeinde erstellt werden. Der Anspruch der vorliegenden Arbeit ist es, den **wärmespezifischen Teil** unter den Prämissen Energieeinsparung, Energieeffizienz, Erneuerbare Energien und Schadstoffreduktion zu entwickeln.

Der **stromspezifische Teil** des Gesamt-Konzeptes wird von Meyer [vgl. 3.4 / 3.5] bearbeitet.

3.2 Angewandte Methodik

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird zunächst der aktuelle wärmeenergetische Ist-Zustand von ausgewählten Gebäuden der Gemeinde Borsdorf dargestellt und anschließend bewertet. Basis dafür sind die erfassten flächenspezifischen Endenergieverbräuche zur Wärmeversorgung der jeweiligen Gebäude aus den Jahren 2013 bis 2015.

In einem zweiten Schritt wird das Einsparungspotential hinsichtlich wärmespezifischer Endenergie bei den ausgewählten Objekten aufgezeigt. Dabei im Fokus stehen die Gebäudehülle sowie die bereits bestehende Anlagentechnik.

Der daraufhin theoretisch hergeleitete Wärmebedarf nach Durchführung der potentiellen Energieeinsparungsmaßnahmen bildet die Grundlage für die Erstellung eines 5-Jahres-Energie-Stufen-Konzeptes für die Gemeinde Borsdorf. Ziel dabei ist die nachhaltige kommunale Wärmeenergieversorgung von öffentlich zugänglichen sowie größeren privat geführten Gebäuden der Gemeinde. Die erarbeiteten Konzepte werden abschließend einer Wirtschaftlichkeitsabschätzung zur Anlagenmodellplanung nach VDI-Richtlinie 2067 unterzogen.

In methodischer Hinsicht wurde das **Energiemanagement im Prozessmodell** mit folgenden Stufen verwendet [vgl. 3.6, S. 7]:

A) Initiierung und Vorbereitung der Studie

1. Kommunikation mit den zentralen Projektbeteiligten¹
2. Auswahl prioritärer Gebäude / Objekte
3. Vorbereitung und Durchführung von Begehungen

B) Erfassung und Bewertung (gebäudespezifisch)

1. Erfassung des monatlichen wärmespezifischen Endenergieverbrauchs per Gebäudemanagementsystem (Kalenderjahre 2013-2015)
2. Ermittlung des witterungsbereinigten wärmespezifischen Endenergieverbrauchs im Durchschnitt
3. Energetische Einordnung der Gebäude

C) Optimierung (Energiekonzept Gemeinde)

1. Abschätzung des Einsparpotentials an wärmespezifischer Endenergie (Gebäudehülle, Anlagentechnik)
2. Energieeffizienzsteigerung durch neue Anlagenkonzepte
3. Planung eines Modells mittels erneuerbaren Energien
4. Wirtschaftlichkeitsabschätzung zur Anlagenmodellplanung

D) Dokumentation und Präsentation

¹ Hochschulverantwortliche Betreuer / Betrieblicher Betreuer / Projektpartner / Mitglieder Energiegenossenschaft „Bürger Energie Borsdorf“ / Vertreter der „Gemeinde Borsdorf“

4 BESTANDSAUFNAHME GEBÄUDE

4.1 Gebäudespezifische Datenerhebung

In mehrfacher Absprache mit *Planert* [vgl. 4.1] wurden 28 prioritäre Objekte in den Ortsteilen Panitzsch (Objekte P1...P9), Borsdorf (Objekte B1...B15) und Zweenfurth (Objekte Z1...Z3) inklusive dem Abwasserzweckverband (kurz: AZV) Parthe ausgewählt (siehe *Anhang A.1*). Als geographische Übersicht zur räumlichen Verteilung der Objekte im Gemeindegebiet dienen die Flurkarten der einzelnen Ortsteile (siehe *Anhang A.2*).

Die gebäudespezifischen Daten der prioritären Gebäude basieren auf internen Messungen und Erhebungen der Einrichtungsträger (siehe *Anhang A.1*). In Kooperation mit diesen wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit folgende Bestandsdaten erörtert:

- **Objekt:** Bezeichnung
- **Nutzungsart:** Bibliothek, Feuerwehr, Gerätehaus, Kindertagesstätte (kurz: Kita), Schulgebäude, Sporthalle, Vereinshaus, Verwaltung, etc.
- **Baujahr Gebäude:** Jahreszahl
- **Baujahr Heizungsanlage:** Jahreszahl
- **Art des Wärmeenergieerzeugers** (kurz WEE): Öl-/Gas-Therme (Konstanttemperatur- / Niedertemperatur- / Brennwerttechnik), Nachtspeicherofen, Holz-/Hackschnitzel-Anlage, Solar-Anlage (Thermie / PV), Wärmepumpe, BHKW, etc.
- **Energieträger/Heizmedium:** (Heiz-/Bio-)Öl, (Erd-/Bio-/Flüssig-)Gas, Strom, Stückholz, Holzhackschnitzel, Holzpellets, Solarenergie, Erdwärme, Nah-/Fernwärme
- **Gebäudenutzfläche:** A_N [m²]
- **Endenergieverbrauchswerte:** von 2013 – 2015, monatlich aufgeschlüsselt [kWh]
- **ggf. bereits durchgeführte / geplante Sanierungsmaßnahmen:** Zeitpunkt (Jahr) und Art (Gebäudehülle / Anlagentechnik) der Maßnahme

Zusätzlich wurden nach Möglichkeit Ortsbegehungen (Zeitraum: Juli - September) durchgeführt, um eine grobe Einschätzung zu Gebäudehülle und Anlagentechnik vor Ort zu realisieren und ggf. zusätzliche Informationen zu weiteren örtlichen Gegebenheiten zu erhalten.

In der nachfolgenden *Tabelle 4.1* sind die weiteren Ergebnisse der Datenerfassung ersichtlich. Die darin aufgeführten witterungsbereinigten Endenergieverbrauchswerte ergeben sich aus dem Produkt der real erfassten jahresspezifischen Endenergieverbräuche zur Wärmeversorgung mit den entsprechenden Klimafaktoren für die Gemeinde Borsdorf (PLZ: 04451) aus den jeweiligen Aufzeichnungszeiträumen (2013: 0,97 / 2014: 1,13 / 2015: 1,07) [vgl. 4.2].

Tabelle 4.1: Ergebnisse der objektspezifischen Datenerfassung

Objekt-Nr.	Objekt-Bezeichnung	Gebäude- / Anlagen-Bj.	Art des WEE ¹ (Medium)	Ø Endenergie ² [kWh/a]	Nutzfläche ³ [m ²]
P1	Trabrennbahn	1929 / 1998	KT (Heizöl)	53.479	921
P2	Sportlerheim Pan.	1955 / 2010	G (Erdgas)	40.065	300
P3	Grundschule	1993 / 2011	BW (Erdgas)	164.882 ⁵	1.098
P4	Turnhalle Panitzsch	ca. 1980 / - ⁶	-	125.083 ⁵	686
P5	Hort Parthenstrolche	2013 / - ⁶	-	89.074 ⁵	1213
P6	FFW Panitzsch	2001 / 2001	KT (Erdgas)	54.413	526
P7	Kulturzentrum Pan.	vor 1931 / 2006	KT (Heizöl)	47.187	449
P8	Städt. Kita (Neubau)	1984 / 2010	BW (Erdgas) + EWP (Strom)	30.721 + 32.706	1129
P9	Städt. Kita (Altbau)	ca. 1953 / 2003	BW (Erdgas)	61.993	411
B1	FFW Borsdorf	1998 / 2013	KT (Erdgas)	47.175	513
B2	Jugendhaus	ca. 1800 / 1995	KT (Erdgas)	51.472	390
B3	Bauhof	2008 / 2008	KT (Erdgas)	25.264	188
B4	Heimatismuseum	vor 1900 / 1995	KT (Erdgas)	16.449	124
B5	Diakonissenhaus	s. Anhang A.3	s. Anhang A.3	1.358.173	9.170
B6	Bibliothek	1970 / 2002	KT (Erdgas)	23.419	348
B7	Bahnhof	1894 / 2016	BW (Erdgas)	-	ca. 1.000
B8	Gemeindeverwaltung	1929 / 1992	KT (Erdgas)	329.000	1.650
B9	Sportlerheim Borsd.	1967 / 1993	KT (Erdgas)	51.623	437
B10	Kita Apfelkörnchen	1943 / 2010	G (Erdgas)	94.605	516
B11	BTZ Borsdorf	k. A. ⁴ / k. A. ⁴	k. A. ⁴	k. A. ⁴	k. A. ⁴
B12	Zweifeldsporthalle	2017 / 2017	HP (Holzpellets)	-	ca. 1.800
B13	Freies Gymnasium	1906 / 2010	BW (Erdgas)	-	ca. 5183
B14	Kita Apfelkörnchen II	1905 / 2007	G (Erdgas)	86.289	570
B15	Kita Löwenzahn	1935 / 1995	G (Erdgas)	78.990	366
AZV	AZV Parthe	1999 / 2014	2 BHKWs (Erd- & Klärgas)	-839.065 ⁷	-
Z1	Kita Zweenfurth	ca. 1970 / 2007	G (Erdgas)	92.193	550
Z2	Bürgerhaus Zweenf.	vor 1900 / 2001	NS (Strom)	19.487	185
Z3	FFW Zweenfurth	1902 / 2014	BW (Erdgas)	29.588	358

¹ KT...Konstanttemperatur-Kessel / NT...Niedertemperatur-Kessel / BW...Brennwert-Kessel / G...Gas-Kessel (Typ nicht erfasst) / EWP...Erdwärmepumpe / HP...Holzpellet-Kessel / NS... Nachtspeicheröfen

² witterungsbereinigte Verbrauchswerte zur Wärmeversorgung

³ Die angegebene Fläche entspricht dem Teil der Gebäudegrundfläche, der gemäß der jeweiligen Zweckbestimmung genutzt wird

⁴ keine Angabe aufgrund fehlender Datenbereitstellung (durch Nutzer der Einrichtung) möglich

⁵ Abgeschätzter Anteil am Gesamtverbrauch (379.039 kWh/a) unter Beachtung der Gebäudebaujahre

⁶ Gebäude P4 und P5 werden über Heizungsanlage von P3 mit Wärme versorgt

⁷ Abgeführte Wärmemenge über Notkühler des AZV Parthe (witterungsbereinigt)

4.2 Übersicht zum wärmespezifischen Endenergieverbrauch im Bestand

In den Jahren 2013 bis 2015 ergibt sich im Mittel ein witterungsbereinigter Endenergieverbrauch für die Wärmebereitstellung von etwa 3.003 MWh pro Kalenderjahr für die erfassten Gebäude² in der Gemeinde Borsdorf. Mit dem Anteil von 2.162 MWh/a (\cong 72,0 %) liegt der OT Borsdorf deutlich vor den Ortsteilen Panitzsch mit 700 MWh/a (\cong 23,3 %) und Zweenfurth mit 141 MWh/a (\cong 4,7 %).

Die Abb. 4.1 dient als Übersicht zu den gemittelten monatspezifischen Endenergieverbräuchen zur Wärmeversorgung in den einzelnen Ortsteilen der Gemeinde.

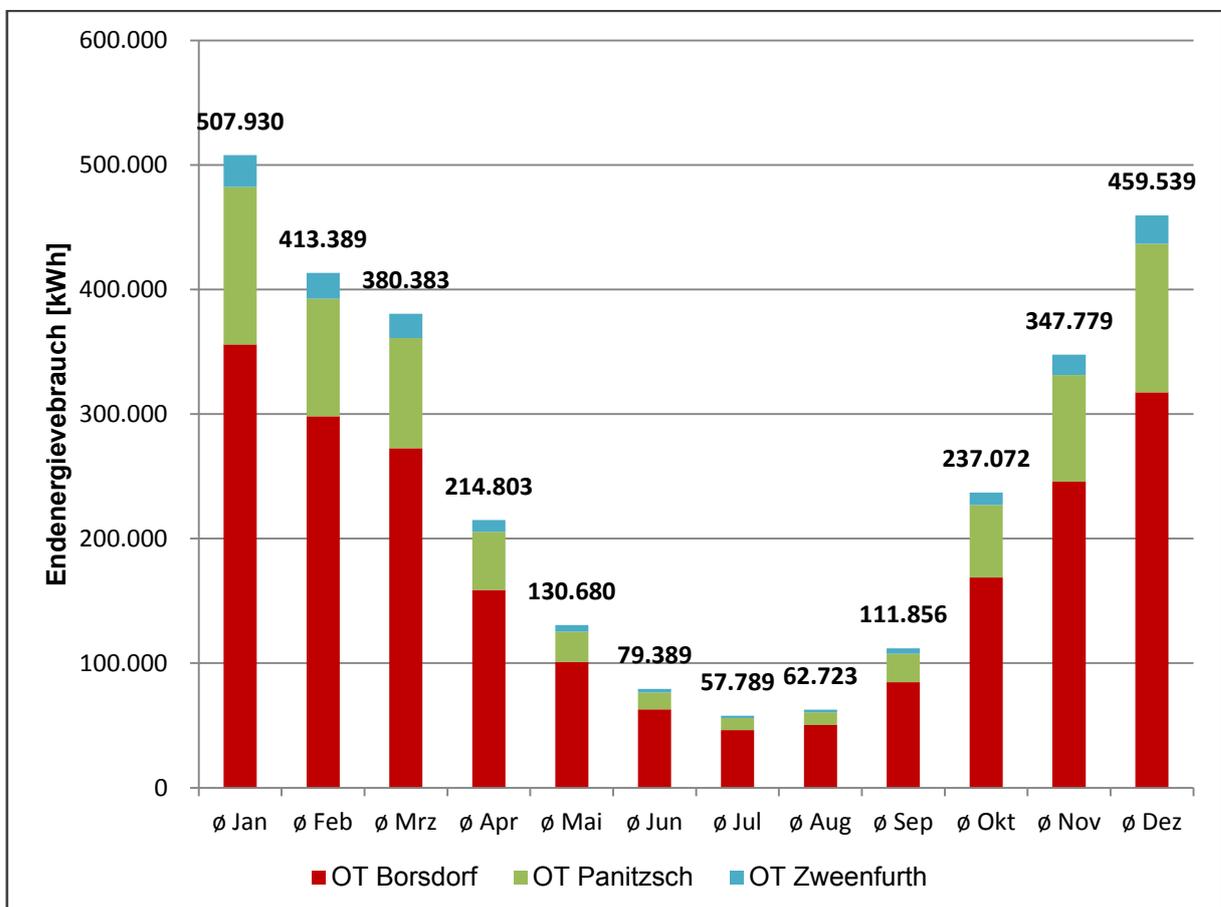


Abb. 4.1: Monatsspezifischer Endenergieverbrauch zur Wärmeversorgung im Bestand² [eig. Darst.]

² Nicht mit aufgeführte Objekte: B7, B11, B12, B13 (keine Daten vorhanden)

4.3 Energetische Einordnung der Gebäude

Die Endenergie ist der Anteil an Primärenergie, der beim Energienutzer beispielsweise in Form von Brennstoffen, Kraftstoffen oder elektrischer Energie am Hausanschluss vorliegt. Der Quotient aus dem gebäudespezifischen Endenergieverbrauch pro Jahr und der Gebäudenutzfläche ergibt den Endenergieverbrauchskennwert eines Objekts. Auf dessen Basis und anhand folgender Kategorien sollen die Gebäude im weiteren Verlauf dieser Studie energetisch eingeordnet werden:

- Energieeffizienzklassen nach EnEV 2016
- Benchmarks für die Energieeffizienz von Nicht-Wohngebäuden nach Nutzungsart
- Energetische Kategorisierung der Gebäude in Handlungsbedarfsklassen

Die Energieeffizienzklassen nach EnEV 2016 ergeben sich gemäß der nachfolgenden *Tabelle 4.2* unmittelbar aus dem Endenergieverbrauchskennwert.

Tabelle 4.2: Einteilung in Energieeffizienzklassen nach EnEV 2016 [vgl. 4.3]

Energieeffizienzklasse (nach EnEV)	A+	A	B	C	D	E	F	G	H
Endenergieverbrauchskennwert [kWh/(m ² ·a)]	< 30	< 50	< 75	< 100	< 130	< 160	< 200	< 250	> 250

Da diese für Wohngebäude ausgelegt sind, dient die anschließende Einordnung der betrachteten Gebäude lediglich einer ersten Grobanalyse.

Die im Jahr 2009 vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Herausgeber) publizierten „Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden“ legen einen Referenzwert für den Endenergieverbrauchskennwert eines Gebäudes, abhängig von dessen Nutzungsart, fest. Auf Grundlage des bereits vorher bestehenden Bauwerkzuordnungskatalogs wurde die Zielstellung eines praxisorientierten Bewertungsansatzes, bei dem die Vorteile von bedarfs- und verbrauchsorientierter Bewertung zusammengeführt werden, verfolgt. [vgl. 4.4, S. 3].

Die in der nachfolgenden *Tabelle 4.3* dargestellten Referenzwerte für den Wärmeverbrauch nach Nutzungsart wurden dem Teil „Referenzwerte für die Energieeffizienz von Nicht-Wohngebäuden“ [vgl. 4.4, S. 52ff.] dieser Publikation entnommen.

Tabelle 4.3: Energetische Einordnung der Gebäude nach Kennwerten

Objekt-Nr.	Objekt-Bezeichnung	Endenergieverbrauchs-kennwert [kWh/(m ² ·a)]	Energieeffizienz-klasse	Referenzwert nach Nutzungsart	Abweichung vom Referenzwert
P1	Trabrennbahn	58,1	B	115	- 49,5 %
P2	Sportlerheim Pan.	133,6	E	160 ¹	- 16,5 %
P3	Grundschule	150,2	E	140	+7,3 %
P4	Turnhalle Panitzsch	179,5	F	170	+7,3 %
P5	Hort Parthenstrolche	73,4	B	160	- 54,1 %
P6	FFW Panitzsch	103,4	D	155	- 33,3 %
P7	Kulturzentrum Pan.	105,1	D	150	- 29,9 %
P8	Städt. Kita (Neubau)	56,2	B	160	- 64,9 %
P9	Städt. Kita (Altbau)	150,8	E	160	- 5,7 %
B1	FFW Borsdorf	92,0	C	155	- 40,7 %
B2	Jugendhaus	132,0	E	150	- 12,0 %
B3	Bauhof	134,4	E	150	- 10,4 %
B4	Heimatismuseum	132,7	E	150	- 11,6 %
B5	Diakonissenhaus	148,1	E	150	- 1,3 %
B6	Bibliothek	67,3	B	110	- 38,8 %
B7	Bahnhof	-	-	170	-
B8	Gemeindeverwaltung	199,4	F	150	+ 32,9 %
B9	Sportlerheim Borsd.	118,1	D	115	+ 2,7 %
B10	Kita Apfelkörnchen	183,3	F	160	+ 14,6 %
B11	BTZ Borsdorf	k. A. ²	k. A. ²	125	k. A. ²
B12	Zweifeldsporthalle	-	-	170	-
B13	Freies Gymnasium	-	-	140	-
B14	Kita Apfelkörnchen II	151,4	E	160	- 5,4 %
B15	Kita Löwenzahn	215,8	G	160	+ 34,9 %
Z1	Kita Zweenfurth	167,6	F	160	+ 4,8 %
Z2	Bürgerhaus Zweenf.	105,3	D	150	- 29,8 %
Z3	FFW Zweenfurth	82,6	C	155	- 46,7 %

¹ Annahme: 80 % Nutzung als Vereinshaus / 20 % Nutzung als Gaststätte

² keine Angabe aufgrund fehlender Datenbereitstellung (durch Nutzer der Einrichtung) möglich

Um die Endenergieverbrauchs-kennwerte abhängig von Nutzungsart und Baualter sinnvoll einordnen zu können, dient die folgende Darstellung (Abb. 4.2) als Grundlage. Diese ermöglicht u.a. die energetische Kategorisierung der Gebäude in Handlungsbedarfsklassen.

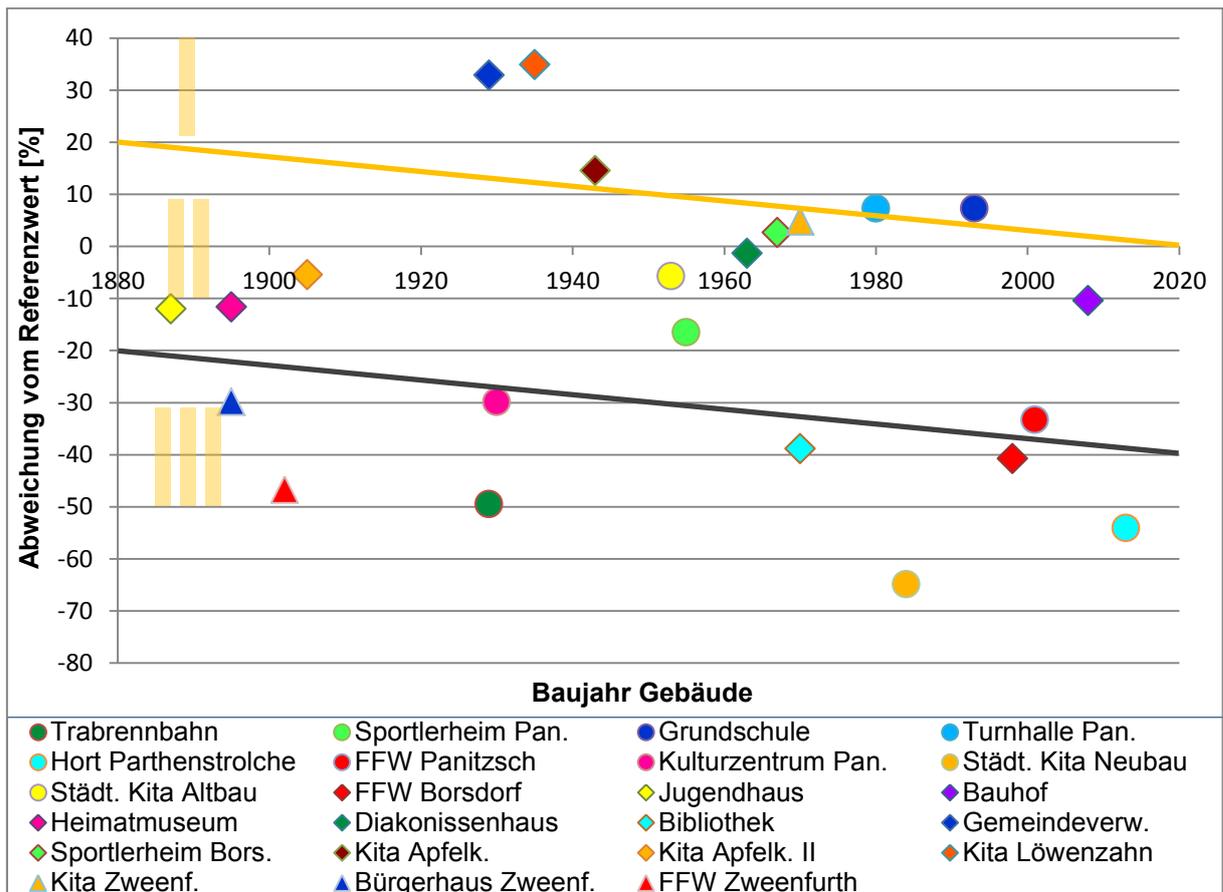


Abb. 4.2: Kategorisierung in Handlungsbedarfsklassen (I-III) zur energetischen Sanierung [eig. Darst.]

