

---

**HOCHSCHULE FÜR TECHNIK, WIRTSCHAFT UND KULTUR LEIPZIG**

FAKULTÄT MASCHINENBAU UND ENERGIETECHNIK

BACHELOR-STUDIENGANG PRODUKTIONS- UND ENERGIEWIRTSCHAFT

**Entwicklung eines 5-Jahres-Energie-Stufen-Konzepts  
für die Gemeinde Borsdorf und seinen Ortsteilen mit  
der tendenziellen Zielstellung einer energieautarken  
Selbstversorgung der Gemeinde**

**- Bachelorarbeit Nr. 185/16-**

von

Sebastian Meyer

geb. am 10.09.1982

in Freiberg

Matr.-Nr.: 60842

Verantw. Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. U. Jung

Betreuer im Unternehmen: Prof. em. Dr.-Ing. habil. R. Müller  
B. Genennig  
fup Umweltinstitut Leipzig GmbH

Leipzig, April – August 2017

## INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis .....	4
I Abbildungsverzeichnis .....	6
II Tabellenverzeichnis .....	7
III Verwendete Abkürzungen und Indizes .....	8
1 Einleitung und Zielstellung der Arbeit .....	9
2 Nutzung von Contracting zur Kosteneinsparung und für Energieeffizienzmaßnahmen 10	
2.1 Vorteile von Contracting.....	10
2.2 Contracting – Modelle .....	11
2.2.1 Energiespar – Contracting (ESC).....	11
2.2.1 Energieliefer - Contracting .....	12
3 Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf LED Technologie.....	13
3.1 Grundlagen der Straßenbeleuchtung .....	13
3.2 Stromverbrauch und Bestandsdaten der Straßenbeleuchtung in der Gemeinde Borsdorf .....	13
3.2.1 Stromverbräuche und Lichtpunkte .....	13
3.2.2 „Borsdorfer Leuchten“ .....	14
3.3 Umrüstungskosten und Finanzierung der LED's .....	15
3.4 Einsparpotential für CO <sub>2</sub> - Emission, Strom- und Primärenergie .....	18
4 Nutzung der Wärmeüberschüsse des AZV Parthe .....	20
4.1 Allgemeine Informationen .....	20
4.2 Nutzungsmöglichkeiten der Wärmeüberschüsse .....	20
4.2.1 Wohngebiet Parthenaue .....	20
4.2.2 Kurzfristige Nutzungsmöglichkeit durch Absorptionskältemaschine (AKM) ....	23
4.2.3 Langfristige Nutzung der Überschusswärmemengen.....	25
5 Einbindung der Diakonie in ein Gesamtenergiekonzept der Gemeinde .....	27
5.1 Einbindungsmöglichkeit und Nahwärmenetzplanung .....	27
5.2 Jahresdauerlinien .....	29
5.3 BHKW - Planung .....	31
5.4 Wirtschaftlichkeitsabschätzung .....	33

---

5.4.1	Investitionskosten .....	33
5.4.2	Mögliche Fördermittel .....	35
5.4.3	Betriebskosteneinsparung .....	36
5.4.4	Dynamische Investitionsrechnung .....	36
6	Installation einer PV- Anlage auf der KITA Apfelkorbchen.....	39
6.1	Lage, Ausrichtung und Verschattung .....	39
6.2	Stromverbrauch und Anlagenauslegung .....	40
6.3	Wirtschaftlichkeitsabschätzung .....	41
6	Zusammenfassung.....	42
	Literaturverzeichnis.....	44

## I ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>Abb. 2.1:</b> Schema Energiespar - Contracting [vgl. 2.1].....	10
<b>Abb. 2.2:</b> Kosteneinsparung durch Energiespar - Contracting [vgl. 2.5].....	11
<b>Abb. 2.3:</b> Kosteneinsparung durch Energieliefer - Contracting [vgl. 2.8].....	12
<b>Abb. 3.1:</b> Anteil der Straßenbeleuchtung am Gesamtstromverbrauch (siehe Anhang A.2).	14
<b>Abb. 3.2:</b> HME/HSE-Lampe [eig. Darst.] .....	15
<b>Abb. 3.3:</b> Retrofit-Lampe [eig. Darst.].....	16
<b>Abb. 3.4:</b> Anteil der Straßenbeleuchtung am Gesamtstromverbrauch [eig. Darst.].....	19
<b>Abb. 4.1:</b> BHKW AZV [eig. Darst.].....	20
<b>Abb. 4.2:</b> Nahwärmenetzplanung zwischen AZV und Parthenaue.....	21
<b>Abb. 4.3:</b> Theoretischer Wärmeverlust in Abhängigkeit d. Wärmebelegungsdichte [4.3, S. 3] .....	22
<b>Abb. 4.4:</b> Wärmeüberschuss AZV/WW-Bedarf Parthenaue [eig. Darst.].....	23
<b>Abb. 4.5:</b> Funktionsprinzip Absorptionskältemaschine [vgl. 4.4] .....	24
<b>Abb. 4.6:</b> Schema einer Systemlösung zur Wärmeversorgung [vgl. 4.10] .....	26
<b>Abb. 5.1:</b> Nahwärmenetz Diakonie - Gemeindeverwaltung (Einzelheiten in Anhang A.8)....	27
<b>Abb. 5.2:</b> JDL (Strom) Diakonie und Gemeindeverwaltung [eig. Darst.] .....	29
<b>Abb. 5.3:</b> JDL (Wärme) Diakonie und Gemeindeverwaltung [eig. Darst.].....	30
<b>Abb. 5.4:</b> JDL Strom BHKW-Programm [vgl. 5.3] .....	31
<b>Abb. 5.5:</b> JDL Wärme BHKW-Programm [vgl. 5.3] .....	32
<b>Abb. 5.6:</b> Nahwärmenetz [vgl. 5.6] .....	33
<b>Abb. 5.7:</b> Vermögenszuwachs durch Betriebskosteneinsparung [eig. Darst.] .....	38
<b>Abb. 6.1:</b> Dachfläche und Verschattung Kita Apfelkörbchen.....	39
<b>Abb. 6.2:</b> Ermittlung der möglichen Verschattung auf dem Dach der Kita Apfelkörbchen ....	40
<b>Abb. 6.3:</b> Kumulierter Cashflow nach PV*Sol .....	41
<b>Abb. 7.1:</b> 5-Jahres-Energie-Stufen-Plan für die Gemeinde Borsdorf [eig. Darst.] .....	43
<b>Abb. A.1:</b> Lageplan Diakonissenhaus mit geplanten Strahlennetz (rote Linien) oder Ringnetz (blau gestrichelt) .....	60
<b>Abb. A.2:</b> BHKW`s VIESSMANN [vgl. A.6].....	63
<b>Abb. A.3:</b> Gaskessel VIESSMANN [vgl. A.7].....	63

## II TABELLENVERZEICHNIS

<b>Tabelle 3.1:</b> Betriebsarten der Straßenbeleuchtung [vgl. 3.3, S. 8].....	16
<b>Tabelle 3.2:</b> Kostenvergleich Lampenaltbestand und LED .....	17
<b>Tabelle 5.1:</b> Kostenaufstellung Wärmeerzeuger [vgl. 5.9, 5.10].....	34
<b>Tabelle 5.2:</b> Darlehen mit KfW Förderung 201 .....	35
<b>Tabelle 5.3:</b> Barwertentwicklung über die Laufzeit von 15 Jahren .....	37
<b>Tabelle 6.1:</b> Rahmenbedingungen zur Errichtung einer PV- Anlage	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
<b>Tabelle A.2.1:</b> Stromverbrauch der Gemeinde Borsdorf .....	- 53 -
<b>Tabelle A.3.1:</b> Bestandsleuchten Borsdorf [vgl. A.1, S. 51] .....	- 54 -
<b>Tabelle A.3.2:</b> Bestandsleuchten Borsdorf [vgl. A.1, S. 52] .....	- 55 -
<b>Tabelle A.6.1:</b> Wärmeüberschüsse AZV .....	- 58 -
<b>Tabelle A.7.1:</b> Heizungssysteme Diakonie .....	- 59 -
<b>Tabelle A.9.1:</b> Stromverbrauch Diakonie und Gemeindeverwaltung.....	61
<b>Tabelle A.9.2:</b> Wärmeverbrauch Diakonie und Gemeindeverwaltung.....	61
<b>Tabelle A.10.1:</b> Stahlmediumrohr bei 100 Pa/m Druckverlust .....	62
<b>Tabelle A.12.1:</b> Betriebskostenvergleich mit/ohne BHKW [vgl. A.7] .....	64