Erläuterungen zur Abb. 4.2:

1. Bedeutung der Handlungsbedarfsklassen:

- I: hoher Handlungsbedarf
- II: mittlerer Handlungsbedarf
- III: geringer Handlungsbedarf

2. Erörterung zu den Grenzlinien der Handlungsbedarfsklassen:

- Der lineare, mit zunehmendem Baujahr abfallende Verlauf der Grenzlinien ist angelehnt an die historische Entwicklung von Durchschnittswerten für Endenergieverbräuche in Deutschland.
- Die untere Grenzlinie stellt gleichzeitig das baujahresabhängige Ziel der Referenzwertabweichung dar, welches bei der Berechnung des Einsparpotentials gem. Abb. 4.2 (siehe Kapitel 5.1) zugrunde gelegt wird.

Sowohl auf Basis der energetischen Einordnung der einzelnen Gebäude gemäß Abb. 4.2 als auch anhand gewonnener Erkenntnisse bei durchgeführten Ortsbegehungen sollen in Kapitel 5.1 Einsparpotentiale abgeschätzt und gebäudespezifische Handlungsempfehlungen zur Energieeinsparung ausgesprochen werden.

5 EINSARPOTENTIAL AN ENDENERGIE ZUR WÄRMEVERSORGUNG IM BESTAND

5.1 Gebäudespezifische Einsparpotentiale gemäß Kategorisierung in Handlungsbedarfsklassen zur energetischen Gesamtanierung

5.1.1 Objekte mit hohem Handlungsbedarf

P3 – Grundschule / P4 – Turnhalle Panitzsch (Sommerfelder Str. 6 / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.1: Grundschule / Turnhalle Panitzsch ³

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahmen:

- 2003: Sanierung der Turnhalle
- Zukünftig: Erneuerung der Dacheindeckung inkl. Fenster in der Grundschul-Aula geplant

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

- Grundschule: ca. 40,3 % \cong 66.447 kWh/a
- Turnhalle: ca. 37,5 % \cong 46.906 kWh/a



Abb. 5.2: Dacheindeckung in der Schulaula ⁴

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

- Beschlagene Dacheindeckung in Aula der Grundschule (siehe Abb. 5.2)
- Feuchtigkeit und nicht fachgemäß verbaute Fenster im Kellerbereich der Grundschule (siehe Abb. 5.3)
- Manuelle Ansteuerung der Wandheizkörper in der Grundschule
- Heizungsrohre der Turnhalle teilweise unisoliert



Abb. 5.3: Fenstereinfassung im Schulkeller ⁴

Handlungsempfehlungen:

- Siehe geplante Maßnahme
- Bodenplattenisolierung und ggf. Perimeterdämmung (Gymnasium)
- Einführung von Sensortechnik \rightarrow zentral geregelte Heizungssteuerung
- Vollständige Isolation der Heizungsrohre (Turnhalle)

³ Quelle: Google Earth [07.09.2016]

⁴ Quelle: eigene Darstellung

B8 – Gemeindeverwaltung (Rathausstr. 1 / Gemeinde Borsdorf)**Abb. 5.4: Gemeindeverwaltung**⁵Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

- 2017: Erneuerung Brennwert-Gastherme

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:Ca. 45,1 % \cong 148.379 kWh/aFestgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine offensichtlichen Mängel festgestellt

Handlungsempfehlung: Siehe geplante Maßnahme bzw. Einbindung in energetisches Gesamtkonzept (siehe *Kapitel 6.2*) und Erörterung des auffällig hohen spezifischen Energieverbrauchs

B10 – Kita Apfelkörnchen (Heinrich-Kretschmann-Str. 35 / Volkssolidarität Leipziger Land)**Abb. 5.5: Kita Apfelkörnchen**⁶Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

-

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:Ca. 38,0 % \cong 35.950 kWh/aFestgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine Ortsbegehung durchgeführt

Handlungsempfehlung: Überprüfung auf energetische Schwachstellen (therm. Gebäudehülle)

B15 – Kita Villa Löwenzahn (Heinrich-Heine-Str. 40 / ASG Sachsen mbH)**Abb. 5.6: Kita Löwenzahn**⁷Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

- 2016: neue Gastherme vorgesehen

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:Ca. 46,3 % \cong 36.572 kWh/aFestgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine Ortsbegehung durchgeführt

Handlungsempfehlung: Siehe geplante Maßnahme, Überprüfung auf energetische Schwachstellen (therm. Gebäudehülle) und ggf. zukünftige Einbindung in energetisches Gesamtkonzept (siehe *Kapitel 6.2*)

⁵ Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gemeindeverwaltung_Borsdorf_Rathaus.jpg [07.09.2016]⁶ Quelle: http://www.borsdorf.eu/images/kita_apfelkoerbchen.jpg [07.09.2016]⁷ Quelle: http://www.borsdorf.eu/images/kita_loewenzahn.jpg [07.09.2016]

5.1.2 Objekte mit mittlerem Handlungsbedarf

P2 – Sportlerheim Panitzsch (Sommerfelder Str. 6 / SV Panitzsch/Borsdorf 1920 e.V.)



Abb. 5.7: Sportlerheim Panitzsch ⁸

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

–

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

Ca. 16,8 % \cong 6.731 kWh/a

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine Ortsbegehung durchgeführt

Handlungsempfehlung: Überprüfung auf energetische Schwachstellen (therm. Gebäudehülle)

P6 – FFW Panitzsch (Teichstr. 1a / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.8: FFW Panitzsch ⁹

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

–

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

Ca. 5,6 % \cong 3.047 kWh/a

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine offensichtlichen Mängel festgestellt

Handlungsempfehlung: Erneuerung der Heizungsanlage (Aktuell: Bj. 2001) bis 2021

P9 – Städt. Kita (Altbau) (Am Rain 5a / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.9: Städt. Kita (Altbau) ¹⁰

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

–

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

Ca. 26,3 % \cong 16.304 kWh/a

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine offensichtlichen Mängel festgestellt

Handlungsempfehlung: Überprüfung auf energetische Schwachstellen (therm. Gebäudehülle)

⁸ Quelle: <http://www.leipziger-fussball.de/stadion/panitz15.JPG> [07.09.2016]

⁹ Quelle: Google Maps [07.09.2016]

¹⁰ Quelle: eigene Darstellung

B2 – Jugendhaus (Leipziger Str. 6 / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.10: Jugendhaus¹¹

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahmen:

–

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

Ca. 9,1 % \cong 4.684 kWh/a

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine offensichtlichen Mängel festgestellt

Handlungsempfehlung: Erneuerung der Heizungsanlage (Bj. 1995)

B3 – Bauhof (Leipziger Str. 3 / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.11: Bauhof¹²

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahmen:

–

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

Ca. 30,8 % \cong 7.781 kWh/a

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine offensichtlichen Mängel festgestellt

Handlungsempfehlung: Erörterung des auffällig hohen spezifischen Energieverbrauchs

B4 – Heimatmuseum (Leipziger Str. 5 / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.12: Heimatmuseum¹³

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

- 1995: Generalsanierung inkl. Dachstuhl

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

Ca. 11,8 % \cong 1.941 kWh/a

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine offensichtlichen Mängel festgestellt

Handlungsempfehlung: Erneuerung der Heizungsanlage (Bj. 1995)

¹¹ Quelle: eigene Darstellung

¹² Quelle: eigene Darstellung

¹³ Quelle: <http://www.borsdorf.eu/images/Heimatmuseum1.jpg> [07.09.2016]

B5 – Diakonissenhaus (August-Bebel-Str. 8 / Diakonisches Werk Innere Mission Leipzig)Abb. 5.13: Diakonissenhaus ¹⁴

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

Siehe *Anhang A.3*

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

Ca. 30,6 % \cong 415.601 kWh/a

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

V.a. allgemeine / baualtersbedingte Mängel an einzelnen Gebäuden

Handlungsempfehlung: Überprüfung auf energetische Schwachstellen (therm. Gebäudehülle), Erneuerung diverser Heizungsanlagen bzw. Einbindung in energetisches Gesamtkonzept (siehe *Kapitel 6.2*) und Erneuerung der anlagenspezifischen Rohrleitungen

B9 – Sportlerheim Borsdorf (Nordstr. 10 / Gemeinde Borsdorf)Abb. 5.14: Sportlerheim Borsdorf ¹⁵

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahmen:

- 2010: Fertigstellung Erweiterung (Neubau)
- 2018: Dacherneuerung mit Dämmung und Wandisolation Frontseite (Altbau)

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

Ca. 34,3 % \cong 17.707 kWh/a

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung: –

Handlungsempfehlung: Siehe geplante Maßnahme inkl. Potentialprüfung Solarthermie-Anlage (Dacheinbindung 2018 bei Erneuerung ggf. sinnvoll) und Erneuerung der Heizungsanlage (Bj. 1995)

B14 – Kita Apfelkörnchen II (Heinrich-Heine-Str. 35 / Volkssolidarität Leipziger Land)Abb. 5.15: Kita Apfelkörnchen II ¹⁶

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

–

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

Ca. 19,2 % \cong 16.568 kWh/a

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine Ortsbegehung durchgeführt

Handlungsempfehlung:

Überprüfung auf energetische Schwachstellen (therm. Gebäudehülle)

¹⁴ Quelle: http://www.diakonie-leipzig.de/viomatrix/imgs/ordner/borsdorf_289.jpg [07.09.2016]

¹⁵ Quelle: http://www.strauss-architekten-leipzig.de/upload/projekte/sportlerheim_borsdorf_3.jpg [07.09.2016]

Z1 – Kita Zweenfurth (Dorfstr. 15 / Volkssolidarität Leipziger Land)**Abb. 5.16:** Kita Zweenfurth ¹⁷Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

- 2007: Umbau und Erweiterung

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:Ca. 35,6 % \pm 32.821 kWh/aFestgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine Ortsbegehung durchgeführt

Handlungsempfehlung: Überprüfung des mittleren Gebäudetrakts (Altbau) auf energetische Schwachstellen (therm. Gebäudehülle)

5.1.3 Objekte mit geringem Handlungsbedarf**P1 – Trabrennbahn** (Sommerfelder Str. 22-24 / Gemeinde Borsdorf)**Abb. 5.17:** Trabrennbahn ¹⁸Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

- Zukünftig: Erneuerung der Ölheizung

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

0 %

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

- Feuchtigkeit im gesamten Kellerbereich (u.a. korrodierende Stahlträger in der Kellerdecke)
- Kein allgemeines Nutzungskonzept vorhanden

Handlungsempfehlung: Entwicklung Gesamtenergiekonzept und entsprechende energetische Sanierung (u.a. solare Anlage/n denkbar)

P5 – Hort Parthenstrolche (Sommerfelder Str. 6a / Gemeinde Borsdorf)**Abb. 5.18:** Hort Parthenstrolche ¹⁹Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

-

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

0 %

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine offensichtlichen Mängel festgestellt

Handlungsempfehlung: –

¹⁶ Quelle: eigene Darstellung¹⁷ Quelle: http://www.strauss-architekten-leipzig.de/upload/projekte/kita_zweenfurth_1.jpg [07.09.2016]¹⁸ Quelle: <http://www.drkugler.de/images/referenzen/9/50l.jpg> [07.09.2016]¹⁹ Quelle: http://www.strauss-architekten-leipzig.de/upload/projekte/Schulhort_BL_1.jpg [07.09.2016]

P7 – Kulturzentrum Panitzsch (Hauptstr. 10 / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.19: Kulturzentrum Panitzsch ²⁰

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

- Zukünftig: Verkauf / Abriss geplant

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

0 %

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine Ortsbegehung durchgeführt

Ausblick: Objekt wird ab *Kapitel 6* aufgrund der geplanten Maßnahme nicht weiter betrachtet

P8 – Städt. Kita (Neubau) (Am Rain 5 / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.20: Städt. Kita (Neubau) ²¹

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

- Zukünftig: ggf. Anpassung Heizungsanlage im Rahmen des Gebäudeanbaus

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

0 %

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine offensichtlichen Mängel festgestellt

Handlungsempfehlung: siehe geplante Maßnahme

B1 – FFW Borsdorf (Leipziger Str. 6a / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.21: FFW Borsdorf ²²

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

–

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

0 %

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine offensichtlichen Mängel festgestellt

Handlungsempfehlung: –

²⁰ Quelle: eigene Darstellung

²¹ Quelle: eigene Darstellung

²² Quelle: eigene Darstellung

B6 – Bibliothek (August-BebelStr. 1 / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.22: Bibliothek ²³

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

- 2018: Verlagerung in Neubau Gymnasium

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

0 %

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

Keine Ortsbegehung durchgeführt

Ausblick: Objekt wird ab *Kapitel 6* aufgrund der geplanten Maßnahme nicht weiter betrachtet

Z2 – Bürgerhaus Zweenfurth (Alte Dorfstr. 2 / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.23: Bürgerhaus Zweenfurth ²⁴

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahmen:

- 2001: Generalsanierung

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

0 %

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

- Elektrische Heizung (Nachtspeicheröfen) und Warmwasseraufbereitung

Handlungsempfehlung: Erneuerung der Heizungsanlage (Präferenz: Gas-Brennwerttherme)

Z3 – FFW Zweenfurth (Hirschfelder Str. 3 / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.24: FFW Zweenfurth ²⁵

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

- 2005: Generalsanierung

Einsparpotential gemäß Abb. 4.2:

0 %

Festgestellte Mängel bei Ortsbegehung:

- Keine Dach- und Fußbodenisolation vorhanden

Handlungsempfehlung: Prüfung der Sanierungsoption einer Dach- und Fußbodenisolierung

²³ Quelle: <http://www.borsdorf.eu/images/bibo.jpg> [07.09.2016]

²⁴ Quelle: eigene Darstellung

²⁵ Quelle: Google Maps [07.09.2016]

5.1.4 Objekte ohne festgestellten Handlungsbedarf

Aufgrund umfassender Bau- bzw. Sanierungsmaßnahmen existieren keine verwendbaren Verbrauchsdaten und somit auch keine Einsparpotentiale für die Objekte B7, B12 und B13.

B7 – Bahnhof (Bahnhofstr. 16 / Gemeinde Borsdorf)



Abb. 5.25: Bahnhof²⁶

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahmen:

- 2016: neue Brennwert-Gastherme vorgesehen (150 kW)
- Zukünftig: Generalsanierung geplant

Handlungsempfehlung:

Generalsanierung sowie Erneuerung der Heizungsanlage bzw. Einbindung in energetisches Gesamtkonzept (siehe Kapitel 6.2)

B12 – Zweifeldsporthalle (Schulstraße / Gemeinde Borsdorf)

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahmen:

- 2016: Baubeginn mit voraussichtlicher Inbetriebnahme im August 2017
- Wärmeversorgung über Holzpellet-Kessel mit 140 kW (modulierender Betrieb: 30...100 %)

Handlungsempfehlung:

Perspektivische Potentialprüfung einer Einbindung in energetisches Gesamtkonzept inklusive Holz-Pellet-Anlage (siehe Kapitel 6.2)

B13 – Freies Gymnasium (Heinrich-Heine-Str. 33 / Volkssolidarität Leipziger Land)



Abb. 5.26: Modell Freies Gymnasium Borsdorf²⁷

Bereits durchgeführte / geplante Maßnahme:

- 2016: Umbau (Altbau) und Erweiterung

Handlungsempfehlung:

Einbindung in energetisches Gesamtkonzept (siehe Kapitel 6.2)

Das Einsparpotential des Objektes **B11 – BTZ Borsdorf** (Steinweg 3 / Handwerkskammer zu Leipzig) kann wegen fehlender Datenbereitstellung durch den Nutzer nicht ermittelt werden. Zudem ist eine realistische Abschätzung der nicht zur Verfügung gestellten Daten aufgrund der Komplexität des Objektes sowie fehlender Vergleichsobjekte nicht durchführbar. Perspektivisch ist eine zukünftige Einbindung in das energetische Gesamtkonzept (siehe Kapitel 6.2) zu prüfen.

²⁶ Quelle: eigene Darstellung

²⁷ Quelle: http://www.strauss-architekten-leipzig.de/upload/projekte/Modell_FGB_03.jpg [07.09.2016]

5.2 Separate Betrachtung der anlagenspezifischen Einsparpotentiale

Um eine Aussage zu den theoretischen Potentialen bei den Bestandsanlagen hinsichtlich der Energieeffizienzsteigerung treffen zu können, werden zuerst die objektspezifischen Jahresnutzungsgrade der Anlagen auf Basis von Bauart und Baujahr des WEE ermittelt. Die nachfolgende *Tabelle 5.1* führt diesbezüglich heizwert- (H_i) und brennwertbezogene (H_s) Jahresnutzungsgrade verschiedener Kesseltypen in Abhängigkeit von deren Baujahr auf. Die darin enthaltenen Durchschnittswerte wurden auf Basis einer Studie des Instituts für Wohnen und Umwelt [vgl. 5.1, S. 7ff.] sowie aktueller Herstellerwerte angenommen.

Tabelle 5.1: Baujahrspezifische Jahresnutzungsgrade verschiedener Kesselarten

Baujahr Wärmeenergieerzeuger	1990 – 1999 (H_i / H_s)	2000 – 2007 (H_i / H_s)	ab 2008 (H_i / H_s)
Gas - Konstanttemperaturkessel	82 % / 74 %	88 % / 79 %	91 % / 82 %
Gas - Niedertemperaturkessel	90 % / 81 %	92 % / 83 %	94 % / 84 %
Gas - Brennwertkessel	99 % / 89 %	103 % / 93 %	107 % / 96 %
Öl - Konstanttemperaturkessel	81 % / 76 %	87 % / 82 %	90 % / 85 %
Öl - Niedertemperaturkessel	88 % / 83 %	91 % / 86 %	94 % / 88 %
Öl - Brennwertkessel	97 % / 91 %	100 % / 94 %	102 % / 96 %
Nachtspeicherofen	97 %	97 %	–

Das im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit angenommene objektspezifische Anlagenpotential hinsichtlich Effizienzsteigerung ergibt sich wie folgt:

$$Pot_{Anl,eff} = Q_{E,w} \cdot Pot_{\eta_a,eff} \quad (5.1),$$

$$\text{wobei } Pot_{\eta_a,eff} = \eta_{a,H_s,Ref} - \eta_{a,H_s,Best} \quad (5.2),$$

mit $Pot_{Anl,eff}$... anlagenspezifisches Potential bzgl. Effizienzsteigerung [kWh/a],
 $Q_{E,w}$... wärmeseitiger Endenergieverbrauch Bestandsobjekt [kWh/a],
 $Pot_{\eta_a,eff}$... jahresnutzungsgradspezif. Potential bzgl. Effizienzsteigerung [%],
 $\eta_{a,H_s,Ref}$... brennwertbezogener Jahresnutzungsgrad des Referenzwertes [%],
 $\eta_{a,H_s,Best}$... brennwertbezogener Jahresnutzungsgrad des WEE im Bestand [%];

Als Referenzwert für den brennwertbezogenen Jahresnutzungsgrad wird der Wert eines aktuellen Gas- bzw. Öl-Brennwertkessels von 96 % verwendet. Die objektspezifischen Ergebnisse der Berechnung können der nachfolgenden *Tabelle 5.2* entnommen werden.

Tabelle 5.2: Anlagenspezifische Einsparpotentiale im Bestand

Objekt-Nr.	Objekt-Bezeichnung	Wärmeendenergieverbrauch im Bestand [kWh/a]	Art ¹ / Baujahr WEE	Jahresnutzungsgradspezifisches Potential [%]	Anlagenpotential ² [kWh/a]
P1	Trabrennbahn	53.479	KT _{Öl} / 1998	20	10.696
P2	Sportlerheim Pan.	40.065	G / 2010	0 ³	0
P3	Grundschule	164.882	BW / 2011	0	0
P4	Turnhalle Panitzsch	125.083 ⁴	-	0	0
P5	Hort Parthenstrolche	89.074 ⁴	-	0	0
P6	FFW Panitzsch	54.413	KT / 2001	17	9.250
P7	Kulturzentrum Pan.	47.187	KT _{Öl} / 2006	14	6.606
P8	Städt. Kita (Neubau)	63.428	BW / 2010	0	0
P9	Städt. Kita (Altbau)	61.993	BW / 2003	3	1.860
B1	FFW Borsdorf	47.175	KT / 2013	14	6.604
B2	Jugendhaus	51.472	KT / 1995	22	11.324
B3	Bauhof	25.264	KT / 2008	14	3.537
B4	Heimatismuseum	16.449	KT / 1995	22	3.619
B5	Diakonissenhaus	1.358.173	siehe A.3	8	108.654
B6	Bibliothek	23.419	KT / 2002	17	3.981
B7	Bahnhof	-	BW / 2016	-	-
B8	Gemeindeverwaltung	329.000	KT / 1992	22	72.380
B9	Sportlerheim Borsd.	51.623	KT / 1993	22	11.357
B10	Kita Apfelkörnchen	94.605	G / 2010	0 ³	0
B11	BTZ Borsdorf	k. A. ⁵	k. A. ⁵	k. A. ⁵	k. A. ⁵
B12	Zweifeldsporthalle	-	HP / 2017	-	-
B13	Freies Gymnasium	-	BW / 2010	-	-
B14	Kita Apfelkörnchen II	86.289	G / 2007	3 ³	2.589
B15	Kita Löwenzahn	78.990	G / 1995	22 ³	17.378
Z1	Kita Zweenfurth	92.193	G / 2007	3 ³	2.766
Z2	Bürgerhaus Zweenf.	19.487	NS / 2001	0	0
Z3	FFW Zweenfurth	29.588	BW / 2014	0	0

¹ KT...Konstanttemperatur-Kessel / BW...Brennwert-Kessel / G...Gas-Kessel (Typ nicht erfasst) / EWP...Erdwärmepumpe / HP...Holzpellet-Kessel / NS... Nachtspeicheröfen

² anlagenspezifisches Einsparpotential an Wärmeendenergieverbrauch im Bestand

³ aufgrund fehlender Angaben bzgl. der WEE-Typen wurden auf Basis der Anlagenbaujahre Brennwert-Kessel für die Objekte P2, B10, B14 und Z1 sowie ein Konstanttemperatur-Kessel für das Objekt B15 angenommen

⁴ Gebäude P4 und P5 werden über Heizungsanlage von P3 mit Wärme versorgt

⁵ keine Angabe aufgrund fehlender Datenbereitstellung (durch Nutzer der Einrichtung) möglich

Die in *Tabelle 5.2* ersichtlichen Ergebnisse bestätigen die in *Kapitel 5.1* ausgesprochenen Handlungsempfehlungen hinsichtlich der Heizungsanlagenenerneuerungen.

5.3 Überblick zu den theoretischen Einsparpotentialen und daraus resultierende Endenergiebedarfswerte zur Wärmeversorgung

Eine Übersicht zu den Ergebnissen bezüglich der Gesamt-Einsparpotentiale gemäß *Abb. 4.2* (siehe *Kapitel 5.1*) sowie der anlagenspezifischen Einsparpotentiale gemäß *Formeln 5.1 und 5.2* (siehe *Kapitel 5.2*) liefert die nachfolgende *Tabelle 5.3*.

Tabelle 5.3: Gesamtübersicht zu den Einsparpotentialen an Endenergie zur Wärmeversorgung

Objekt-Nr.	Objekt-Bezeichnung	Einsparpotential gem. <i>Abb. 4.2</i> [%]	Einsparpotential Anlageneffizienz [%]	Relevantes Einsparpotential ¹ [%]
P1	Trabrennbahn	0	20	20
P2	Sportlerheim Pan.	16,8	0	16,8
P3	Grundschule	40,3	0	40,3
P4	Turnhalle Panitzsch	37,5	0	37,5
P5	Hort Parthenstrolche	0	0	0
P6	FFW Panitzsch	5,6	17	17
P7	Kulturzentrum Pan.	0	14	14
P8	Städt. Kita (Neubau)	0	0	0
P9	Städt. Kita (Altbau)	26,3	3	26,3
B1	FFW Borsdorf	0	14	14
B2	Jugendhaus	9,1	22	22
B3	Bauhof	30,8	14	30,8
B4	Heimatismuseum	11,8	22	22
B5	Diakonissenhaus	30,6	8	30,6
B6	Bibliothek	0	17	17
B7	Bahnhof	-	-	-
B8	Gemeindeverwaltung	45,1	22	45,1
B9	Sportlerheim Borsd.	34,3	22	34,3
B10	Kita Apfelkörnchen	38,0	0	38,0
B11	BTZ Borsdorf	k. A. ²	k. A. ²	k. A. ²
B12	Zweifeldsporthalle	-	-	-
B13	Freies Gymnasium	-	-	-
B14	Kita Apfelkörnchen II	19,2	3	19,2
B15	Kita Löwenzahn	46,3	22	46,3
Z1	Kita Zweenfurth	35,6	3	35,6
Z2	Bürgerhaus Zweenf.	0	0	0
Z3	FFW Zweenfurth	0	0	0

¹ entspricht dem höheren Wert der beiden Einsparpotentiale (gem. *Abb. 4.2* / Anlageneffizienz)

² keine Angabe aufgrund fehlender Datenbereitstellung (durch Nutzer der Einrichtung) möglich

Als Übersicht zu den Endenergieverbrauchswerten im Bestand sowie nach Ausschöpfung der Einsparpotentiale gemäß *Tabelle 5.3* dient *Anhang A.4*. Demnach ergibt sich ein theoretischer wärmeseitiger Endenergiebedarf nach Energieeinsparung von etwa 2.103 MWh pro Kalenderjahr für die erfassten Gebäude ²⁸ in der Gemeinde Borsdorf. Das entspricht einem **Gesamteinsparpotential von etwa 30,0 % (900 MWh/a)** gegenüber dem Wärmeenergieverbrauch im Bestand. Mit einem Anteil von 1.458 MWh/a (\cong 32,6 % Einsparung) bleibt der OT Borsdorf bedarfsbezogen weiterhin vor den Ortsteilen Panitzsch mit 537 MWh/a (\cong 23,3 % Einsparung) und Zweenfurth mit 108 MWh/a (\cong 23,2 % Einsparung).

Bei 100 %-iger Gegenrechnung der überschüssigen Wärmemenge des AZV Parthe ergibt sich in der Theorie ein wärmeseitiger Endenergiebedarf von etwa 1.264 MWh/a in der Gemeinde und somit ein theoretisches Gesamteinsparpotential von 57,9 %.

Die *Abb. 5.27* stellt die monatspezifischen Endenergiebedarfswerte in den einzelnen Ortsteilen der Gemeinde nach jahreszeitenunabhängiger Berücksichtigung der Einsparpotentiale sowie den Wärmeüberschuss des AZV Parthe dar.

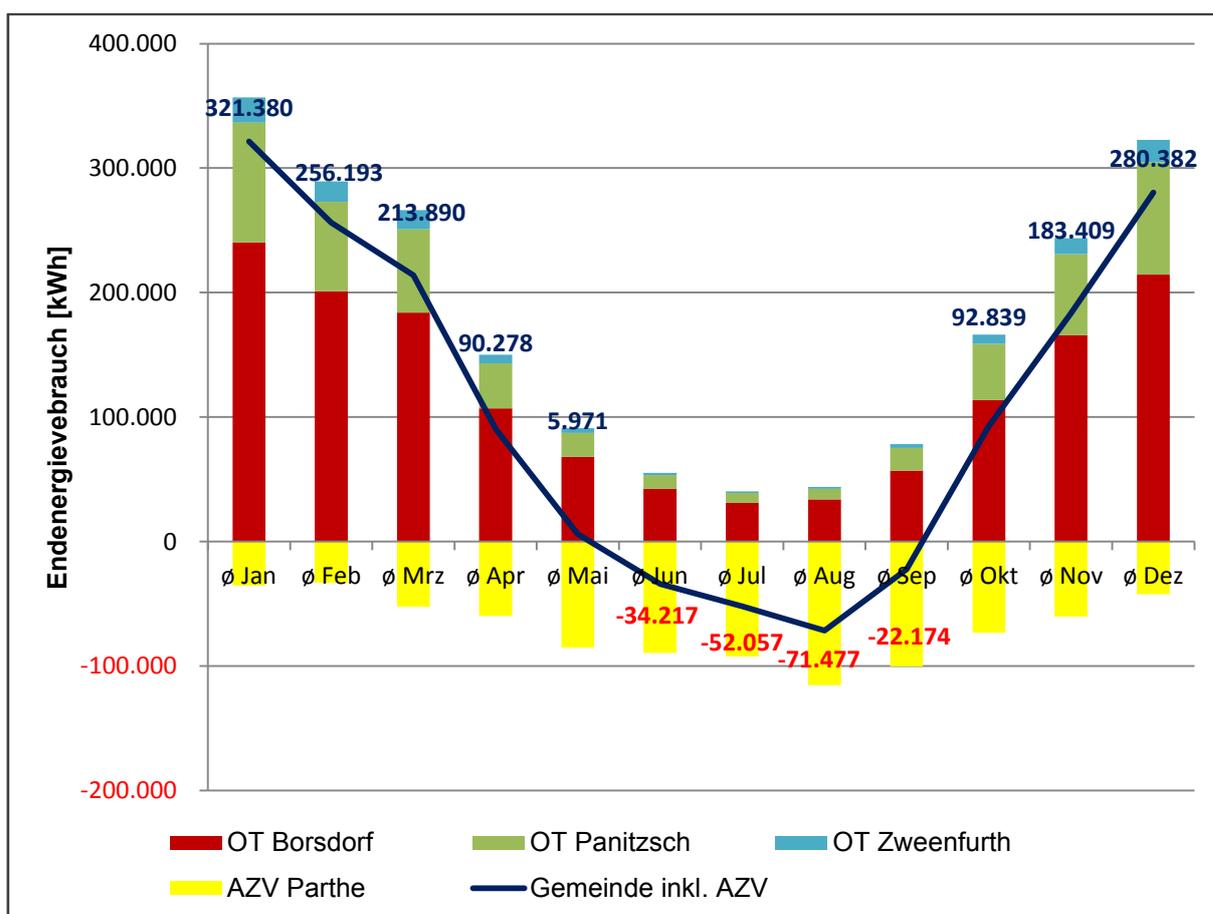


Abb. 5.27: Monatl. Endenergiebedarf zur Wärmeversorgung nach Einsparmaßnahmen ²⁸ [eig. Darst.]

²⁸ Nicht mit aufgeführte Objekte: B7, B11, B12, B13 (keine Daten vorhanden)

6 ENERGIEKONZEPT FÜR DIE GEMEINDE BORSDORF

6.1 Herleitung des theoretischen Wärmebedarfs

6.1.1 Wärmebedarf im Bestand

Der theoretische Wärmebedarf im Bestand ergibt sich aus den Endenergiebedarfswerten zur Wärmeversorgung durch die Berücksichtigung der Jahresnutzungsgrade der gebäudespezifischen Bestandsanlagen und berechnet sich wie folgt:

$$Q_{W,Best} = Q_{E,W,Best} \cdot \eta_{a,H_S,Best} \quad (6.1),$$

mit $Q_{W,Best}$... Wärmebedarf im Bestand [kWh],
 $Q_{E,W,Best}$... wärmeseitiger Endenergieverbrauch Bestandsobjekt [kWh],
 $\eta_{a,H_S,Best}$... brennwertbezogener Jahresnutzungsgrad des WEE im Bestand [%];

Die nach *Formel 6.1* berechneten objektspezifischen Wärmebedarfswerte können dem *Anhang A.5* entnommen werden.

In besagtem Anhang werden zudem Annahmen hinsichtlich der voraussichtlichen Gesamt-Wärmebedarfswerte für die Objekte B7 (Bahnhof), B12 (Zweifeldsporthalle) sowie B13 (Freies Gymnasium) aufgeführt, bei welchen aufgrund umfassender Bau- bzw. Umbaumaßnahmen keine verwertbaren Verbrauchsdaten existieren.

Die Abschätzung beim Objekt B7 basiert auf einer Untersuchung der Ingenieurgesellschaft Eichorn Glathe Schröder GmbH & Co. KG [vgl. 6.1, S. 2] hinsichtlich des voraussichtlichen thermischen Anschlusswertes des Bahnhofsgebäudes nach Generalsanierung. Bei der Zweifeldsporthalle dient eine Variantenanalyse der selbigen Ingenieurgesellschaft [vgl. 6.2] als Grundlage für die Annahme. Der voraussichtliche Wärmebedarfswert beim Objekt B13 nach Abschluss der Umbau- und Erweiterungsarbeiten wurde auf Basis des ausgestellten Wärmeschutznachweises [vgl. 6.3, S. 4ff.] abgeschätzt.

In der Gemeinde ergibt sich demnach ein theoretischer Gesamtwärmebedarf von etwa 3.455 MWh/a für die erfassten Gebäude²⁹ pro Kalenderjahr. Darin enthalten sind die ortsteilspezifischen Bedarfswerte von etwa 2.717 MWh/a ($\cong 78,7\%$) im OT Borsdorf, 605 MWh/a ($\cong 17,5\%$) im OT Panitzsch sowie 133 MWh/a ($\cong 3,9\%$) im OT Zweenfurth. Die objektspezifischen Anteile im Jahresdurchschnitt innerhalb der einzelnen Ortsteile können dem *Anhang A.6* entnommen werden.

Die monatsspezifischen Wärmebedarfswerte in den einzelnen Ortsteilen der Gemeinde nach Berücksichtigung der Einsparpotentiale sind in *Abb. 6.1* dargestellt.

²⁹ Exklusive B11 (keine Daten vorhanden) sowie P7 und B6 (geplante Nutzungsänderung)

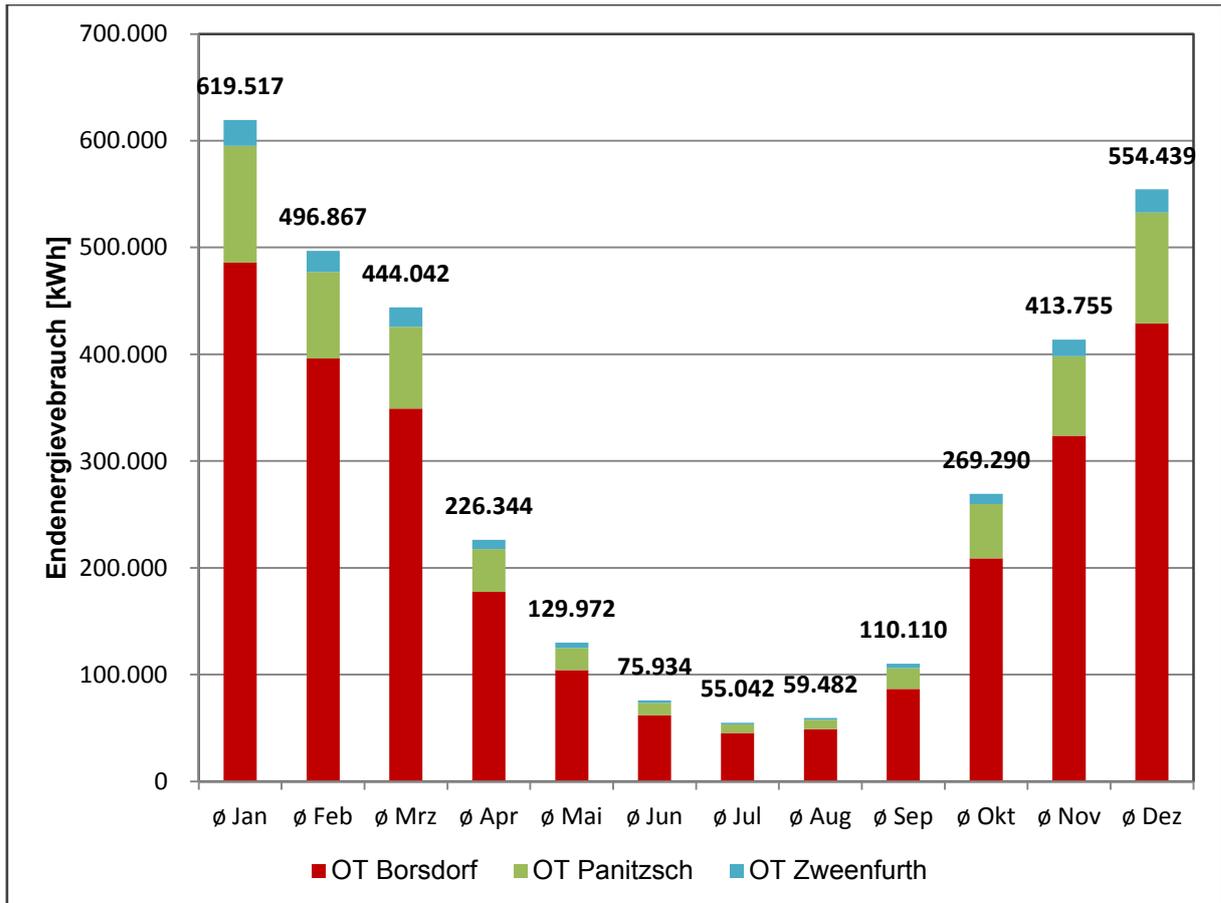


Abb. 6.1: Monatsspezifischer Wärmebedarf im Bestand³⁰ [eig. Darst.]

6.1.2 Theoretischer Wärmebedarf nach Energieeinsparung

Der theoretische Wärmebedarf nach Ausschöpfung des Gesamteinsparpotentials (gemäß Tabelle 5.3) ergibt sich aus den Endenergiebedarfswerten zur Wärmeversorgung im Bestand wie folgt:

$$Q_{W,San} = Q_{E,w,Best} \cdot \eta^* \quad (6.2),$$

$$\text{wobei } \eta^* = 1 - [\eta_{Kat} + (1 - \eta_{Kat}) \cdot \eta_{a,H_S,Best}] \quad (6.3),$$

- mit
- $Q_{W,San}$... Wärmebedarf nach Sanierung [kWh],
 - $Q_{E,w,Best}$... wärmeseitiger Endenergieverbrauch Bestandsobjekt [kWh],
 - η^* ... Umrechnungsfaktor Endenergiebedarf \rightarrow Wärmebedarf nach Sanierung [%],
 - η_{Kat} ... objektspezifisches Einsparpotential gem. Abb. 4.2 [%],
 - $\eta_{a,H_S,Best}$... brennwertbezogener Jahresnutzungsgrad des WEE im Bestand [%];

³⁰ Exklusive B11 (keine Daten vorhanden) sowie P7 und B6 (geplante Nutzungsänderung)

Die nach den *Formeln* 6.2 und 6.3 berechneten jährlichen Wärmebedarfswerte nach Ausschöpfung des Einsparpotentials können dem *Anhang A.7* entnommen werden.

Inklusive der voraussichtlichen Wärmebedarfswerte für die Objekte B7, B12 und B13 ergibt sich ein theoretischer Gesamtwärmebedarf nach Energieeinsparung von etwa 2.845 MWh/a für die erfassten Gebäude³¹ pro Kalenderjahr in der Gemeinde. Darin enthalten sind die ortsteilspezifischen Bedarfswerte von etwa 2.282 MWh/a (\cong 80,2 %) im OT Borsdorf, 459 MWh/a (\cong 16,1 %) im OT Panitzsch sowie 104 MWh/a (\cong 3,7 %) im OT Zweenfurth.

Bei 100 %-iger Gegenrechnung der überschüssigen Wärmemenge des AZV Parthe ergibt sich in der Theorie ein Restwärmebedarf von etwa 2.006 MWh/a in der Gemeinde, was einem theoretischen Gesamteinsparpotential beim Wärmebedarf von ca. 42 % entspricht.

Die *Abb. 6.2* stellt die monatspezifischen Wärmebedarfswerte in den einzelnen Ortsteilen der Gemeinde sowie den Wärmeüberschuss des AZV Parthe dar.

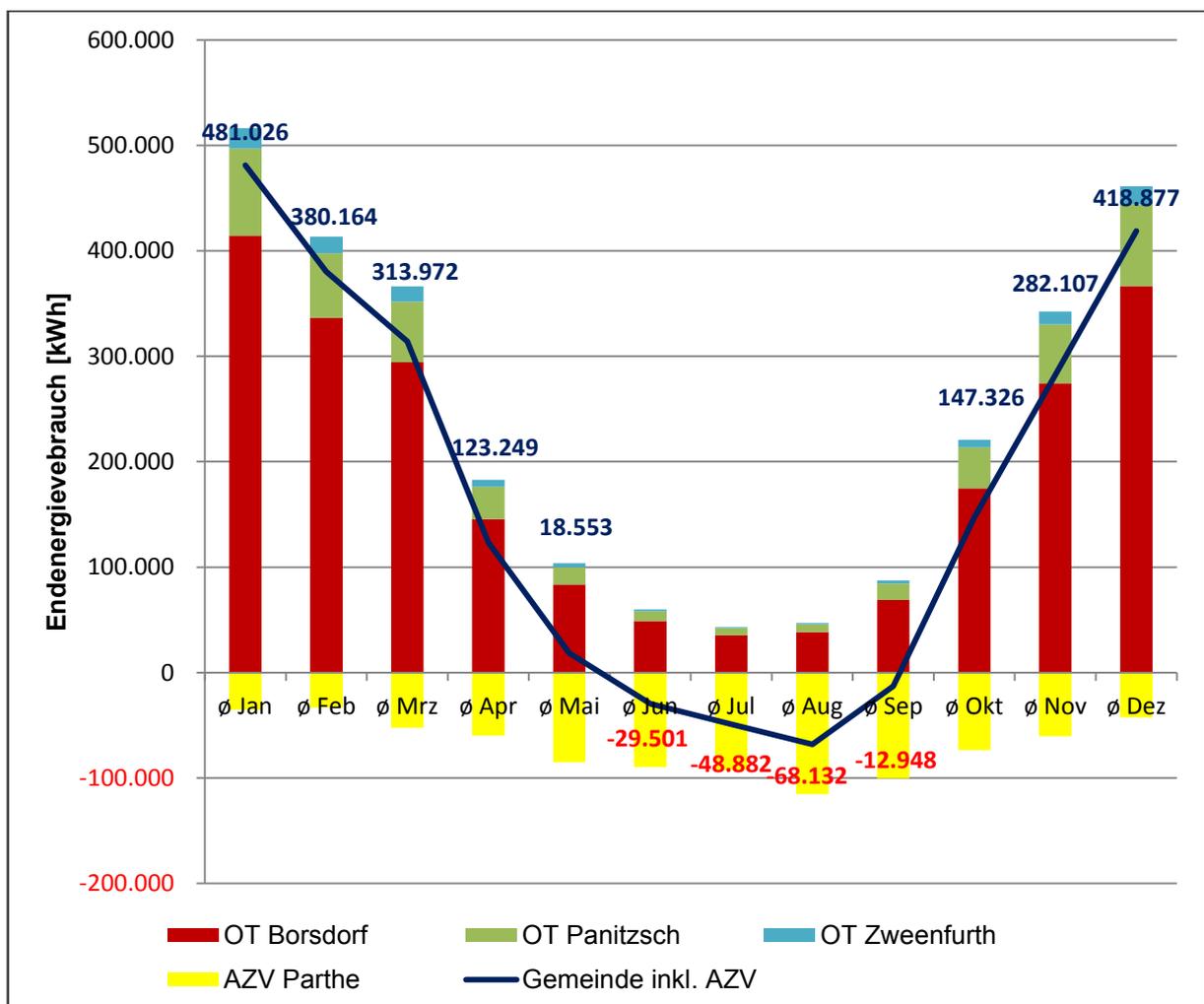


Abb. 6.2: Monatsspezifischer Wärmebedarf nach Ausschöpfung des Einsparpotentials³¹ [eig. Darst.]