### III VERWENDETE ABKÜRZUNGEN UND INDIZES

EE	Erneuerbare Energien
BHKW	Blockheizkraftwerk
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
EnEV	Energie-Einspar-Verordnung
EW	Einwohner
WW	Warmwasser
kW	Kilowatt
t	Tonnen
el.	Elektrisch
th.	Thermisch
MWh	Megawattstunden
d	Tag
a	Jahr
LED	light-emitting diode
K	Kelvin
lm	Lumen
PV	Photovoltaik
$P_{th}$	thermische Leistung
$P_K$	Kälteleistung
OT	Ortsteil
BEB	Bürger Energie Borsdorf
Kita	Kindertagesstätte
DN	(Diameter Nominal) = Nennweite, nicht tatsächlicher Innendurchmesser der Rohrleitung
BoS	Balance of System
JDL	Jahresdauerlinie

## 1 EINLEITUNG UND ZIELSTELLUNG DER ARBEIT

Im Jahre 2016 wurde begonnen, den wärme- und stromenergetischen Ist-Zustand von prioritären Gebäuden und Einrichtungen der Gemeinde Borsdorf aufzuzeichnen bzw. zu untersuchen. Mit der anschließenden Bewertung endete die damit beauftragte Masterarbeit von Kalks, T. [vgl. 1.1] und die im Vorlauf zu dieser Arbeit erstellte Praktikumsarbeit [vgl. 1.2]. Basis waren die erfassten flächenspezifischen Endenergieverbräuche der jeweiligen Gebäude aus den Jahren 2013 bis 2015. Daraus soll ein Konzept zur nachhaltigen kommunalen Strom- und Wärmeversorgung von öffentlich zugänglichen Gebäuden und Einrichtungen für die Gemeinde Borsdorf unter den Prämissen Energieeffizienz, Energieeinsparung und erneuerbare Energien erstellt werden. Als Basis dienen die Ergebnisse der vorangestellten Praktikumsarbeit, so dass nun konkrete Umsetzungsmöglichkeiten mit einer jeweiligen Wirtschaftlichkeitsabschätzung in dieser wissenschaftlichen Arbeit erarbeitet werden.

In einer Besprechung (11.04.2017) mit dem Bürgermeister und dem Bauamtsleiter der Gemeinde Borsdorf wurden folgende Maßnahmen konkret für die Untersuchungen priorisiert:

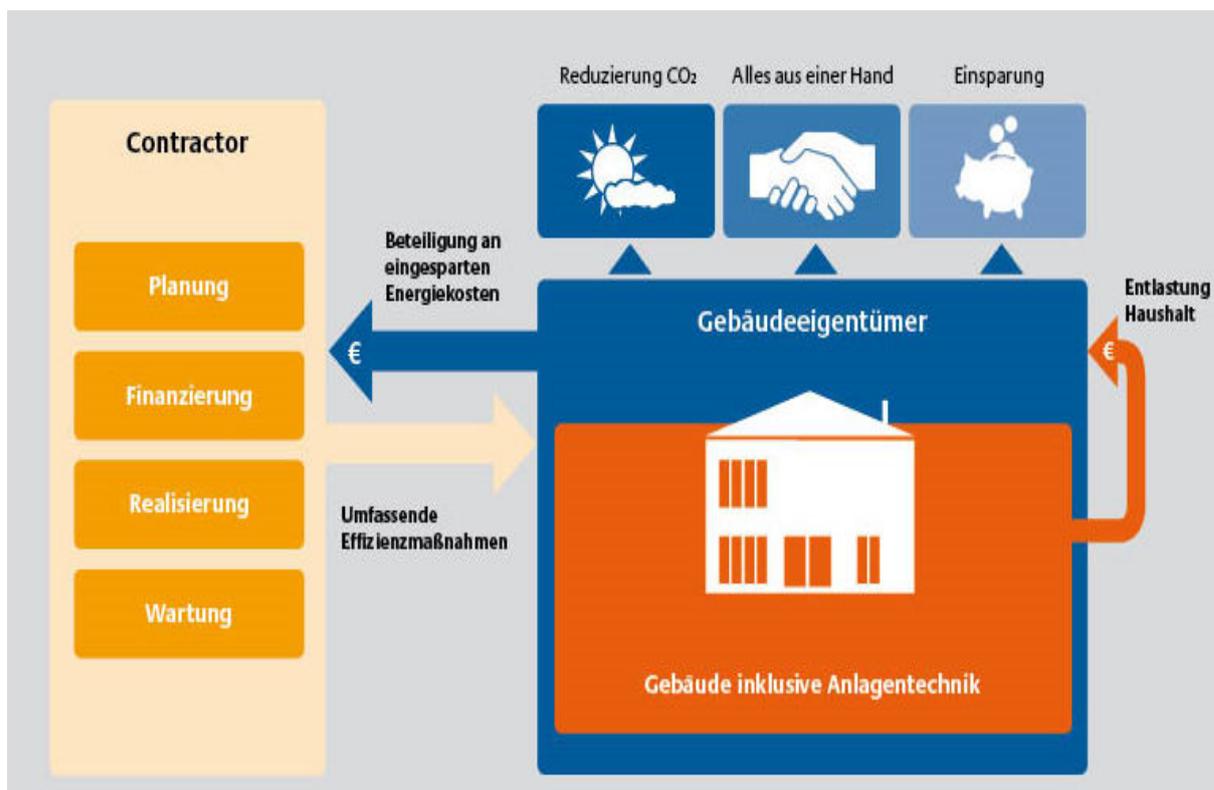
- Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf LED- Technologie in der Gemeinde Borsdorf
- Nutzungsmöglichkeiten der Wärmeüberschüsse des Abwasserzweckverbandes Parthe in Borsdorf
- Einbindung der ortsansässigen Diakonie in ein Gesamtenergiekonzept der Gemeinde Borsdorf
- Errichtung einer PV- Anlage auf der Kita Apfelkorbchen

Der Fokus der Untersuchungen für die einzelnen Maßnahmen wird dabei besonders auf wirtschaftliche und CO<sub>2</sub> reduzierende Kriterien gelegt, so dass die Gemeinde in der Lage ist, diese auch finanziell umzusetzen. Aufgrund der hohen finanziellen Verantwortung gegenüber der Einwohner (Steuerzahler), sollten bei der Umsetzung die Risiken (zum Beispiel: höhere Investitionskosten durch falsche Auslegung der Anlagen) möglichst minimiert werden. Zu Beginn dieser Arbeit (siehe Kapitel 2) wird daher auf eine inzwischen etablierte Möglichkeit, die des Contractings, verwiesen. In den folgenden Kapiteln legt der Autor die Ergebnisse für die jeweilig vordefinierte Maßnahme zugrunde und zeigt mit seinen Untersuchungen und Berechnungen konkrete Energieeinsparpotentiale auf. In Verbindung zur energetischen Betrachtung der Maßnahmen wird dabei immer auf konkrete finanzielle Fördermöglichkeiten und deren Rahmenbedingungen, beispielsweise durch Bund und Länder, hingewiesen. Den Abschluss dieser wissenschaftlichen Arbeit bildet, ergebnisbasierend, ein 5 Jahres-Energie-Stufen-Konzept, welches als Handlungsempfehlung für die Gemeinde Borsdorf dienen soll, um zukünftig eine energieautarke Versorgung umzusetzen und zu gewährleisten.

## 2 NUTZUNG VON CONTRACTING ZUR KOSTENEINSPARUNG UND FÜR ENERGIEEFFIZIENZMAßNAHMEN

### 2.1 Vorteile von Contracting

Die hohen Einsparpotenziale von Bund, Ländern und Kommunen bleiben im Gebäudebestand und in der Energieversorgung zum größten Teil ungenutzt. Mit Hilfe von Energie-Contracting können sie die CO<sub>2</sub>-Emissionen ihrer Gebäude deutlich reduzieren und dabei gleichzeitig Energiekosten sparen (Abb. 2.1).



**Abb. 2.1:** Schema Energiespar-Contracting [vgl. 2.1]

Im Dezember 2014 wurde der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) als Energieeffizienzstrategie der Bundesregierung für die laufende Legislaturperiode beschlossen. Eine der zentralen Maßnahmen des NAPE ist die Förderung im Bereich Contracting mit Ausfallbürgschaften der Bürgschaftsbanken für Energiespar-Contracting-Finanzierungen [vgl. 2.2]. Abhängig von den Konditionen der im jeweiligen Bundesland ansässigen Bürgschaftsbank, liegen die Bürgschaften mit bis zu 2 Mio. Euro in der Regel zwischen 0,8-1,6 % p.a. des Kreditbetrages. Diese günstigen Konditionen können somit an die Auftraggeber weitergegeben werden.