³¹ Exklusive: B11 (keine Daten vorhanden) sowie P7 und B6 (geplante Nutzungsänderung)

In den nachfolgenden 3 Grafiken (Abb. 6.3 – 6.5) werden die objektspezifischen Anteile im Jahresdurchschnitt nach Energieeinsparung innerhalb der einzelnen Ortsteile aufgezeigt.

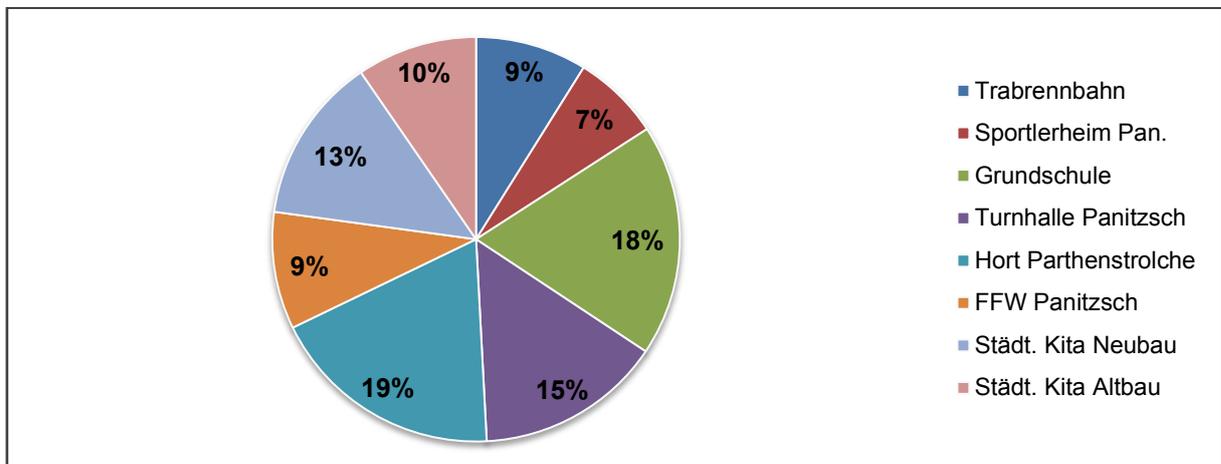


Abb. 6.3: Objektspezifische Anteile nach Potentialausschöpfung im OT Panitzsch [eig. Darst.]

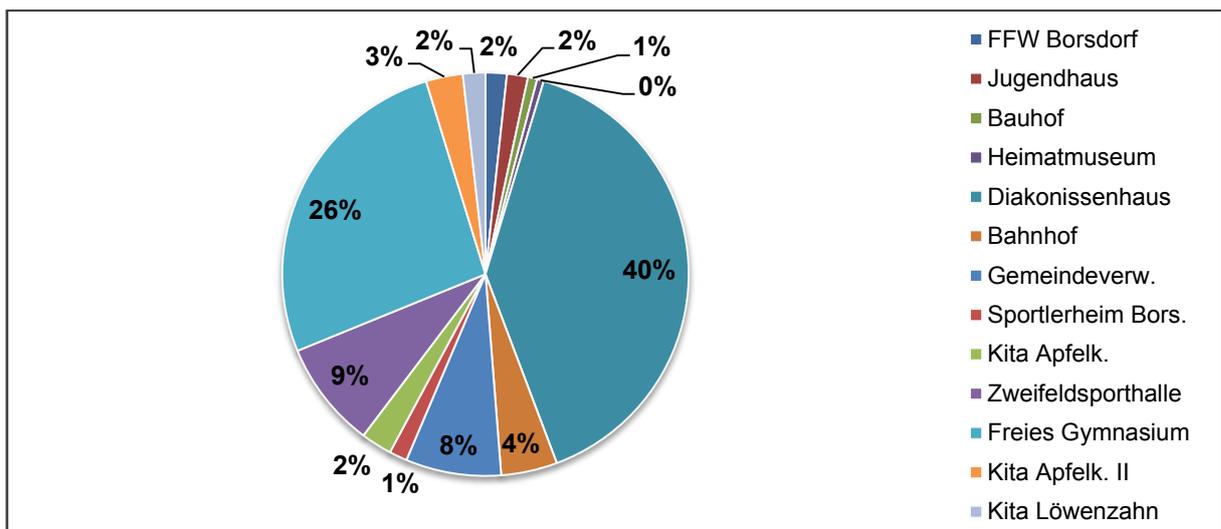


Abb. 6.4: Objektspezifische Anteile nach Potentialausschöpfung im OT Borsdorf [eig. Darst.]

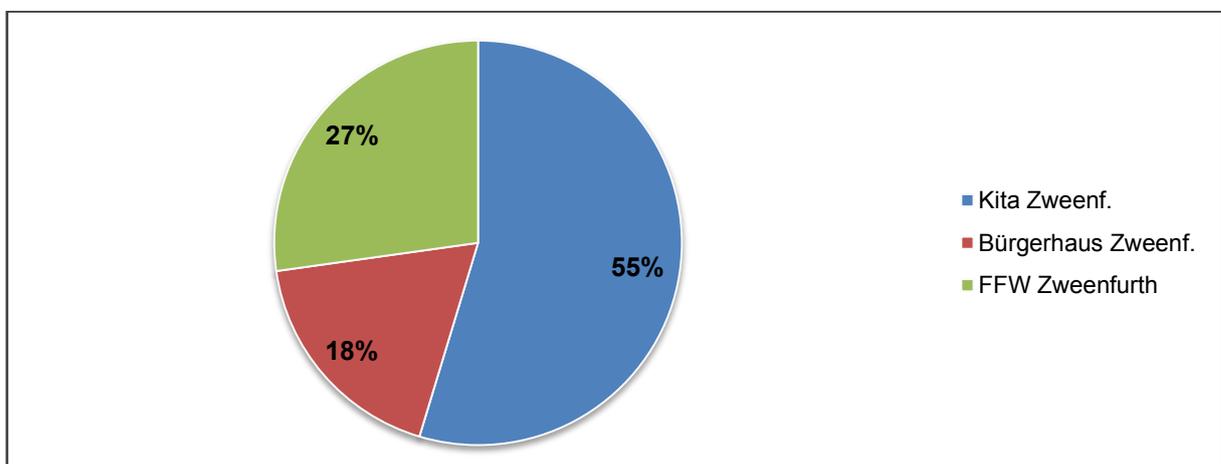


Abb. 6.5: Objektspezifische Anteile nach Potentialausschöpfung im OT Zweenfurth [eig. Darst.]

6.2 Nahwärmenetzvarianten und Auswahl der Anlagenkonzepte zur Energieeffizienzsteigerung

6.2.1 Technische Prüfung verschiedener Nahwärmenetzvarianten

Nahwärmenetze sind ökonomisch nur dann darstellbar, wenn ein sinnvolles Verhältnis von Netzlänge zu genutzter Wärmemenge erreicht wird. Damit ist die Wärmebelegungsdichte i.d.R. der wichtigste Parameter zur Beurteilung der Sinnhaftigkeit von Wärmenetzen. Diese ist maßgeblich für die prozentualen Wärmeverluste des Netzes verantwortlich (siehe *Abb. 6.6*) und sollte bei der Betrachtung des gesamten Nahwärmenetzes einen Wert von ≥ 1500 kWh/(m·a) erreichen. Zudem sind auch einzelne Netzabschnitte mit Wärmebelegungsdichten von > 500 kWh/(m·a) zu vermeiden, da die Wärmeverluste in diesem Bereich exponentiell ansteigen [vgl. 6.4, S. 6].

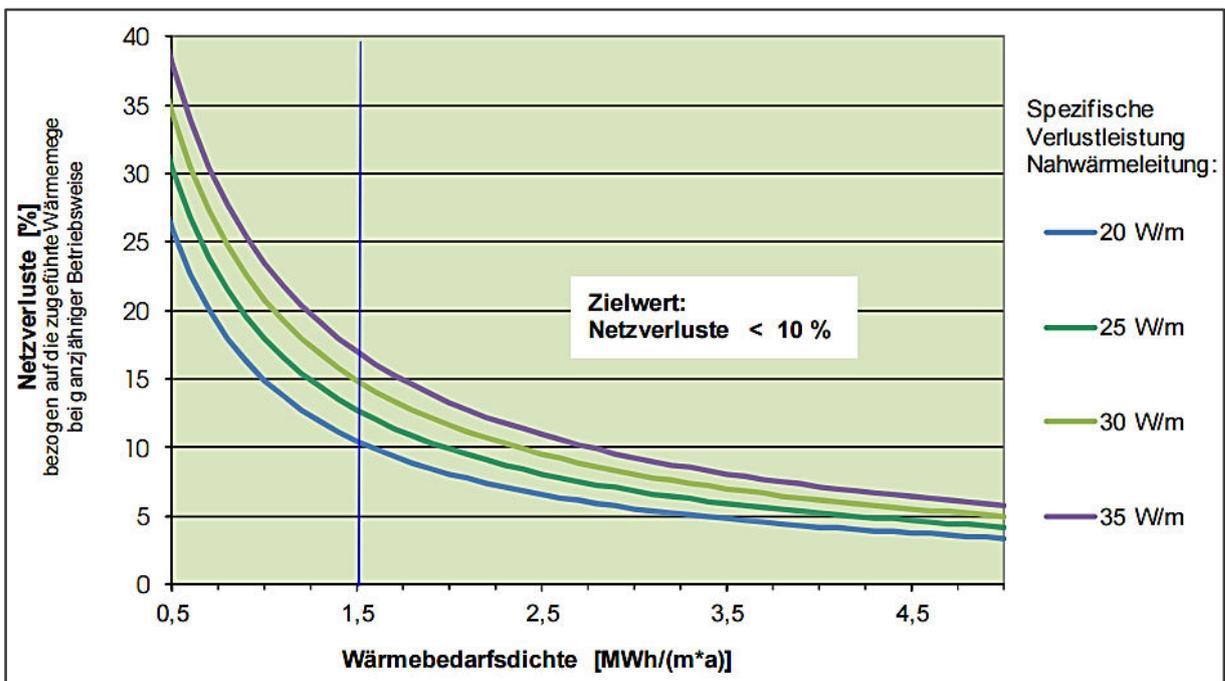


Abb. 6.6: Theoretischer Wärmeverlust in Abhängigkeit von der Wärmebelegungsdichte [6.4, S. 3]

Von den in dieser Studie betrachteten Objekten stellen die im OT Borsdorf gelegenen Gebäude einen erheblichen Anteil (> 80 %) am theoretischen Gesamt-Wärmebedarf in der Gemeinde Borsdorf dar. Zudem wird der Wärmebedarf der 3 größten Wärmeabnehmer im OT Panitzsch (Objekte P3, P4, P5) bereits mit Hilfe eines kleinen Nahwärmenetzes über einen gemeinsamen Wärmeenergieerzeuger (Brennwert-Kessel) gedeckt. Aus diesen Gründen wird der Fokus der nachfolgenden Betrachtungen hinsichtlich Wärmeenergieversorgung ausschließlich auf die im Ortskern ansässigen Objekte des OT Borsdorf gerichtet.

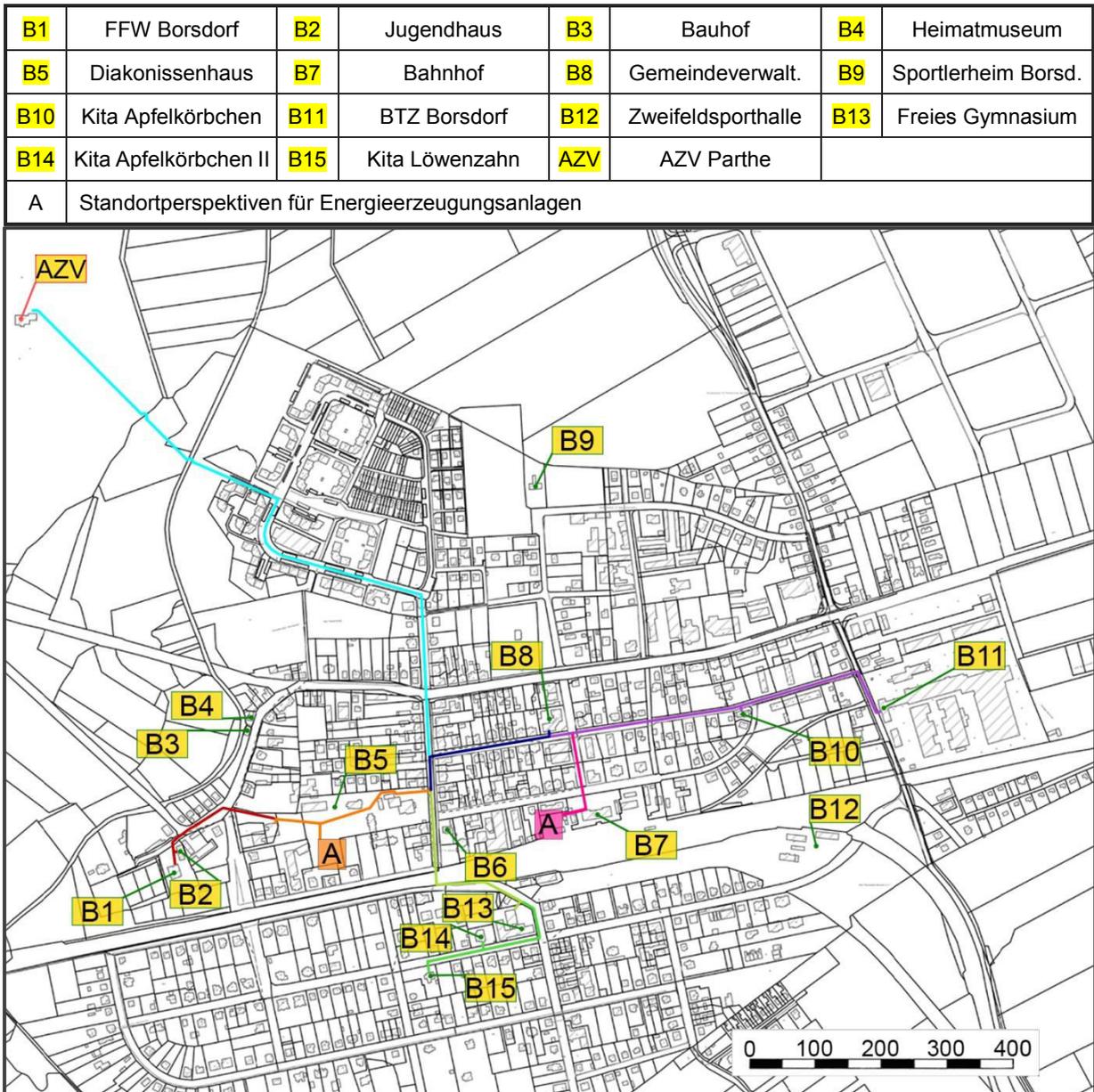


Abb. 6.7: Flurkarte OT Borsdorf mit Wärmenetzvarianten u. möglichen Anlagenstandorten [eig. Darst.]

Zuerst sollen hierfür die Wärmebelegungsdichten der aufgrund von räumlicher Nähe und Wärmebedarfswerten als realistisch eingestuft und in Abb. 6.7 farblich unterschiedlich dargestellten Netzabschnitte wie folgt berechnet werden:

$$Q_{WBD,San} = Q_{W,San}/L_{Netz} \quad (6.4),$$

mit $Q_{WBD,San}$... Wärmebelegungsdichte nach Sanierung [kWh/(m·a)],
 $Q_{W,San}$... Wärmebedarf nach Sanierung [kWh/a],
 L_{Netz} ... Länge des Wärmenetzes [m];

Die nach *Formel 6.4* berechneten Wärmebelegungsichten der einzelnen Netzabschnitte können der *Tabelle 6.1* entnommen werden.

Tabelle 6.1: Berechnungsgrößen zur Ermittlung der Wärmebelegungsichten

Netzabschnitt	Angeschlossene Objekte	Wärmebedarf ¹ [kWh/a]	~ Leitungslänge ² [m]	Wärmebelegungsichte [kWh/(m·a)] ³
orange	B5	904.869	400	2.262
dunkelblau	B8	173.396	250	694
pink	B7	102.000	150	680
hellgrün	B13	604.197	300	2.014
dunkelgrün	B14, B15	107.654	260	414
rot	B1, B2	76.773	210	366
hellblau	AZV	839.065 ⁴	1.060 ⁵	931 ⁵
violett	B10, B11	k.A. ⁶	(550)	k.A. ⁵
Gesamt	s.o. ⁶	1.968.889 ⁷	1.570 ⁷	1.254 ⁷
Variante 1	B5, B13	1.509.066	700	2.156
Variante 2A	B5, B8, B7, B13	1.784.462	1.100	1.622
Variante 2B	Variante 2A + AZV	1.784.462	1.100 (+ 1.060)	1.622

¹ theoretischer Wärmebedarf der angeschlossenen Objekte gemäß *Anhang A.7*

² theoretische Leitungslänge des Netzabschnittes gemäß *Abb. 6.7*

³ Wärmebelegungsichte gemäß *Formel 6.4*

⁴ theoretisch verfügbare (aktuell über Notkühler abgeführte) Wärmemenge des AZV Parthe

⁵ Berücksichtigung bei nachfolgenden Berechnungen zur praktisch bereitgestellten Wärmemenge

⁶ keine Angabe aufgrund fehlender Datenbereitstellung (durch Nutzer der Einrichtung B11) möglich

⁷ exklusive der Netzabschnitte hellblau und violett

Die Netzabschnitte „dunkelgrün“ und „rot“ erreichen lediglich Wärmebelegungsichten < 500 kWh/(m·a) und werden daher aus den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen.

Infolgedessen wurden folgende **Nahwärmenetzvarianten** festgelegt:

1) Netzabschnitte „orange“ und „hellgrün“

→ Versorgung der Gebäude B5a - B5g des Diakonissenhauses (siehe *Anhang A.3*) und des Objektes B13 (Freies Gymnasium)

2A) Netzabschnitte „orange“, „hellgrün“, „dunkelblau“ und „pink“

→ Versorgung der Objekte B5 (Diakonissenhaus), B13 (Freies Gymnasium), B8 (Gemeindeverwaltung) und B7 (Bahnhof)

2B) Netzabschnitte „orange“, „hellgrün“, „dunkelblau“, „pink“ und „hellblau“

→ Versorgung der Objekte B5 (Diakonissenhaus), B13 (Freies Gymnasium), B8 (Gemeindeverwaltung) und B7 (Bahnhof) sowie Anschluss des AZV Parthe

6.2.2 Auswahl der möglichen Wärmeenergieerzeuger zur Energieeffizienzsteigerung

Unter Beachtung der anlagenspezifischen Leistungsspektren [vgl. 6.5] kommen als **Wärmeenergieerzeuger** sowohl BHKW-Motoren und Brennstoffzellen in Verbindung mit EE-Trägern als auch reine Heizwerke auf Basis von fester Biomasse in Betracht. Zudem ist eine Einbindung von solarthermischen und geothermischen Anlagen in das Konzept denkbar.

Bei den **BHKW-Motoren** wird zwischen folgenden Typen unterschieden:

- Verbrennungsmotor (Ottomotor / Dieselmotor)
- Stirlingmotor
- Dampfmotor

Die nachfolgende *Tabelle 6.2* zeigt die anlagenspezifischen Eigenschaften und Kennwerte der einzelnen Motortypen auf.

Tabelle 6.2: Eigenschaften / Kennwerte von BHKW-Motoren [vgl. 6.5] [vgl. 6.6, S. 8ff.]

	Gasbetriebener Ottomotor	Ölbetriebener Dieselmotor	Stirlingmotor	Dampfmotor
Ort der Verbrennung	intern	intern	extern	extern
Agregatzustand Brennstoff	gasförmig	flüssig	beliebig	beliebig
Leistungs- spektrum	1 ... 9.700 kW _{el}	2 ... 17.100 kW _{el}	0,3 ... 70 kW _{el}	150 ... 1500 kW _{el}
Elektrische Wirkungsgrade	25 ... 45 %	28 ... 46 %	10 ... 30 %	10 ... 20 %
Thermische Wirkungsgrade	22 ... 65%	33 ... 68 %	60 ... 75 %	70 ... 75 %
Gesamt- Wirkungsgrade	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 85 %	≥ 80 %
Vorteile	hohe Laufzeit / erprobtes System	sparsamer Treib- stoffverbrauch	brennstoffunabh. / wartungsarm	brennstoffunabh. / wartungsarm

Unter Beachtung der in der Gemeinde Borsdorf vorliegenden Rahmenbedingungen:

- Möglichkeit der direkten Stromabnahme in unmittelbarer Nähe zum Energieerzeuger,
- Anschlussmöglichkeit ans öffentliche Gasnetz,
- hoher Bedarf an Versorgungssicherheit,

wird der gasbetriebene Ottomotor aufgrund seiner in *Tabelle 6.2* dargestellten Eigenschaften bei nachfolgenden Betrachtungen als Vorzugsvariante unter den BHKW-Motoren eingestuft.

Der benötigte regenerative Energieträger Biogas kann vorerst durch Biomethan aus dem öffentlichen Gasnetz ersetzt werden. Allerdings sollten zukünftig die Möglichkeiten einer kommunalen Biogas-Erzeugung (mittelfristige Prüfung) sowie ggf. die einer ergänzenden synthetischen Erdgas-Erzeugung (langfristige Prüfung) erörtert werden.

Die Bereitstellung von Biogas ist einerseits durch anaerobe Fermentation von biologischen Substraten in einer Biogasanlage und andererseits durch thermochemische Vergasung von fester Biomasse mit Hilfe eines Holz-Vergasers realisierbar (siehe *Kapitel 2.2.2*).

Eine regenerative Erzeugung von Synthesegas ist mittels der Power-to-Gas-Technologie zwar theoretisch, aufgrund fehlender Grundvoraussetzungen (siehe *Kapitel 2.2.5*) in der Gemeinde Borsdorf allerdings aktuell nicht umsetzbar.

Die Wärmebereitstellung mit Hilfe der **Brennstoffzellen-Technologie** steht in Deutschland aktuell lediglich im Bereich von Ein- bis Zweifamilienhäusern am Anfang der Markteinführung [vgl. 6.7, S. 3]. Somit kann der Einsatz dieses WEE zukünftig bei kleineren Insellösungen geprüft werden. Da bei BZ-Anlagen im höheren Leistungsbereich bisher jedoch lediglich Prototypen auf dem Markt erhältlich sind, wird die BZ-Technologie im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet.

In **Biomasse-Heizwerken** erfolgt eine direkte Verbrennung von fester Biomasse (siehe *Kapitel 2.2.2*) wie Holzhackschnitzel, Holzpellets, Scheitholz und Holzbriketts. Für die thermische Nutzung der verschiedenen Holzvarianten sind folgende Anlagentypen mit deren brennstoffspezifischen Verbrennungstechniken auf dem Markt erhältlich:

- Holzhackschnitzel-Anlage
- Vergaser-Kessel mit Unterbrandfeuerung (für Scheitholz und Holzbriketts)
- Holzpellet-Kessel

Holzhackschnitzel bestehen aus zerkleinerten Resthölzern aus der Wald- und Landschaftspflege sowie aus der Holzverarbeitenden Industrie. Bezogen auf den Heizwert sind diese i.d.R. der günstigste Holzbrennstoff der oben aufgeführten Holzvarianten. Da Holzhackschnitzel-Anlagen jedoch vergleichsweise hohe Investitionskosten sowie einen höheren baulichen und logistischen Aufwand bedingen, kommen diese tendenziell erst ab Anlagenleistungen von ca. 50 kW zum Einsatz [vgl. 6.8].

Aufgrund der Möglichkeit einer energetischen Verwertung der in der Gemeinde Borsdorf anfallenden Resthölzer beim Einsatz einer Holzhackschnitzel-Anlage, wird diese bei den nachfolgenden Betrachtungen ab Anlagengrößen > 50 kW als Vorzugsvariante unter den Biomasse-Heizwerken eingestuft.

Bei **Solarthermie-** sowie **Geothermie-Anlagen** spielen die örtlichen Gegebenheiten wie beispielsweise das vorhandene Flächenpotential eine entscheidende Rolle bei der Prüfung auf Sinnhaftigkeit einer solchen Anlage. Da diese örtlichen Gegebenheiten im Rahmen dieser Arbeit nur sehr bedingt erfasst werden konnten, müssen etwaige Potentiale vorerst vor Ort geprüft werden. Im Falle einer mittelfristigen Anbindung an das Nahwärmenetz kann dieses (bei ausreichend vorhandener Kapazität) der Verteilung sowie der saisonalen Speicherung der bereitgestellten Wärme dienen.

6.3 Anlagenmodellplanung

6.3.1 Allgemein

Zur Sicherstellung des Wärmebedarfs erfolgt die Anlagenbetriebsweise flexibel wärmegeführt. Die Auslegung der Anlagengrößen basiert auf den in der *Tabelle 6.1* dargestellten theoretischen Wärmebedarfswerten nach Energieeinsparung der jeweiligen Nahwärmenetzvarianten. Zudem werden die netzspezifischen Wärmeleitungsverluste gemäß *Abb. 6.6* berücksichtigt.

6.3.2 Modellvariante 1

Unter Beachtung der voraussichtlichen Wärmebelegungsdichte von 2.156 kWh/(m·a) sind gemäß *Abb. 6.6* mittlere Netzverluste von etwa 10 % zu erwarten. Bei dem theoretisch angesetzten Wärmebedarf von 1.509.066 kWh/a entspricht dies einer zusätzlichen Wärmemenge von 167.674 kWh/a. Daraus resultiert ein Gesamtwärmebedarf von 1.676.740 kWh/a, welcher in *Abb. 6.8* als geordnete Jahresdauerlinie dargestellt ist. Die Abdeckung des Wärmebedarfs erfolgt bivalent.

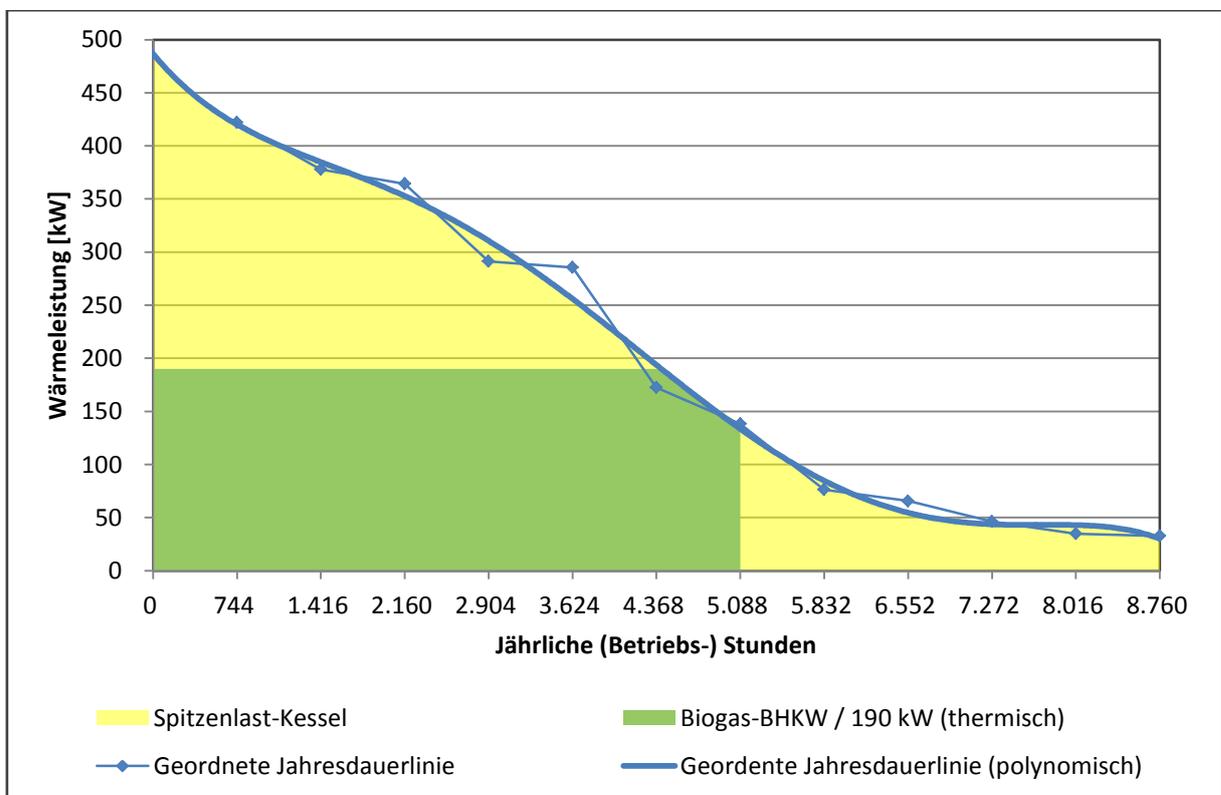


Abb. 6.8: Geordnete Jahresdauerlinie Modellvariante 1 [eig. Darst.]

So umfasst die in *Abb. 6.8* grün hinterlegte Fläche eine Wärmemenge von etwa 948.000 kWh/a, was einem Anteil am Gesamtwärmebedarf von ca. 57 % entspricht. Diese wird mit Hilfe eines Biogas-BHKWs (Ottomotor) mit einer thermischen Anlagenleistung von 190 kW am Anlagenstandort **A** auf dem Gelände des Diakonissenhauses (siehe *Abb. 6.7*) abgedeckt. Inklusive der Teillast sind damit ca. 5.088 Betriebsstunden bzw. 4.368 Volllaststunden realisierbar, wodurch die Anlage etwa 5.000 Vollbenutzungsstunden im Kalenderjahr erreicht.

Die gelb hinterlegten Flächen umfassen zusammen eine Wärmemenge von etwa 730.000 kWh/a. Dieser Bedarf kann über die bereits in den beiden Objekten B8 (Diakonissenhaus) und B5 (Freies Gymnasium) installierten Gas-Brennwertgeräte gedeckt werden. Die 2 Brennwertthermen im Diakoniegebäude B5a besitzen jeweils eine Anlagenleistung von 60 kW. Die 4-stufige Brennwert-Kesselanlage des Freien Gymnasiums verfügt über eine Leistung von 270 kW. Somit wäre eine Gesamtleistung zur Deckung der Spitzenlast von 390 kW bereits vorhanden.

Abhängig vom Tageslastprofil der beiden Einrichtungen³² ist zudem die Integration von Wärmespeichersystemen zu prüfen. Diese sind bei Bedarf und ausreichender Dimensionierung in der Lage, Unregelmäßigkeiten im Tagesgang auszugleichen.

Wärmeseitig lässt sich mit Modellvariante 1 eine Deckungsrate von ca. 57 % mittels EE realisieren. Der durch das BHKW produzierte Strom kann entweder im Objekt B5 direkt genutzt oder in das öffentliche Versorgernetz eingespeist werden [vgl. 6.9].

6.3.3 Modellvariante 2A

Mit einer Wärmebelegungsdichte von ca. 1.622 kWh/(m²·a) treten bei Modellvariante 2A gemäß *Abb. 7.1* voraussichtlich prozentuale Netzverluste von etwa 13 % im Mittel auf. Bei dem theoretisch angesetzten Wärmebedarf von 1.784.462 kWh/a entspricht dies einer zusätzlichen Wärmemenge von 266.644 kWh/a. Somit ergibt sich ein Gesamtwärmebedarf von 2.051.106 kWh/a. Dieser entspricht der in *Abb. 6.9* mehrfarbig markierten Gesamtfläche unter der geordneten Jahresdauerlinie. Die Abdeckung des Wärmebedarfs erfolgt trivalent.

Die in *Abb. 6.9* grün hinterlegte Fläche umfasst eine Wärmemenge von etwa 969.000 kWh/a, was einem Anteil am Gesamtwärmebedarf von ca. 47 % entspricht. Diese wird mit Hilfe eines Biogas-BHKWs (Ottomotor) mit einer thermischen Anlagenleistung von 170 kW am Standort **A** auf dem Gelände des Diakonissenhauses (siehe *Abb. 6.7*) abgedeckt. Inklusive der Teillast sind damit ca. 5.832 Betriebsstunden bzw. 5.088 Volllaststunden realisierbar, wodurch die Anlage etwa 5.700 Vollbenutzungsstunden im Kalenderjahr erreicht.

³² im Rahmen dieser Arbeit wurde keine entsprechende Datenerfassung durchgeführt

Die orange eingefärbte Fläche unter der Jahresdauerlinie umfasst eine Wärmemenge von ca. 736.000 kWh/a, was wiederum einen Anteil von ca. 36 % ergibt. Als Wärmeenergieerzeuger kommt hierbei ein Holzhackschnitzel-Heizwerk mit einer Leistung von 210 kW am Anlagenstandort **A** auf dem Bahnhofsgelände (siehe *Abb. 6.7*) zum Einsatz. Dieses ist insgesamt etwa 3.624 Stunden pro Jahr in Betrieb, wobei 2.904 Stunden davon unter Volllast gefahren werden. Insgesamt erreicht die Anlage jährlich ca. 3.500 Vollbenutzungsstunden.

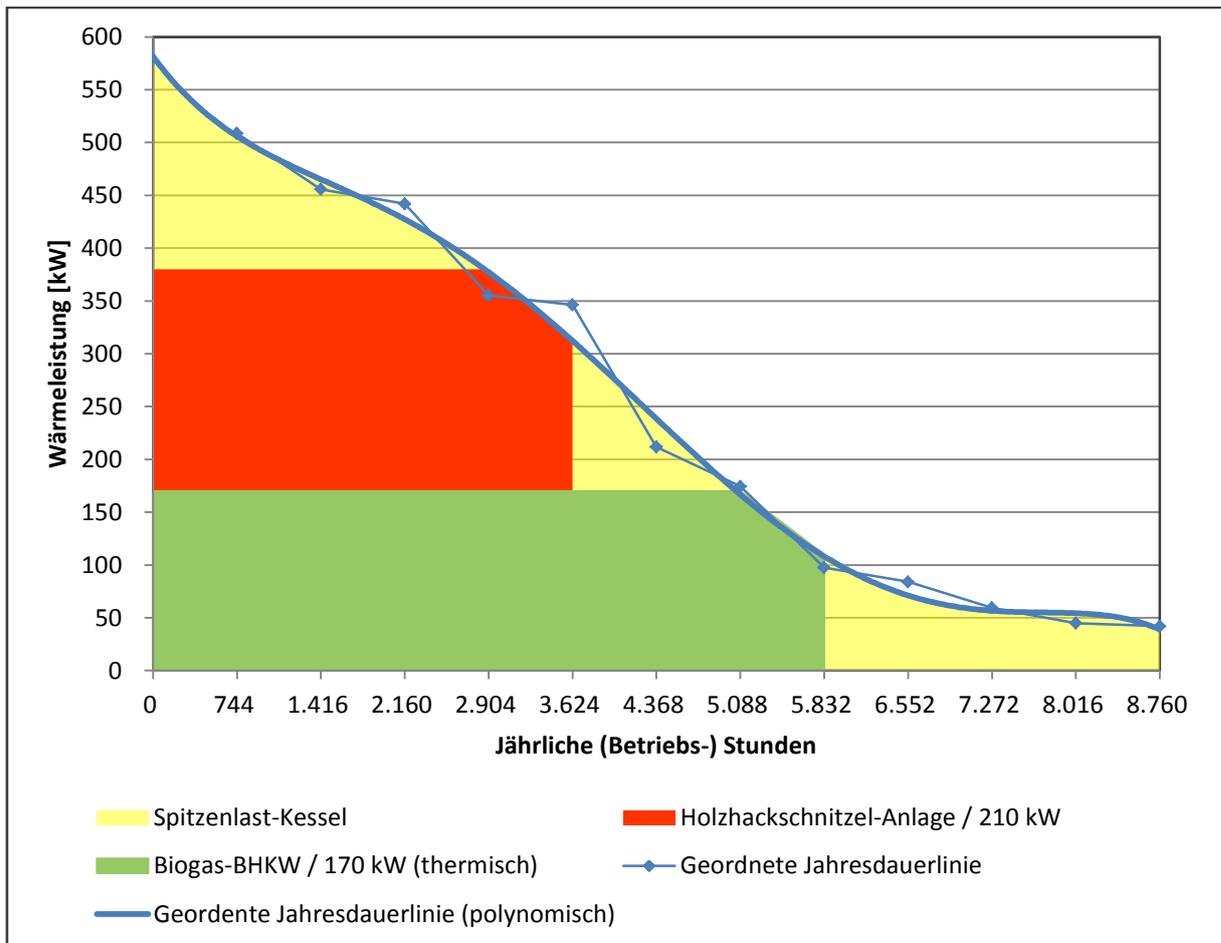


Abb. 6.9: Geordnete Jahresdauerlinie Modellvariante 2A [eig. Darst.]

Die restlichen (gelb hinterlegten) Flächen umfassen zusammen eine jährliche Wärmemenge von etwa 320.000 kWh/a. Dieser Bedarf kann analog zu Modellvariante 1 über die bereits in den beiden Objekten B8 (Diakonissenhaus) und B5 (Freies Gymnasium) installierten Gas-Brennwertgeräte gedeckt werden.

Abhängig vom Tageslastprofil der in das Nahwärmenetz eingebundenen Einrichtungen ist auch bei Modellvariante 2A eine Integration von Wärmespeichersystemen zu prüfen.

Modellvariante 2A erreicht insgesamt eine wärmeseitige Deckungsrate von ca. 83 % mittels EE. Der durch die BHKW-Anlage produzierte Strom kann analog zu Modellvariante 1 im Objekt B5 direkt genutzt bzw. in das öffentliche Versorgernetz eingespeist werden [vgl. 6.9].

6.3.4 Modellvariante 2B

Aufgrund der gleichen Wärmeabnehmer wie bei Modellvariante 2A ergibt sich analog dazu ein Gesamtwärmebedarf von 2.051.106 kWh/a inklusive Netzverlusten, welcher der in *Abb. 6.10* mehrfarbig markierten Gesamtfläche unter der geordneten Jahresdauerlinie entspricht. Die Abdeckung des Wärmebedarfs erfolgt ebenso trivalent.

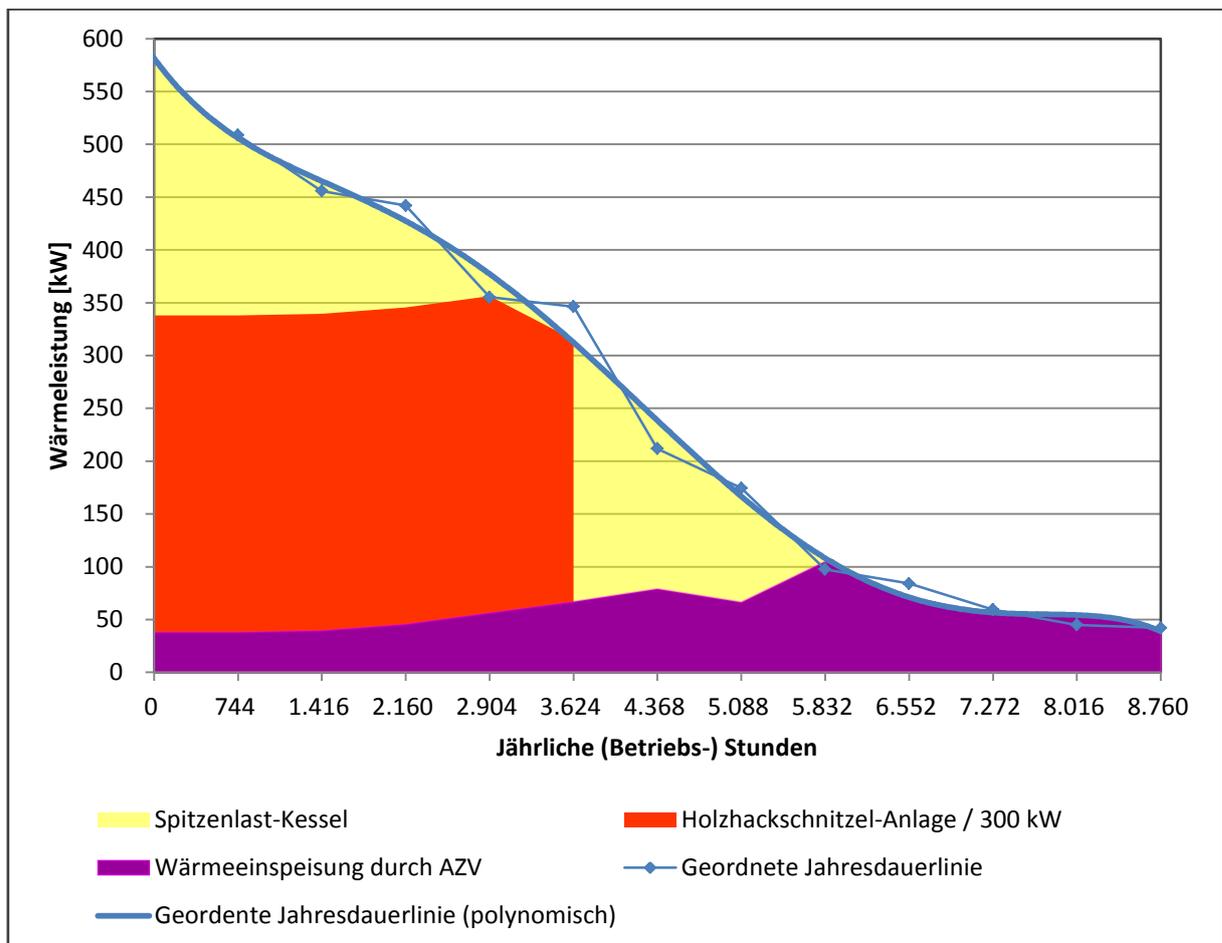


Abb. 6.10: Geordnete Jahresdauerlinie Modellvariante 2B [eig. Darst.]

Die in *Abb. 6.10* violett hinterlegte Fläche umfasst die durch eine mögliche Bereitstellung der beim AZV Parthe (durch 2 stromgeführte BHKWs im Überfluss) erzeugte und durch Abnahme der in Modellvariante 2A nutzbare Wärmemenge pro Kalenderjahr. Dabei wurden bereits Wärmeleitungsverluste von 80 % im hellblauen Netzabschnitt (siehe *Abb. 6.7*) mit einbezogen. Mit etwa 462.000 kWh/a erreicht diese Wärmemenge einen Anteil am Gesamtwärmebedarf von ca. 23 %.

Die orange eingefärbte Fläche unter der Jahresdauerlinie umfasst analog zu Modellvariante 2A die durch ein Holzhackschnitzel-Heizwerk am Anlagenstandort **A** auf dem Bahnhofsgelände (siehe *Abb. 6.7*) erzeugte jährliche Wärmemenge. Jedoch kommt bei dieser Modellvariante eine größere Anlage mit einer Leistung von 300 kW zum Einsatz, welche eine

Wärmemenge von ca. 1.069.000 kWh/a bereitstellt. Dies entspricht einem Anteil von ca. 52 % am Gesamtwärmebedarf. Mit etwa 3.624 Betriebsstunden (inklusive der Teillast) erreicht das Heizwerk eine Anzahl von ca. 3.100 Volllaststunden und etwa 3.560 Vollbenutzungsstunden.

Die beiden gelb hinterlegten Flächen umfassen zusammen eine jährliche Wärmemenge von etwa 520.000 kWh/a. Dieser Bedarf kann analog zu den vorherigen Modellvarianten über die bereits in den Objekten B8 (Diakonissenhaus) und B5 (Freies Gymnasium) installierten Gas-Brennwertgeräte gedeckt werden.

Bei der Prüfung der Sinnhaftigkeit einer Integration von Wärmespeichersystemen ist bei Modellvariante 2B auf folgende 2 Aspekte zu achten. Einerseits kann durch die Möglichkeit der Wärmespeicherung ein Ausgleich der bereits erwähnten Schwankungen des Wärmebedarfs im Tageslastprofil erreicht und die Spitzenlast somit verringert werden. Andererseits kann ein saisonaler Wärmespeicher dazu beitragen, auch in den Sommermonaten das gesamte Wärmepotential (ca. 137.361 kWh/a zusätzlich) des AZV zu nutzen. Diese Möglichkeit besteht aufgrund des erhöhten Wärmeangebots des AZV und gleichzeitig geringerer Nachfrage durch die angeschlossenen Wärmeabnehmer in den Monaten Juni bis September.

Ohne eine Einbindung von Speichersystemen lässt sich bei Modellvariante 1 eine Deckungsrate von ca. 75 % mittels EE realisieren.