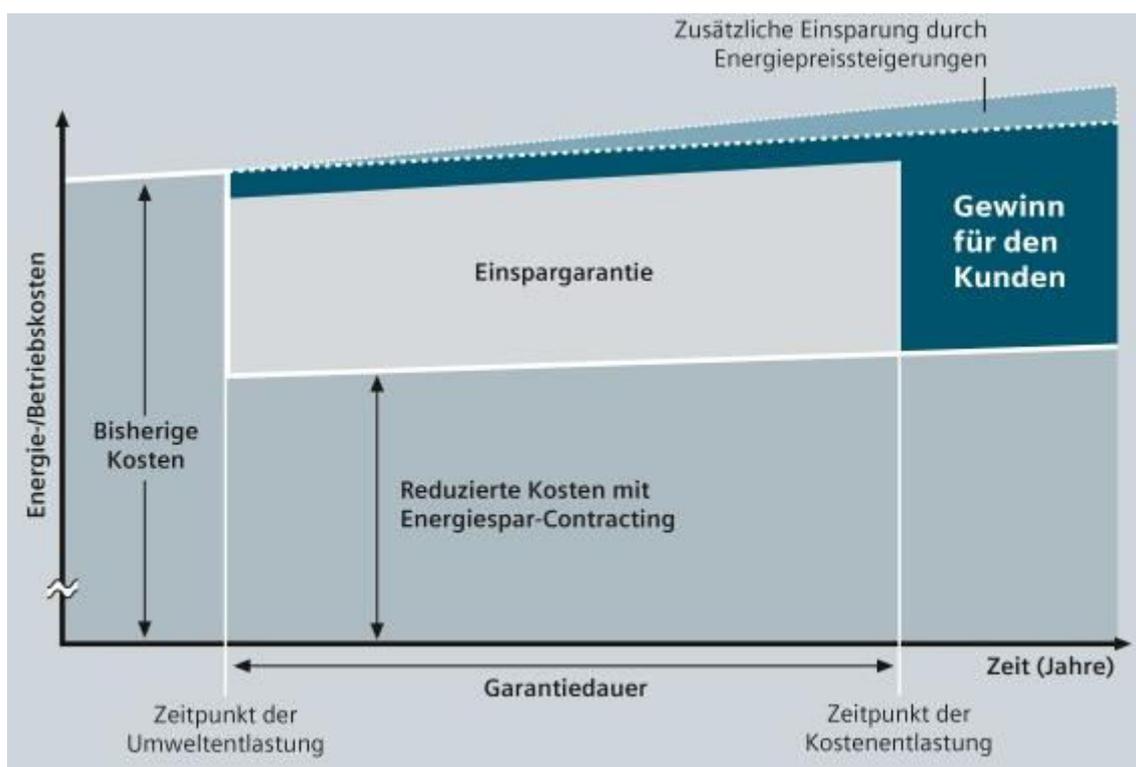
## 2.2 Contracting – Modelle

Bei der Anzahl der realisierten Contracting-Varianten dominiert 2016, nach wie vor mit 88 %, das Energieliefer-Contracting, 6 % sind Einspar-Contracting-Verträge, 5 % technisches Anlagenmanagement und kaum 1 % Finanzierungs-Contracting. Die CO<sub>2</sub>-Entlastung prognostiziert der Verband für Wärmelieferung (VfW) mit fast 3,2 Mio. t/a, was die Relevanz des Energie-Contractings unterstreicht [vgl. 2.3].

Die Definitionen und Anwendungsgebiete diverser Contracting-Arten werden in der DIN 8930 Teil 5 aufgezeigt (siehe Anhang A.1). Besonders zwei Contracting-Modelle haben sich am Markt etabliert:

### 2.2.1 Energiespar-Contracting (ESC)

Beim Energiespar-Contracting (Abb. 2.2) geht es um die Umsetzung von individuell auf ein Gebäude oder Einrichtung zugeschnittenen Effizienzmaßnahmenpaket durch den Energiedienstleister, mit dem Ziel, Energie und damit Kosten einzusparen. Der Gebäudeeigentümer erhält vom Contractor eine langfristige Garantie für Energiekosteneinsparungen [vgl. 2.4].



**Abb. 2.2:** Kosteneinsparung durch Energiespar - Contracting [vgl. 2.5]

Energiespar-Contracting ist haushaltsrechtlich grundsätzlich zulässig. Es ist kein kreditähnliches Rechtsgeschäft nach § 82 Abs. 5 SächsGemO, da die Refinanzierung der mit dem ESC Verfahren verbundenen Investitionen ausschließlich aus der vertraglich

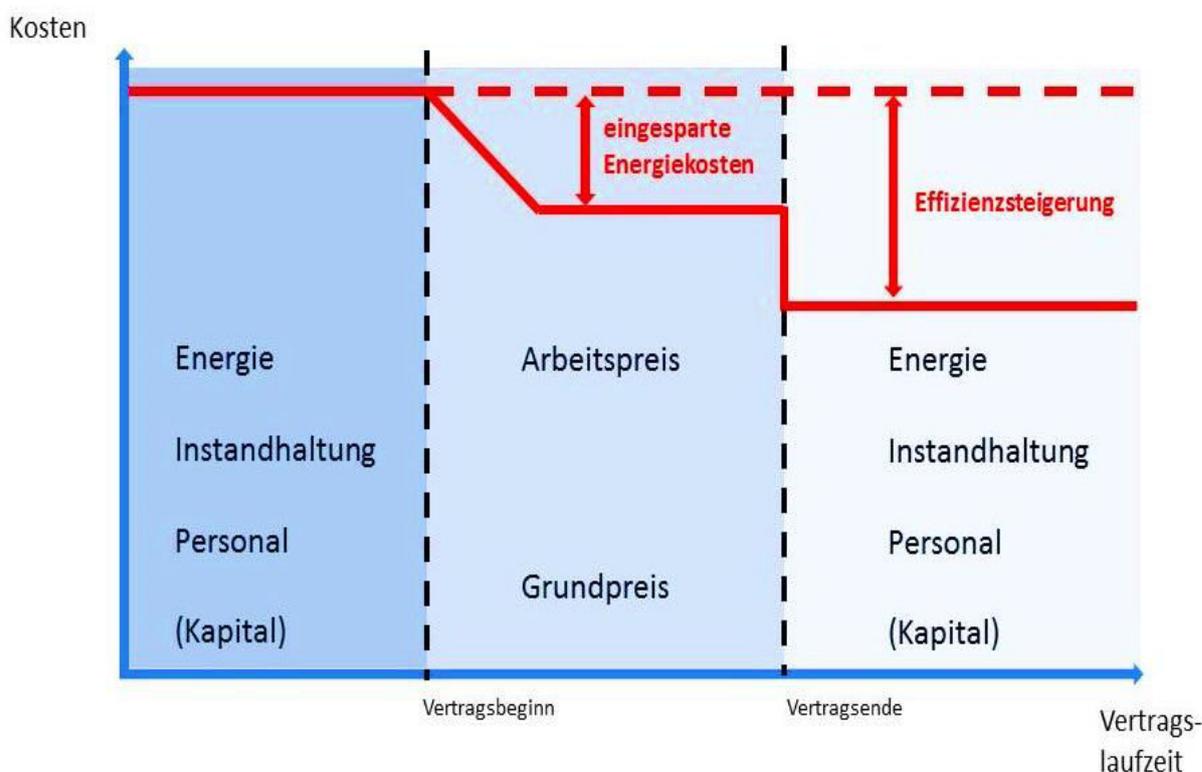
zugesicherten Einspargarantie erfolgt. Der für kreditähnliche Rechtsgeschäfte erforderliche Vorfinanzierungscharakter ist somit nicht gegeben [vgl. 2.6, S. 12].

### 2.2.1 Energieliefer - Contracting

Energieliefer-Contracting ist für Liegenschaften ausgerichtet, bei denen ein Sanierungsbedarf insbesondere an der vorhandenen Energieversorgungsanlage besteht: Der Contractor investiert in eine moderne, energieeffiziente Energieversorgung, beispielsweise in ein Blockheizkraftwerk und Nahwärmenetz.

Er liefert dem Auftraggeber über einen festgelegten Vertragszeitraum von meist zehn bis zwanzig Jahren die damit erzeugte Nutzenergie wie Wärme, Strom oder Kälte zu Festpreisen. Er übernimmt zudem Betrieb, Wartung und Instandhaltung der Anlage. Die Vergütung des Contractors erfolgt über das Entgelt für die gelieferte Nutzenergie.