6.3.5 Übersicht zu den potentiellen Ergebnissen und Effekten der einzelnen Modellvarianten

Sowohl durch den Einsatz von KWK-Technologien (hier: Biogas-BHKWs) als auch durch die separate Wärmeerzeugung mit Hilfe von hocheffizienten Biomasse-Heizwerken (hier: Holzhackschnitzel-Heizwerk) lassen sich hohe Anlagenwirkungsgrade und somit eine Primärenergieausbeute von über 90 % realisieren. Zudem ist eine Reduzierung der Schadstoffemissionen in erheblichem Umfang möglich, was sich mitunter positiv auf die CO₂-Bilanz der Energieerzeugung auswirkt. Mittels KWK-Anlagen können beispielsweise Kohlendioxideinsparungen von bis zu 50 % gegenüber der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung erreicht werden [vgl. 6.10, S. 101].

Somit lassen sich mit Hilfe dieser Technologien die eingangs dieser Studie festgelegten konzeptionellen Ziele Energieeinsparung, Energieeffizienzsteigerung, Erneuerbare Energien sowie Schadstoffreduktion in der Beispielgemeinde Borsdorf umsetzen.

In der nachfolgenden *Tabelle 6.3* werden die möglichen Effekte der in den vorhergehenden Kapiteln diskutierten Modellvarianten aufgezeigt.

Tabelle 6.3: Ergebnisübersicht und mögliche Effekte bei den einzelnen Modellvarianten

	Modellvariante 1	Modellvariante 2A	Modellvariante 2B
Benötigte Wärmemenge	ca. 1.677 MWh/a	ca. 2.051 MWh/a	ca. 2.051 MWh/a
Wärmebedarfsabdeckung im Grundlastbereich	Biogas-BHKW mit (Otto-) Verbrennungsmotor (190 kW _{th.})	Biogas-BHKW mit (Otto-) Verbrennungsmotor (170 kW _{th.})	Anteilige Abwärmee-nutzung der AZV-BHKWs
Wärmebedarfsabdeckung im Mittellastbereich	keine separate Abdeckung	Holz hackschnitzel-Heizwerk (210 kW _{th.})	Holz hackschnitzel-Heizwerk (300 kW _{th.})
Spitzenlast-Kessel	3 Gas-Brennwertthermen (Σ 390 kW _{th.})	3 Gas-Brennwertthermen (Σ 390 kW _{th.})	3 Gas-Brennwertthermen (Σ 390 kW _{th.})
~ Länge des Nahwärmenetzes	700 m	1.100 m	2.160 m
Wärmeseitiger Deckungsgrad mittels EE ¹	57 %	83 %	75 %
Abschätzung der Stromerzeugung ²	ca. 664 MWh/a _{el} (BHKW: ~ 134 kW _{el})	ca. 678 MWh/a _{el} (BHKW: ~ 120 kW _{el})	0 MWh/a _{el} (kein BHKW vorhanden)

¹ bezogen auf die benötigte Wärmemenge der am Nahwärmenetz angeschlossenen Objekte

² Annahme auf Basis der gemittelten Wirkungsgrade von 35 % strom- und 50 % wärmeseitig [siehe *Tabelle 7.2*]

6.4 Wirtschaftlichkeitsabschätzung zur Anlagenmodellplanung nach VDI-Richtlinie 2067

6.4.1 Kostenvergleichsrechnung nach VDI-Richtlinie 2067

Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit weder die Investitionskosten noch die Lebenszykluskosten genau definiert werden können, soll für den Vergleich der verschiedenen Modellvarianten das Verfahren der statischen Kostenvergleichsrechnung als grobe Wirtschaftlichkeitsabschätzung dienen. Bei diesem werden die Gesamtkosten gemäß VDI 2067 wie folgt ermittelt [vgl. 6.11, S. 4]:

$$K_{ges} = K_K + K_V + K_B + K_S - E \quad (8.1),$$

$$\text{wobei } K_K = I_0 \cdot a \quad (8.2),$$

$$a = \frac{q^{tN} \cdot i}{q^{tN} - 1} \quad \text{und } q = i + 1 \quad (8.3),$$

mit	K_{ges}	... anlagenspezifische Gesamtkosten [€/a],
	K_K	... kapitalgebundene Kosten [€/a],
	K_V	... verbrauchsgebundene Kosten [€/a],
	K_B	... betriebsgebundene Kosten [€/a],
	K_S	... sonstige Kosten [€/a],
	E	... Einnahmen [€/a],
	I_0	... Investitionssumme [€],
	a	... Annuitätenfaktor [1/a],
	t_N	... Nutzungszeitraum der Investition [a],
	i	... kalkulatorischer Zinssatz [1].

Unter den **kapitalgebundenen Kosten** werden die Positionen zusammengefasst, welche für Planung, Anschaffung, Instandsetzung sowie zu berücksichtigende Ersatzbeschaffungen aufzubringen sind. Dazu sind zunächst Annahmen hinsichtlich der Investitionskosten der einzelnen Anlagemodelle zu tätigen.

Die **verbrauchsgebundenen Kosten** ($\hat{=}$ bedarfsgebundenen Kosten) stellen die Kosten für den bereitgestellten Energieträger dar. Um eine Vergleichbarkeit der beiden Energieträger (Biomethan und Holzhackschnitzel) untereinander zu erreichen, werden über die Heizwerte und die daraus resultierenden jährlich benötigten Mengen an Brennstoff die Preise pro Kilowattstunden abgeschätzt.

Für die **betriebsgebundenen Kosten** werden Kosten angesetzt, welche bei der Bedienung, Wartung und Inspektion der Anlage anfallen.

Zu den **sonstigen Kosten** zählen beispielsweise Kosten für Versicherungen und Verwaltung.

Die **Einnahmen** setzen sich aus den zu erwartenden Erlösen durch die Energiebereitstellung und ggf. staatlichen Fördermitteln zusammen.

In den nachstehenden Betrachtungen werden folgende Posten vernachlässigt, da aufgrund des aktuellen Projektstatus eine realitätsnahe Abschätzung nicht möglich ist:

- Kosten für Hilfsenergien
- Betriebsgebundene Kosten
- Sonstige Kosten
- Mögliche Einnahmen durch staatliche Fördermittel (KfW-/BAFA-Förderung)

6.4.2 Kapitalgebundene Kosten bei den einzelnen Modellvarianten

Die Investitionskosten für die BHKWs basieren auf einer Studie des ASUE e.V. [vgl. 6.12, S. 10], wonach sich Richtpreise für Biogas-BHKWs wie folgt berechnen:

$$I_0 = 15648 \cdot P_{el}^{-0,5361} \cdot P_{el} \quad (8.2),$$

mit I_0 ... Investitionssumme [€].
 P_{el} ... elektrische Anlagenleistung [kW].

Demnach sind Richtpreise von 151.800 € bei Modellvariante 1 (134 kW_{el} / 190 kW_{th}) und von 144.200 € bei Modellvariante 2A (120 kW_{el} / 170 kW_{th}) anzusetzen.

Bei den Investitionskosten für die Holzhackschnitzel-Heizwerke wurden spezifische Richtpreise von 360 €/kW bei Modellvariante 2A (210 kW Leistung) und 320/kW € bei Modellvariante 2B (300 kW Leistung) angenommen [vgl. 6.13, S. 2]. Demnach ergeben sich Investitionskosten von etwa 75.600 € (Variante 2A) bzw. 96.000 € (Variante 2B).

Die Investitionskosten bei mittleren Wärmenetzen betragen laut C.A.R.M.E.N. [vgl. 6.4, S. 4] je nach Verlegungsaufwand zwischen 200 und 400 € je verlegtem Trassenmeter. Bei der Annahme eines Wertes von 280 €/m ergeben sich folgende variantenspezifischen Kosten:

- Modellvariante 1: 700 m · 280 €/m = 196.000 €
- Modellvariante 2A: 1.100 m · 280 €/m = 308.000 €
- Modellvariante 2B: 2.160 m · 280 €/m = 604.800 €

Bei der Berechnung des Annuitätenfaktors werden bezüglich der Nutzungszeiträume folgende Annahmen getroffen:

- t_N (Energieerzeugungsanlagen) = 20 a
- t_N (Nahwärmenetz) = 50 a

Zudem wird von einem kalkulatorischen Zinssatz von 3 % ausgegangen. Somit ergeben sich gemäß *Formel 8.3* Annuitätenfaktoren von 0,0672 für die EEA sowie 0,0389 bei den Nahwärmenetzen.

In *Formel 8.2* eingesetzt, sind somit folgende kapitalgebundenen Kosten (K_K) zu erwarten:

- Modellvariante 1: $151.800 \text{ €} \cdot 0,0672 \frac{1}{a} + 196.000 \text{ €} \cdot 0,0389 \frac{1}{a} = 17.825 \frac{\text{€}}{a}$
- Modellvariante 2A: $(144.200 \text{ €} + 75.600 \text{ €}) \cdot 0,0672 \frac{1}{a} + 308.000 \text{ €} \cdot 0,0389 \frac{1}{a} = 26.752 \frac{\text{€}}{a}$
- Modellvariante 2B: $96.000 \text{ €} \cdot 0,0672 \frac{1}{a} + 604.800 \text{ €} \cdot 0,0389 \frac{1}{a} = 29.978 \frac{\text{€}}{a}$

6.4.3 Verbrauchsgebundene Kosten bei den einzelnen Modellvarianten

Die Erhebung der Brennstoffkosten basiert auf den derzeitigen Marktpreisen [vgl. 6.14]. Diese liegen bei etwa 0,07 €/kWh für Biomethan und bei etwa 0,03 €/kWh für Holzhackschnitzel. Zudem werden bei beiden Anlagentypen Jahresnutzungsgrade von etwa 85 % angenommen, wodurch sich folgende Brennstoffkosten ergeben:

- Modellvariante 1: $0,85^{-1} \cdot \left(948 \frac{MWh_{th}}{a} + 664 \frac{MWh_{el}}{a} \right) \cdot 70 \frac{\text{€}}{MWh} = 132.753 \frac{\text{€}}{a}$
- Modellvariante 2A: $0,85^{-1} \cdot \left(969 \frac{MWh_{th}}{a} + 678 \frac{MWh_{el}}{a} \right) \cdot 70 \frac{\text{€}}{MWh} + 0,85^{-1} \cdot 736 \frac{MWh_{th}}{a} \cdot 30 \frac{\text{€}}{MWh} = 135.635 \frac{\text{€}}{a} = 161.612 \frac{\text{€}}{a}$
- Modellvariante 2B: $0,85^{-1} \cdot 1.069 \frac{MWh_{th}}{a} \cdot 30 \frac{\text{€}}{MWh} = 37.729 \frac{\text{€}}{a}$

Bei Modellvariante 2B kommen ggf. noch Kosten für die Wärmebereitstellung des AZV Parthe hinzu. Eine Abschätzung der Konditionen diesbezüglich ist an dieser Stelle nicht möglich.

6.4.4 Einnahmen bei den einzelnen Modellvarianten

Auf der Einnahmenseite werden 80 €/MWh_{th} bzw. 240 €/MWh_{el} für die Wärme- bzw. Strombereitstellung angenommen. Daraus ergeben sich folgende Erlöse:

- Modellvariante 1: $948 \frac{MWh_{th}}{a} \cdot 80 \frac{\text{€}}{MWh_{th}} + 664 \frac{MWh_{el}}{a} \cdot 240 \frac{\text{€}}{MWh_{el}} \approx 235.200 \frac{\text{€}}{a}$
- Modellvariante 2A: $1.705 \frac{MWh_{th}}{a} \cdot 80 \frac{\text{€}}{MWh_{th}} + 678 \frac{MWh_{el}}{a} \cdot 240 \frac{\text{€}}{MWh_{el}} \approx 299.100 \frac{\text{€}}{a}$
- Modellvariante 2B: $1.531 \frac{MWh_{th}}{a} \cdot 80 \frac{\text{€}}{MWh_{th}} \approx 122.500 \frac{\text{€}}{a}$

6.4.5 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsabschätzung bei den einzelnen Modellvarianten

Unter Vernachlässigung der oben genannten Posten (siehe *Kapitel 6.4.1*) ergeben sich folgende Gesamtkosten K_{Ges} für die einzelnen Modellvarianten:

- **Modellvariante 1:** $K_{Ges} = 17.825 \frac{\text{€}}{a} + 132.753 \frac{\text{€}}{a} - 235.200 \frac{\text{€}}{a} = - 84.622 \frac{\text{€}}{a}$
- **Modellvariante 2A:** $K_{Ges} = 26.752 \frac{\text{€}}{a} + 161.612 \frac{\text{€}}{a} - 299.100 \frac{\text{€}}{a} = - 110.736 \frac{\text{€}}{a}$
- **Modellvariante 2B:** $K_{Ges} = 29.978 \frac{\text{€}}{a} + 37.729 \frac{\text{€}}{a} - 122.500 \frac{\text{€}}{a} = - 54.793 \frac{\text{€}}{a}$

Die Amortisationszeit berechnet sich aus dem Quotienten aus Kapitaleinsatz ($\hat{=}$ Investitionskosten) und durchschnittlichem Mittelrückfluss pro Jahr. Somit ergeben sich folgende überschlägige Amortisationszeiten bei den einzelnen Modellvarianten:

- **Modellvariante 1:** $t_A = (151.800 \text{ €} + 196.000 \text{ €}) / 84.622 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 4,1 \text{ a}$
- **Modellvariante 2A:** $t_A = (144.200 \text{ €} + 75.600 + 308.000 \text{ €}) / 110.736 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 4,8 \text{ a}$
- **Modellvariante 2B:** $K_{\text{Ges}} = (96.000 \text{ €} + 604.800 \text{ €}) / 54.793 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 12,8 \text{ a}$

6.5 5-Jahres-Stufenplanung zur Umsetzung des Wärmekonzeptes

Aufgrund der hohen Deckungsrate des Wärmebedarfs durch EE von 83 % (siehe *Kapitel 6.3.5*) sowie einer theoretisch abgeschätzten Amortisationszeit von unter 5 Jahren wird die Modellvariante 2A als Vorzugsvariante gewertet. Die nachfolgende *Abb. 6.11* stellt eine Empfehlung bezüglich der Umsetzung des Energiekonzeptes innerhalb eines 5-Jahres-Stufen-Planes dar.



Abb. 6.11: 5-Jahres-Energie-Stufen-Plan für die Gemeinde Borsdorf [eig. Darst.]

Weiterhin sollte eine Überprüfung der in *Kapitel 5.1* dargestellten Handlungsempfehlungen hinsichtlich weiterer Sanierungsmaßnahmen durchgeführt und diese ggf. vollzogen werden. Hierbei sollte der Fokus zuerst auf die Objekte mit hohem Handlungsbedarf (siehe *Kapitel 5.1.1*) gerichtet werden.

7 ZUSAMMENFASSUNG MIT ABSCHLIEßENDEM FAZIT

Das Thema ist die nachhaltige kommunale Wärmeenergieversorgung von öffentlichen und größeren privat geführten Gebäuden im Rahmen eines 5-Jahres-Energie-Stufen-Konzeptes für die Gemeinde Borsdorf. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der modellhaften Erarbeitung verschiedener Energiekonzepte zur Wärmeenergieversorgung unter den Prämissen Energieeinsparung, Energieeffizienz, Erneuerbare Energien.

Wichtige Treiber beim Ausbau der regenerativen Energien sind die Kommunen. Dabei nehmen regionale Energieinitiativen wie zum Beispiel die „Bürger Energie Borsdorf eG“ eine bedeutende Rolle ein, wenn es darum geht, Gemeinden energetisch zukunftsfähig aufzustellen. So gibt es bereits zahlreiche Praxisbeispiele, bei denen Bürgerenergiegenossenschaften in Gemeinden wie beispielsweise Jühnde erfolgreich Konzepte für eine dezentrale Energieversorgung mit Bürgerbeteiligung umgesetzt haben.

Um das Ziel einer 100%-ig ökologischen Energieversorgung in der Gemeinde Borsdorf zeitnah realisieren zu können, wird im Rahmen dieser Studie ein eigenständiges und nachhaltiges Energiekonzept nach der Methode des Energiemanagements im Prozessmodell entwickelt. Auf Basis einer vorangestellten energetischen Bewertung des Ist-Zustandes von prioritären Gebäuden werden objektspezifische Einsparpotentiale hinsichtlich des Endenergieverbrauchs zur Wärmeversorgung aufgezeigt. Der daraufhin theoretisch hergeleitete Wärmebedarf nach Durchführung der potentiellen Energieeinsparungsmaßnahmen bildet die Grundlage für die nachfolgende Entwicklung dreier Modellvarianten zur nachhaltigen kommunalen Wärmeenergieversorgung von ausgewählten Gebäuden im Ortskern Borsdorf. Folgende Ergebnisse können dabei erzielt werden:

1. Gemäß der energetischen Einordnung der prioritären Gebäude hinsichtlich der Endenergieverbrauchsdaten zur Wärmeversorgung besteht ein hoher Handlungsbedarf bei den Objekten Grundschule / Turnhalle Panitzsch (Gesamteinsparpotential: 39 %), Gemeindeverwaltung (Einsparpotential: 45 %), Kita Apfelkörbchen (Einsparpotential: 38 %) und Kita Villa Löwenzahn (Einsparpotential: 46 %).
2. Bei der Gesamtbetrachtung aller ausgewählten Gebäude können etwa 30 % (\cong 900 MWh/a) der Endenergie zur Wärmeversorgung durch Sanierungsmaßnahmen eingespart werden.
3. Die Untersuchung bezüglich einer zentralen Wärmeenergieversorgung stellt 3 potentielle Nahwärmenetzvarianten zur Auswahl. Diesbezüglich werden Biogas-BHKWs sowie Holzhackschnitzel-Heizwerke als mögliche WEE und ggf. eine Nutzung des Wärmeüberschusses des AZV Parthe empfohlen.

4. Modellvariante 1 verbindet die Objekte Diakonissenhaus und Freies Gymnasium über ein Nahwärmenetz (Länge: ca. 700 m) mit einem Biogas-BHKW ($134 \text{ kW}_{\text{el}} / 190 \text{ kW}_{\text{th}}$), mit welchem ein wärmeseitiger Deckungsgrad von ca. 57 % und eine abgeschätzte Amortisationszeit von ca. 4 Jahren erreicht werden können.
5. Modellvariante 2A schließt die Objekte Diakonissenhaus, Freies Gymnasium, Gemeindeverwaltung und Bahnhof an ein gemeinsames Nahwärmenetz mit ca. 1.100 m Länge an. Dabei kommt ein Biogas-BHKW ($120 \text{ kW}_{\text{el}} / 170 \text{ kW}_{\text{th}}$) sowie ein Holzhackschnitzel-Heizwerk ($210 \text{ kW}_{\text{th}}$) zum Einsatz, wodurch ein wärmeseitiger Deckungsgrad von ca. 83 % und eine theoretische Amortisationszeit von etwa 5 Jahren realisierbar sind.
6. Modellvariante 2B versorgt dieselben Objekte wie Variante 2A mittels Anbindung an den AZV Parthe (zusätzliche Leitungslänge: ca. 1.060 m) und an ein Holzhackschnitzel-Heizwerk ($300 \text{ kW}_{\text{th}}$). Bei einem wärmeseitigen Deckungsgrad von ca. 75 % amortisiert sich diese Anlagenvariante nach etwa 13 Jahren.

Aufgrund der erzielten Ergebnisse kann der Schluss gezogen werden, dass beachtliche objektspezifische Einsparpotentiale bei der Wärmeversorgung hinsichtlich der Gebäudehüllen und der Anlageneffizienz genutzt werden sollten. Ergänzend dazu gibt es die Möglichkeit einer fortführenden Untersuchung zu der favorisierten Modellvariante 2A. Bei dieser ist zukünftig auch eine Einbindung von weiteren Objekten (Bildungs- und Technologiezentrum der HWK zu Leipzig, Kita Apfelkörnchen, Zweifeldsporthalle, Wohngebiet Parthenaue, gewerbliche Objekte, etc.) sowie der Ausbau des Nahwärmenetzes zu einem Ring- bzw. Maschennetz denkbar.

LITERATURVERZEICHNIS

Kapitel 1:

- [1.1] Bundesregierung (2016). *Erklärung der Bundesregierung zur Energie- und Wasserwirtschaft am 08.06.2016* (Onlineportal).
URL: <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2016/06/2016-06-08-bdew-jahr eskongress.html> [14.06.2016]

Kapitel 2:

- [2.1] Boenigk, N.; u.a. (2014). *KOMM:MAG. Das Jahresmagazin zu erneuerbaren Energien in Kommunen* (Stand Januar 2014). Berlin: Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (Hrsg.).
URL: https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/287.KOMM-MAG_2014_web.pdf [13.04.2016]
- [2.2] Hirschl, B.; u.a. (2010). *Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien* (Stand September 2010). Berlin: Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (Hrsg.).
URL: http://www.kommunal-erneuerbar.de/fileadmin/content/PDF/IOEW_ZEE_Kommunale_Wertschoepfung_durch_Erneuerbare_Energien_SR_nov10_03.pdf [13.04.2016]
- [2.3] Quaschnig, V. (2013). *Erneuerbare Energien und Klimaschutz* (3., aktualisierte und erweiterte Auflage). München: Carl Hanser Verlag.
- [2.4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016). *Erneuerbare Energien in Zahlen. Status Quo der erneuerbaren Energien* (Onlineportal).
URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen> [30.08.2016]
- [2.5] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016). *Informationsportal Erneuerbare Energien. Bioenergie* (Onlineportal).
URL: <http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Bioenergie/bioenergie.html> [28.06.2016]
- [2.6] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2016). *Biogas: Vielfältige Nutzungsmöglichkeit von Biogas* (Onlineportal).
URL: <http://biogas.fnr.de/nutzung/> [19.09.2016]
- [2.7] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016). *Informationsportal Erneuerbare Energien. Solarenergie* (Onlineportal).
URL: <http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Solarenergie/solarenergie.html> [28.06.2016]

- [2.8] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016). *Informationsportal Erneuerbare Energien. Geothermie* (Onlineportal).
URL: <http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Geothermie/geothermie.html> [28.06.2016]
- [2.9] trurnit GmbH (2016). *Friopac. Wärmequellen* (Onlineportal).
URL: <http://www.friopac.com/quelle.html> [26.08.2016]
- [2.10] Nitschke-Kowsky, P.; u.a. (2015). *Praxiserfahrungen mit der Wasserstoffeinspeisung in ein Erdgasverteilnetz* (Stand: Oktober 2015).
URL: <http://www.dvgw-innovation.de/fileadmin/innovation/pdf/1510nitschke.pdf> [16.09.2016]
- [2.11] dena - Deutsche Energie-Agentur GmbH (2013). *Power to Gas. Eine innovative Systemlösung auf dem Weg zur Marktreife* (Stand: Dezember 2013).
URL: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Energiesysteme/Dokumente/131231_dena_Broschuere_Fakten_PowertoGas.pdf [16.09.2016]
- [2.12] Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (2006). *Studie: Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz* (2. Auflage). Leipzig: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V (Hrsg.).
URL: <http://www.biogaspartner.de/fileadmin/biogas/Downloads/Studien/Einspeisestudie.pdf> [24.08.2016]
- [2.13] Stadtwerke Leipzig GmbH (2015). *Mehrwert für Leipzig. Energiedienstleistungen nach Maß. Zahlen 2015* (Stand: Dezember 2015).
URL: <https://www.l.de/file/download/bd39a0304414f703953e986d80ea3feb.pdf> [18.09.2016]
- [2.14] Bundesverband Geothermie e.V. (2016). *Lexikon der Geothermie. Nahwärmenetz* (Onlineportal).
URL: <http://www.geothermie.de/wissenswelt/glossar-lexikon/n/nahwaerme-netz.html> [13.07.2016]
- [2.15] Neitzel, M.; Klöppel, S. (2012). *Modernisierungskompass 2012: Motivieren, Informieren, Modernisieren* (Stand: März 2012).
URL: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/0FC960593E029A82C12579CF0047FBF3/\\$file/458_2_InWIS_IEU-Modernisierungskompass_2012_Endbericht.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/0FC960593E029A82C12579CF0047FBF3/$file/458_2_InWIS_IEU-Modernisierungskompass_2012_Endbericht.pdf) [01.09.2016]
- [2.16] BINE Informationsdienst (2014). *BINE Basisinfo Nr. 11. Altbau – Fit für die Zukunft* (Stand: Oktober 2014).
URL: http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Basis_Energie/Basis_Energie_Nr._11/basisEnergie_11_Internetx.pdf [01.09.2016]

- [2.17] ASUE – Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und Umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (2014). *EnEV 2014 für Wohngebäude* (Stand: Mai 2014).
URL: http://www.adlershof.de/fileadmin/user_upload/downloads/energiestrategie/Rahmenbedingungen/EnEv_2014_fuer_Wohngebäude.pdf [05.09.2016]
- [2.18] Tuschinski, M. (2016). *EnEV – online. EnEV 2014 / Abschnitt 3 / §10 Nachrüstung bei Anlagen und Gebäuden* (Onlineportal).
URL: http://www.enev-online.com/enev_2014_volltext/10_nachruistung_anlagen_und_gebaeude.htm [06.09.2016]
- [2.19] SAENA - Sächsische Energieagentur GmbH (2016). *Energiemanagement in kleinen Kommunen. Eine Praxishilfe* (Stand: Januar 2016).
URL: http://www.saena.de/download/Broschueren/BK_Energiemanagement_Kommunen_KEM.pdf [12.04.2016]
- [2.20] Wagner, B. (2014). *European Energy Award in Sachsen. Erfolgsgeschichten sächsischer Kommunen* (Stand Dezember 2014). Dresden: Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH (Hrsg.).
http://www.saena.de/download/Broschueren/BK_eea_Erfolgsgeschichten.pdf
[11.04.2016]
- [2.21] Agentur für Erneuerbare Energien (2016). *Energiekommunen. Benndorf* (Stand: Juli 2016).
URL: <http://www.kommunal-erneuerbar.de/de/energie-kommunen/energie-kommunen/benndorf.html> [24.08.2016]
- [2.22] Agentur für Erneuerbare Energien (2016). *Ehemalige Bergbaugemeinde Benndorf vertraut für lokalen Klimaschutz auf Sonne und Biogas* (Pressemitteilung vom 29.07.2016).
URL: <https://www.unendlich-viel-energie.de/ehemalige-bergbaugemeinde-benndorf-vertraut-fuer-lokalen-klimaschutz-auf-sonne-und-biogas> [24.08.2016]
- [2.23] Gemeinde Zschadraß (o. J.). *Kurzkonzept nachhaltiges Zschadraß* (Stand: k. A.).
URL: https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Schmiedel__Zschadrass_-Zschadrass.pdf [12.04.2016]
- [2.24] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2016). *Wege zum Bioenergiedorf. Bausteine einer nachhaltigen Energieversorgung* (Onlineportal).
URL: <http://www.wege-zum-bioenergiedorf.de/bioenergiedoerfer/> [08.04.2016]
- [2.25] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2015). *Wege zum Bioenergiedorf. Datenblatt Jühnde* (Stand Mai 2015).
URL: http://www.wege-zum-bioenergiedorf.de/fileadmin/bioenergiedorf/dateien/doerfer/bed_14.pdf [08.04.2016]

- [2.26] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2014). *Wege zum Bioenergiedorf. Datenblatt Theuma* (Stand Januar 2014).
URL: http://www.wege-zum-bioenergiedorf.de/fileadmin/bioenergiedorf/dateien/doerfer/bed_60.pdf [08.04.2016]

Kapitel 3:

- [3.1] Statistisches Landesamt Freistaat Sachsen (2011). *Kleinräumiges Gemeindeblatt Borsdorf* (Stand: Januar 2014).
URL: https://www.statistik.sachsen.de/download/080_Zensus_2011_Gemeindeteile/GT_14729060.pdf [29.06.2016]
- [3.2] Institut dezentrale Energietechnologien (2016). *100ee-Regionen. Projekt* (Onlineportal).
URL: <http://www.100-ee.de/projekt/> [12.07.2016]
- [3.3] Bürger Energie Borsdorf eG (2016). *Ein aktiver Beitrag zur Energiewende* (Onlineportal).
URL: <http://www.buerger-energie-borsdorf.de/> [29.06.2016]
- [3.4] Meyer, S. (in Vorbereitung). *Studie zur Erfassung von Verbrauchswerten und Einsparungspotentialen an elektrischer Energie in öffentlich zugänglichen Gebäuden in der Gemeinde Borsdorf* (Arbeitstitel Praktikumsarbeit). HTWK Leipzig / Fakultät Maschinenbau und Energietechnik.
- [3.5] Meyer, S. (in Vorbereitung). *Studie zur nachhaltigen kommunalen Stromversorgung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Rahmen eines 5-Jahres-Energie-Stufen-Konzeptes für die Gemeinde Borsdorf* (Arbeitstitel Bachelorarbeit). HTWK Leipzig / Fakultät Maschinenbau und Energietechnik.
- [3.6] SAENA - Sächsische Energieagentur GmbH (2016). *Energiemanagement in kleinen Kommunen. Eine Praxishilfe* (Stand: Januar 2016).
URL: http://www.saena.de/download/Broschueren/BK_Energiemanagement_Kommunen_KEM.pdf [12.04.2016]

Kapitel 4:

- [4.1] Planert, M. *Leiter Bürgerservice und Bauverwaltung - Gemeinde Borsdorf* (Mehrfache Konsultationen und Schriftverkehr im Zeitraum März - September 2016).
- [4.2] Deutscher Wetterdienst (2016). *Klimafaktoren für den Energieausweis* (Stand: August 2016).
URL: http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/kf_p_alle_ab_2009_xls_xls.xls?view=publication&nn=16102 [29.08.2016]

- [4.3] Tuschinski, M. (2016). *EnEV 2014. Anlage 10: Einteilung in Energieeffizienzklassen* (Onlineportal).
URL: http://www.enev-online.com/enev_2014_volltext/anlage_10_einteilung_in_energieeffizienzklassen.htm [22.08.2016]
- [4.4] ARGE Benchmark (2009). *Benchmarks für die Energieeffizienz von Nicht-Wohngebäuden. Vergleichswerte für Energieausweise* (Stand: September 2009).
URL: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL_ONO92009.pdf;jsessionid=BF008C37891C23D9529D6AD544428914.live21302?__blob=publicationFile&v=2 [14.07.2016]

Kapitel 5:

- [5.1] IWU - Institut Wohnen und Umwelt GmbH (2002). *Energetische Kenngrößen von Heizungsanlagen im Bestand* (Stand: November 2002).
URL: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/IWU_Anlagenkennwerte_Bestand.pdf [19.09.2016]

Kapitel 6:

- [6.1] Schröder, U. (2015). *Kurzbericht zur Untersuchung des Einsatzes regenerativer Energien zur Wärmeversorgung von Rathaus und Bahnhof Borsdorf* (Stand: Oktober 2015). Leipzig: Eichhorn-Glathe-Schröder GmbH & Co. KG. (Hrsg.)
- [6.2] Schröder, U. (2016). *Kurzbericht zur Untersuchung des Einsatzes regenerativer Energien zur Wärmeversorgung der Sport- und Mehrzweckhalle* (Stand: k.A.). Leipzig: Eichhorn-Glathe-Schröder GmbH & Co. KG. (Hrsg.)
- [6.3] Horn, U. (2014). *Wärmeschutznachweis. Umbau und Erweiterung Freies Gymnasium Borsdorf* (Stand: Juni 2014). Leipzig: Ingenieurbüro Bauwesen Horn GmbH (Hrsg.)
- [6.4] C.A.R.M.E.N. e.V. (2016). *Nahwärmenetze und Bioenergieanlagen. Ein Beitrag zur effizienten Wärmenutzung und zum Klimaschutz* (Stand: k.A.).
URL: https://www.carmen-ev.de/files/festbrennstoffe/merkblatt_Nahwaermenetz_carmen_ev.pdf [05.07.2016]
- [6.5] BHKW-Infozentrum GbR (2016). *BHKW-Technologien* (Onlineportal).
URL: <https://www.bhkw-infozentrum.de/bhkw-technologien.html> [20.09.2016]
- [6.6] Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V. (2011). *Neue Chancen mit Kraft-Wärme-Kopplung in der Industrie* (Stand: Februar 2011).
URL: http://www.bkww.de/fileadmin/users/bkww/industrie/Broschuere_KWK_in_der_Industrie.pdf [26.08.2016]

- [6.7] BINE Informationsdienst (2016). *Projektinfo 10/2016.Brennstoffzelle erzeugt Strom und Wärme fürs Haus* (Stand: Oktober 2016).
URL: https://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/2016/Projekt_10-2016/ProjektInfo_1016_internetx.pdf [04.10.2016]
- [6.8] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2016). *Heizen mit Holz* (Onlineportal).
URL: <http://www.fnr.de/nachwachsende-rohstoffe/bioenergie/heizen-mit-holz/> [20.09.2016]
- [6.9] Meyer, S. (in Vorbereitung). *Studie zur nachhaltigen kommunalen Stromversorgung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Rahmen eines 5-Jahres-Energie-Stufen-Konzeptes für die Gemeinde Borsdorf* (Arbeitstitel Bachelorarbeit). HTWK Leipzig / Fakultät Maschinenbau und Energietechnik.
- [6.10] Quaschnig, V. (2013). *Erneuerbare Energien und Klimaschutz* (3., aktualisierte und erweiterte Auflage). München: Carl Hanser Verlag.
- [6.11] Jung, U. (2012). *Planung spezieller Energiesysteme* (Vorlesungsmanuskript). Leipzig: HTWK Leipzig / Fakultät Maschinen- und Energietechnik.
- [6.12] ASUE – Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (2011). *BHKW Kenndaten 2011. Module – Anbieter – Kosten* (Stand: Juli 2011).
URL: http://asue.de/sites/default/files/asue/themen/blockheizkraftwerke/2011/broschueren/05_07_11_asue-bhkw-kenndaten-0311.pdf [20.09.2016]
- [6.13] Energiebüro MOL (2016). *Infoblatt Heizen mit Holz* (Stand: k.A.).
URL: http://www.holzweg-mol.de/downloads/Infoblatt_Heizen-mit-Hackschnitzeln.pdf [20.09.2016]
- [6.14] dena - Deutsche Energie-Agentur GmbH (2016). *Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln – der Energieholzindex* (Onlineportal).
URL: <https://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/hackschnitzel> [20.09.2016]

Anhang A.1: Auswahl der prioritären Gebäude / Objekte**Tabelle A.1: Objektspezifische Datenerhebung in den einzelnen Ortsteilen Panitzsch (P), Borsdorf (B) und Zweenfurth (Z)**

Objekt-Nr.	Objekt-Bezeichnung	Adresse	Nutzungsart	Träger
P1	Trabrennbahn	Sommerfelder Str. 22-24 04451 Panitzsch	Dauernutzer / priv. Feierlichkeiten	Gemeinde Borsdorf
P2	Sportlerheim Panitzsch	Sommerfelder Str. 8 04451 Panitzsch	Vereinhaus / Gaststätte	SV Panitzsch / Borsdorf 1920 e.V.
P3	Dr. Margarete-Blank- Grundschule	Sommerfelder Str. 6 04451 Panitzsch	Schule	Gemeinde Borsdorf
P4	Turnhalle Panitzsch	Sommerfelder Str. 6 04451 Panitzsch	Schul- und Vereinssport	Gemeinde Borsdorf
P5	Hort Parthenstrolche	Sommerfelder Str. 6a 04451 Panitzsch	Kinderhort	Gemeinde Borsdorf
P6	FFW Panitzsch	Teichstr. 1a 04451 Panitzsch	Feuerwehr / Gerätehaus	Gemeinde Borsdorf
P7	Kulturzentrum Panitzsch	Hauptstr. 10 04451 Panitzsch	Verschiedene Dauernutzer	Gemeinde Borsdorf
P8	Städt. Kindergarten (Neubau)	Am Rain 5 04451 Panitzsch	Kindertagesstätte	Gemeinde Borsdorf
P9	Städt. Kindergarten (Altbau)	Am Rain 5a 04451 Panitzsch	Kindertagesstätte	Gemeinde Borsdorf
B1	FFW Borsdorf	Leipziger Str. 6a 04451 Borsdorf	Feuerwehr / Gerätehaus	Gemeinde Borsdorf
B2	Jugendhaus	Leipziger Str. 6 04451 Borsdorf	Jugendclub / Kursangebote	Gemeinde Borsdorf
B3	Bauhof	Leipziger Str. 3 04451 Borsdorf	Verwaltung	Gemeinde Borsdorf
B4	Heimatismuseum	Leipziger Str. 5 04451 Borsdorf	Vereinshaus	Gemeinde Borsdorf
B5	Diakonissenhaus	August-Bebel-Str. 8 04451 Borsdorf	Wohnraum für 124 Menschen mit Behind.	Diakonisches Werk Innere Mission Leipzig
B6	Bibliothek	August-Bebel-Str. 1 04451 Borsdorf	Bibliothek	Gemeinde Borsdorf
B7	Bahnhof	Bahnhofstr.16 04451 Borsdorf	Gewerbefläche	Gemeinde Borsdorf
B8	Gemeindeverwaltung	Rathausstr. 1 04451 Borsdorf	Verwaltung / Privat	Gemeinde Borsdorf
B9	Sportlerheim Borsdorf	Nordstr. 10 04451 Borsdorf	Vereinshaus / priv. Feierlichkeiten	Gemeinde Borsdorf
B10	Kita Apfelkörnchen	H.-Kretschmann-Str. 35 04451 Borsdorf	Kindertagesstätte	Volkssolidarität Leipziger Land
B11	Bildungs- & Techno- logiezentrum (BTZ)	Steinweg 3 04451 Borsdorf	Ausbildungsstätte / Internat	Handwerkskammer zu Leipzig
B12	Zweifeldsporthalle	Schulstraße 04451 Borsdorf	Mehrzweckhalle	Gemeinde Borsdorf
B13	Freies Gymnasium	Heinrich-Heine-Str. 33 04451 Borsdorf	Schule (inkl. Turnhalle)	Volkssolidarität Leipziger Land
B14	Kita Apfelkörnchen II	Heinrich-Heine-Str. 35 04451 Borsdorf	Kindertagesstätte	Volkssolidarität Leipziger Land
B15	Kita Löwenzahn	Heinrich-Heine-Str. 40 04451 Borsdorf	Kindertagesstätte	ASG Sachsen mbH
AZV	AZV Parthe	Am Klärwerk 49 04451 Borsdorf	Verbandskläranlage	Abwasserzweckverb. zur Reinhaltung der Parthe
Z1	Kita Zweenfurth	Dorfstr. 15 04451 Zweenfurth	Kindertagesstätte	Volkssolidarität Leipziger Land
Z2	Bürgerhaus Zweenfurth	Alte Dorfstr. 2 04451 Zweenfurth	Vereinsnutzung / priv. Feierlichkeiten	Gemeinde Borsdorf
Z3	FFW Zweenfurth	Hirschfelder Str. 3 04451 Zweenfurth	Feuerwehr / Gerätehaus	Gemeinde Borsdorf

Anhang A.2: Geographische Übersicht zur räumlichen Verteilung der einzelnen Objekte im Gemeindegebiet

Der OT Panitzsch befindet sich im nördlichen Teil der Gemeinde Borsdorf und schließt im Süden an den OT Borsdorf an.

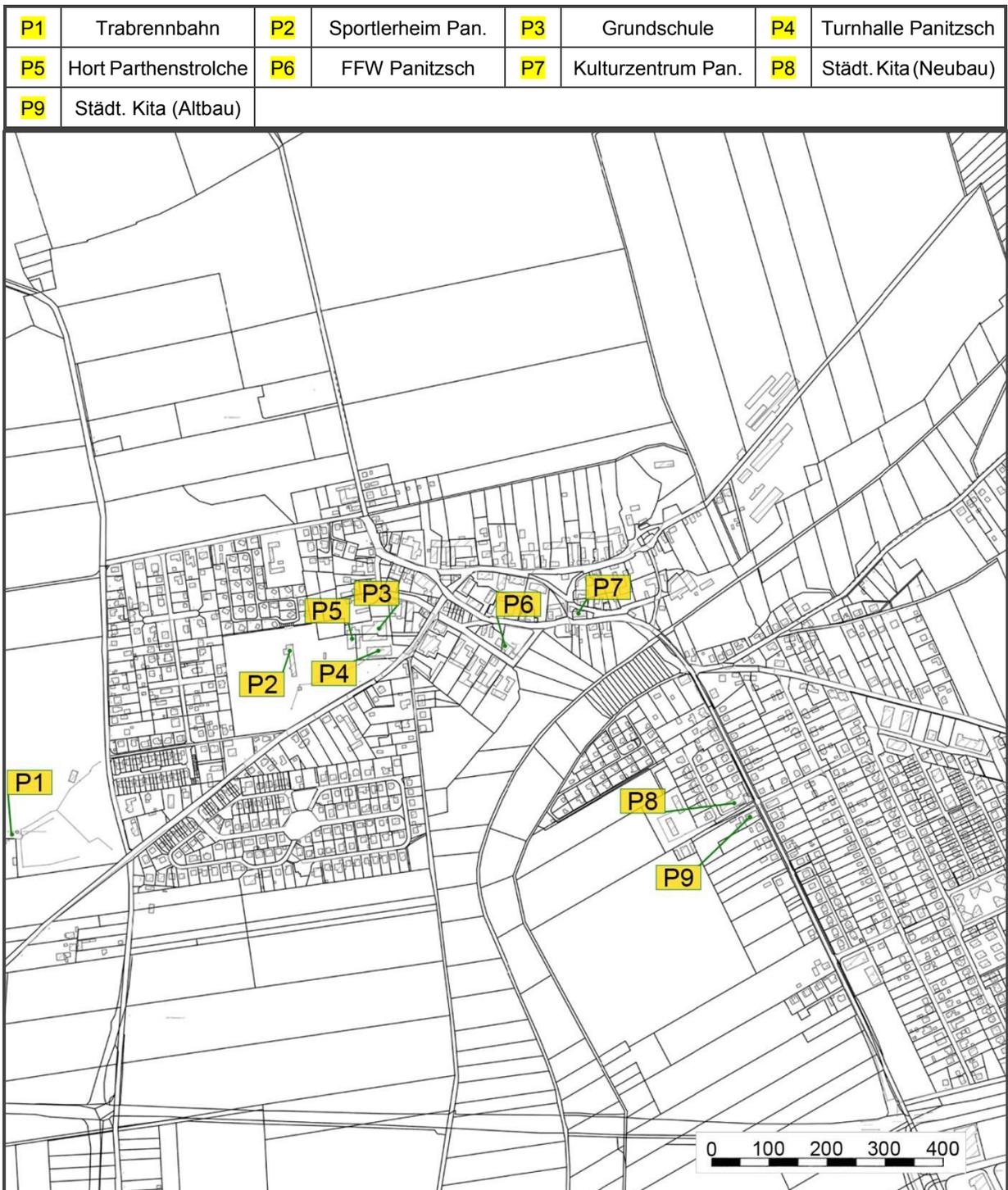


Abb. A.1: Flurkarte³³ OT Panitzsch mit dessen prioritären Gebäuden [eig. Darst.]

³³ Quelle: Gemeindeverwaltung Borsdorf

Der zentral in der Gemeinde gelegene OT Borsdorf grenzt im Norden an den OT Panitzsch und im Süden an den OT Zweenfurth.