Daher konzentriert sich sein wirtschaftliches Interesse darauf, die Anlage möglichst energieeffizient zu betreiben. Am Ende der Vertragslaufzeit kann der Auftraggeber die Anlage in den eigenen Betrieb/Einrichtung übernehmen oder auch eine neue Ausschreibung für Energieliefer-Contracting starten [vgl. 2.7].



**Abb. 2.3:** Kosteneinsparung durch Energieliefer-Contracting [vgl. 2.8]

## **3 UMRÜSTUNG DER STRAßENBELEUCHTUNG AUF LED TECHNOLOGIE**

### **3.1 Grundlagen der Straßenbeleuchtung**

Die Straßenbeleuchtung gehört zu den elementarsten Bestandteilen der öffentlichen Sicherheit und Ordnung. Zur Vermeidung von Gefahren, wie Verkehrsunfälle durch schlechte Sicht oder auch nächtliche Einbrüche in der Dunkelheit, hat sie für die Städte und Gemeinden eine besondere Bedeutung. Dies spiegelt sich nicht zuletzt in der DIN EN 13201 wieder, welche alle Verkehrsflächen nach ihrer Beleuchtungssituation (DIN EN 13201-1), Beleuchtungsklassen und Blendindexklassen (DIN EN 13201-2) einteilt und damit die notwendigen Beleuchtungsstärken herleitet. Dies ist auch der Grund, dass nicht überall die gleichen Leuchtmittel verwendet werden können und in bestimmten Bereichen, wie Fußgängerüberwege, höhere Mindestanforderungen für Lampen gelten.

Es ist noch einmal die wichtige Unterscheidung von Leuchte und Lampe hervorzuheben:

Bei der Lampe handelt es sich um das Leuchtmittel.

Die Leuchte ist die gesamte Vorrichtung in der das Leuchtmittel verbaut oder verschraubt werden kann.

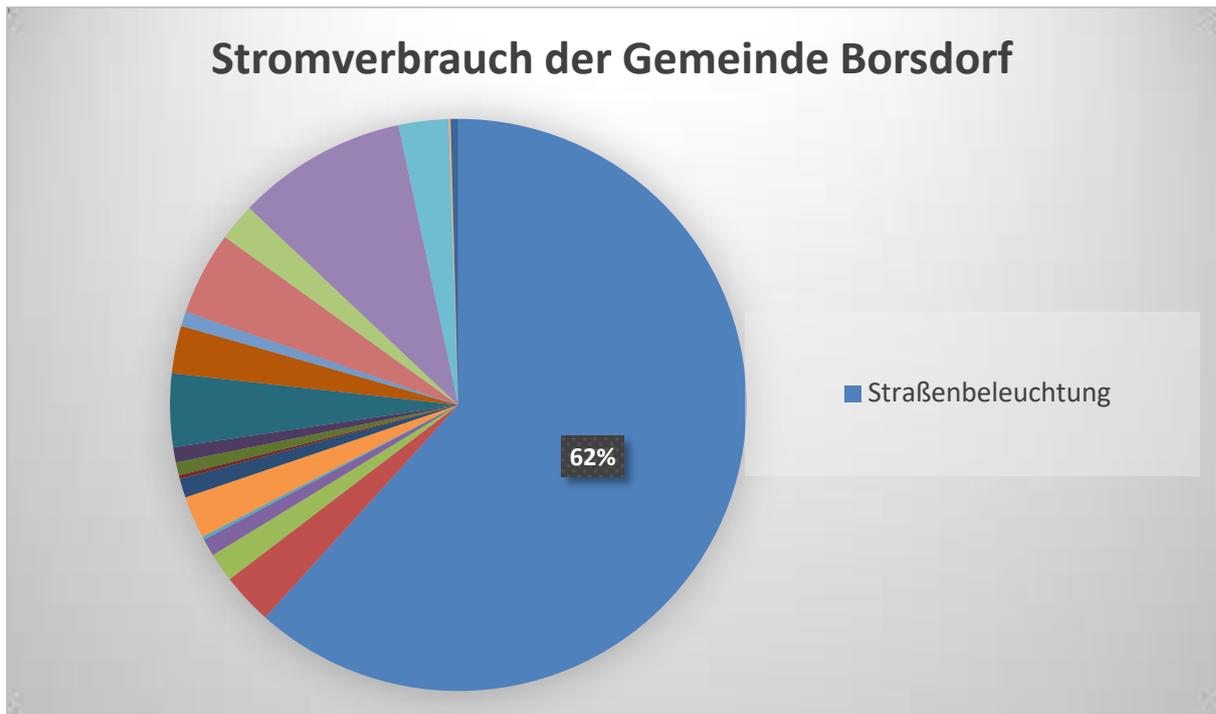
Die entsprechende Auswahl einer geeigneten Leuchte oder ggf. eines geeigneten Leuchtmittels kann nach DIN EN 13201-3 berechnet, beziehungsweise durch entsprechende Simulationssoftware bestimmt werden. Erläuterungen zur Energieeffizienz befinden sich in der DIN EN 13201-5.

Die Beleuchtungsmasten, auf denen die Leuchten installiert sind, haben nur eine untergeordnete Bedeutung. Aufgrund ihrer Langlebigkeit werden sie im Verlauf der Arbeit nicht weiter betrachtet.

### **3.2 Stromverbrauch und Bestandsdaten der Straßenbeleuchtung in der Gemeinde Borsdorf**

#### **3.2.1 Stromverbräuche und Lichtpunkte**

Mit einem durchschnittlichen Gesamtstromverbrauch (2013 bis 2015) von 409.918,16 kWh/a [vgl. 3.1] ist die Straßenbeleuchtung der größte Verbraucher der gemeindlichen Gebäude und Einrichtungen. Fast die Hälfte des Strombedarfs entfällt auf diese Anlagen (Abb. 3.1) und bildet somit eine relevante Position bei der energetischen Betrachtung der Gemeinde.



**Abb. 3.1:** Anteil der Straßenbeleuchtung am Gesamtstromverbrauch (siehe Anhang A.2)

Durch die in der Gemeinde vorhandenen Aufzeichnungen ist die Ermittlung aller Leuchtpunkte (LP) problemlos möglich. Es beinhaltet nicht nur die Anzahl und Orte der Leuchten, sondern auch Art, Abstand voneinander, Lichtpunkthöhe und Anschlusspunkte an das Stromnetz. Somit konnten 1.279 Lichtpunkte festgestellt werden, wovon bereits 25 auf LED umgerüstet wurden und weitere 57 in Planung sind [vgl. 3.1]. Die (geplante) Umstellung der 82 Leuchten auf LED geschah durch das im Jahr 2015 veröffentlichte Förderprogramm des **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – BMUB** – Fördergelder für Kommunen zur Erneuerung der Beleuchtung mit LED-Technik im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative zur Reduzierung der CO<sub>2</sub> Emissionen [vgl. 3.1]. Eine Förderung bis 20% war möglich, beinhaltete jedoch ausschließlich die Erneuerung ganzer Leuchten. Aus Kostengründen musste auf eine weitere Umrüstung vorerst verzichtet werden. Die Förderung ab 2017 beinhaltet weiterhin 20%. Bedingung hierfür ist die CO<sub>2</sub> Reduzierung um mindestens 70%, was bei Verwendung von modernen LED - Leuchten problemlos möglich ist.