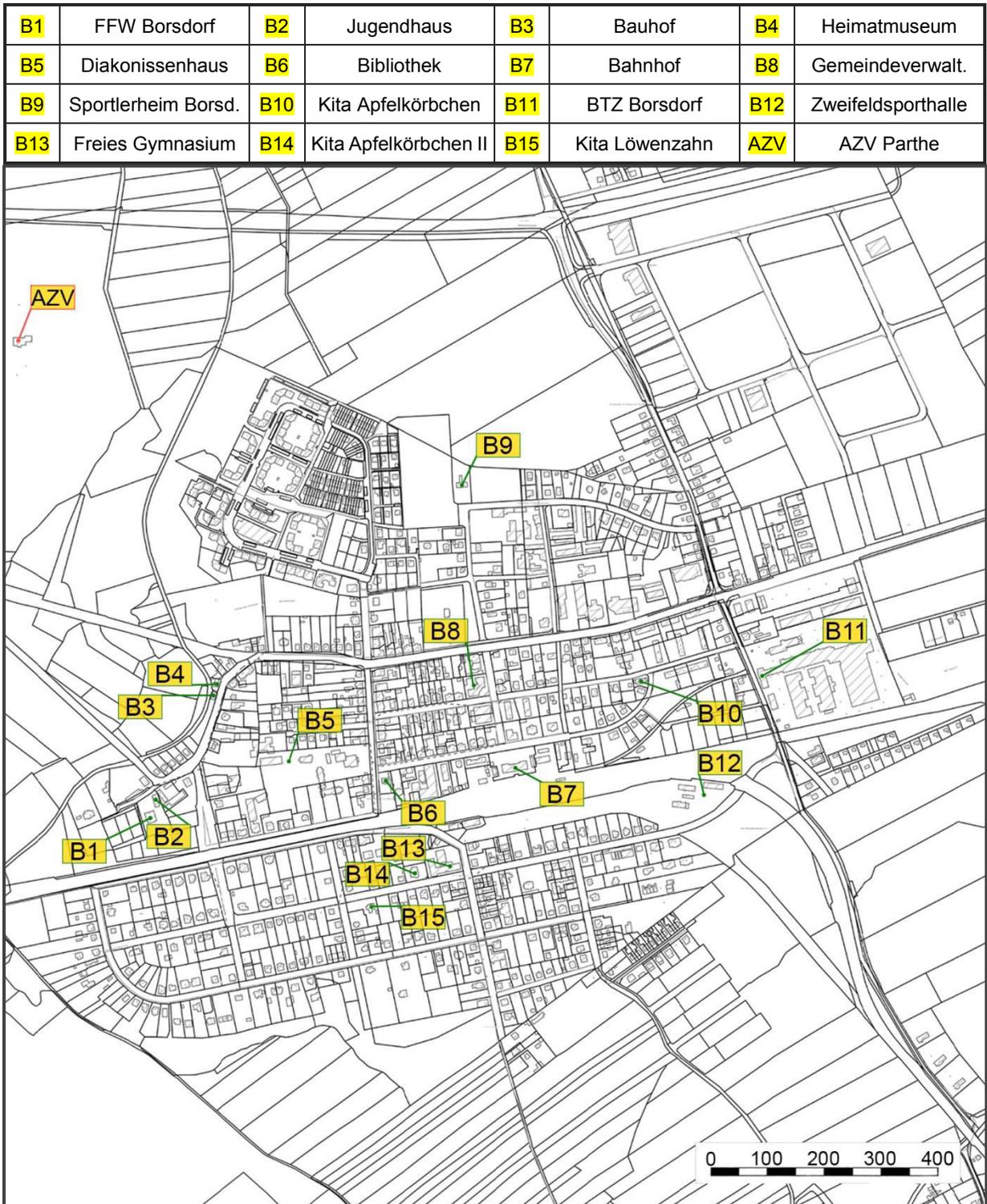


Abb. A.2: Flurkarte³⁴ OT Borsdorf mit dessen prioritären Gebäuden [eig. Darst.]

³⁴ Quelle: Gemeindeverwaltung Borsdorf

Der OT Zweenfurth liegt im südlichen Teil der Gemeinde und schließt im Norden an den OT Borsdorf an.



Abb. A.3: Flurkarte³⁵ OT Zweenfurth mit dessen prioritären Gebäuden [eig. Darst.]

³⁵ Quelle: Gemeindeverwaltung Borsdorf

Anhang A.3: Lageplan und Datenübersicht zu den einzelnen Gebäuden im Objekt Diakonissenhaus (B5)

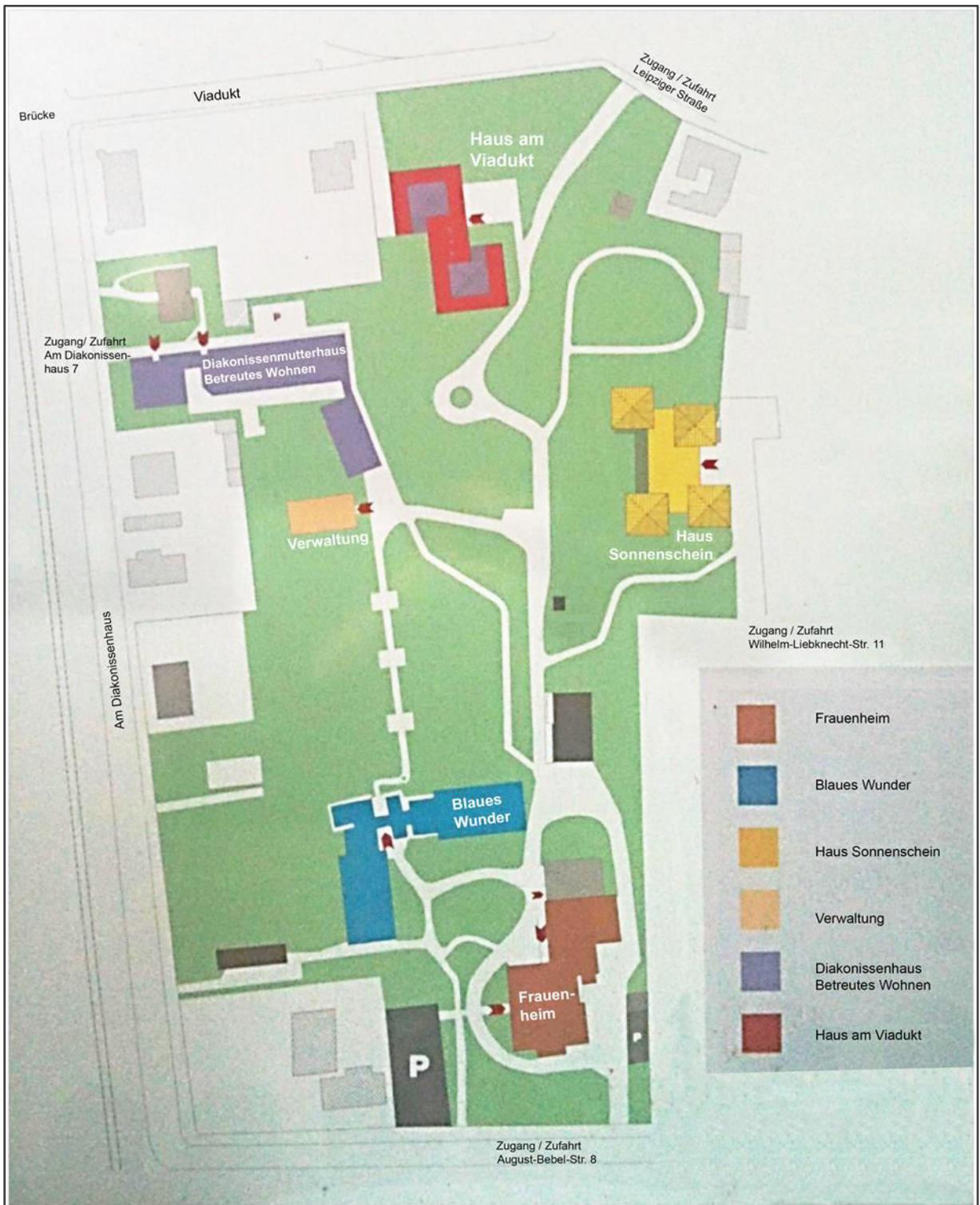


Abb. A.4: Lageplan Diakonissenhaus ³⁶

³⁶ Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A.2: Ergebnisse der gebäudespezifischen Datenerfassung beim Objekt Diakonissenhaus

Objekt-Nr.	Objekt-Bezeichnung	Gebäude- / Anlagen-Bj.	Heizung: System ¹ (Medium)	Nutzfläche ² [m ²]	Sanierung (Art/Jahr) ³
B5a	Frauenheim	1894 / 2010	BW (Erdgas)	2.650	T (1993)
B5b	Blaues Wunder	1998 / 1998	G (Erdgas)	1.920	T / M (2016)
B5c	Haus Sonnenschein	2005 / 2005	G (Erdgas)	1.290	-
B5d	Verwaltungsgebäude	1978 / 1996	G (Erdgas)	250	G / U (1998)
B5e	Schwesternhaus ⁴	1998 / 1998	G (Erdgas)	1.750	-
B5f	Mutterhaus ⁴	1900 / - ⁵		620	G (1998)
B5g	Haus am Viadukt	2011 / 2011	G (Erdgas)	690	-
B5h	Ehemal. Kinderhaus	1930 / 1992	G (Erdgas)	780	G / U (2016) ⁶

¹ BW... Brennwert-Kessel / G... Gas-Kessel (Typ nicht erfasst)

² Die angegebene Fläche entspricht dem Teil der Gebäudegrundfläche, der gemäß der jeweiligen Zweckbestimmung genutzt wird

³ T...Teilsanierung / G... Generalsanierung / M... Modernisierung / U... Umbaumaßnahmen

⁴ Betreutes Wohnen (insgesamt 27 Mieteinheiten)

⁵ Wärmeversorgung über Schwesternhaus

⁶ Leerstand seit 2005 und ausschließliche Nutzung als frostfreier Lagerraum

Anhang A.4: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Endenergieverbrauchswerte im Bestand und nach Ausschöpfung der Einsparpotentiale

Tabelle A.3: Endenergieverbrauchswerte im Bestand und nach Energieeinsparung

Objekt-Nr.	Objekt-Bezeichnung	Ø Endenergieverbrauch im Bestand [kWh/a]	Gesamt-Einsparpotential (gemäß Tabelle 5.3) [kWh/a]	Ø Endenergiebedarf nach Einsparung [kWh/a]
P1	Trabrennbahn	53.479	10.696	42.783
P2	Sportlerheim Pan.	40.065	6.731	33.334
P3	Grundschule	164.882	66.447	98.435
P4	Turnhalle Panitzsch	125.083	46.906	78.177
P5	Hort Parthenstrolche	89.074	0	89.074
P6	FFW Panitzsch	54.413	9.250	45.163
P7	Kulturzentrum Pan.	47.187	6.606	40.581
P8	Städt. Kita (Neubau)	63.428	0	63.428
P9	Städt. Kita (Altbau)	61.993	16.304	45.689
B1	FFW Borsdorf	47.175	6.604	40.570
B2	Jugendhaus	51.472	11.324	40.148
B3	Bauhof	25.264	7.781	17.482
B4	Heimatmuseum	16.449	3.619	12.830
B5	Diakonissenhaus	1.358.173	415.601	942.572
B6	Bibliothek	23.419	3.981	19.438
B7	Bahnhof	-	-	-
B8	Gemeindeverwaltung	329.000	148.379	180.621
B9	Sportlerheim Borsd.	51.623	17.707	33.916
B10	Kita Apfelkörnchen	94.605	35.950	58.655
B11	BTZ Borsdorf	k. A. ⁴	k. A. ¹	k. A. ¹
B12	Zweifeldsporthalle	-	-	-
B13	Freies Gymnasium	-	-	-
B14	Kita Apfelkörnchen II	86.289	16.568	69.722
B15	Kita Löwenzahn	78.990	36.572	42.417
Z1	Kita Zweenfurth	92.193	32.821	59.372
Z2	Bürgerhaus Zweenf.	19.487	0	19.487
Z3	FFW Zweenfurth	29.588	0	29.588
P	OT Panitzsch	699.605	162.941	536.664
B	OT Borsdorf	2.162.459	704.086	1.458.373
Z	OT Zweenfurth	141.268	32.821	108.447
G	Gemeinde Borsdorf	3.003.331	899.848	2.103.484

¹ keine Angabe aufgrund fehlender Datenbereitstellung (durch Nutzer der Einrichtung) möglich

Anhang A.5: Herleitung des Jahres-Wärmebedarfs im Bestand**Tabelle A.4:** Berechnungsgrößen zur Ermittlung des jährlichen Wärmebedarfs im Bestand

Objekt-Nr.	Objekt-Bezeichnung	Ø Endenergieverbrauch [kWh/a]	~ Jahresnutzungsgrad [%]	Ø Wärmebedarf [kWh/a]
P1	Trabrennbahn	53.479	76	40.644
P2	Sportlerheim Pan.	40.065	96	38.463
P3	Grundschule	164.882	96	158.287
P4	Turnhalle Panitzsch	125.083	96	120.080
P5	Hort Parthenstrolche	89.074	96	85.511
P6	FFW Panitzsch	54.413	79	42.986
P8	Städt. Kita (Neubau)	63.428	96	60.891
P9	Städt. Kita (Altbau)	61.993	93	57.653
B1	FFW Borsdorf	47.175	82	38.683
B2	Jugendhaus	51.472	74	38.090
B3	Bauhof	25.264	82	20.716
B4	Heimatmuseum	16.449	74	12.172
B5	Diakonissenhaus	1.358.173	88	1.195.193
B7	Bahnhof	-	-	102.000 ¹
B8	Gemeindeverwaltung	329.000	74	243.460
B9	Sportlerheim Borsd.	51.623	74	38.201
B10	Kita Apfelkörnchen	94.605	96	90.821
B11	BTZ Borsdorf	k. A. ²	k. A. ²	k. A. ²
B12	Zweifeldsporthalle	-	-	195.000 ¹
B13	Freies Gymnasium	-	-	604.197 ¹
B14	Kita Apfelkörnchen II	86.289	93	80.249
B15	Kita Löwenzahn	78.990	74	58.452
Z1	Kita Zweenfurth	92.193	93	85.740
Z2	Bürgerhaus Zweenf.	19.487	97	18.902
Z3	FFW Zweenfurth	29.588	96	28.404
P	OT Panitzsch	612.351 ³	-	604.515 ³
B	OT Borsdorf	2.060.050 ⁴	-	2.717.234 ⁴
Z	OT Zweenfurth	141.268	-	133.046
G	Gemeinde Borsdorf	2.813.668 ⁵	-	3.454.795 ⁶

¹ Voraussichtlicher Gesamt-Jahreswärmebedarf² keine Angabe aufgrund fehlender Datenbereitstellung (durch Nutzer der Einrichtung) möglich³ Nicht mit aufgeführtes Objekt: P7 (geplante Nutzungsänderung beim Objekt)⁴ Nicht mit aufgeführtes Objekt: B6 (geplante Nutzungsänderung beim Objekt)⁵ Nicht mit aufgeführte Objekte: P7 und B6 (geplante Nutzungsänderungen bei Objekten)

Anhang A.6: Objektspezifische Anteile am Jahres-Wärmebedarf im Bestand

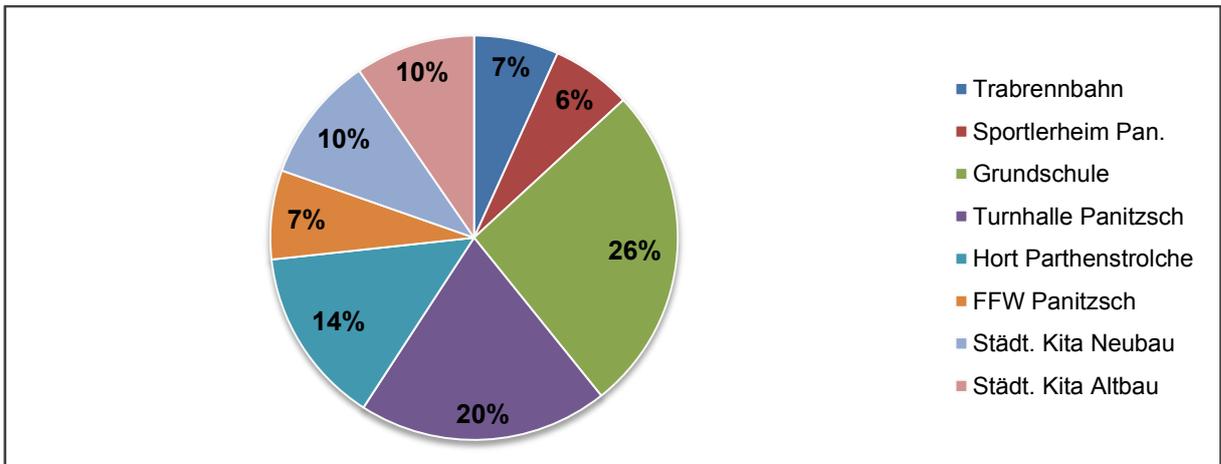


Abb. A.5: Objektspezifische Anteile am Wärmebedarf im OT Panitzsch (im Bestand) [eig. Darst.]

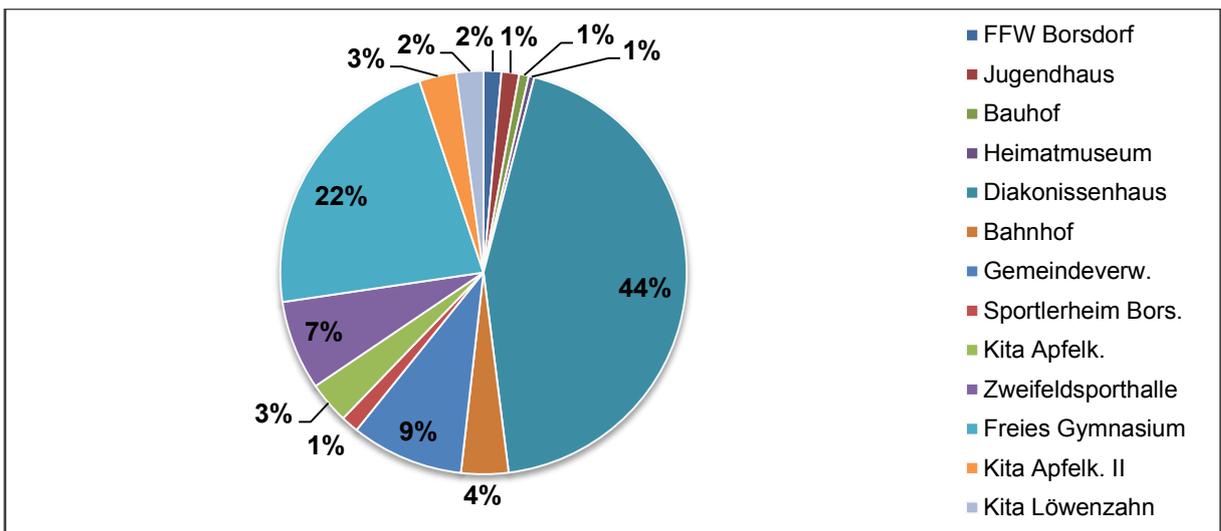


Abb. A.6: Objektspezifische Anteile am Wärmebedarf im OT Borsdorf (im Bestand) [eig. Darst.]

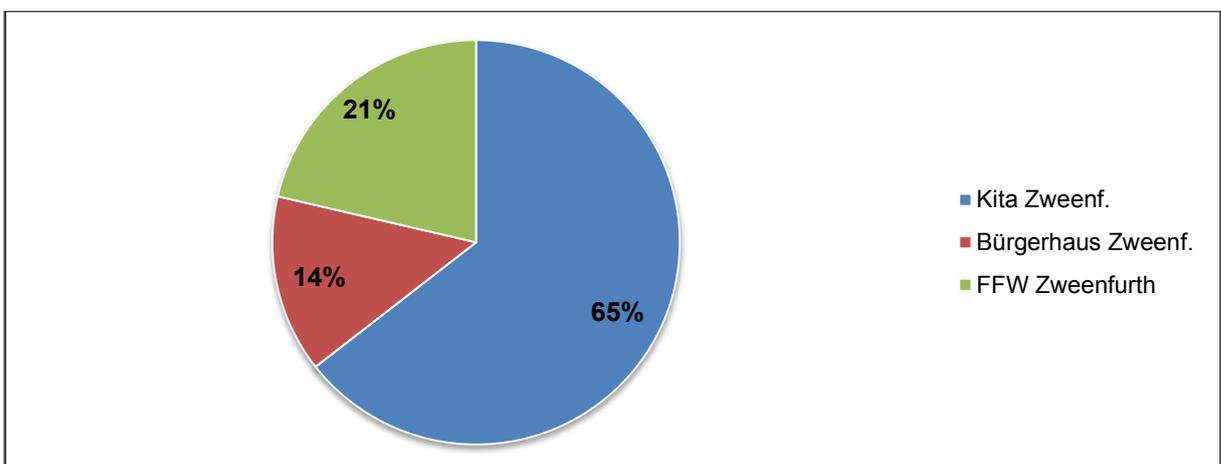


Abb. A.7: Objektspezifische Anteile am Wärmebedarf im OT Zweenfurth (im Bestand) [eig. Darst.]

Anhang A.7: Herleitung des Jahres-Wärmebedarfs nach Ausschöpfung des Energieeinsparpotentials (gemäß *Tabelle 5.3*)

Tabelle A.5: Berechnungsgrößen zur Ermittlung des jährl. Wärmebedarfs nach Einsparung

Objekt-Nr.	Objekt-Bezeichnung	Ø Endenergieverbrauch [kWh/a]	Umrechnungsfaktor η^* [%]	Ø Wärmebedarf [kWh/a]
P1	Trabrennbahn	53.479	76,000	40.644
P2	Sportlerheim Pan.	40.065	79,872	32.001
P3	Grundschule	164.882	51,552	85.000
P4	Turnhalle Panitzsch	125.083	54,336	67.965
P5	Hort Parthenstrolche	89.074	96,000	85.511
P6	FFW Panitzsch	54.413	79,000	42.986
P8	Städt. Kita (Neubau)	63.428	96,000	60.891
P9	Städt. Kita (Altbau)	61.993	70,752	43.861
B1	FFW Borsdorf	47.175	82,000	38.683
B2	Jugendhaus	51.472	74,000	38.090
B3	Bauhof	25.264	66,432	16.783
B4	Heimatmuseum	16.449	74,000	12.172
B5	Diakonissenhaus	1.358.173	66,624	904.869
B7	Bahnhof	-	-	102.000 ¹
B8	Gemeindeverwaltung	329.000	52,704	173.396
B9	Sportlerheim Borsd.	51.623	63,072	32.559
B10	Kita Apfelkörnchen	94.605	59,520	56.309
B11	BTZ Borsdorf	k. A. ²	k. A. ²	k. A. ²
B12	Zweifeldsporthalle	-	-	195.000 ¹
B13	Freies Gymnasium	-	-	604.197 ¹
B14	Kita Apfelkörnchen II	86.289	77,568	66.933
B15	Kita Löwenzahn	78.990	51,552	40.721
Z1	Kita Zweenfurth	92.193	61,824	56.997
Z2	Bürgerhaus Zweenf.	19.487	97,000	18.902
Z3	FFW Zweenfurth	29.588	96,000	28.404
P	OT Panitzsch	612.351 ³	-	458.860 ³
B	OT Borsdorf	2.060.050 ⁴	-	2.281.713 ⁴
Z	OT Zweenfurth	141.268	-	104.304
G	Gemeinde Borsdorf	2.813.668 ⁵	-	2.844.876 ⁵

¹ Voraussichtlicher Gesamt-Jahreswärmebedarf

² keine Angabe aufgrund fehlender Datenbereitstellung (durch Nutzer der Einrichtung) möglich

³ Nicht mit aufgeführtes Objekt: P7 (geplante Nutzungsänderung beim Objekt)

⁴ Nicht mit aufgeführtes Objekt: B6 (geplante Nutzungsänderung beim Objekt)

⁵ Nicht mit aufgeführte Objekte: P7 und B6 (geplante Nutzungsänderung bei Objekten)