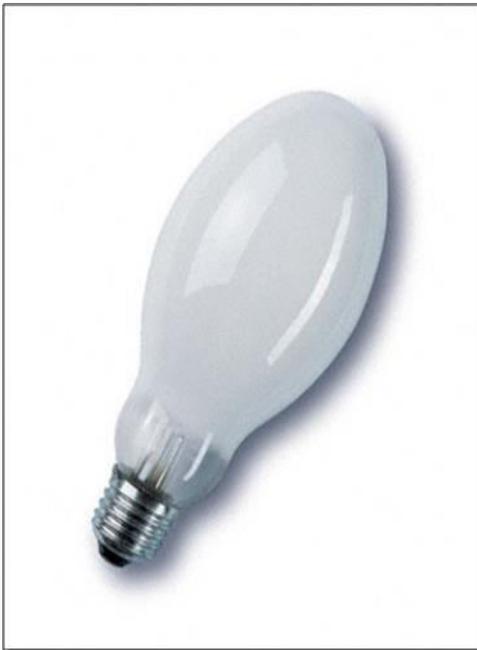
### 3.2.2 „Borsdorfer Leuchten“

Die Vielfalt der unterschiedlichen Leuchten, welche in Anhang A.3 aufgezeigt werden, begründet sich nicht nur in der Zweckmäßigkeit, sondern auch durch das geforderte Erscheinungsbild in der Gemeinde. So gibt es ein berechtigtes Interesse in Wohngebieten äußerlich anspruchsvollere Leuchten zu installieren, wohingegen an den

Hauptverkehrsstraßen der Nutzen überwiegt. Im Jahr 2011 wurde bereits durch die enviaM ein Energiebericht zur Straßenbeleuchtung angefertigt. Die LED-Leuchten Technologie befand sich zum damaligen Zeitpunkt in der Entwicklungs- und Einführungsphase. In diesem Stadium des Produktlebenszyklus war der Preis des Produktes auf Grund relativ geringer Umsätze und hoher Entwicklungskosten vergleichsweise hoch. Da die LED-Technologie in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht hat und nun auch auf die Bedürfnisse der Nutzer eingeht, sind die damaligen Bedenken bezüglich Lichtstrom (hat sich mehr als verdoppelt von 75 lm/W auf über 150 lm/W), Farbtemperatur (2000 K bis 10.000 K), Blendindex, Leistungsspektrum und Vermeidung von Leistungsverlusten (Verwendung von intelligenten Kühlkörpern) nicht mehr zu berücksichtigen [Angebotsrecherche im Internet]. Zusätzlich haben sich zwei weitere, wahrscheinlich auch die wichtigsten, Probleme relativiert. Die Angebotsvielfalt der LED-Leuchten und Leuchtmittel ist aufgrund der hohen Anzahl von Herstellern massiv gestiegen. Weiterhin konnte die bei der Ausleuchtung unerwünschte Spot-Wirkung der emittierenden Chips durch den Einsatz von Streulinse angepasst werden.

### 3.3 Umrüstungskosten und Finanzierung der LED's

Von den 1.279 Leuchtpunkten in der Gemeinde sind über 1.000 mit 70 W



Natriumdampflampen (NAV) bestückt (Abb. 3.2). Diese im Vergleich zu Quecksilberdampflampen relativ effizienten Leuchtmittel haben unter Vollastbetrieb eine Lebenserwartung von 4,5 Jahren und auf den ersten Blick durch den geringen Leuchtmittelpreis einen monetären Vorteil, gegenüber der LED-Beleuchtung.

Der Gesamtstromverbrauch von 409.918,16 kWh bei 1.279 Leuchtpunkten und 4.000 Betriebsstunden pro Jahr ergeben eine durchschnittliche Systemleistung von ca. 80 W pro Leuchtpunkt. Die LP laufen nicht alle unter Vollast, sondern wie in Tabelle 3.1 aufgeführt, in verschiedenen Betriebsarten.

**Abb. 3.2:** HME/HSE-Lampe [eig. Darst.]

**Tabelle 3.1:** Betriebsarten der Straßenbeleuchtung [vgl. 3.3, S. 8]

Betriebsart	Bedeutung
Nacht	Lampen ganznchtig in Betrieb
Abend 1	Lampen von 22:30 – 05:00 Uhr aus
Abend 2	Lampen von 22:00 – 05:00 Uhr aus
Abend 3	Lampen ab 23:00 Uhr aus
Dimmung 1	2 Stunden nach Einschalten der Beleuchtungsanlage Lampen mit 100 W auf 70 W und Lampen mit 70 W auf 50 W
Dimmung 2	2 Stunden nach Einschalten der Beleuchtungsanlage Spannungsabsenkung auf 200 V

Für die Ermittlung der Betriebsstunden wird der Gesamtstromverbrauch der Straßenbeleuchtung anteilig für 1.000 Leuchtpunkte berechnet und danach durch die Systemleistung (70 W Leuchtmittel + 15 W Vorschaltgerät) geteilt. Somit können die verschiedenen Betriebsarten aus Tabelle 3.1 vernachlässigt werden.

$$1.279 \text{ LP} = 409.918,16 \text{ kWh/a}$$

$$1.000 \text{ LP} = 320.498,95 \text{ kWh/a}$$

$$\frac{320.498,95 \text{ kWh/a}}{0,085 \text{ kW}} = \underline{\underline{3.770,58 \text{ h/a}}}$$

#### **Auswahlkriterien für die Berechnung von LED- Lampen vorbehaltlich der Einhaltung der DIN EN 13201:**

1. Einsatz von Retrofit Leuchtmitteln mit entsprechendem Sockel, siehe Abb. 3.3
2. Alle Leuchten laufen unter Volllast (3.770,58 h/a)



3. Alle Leuchtmittel haben  $P_{el} = 24 \text{ W}$  ohne Vorschaltgerät

**Abb. 3.3:** Retrofit-Lampe [eig. Darst.]

In Tabelle 3.2 werden zusammenfassend alle für die Umrüstung benötigten Kostenfaktoren zusammengetragen. Subtrahiert man die Stromkosten der alten Leuchtmittel mit denen der neuen, erhält man die mit blau hervorgehobenen jährlich eingesparten Stromkosten.

$$73.714,84 \text{ €/a} - 20.813,60 \text{ €/a} = \underline{52.901,24 \text{ €/a}}$$

**Tabelle 3.2:** Kostenvergleich Lampenaltbestand und LED

Leuchtpunkte (LP)	1 LP LED	1 LP NAV	1000 LP LED	1000 LP NAV
Kosten Lampe in €	60,00	7,00	50.000,00	7.000,00
Betriebsstunden pro Jahr in h	3.770,58	3.770,58	3.770,58	3.770,58
Betriebsstunden Leuchtmittel in h	32.000,00	20.000,00	32.000,00	18.000,00
Anschlussleistung in W	27,00	85,00	24.000,00	85.000,00
Kosten kWh in €	0,23	0,23	0,23	0,23
Rüstkosten	52,50	52,50	52.500,00	52.500,00
Nachweis DIN 13201 (Straßenzug 55€)	5,50		5.500,00	
Entsorgungskosten	5,00	5,00	5.000,00	5.000,00
Umrüstkosten gesamt in €			63.000,00	57.500,00
Stromverbrauch in kWh/a	101,81	320,50	90.493,92	320.499,30
Stromkosten pro Jahr in €	23,42	73,71	20.813,60	73.714,84
<b>Kosteneinsparung pro Jahr in €</b>	<b>50,30</b>		<b>52.901,24</b>	
<b>Beschaffungs- und Montagekosten in €</b>			<b>113.000,00</b>	
<b>Kosteneinsparung pro Monat</b>	<b>4,20</b>		<b>4.408,44</b>	

$$\begin{aligned}
 \text{Amortisationszeit} &= \frac{\text{Kapitaleinsatz [€]}}{\text{jährliche Rückflüsse [€/a]}} \\
 (1) & \\
 &= \frac{113.000,00 \text{ €}}{52.901,24 \text{ €/a}} = \underline{\underline{2,14 \text{ a}}}
 \end{aligned}$$

Die kurze Amortisationszeit, verbunden mit der hohen permanenten Kosteneinsparung (Gewinn), ermöglicht der Gemeinde eine kurzfristige Energieeffizienzsteigerung bei gleichzeitiger Stromkosteneinsparung. Selbst ohne die nötigen finanziellen Mittel ist mit Hilfe

eines Mietkaufes oder Contractors eine schnelle Umsetzung möglich. Eine Contracting-Variante ist in Anhang A.4 beispielgebend dargestellt.

Der Mietkauf bezieht sich lediglich auf den Erwerb der Leuchtmittel, wohingegen die Contracting-Variante die gesamte Umrüstung beinhaltet, bei gleichzeitiger Gewährleistung des funktionalen Betriebes über die angegebene Laufzeit des Vertrages.

Bedenken der Gemeinde bezüglich der Funktionalität der Straßenbeleuchtung nach der Umrüstung, aufgrund der hohen Gewichtsunterschiede der Leuchtmittel (NAV: 40 g, LED: 410 g), konnten nach Rücksprache mit der Firma Berg-Berger Elektroanlagenbau [vgl. 3.4] und dem Contracting-Anbieter Kommunal KW GmbH & Co KG [vgl. 3.5] ausgeräumt werden. Die mögliche Gefahr des Herausbrechens des Sockels kann mit Hilfe von Lochblechen bzw. Befestigungsdrähten, durch geringen Mehraufwand (Schätzung: 10 % der Umrüstkosten), vermieden werden.

### 3.4 Einsparpotential für CO<sub>2</sub> - Emission, Strom- und Primärenergie

Die Verringerung der CO<sub>2</sub> Emission kann mithilfe des spezifischen CO<sub>2</sub> Emissionsfaktor [g/kWh] berechnet werden. Dieser wird regelmäßig in Abhängigkeit des deutschen Strommix durch das Umweltbundesamt (UBA) herausgegeben [vgl. 3.6]. Dieser liegt im Jahr 2017 bei derzeit 527 g/kWh. Es ergibt sich somit eine jährliche Einsparung von:

Beleuchtung alt:  $320.499,30 \text{ kWh/a} * 527 \text{ g/kWh} = 168.903.131,1 \text{ g/a} = 168,903 \text{ t/a}$

Beleuchtung neu:  $90.493,92 \text{ kWh/a} * 527 \text{ g/kWh} = 47.690.295,84 \text{ g/a} = 47,69 \text{ t/a}$

#### CO<sub>2</sub> - Einsparung:

$168,903 \text{ t/a} - 47,69 \text{ t/a} = \underline{121,213 \text{ t/a}} = 72\%$

Der Primärenergiefaktor für Strom wurde durch die EnEV 2014 mit 1,8 festgelegt [vgl. 3.7]:

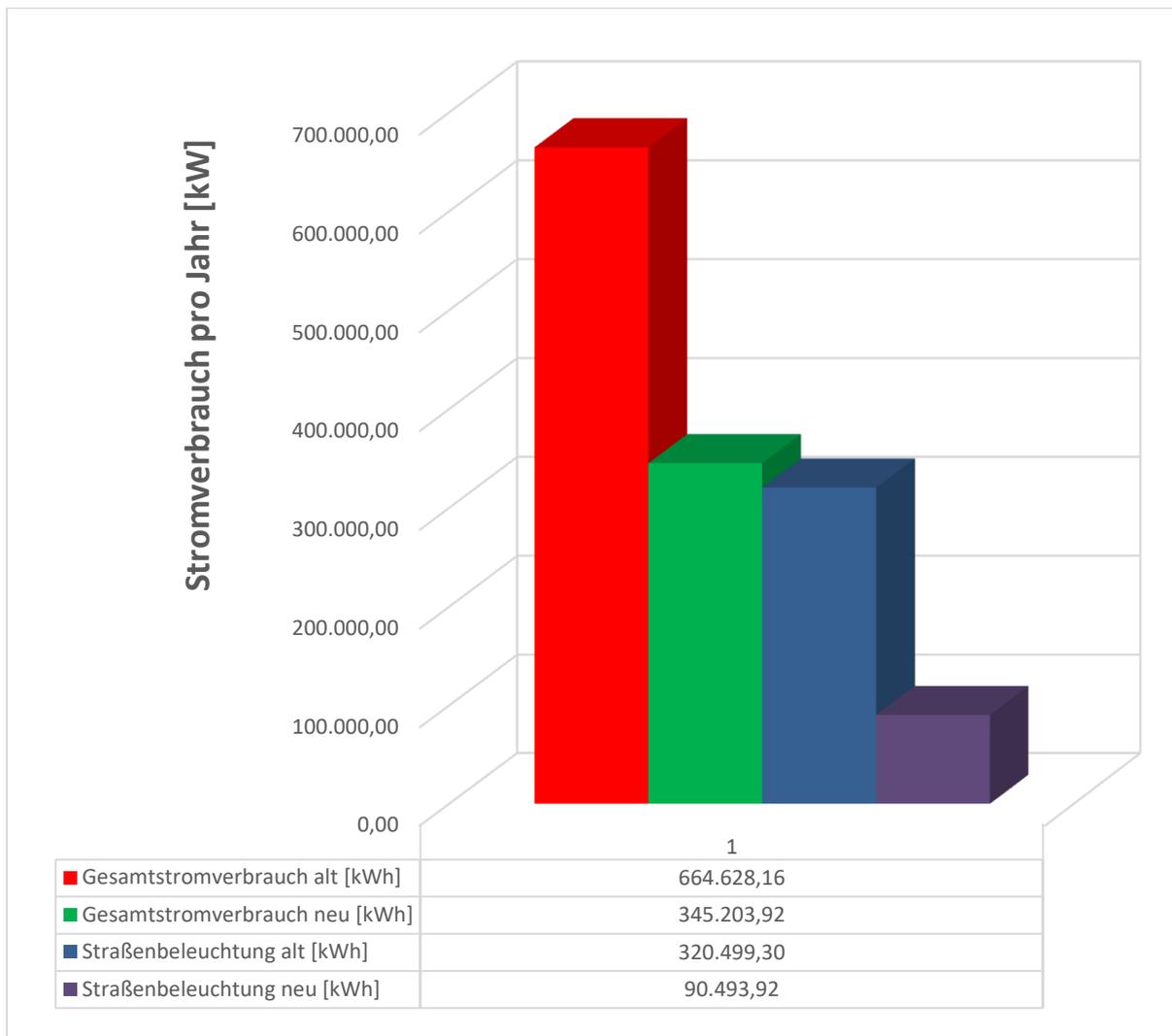
Beleuchtung alt:  $320.499,30 \text{ kWh/a} * 1,8 = 576.898,74 \text{ kWh/a}$

Beleuchtung neu:  $90.493,92 \text{ kWh/a} * 1,8 = 162.889,06 \text{ kWh/a}$

#### Primärenergieeinsparung:

$576.898,74 \text{ kWh/a} - 162.889,06 \text{ kWh/a} = \underline{414.009,68 \text{ kWh/a}} = 72\%$

Die mit 230.005,38 kWh/a erhebliche Reduzierung des Stromverbrauches der Straßenbeleuchtung wirkt sich auch sehr deutlich auf den Gesamtstromverbrauch, sowie der CO<sub>2</sub> - Reduzierung der Gemeinde (siehe Abb. 3.4) aus.



**Abb. 3.4:** Anteil der Straßenbeleuchtung am Gesamtstromverbrauch [eig. Darst.]

Er entspricht nach Umrüstung nahezu dem Stromverbrauch der alten Straßenbeleuchtung und reduziert den gemeindlichen Strombedarf um 48 %.

## 4 NUTZUNG DER WÄRMEÜBERSCHÜSSE DES AZV PARTHE

### 4.1 Allgemeine Informationen

Der AZV Parthe wurde als „Abwasserzweckverband zur Reinhaltung der Parthe“ durch die selbständigen Gemeinden Albrechtshain, Althen, Ammelshain, Baalsdorf, Beucha, Brandis,



Engelsdorf, Borsdorf, Fuchshain, Gerichshain, Grethen, Großpösna, Großsteinberg, Holzhausen, Kleinpösna, Klinga, Naunhof, Panitzsch, Polenz und Pomßen gegründet [vgl. 4.1].

Der durch den Abbau der Abwasserinhaltsstoffe entstehende Biomassezuwachs wird in sogenannten Faulbehältern unter anaeroben Bedingungen durch anaerobe Bakterienstämme zu Faulschlamm und brennbarem Faulgas (ein Gemisch aus Methan mit ca. 65 % und Kohlenstoffdioxid) abgebaut.

Das Faulgas wird in gereinigter Form (Entfernung von Schwefelwasserstoff) in den Blockheizkraftwerken zur Deckung des Eigenbedarfs an Strom und Wärme genutzt.

**Abb. 4.1:** BHKW AZV [eig. Darst.]

Der danach weiter behandelte Schlamm kann, wenn er frei von Schadstoffen und Giften ist, als organisches Düngemittel in der Landwirtschaft weiter verwendet werden (siehe Anhang A.5). Andernfalls wird er noch weiter entwässert und in Müllverbrennungsanlagen verbrannt oder auf Mülldeponien entsorgt.

Mit Hilfe von zwei BHKW's, siehe Abb. 4.1, wird das Klärgas (2015: 467.308 m<sup>3</sup>) zur Wärme- und Stromerzeugung genutzt (Anhang A.5). Ein Großteil der erzeugten Wärme benötigt der Klärprozess zur gleichmäßigen Temperierung auf ca. 35 °C der Anlage [vgl. 4.2]. Die überschüssigen Wärmemengen werden mittels Notkühlung (Lüfter) heruntergekühlt und danach an die Umgebung abgegeben. Es handelt sich um 897,8 MWh/a (siehe Anhang A.6), welche für energetische Maßnahmen zur Verfügung stehen würden.

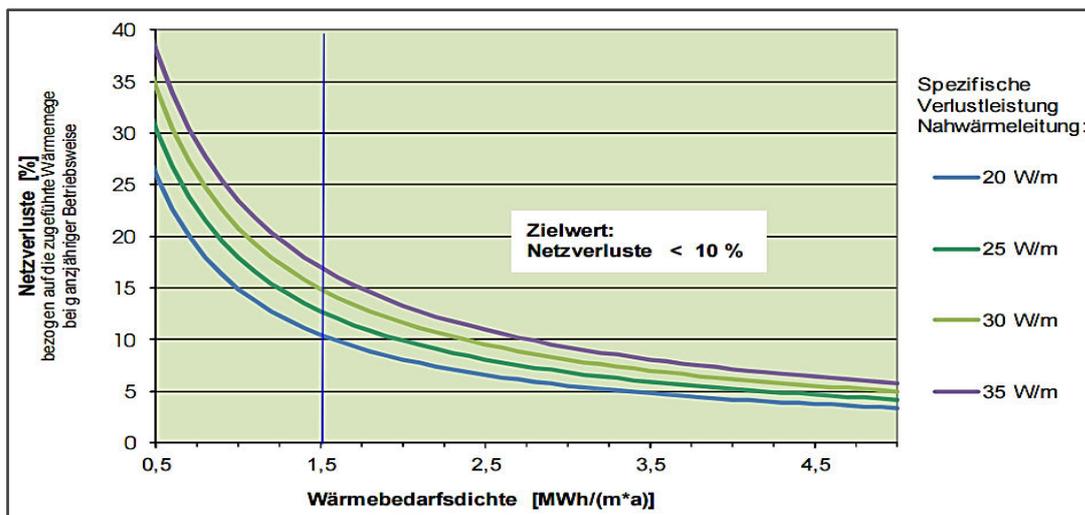
### 4.2 Nutzungsmöglichkeiten der Wärmeüberschüsse

#### 4.2.1 Wohngebiet Parthenaue

Das 420 m entfernte Wohngebiet „Parthenaue“ (Abb. 4.2) hat ca. 1.000 Einwohner. Es handelt sich vornehmlich um Miets- und Eigentumswohnungen in Mehrparteienhäusern. Die Warmwassererzeugung erfolgt zum Großteil (min. 800 Personen) ausschließlich durch



Da die Installation eines Nahwärmenetzes mit 200 € bis 400 € pro verlegten Meter [4.3, S. 4] einen hohen Kostenfaktor darstellt, ist eine ökonomische Überprüfung der Investition unumgänglich. Ein wesentliches Indiz zur Beurteilung der Sinnhaftigkeit von Wärmenetzen liefert die Wärmebedarfsdichte (in  $MWh/m^2a$ ). Sie setzt die durchschnittliche jährliche Wärmeabnahme zur Länge der Wärmetrasse ins Verhältnis. Das Wärmenetz im Endausbau sollte gemäß C.A.R.M.E.N den Wert von  $1,5 \frac{MWh}{m*a}$  und höher erreichen, um es wirtschaftlich betreiben zu können und die Netzverluste tendenziell unter 10 % zu halten (Abb. 4.3).



**Abb. 4.3:** Theoretischer Wärmeverlust in Abhängigkeit d. Wärmebelegungsdichte [4.3, S. 3]

Bei modernen Wärmetrassen und moderaten Vor- und Rücklauftemperaturen kann von einem Wärmeverlust von ca. 25 W pro Meter ausgegangen werden. Bei einem ganzzährlichen Betrieb des Netzes wären das  $219 \frac{kWh}{m*a}$  [4.3, S. 3], beziehungsweise 331,8 MWh Wärmeverlust, für ein wie in Abb. 4.2 aufgezeigtes Nahwärmenetz.

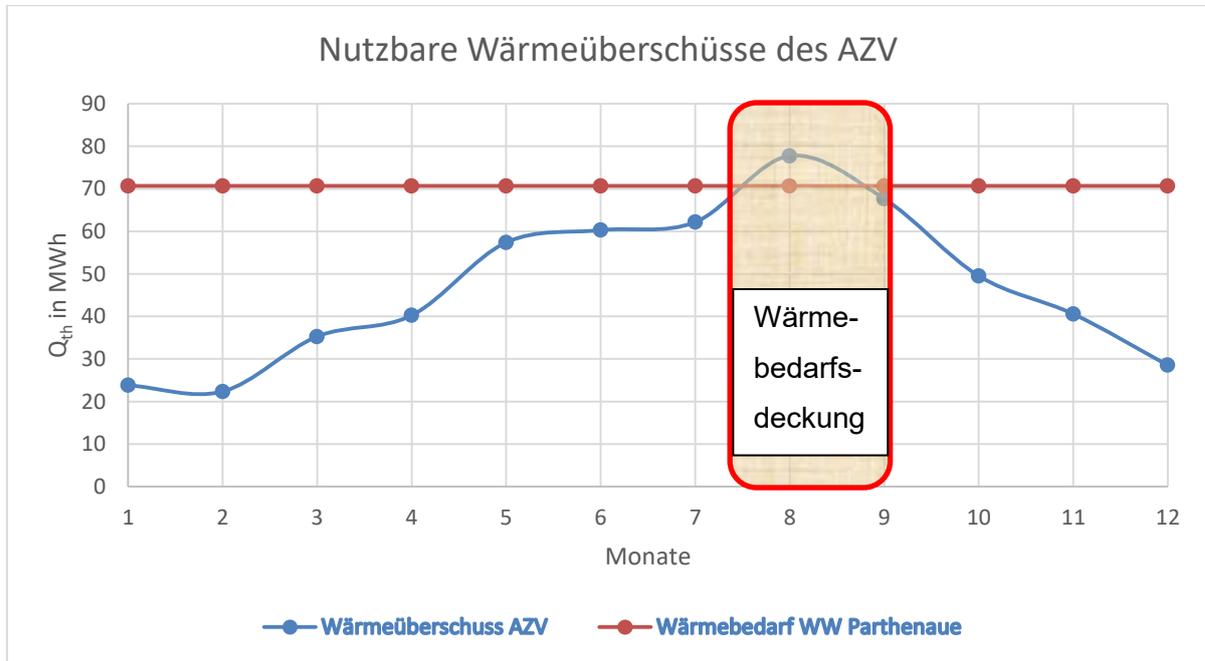
Für die Warmwasserversorgung des Wohngebietes Parthenaue würde sich die Wärmebedarfsdichte wie folgt berechnen:

$$\text{Wärmebedarfsdichte} = \frac{\text{jährliche Wärmeabnahme} \left[ \frac{MWh}{a} \right]}{\text{Länge der Wärmetrasse [m]}} \quad (3)$$

$$\text{Wärmebedarfsdichte} = \frac{848,260 \frac{MWh}{a}}{1.515 \text{ m}} = 0,56 \frac{MWh}{m*a} < 1,5 \frac{MWh}{m*a}$$

Nicht nur die geringe Wärmebedarfsdichte, sondern auch die hohen Wärmeverluste auf der Länge der Trasse, zeigen die Defizite auf. Eine kontinuierliche Deckung des

Warmwasserbedarfs allein mit den Wärmeüberschüssen des AZV ist somit nicht möglich (Abb. 4.4), da nur in den Sommermonaten Juli, August und September die benötigte Wärmeleistung vorhanden wäre und nur im Monat August überschritten wird.



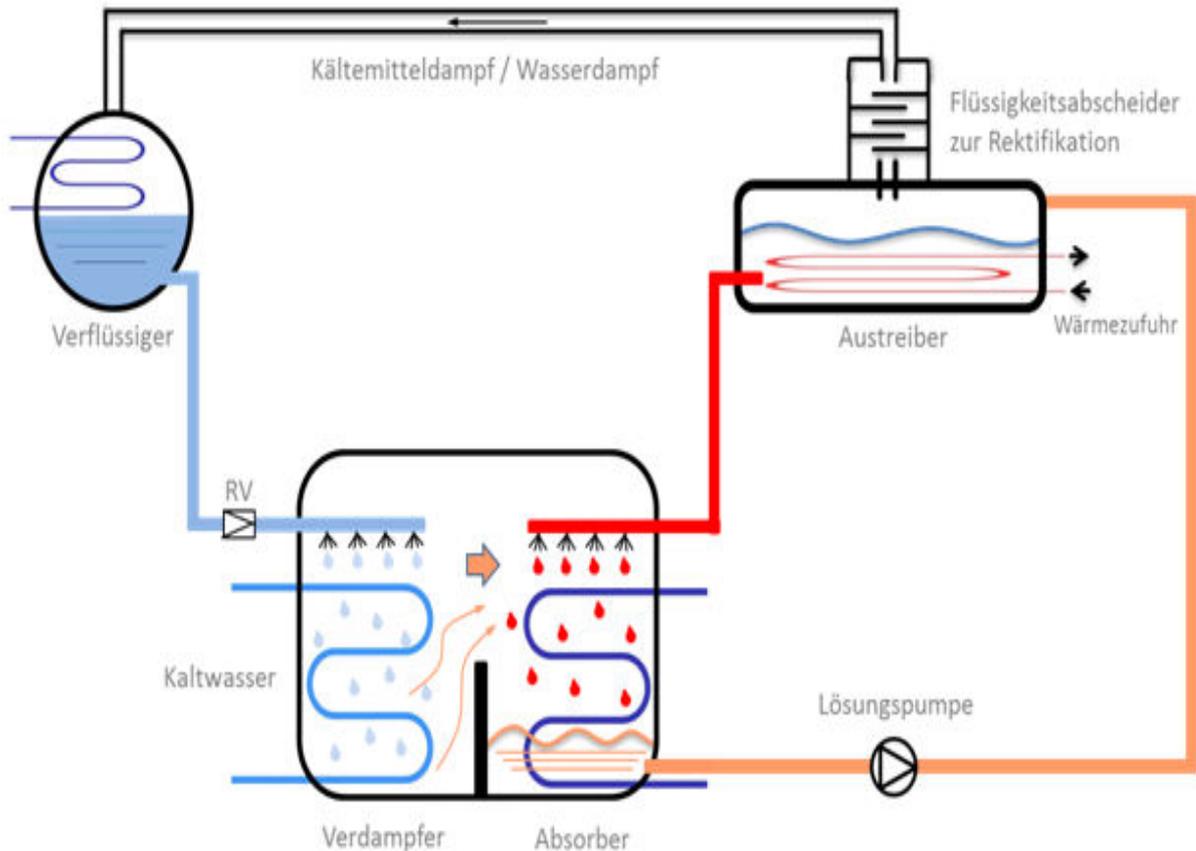
**Abb. 4.4:** Wärmeüberschuss AZV/WW-Bedarf Parthenaue [eig. Darst.]

#### 4.2.2 Kurzfristige Nutzungsmöglichkeit durch Absorptionskältemaschine (AKM)

Da die BHKW's nach Angabe des AZV ganzjährig betrieben werden (>8.000 h/a) und der ungenutzte Abwärmeanteil über Notkühler abgefahren wird, siehe Anhang A.6, wäre eine effiziente Nutzung der Wärmeüberschüsse nicht nur ökonomisch, sondern auch ökologisch anstrengenswert. Eine AKM könnte für die Klimatisierung des Verwaltungsgebäudes oder auch für die Errichtung von mietbaren Kühlzellen genutzt werden. Diese wären ggf. für ortsansässige Betriebe oder örtliche Jäger interessant, die insbesondere in den Sommermonaten einen erhöhten Kühlbedarf haben.

Die Funktionsweise des Absorbers (Abb. 4.5) kann wie folgt dargestellt werden:

Wasser wird bei einem Luftdruck nahe dem Vakuum bei niedrigen Temperaturen (um 5 °C) verdampft. Um den Verdampfungsprozess aufrechtzuerhalten, wird der Wasserdampf mit Hilfe einer Lithiumbromid- oder Zeolithlösung bzw. Ammoniak kontinuierlich abgesaugt. Die durch diesen Vorgang verdünnte Salzlösung muss durch Verdampfen des Wassers eingedickt werden. Dies geschieht bei der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung im sogenannten Austreiber mit Hilfe der BHKW-Wärme. Der dadurch entstehende Wasserdampf wird im Kühlturm kondensiert und das kondensierte Wasser wieder dem Verdampfer zugeführt.



**Abb. 4.5:** Funktionsprinzip Absorptionskältemaschine [vgl. 4.4]

Die durchschnittliche Wärmeüberschussleistung<sup>2</sup> der Blockheizkraftwerke ergibt:

$$P_{th} = \frac{897.800 \frac{kWh}{a}}{8.760 \frac{h}{a}} = 102,5 \text{ kW}$$

Das Verhältnis von Heizleistung zu Kälteleistung (COP) liegt ca. bei 1,4:1 [vgl. 4.5].

$$P_{th} = 1,4 * P_K$$

$$P_K = \frac{102,5 \text{ kW}}{1,4} = 73,2 \text{ kW}$$

Dies entspricht bei 8.000 Betriebsstunden einer Kältemenge von  $Q_K = 585.600 \text{ kWh/a}$ .

Potentielle Abnehmer für diese Kälteleistung könnten durch günstige Konditionen gefunden werden. So wären bei einem Verkaufspreis von 0,10 €/kWh Kälte [eigene Schätzung], jährliche Gewinne von 58.560 € möglich.

<sup>2</sup> Anhang A.6

Trotz der im Vergleich zu Kompressionskältemaschinen wesentlich höheren Investitionskosten (bei einem Produktvergleich liegen die Investitionskosten der Kompressionskältemaschine bei 56,05 % gegenüber der Absorptionskältemaschine [vgl. 4.6]), hat die Absorptionsanlage in diesem Fall trotzdem wesentliche Vorteile:

1. Nutzung der Wärmeüberschüsse
2. Geringer elektrischer Energieverbrauch
3. Wenige beweglichen Teile und eine daraus resultierende geringe Störanfälligkeit, wenig Geräusentwicklung und geringe Wartungsarbeiten notwendig
4. Lange Stand- und Nutzungszeiten der Anlage bei hinreichender Vakuumdichtheit
5. Kühltemperaturen von +2 °C (LiBr-H<sub>2</sub>O) bis -10 °C (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) möglich [vgl. 4.7]

In einem Referenzprojekt wurde eine AKM von der Firma YAZAKI [vgl. 4.8] einer Wirtschaftlichkeitsüberprüfung unterzogen. Die Investitionsausgaben für eine AKM mit einer Kältenennleistung von  $P_K = 105$  kW beliefen sich auf 62.590 €. Durch den Wegfall der Notkühlung, eventuelle Einnahmen durch die Vermietung von Kühlzellen und die Förderung durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), geben Anlass einen möglichen Kältebedarf zu prüfen.

Die Höhe der BAFA – Förderung [vgl. 4.9]  $K_F$  wird nach der Formel berechnet:

$$K_F = A \cdot C^{(1-B)}, \quad (4)$$

wobei  $C$  eine Variable ist, die für die Kälteleistung in Kilowatt (kW) bzw. die Speicherkapazität in Kilowattstunden (kWh) steht und  $A$ ,  $B$  Koeffizienten sind, die von der Art der Kälteanlage bzw. der Anwendung abhängen. Für Sorptionsanlagen liefert  $A = 4.188$  und  $B = 0,5437$ .

Dies ergibt eine Förderhöhe von:

$$K_F = 4.188 \cdot 73,2^{(1-0,5437)} = 29.701,82 \text{ €}$$

Dies würde nahezu 50 % der Kosten von oben genannter Referenzanlage entsprechen.

### 4.2.3 Langfristige Nutzung der Überschusswärmemengen

Die Errichtung des Wohngebietes Parthenaue erfolgte 1994. Der Großteil der Heizungsanlagen ist somit 2024 über 30 Jahre im Betrieb. Gemäß EnEV 2014 sollten Heizungsanlagen ohne Brennwerttechnik (Nutzung der Kondensationsenthalpie) nach 30-jährigem Betrieb auf Brennwerttechnik umgerüstet werden. Die damit verbundenen

Umrüstkosten könnten durch ein energetisch effizientes Gesamtkonzept sinnvoll genutzt werden.

Beispiele dafür liefern das Wohnquartier in Berlin-Zehlendorf [vgl. 4.10] und Chemnitz mit dem Projekt „Energieeffizienter Brühl“ [vgl. 4.11, S 54 ff.]. Hier werden nach dem „low Ex“-Prinzip, sogenannte „kalte“ Netze betrieben. Diese haben den Vorteil, dass aufwendige Dämmung und Wärmeleitungsverluste umgangen werden, indem die Vorlauftemperaturen zwischen 5 °C und 10 °C liegen. Mit Unterstützung von Solarthermie und/oder Geothermie kann die Netztemperatur ganzjährig aufrechterhalten werden. In den Sommermonaten dient das Netz der Gebäudekühlung und in der Heizperiode, mit Hilfe von dezentralen Wärmepumpen, zur Wärmebereitstellung (siehe Abb. 4.6).



**Abb. 4.6:** Schema einer Systemlösung zur Wärmeversorgung [vgl. 4.10]

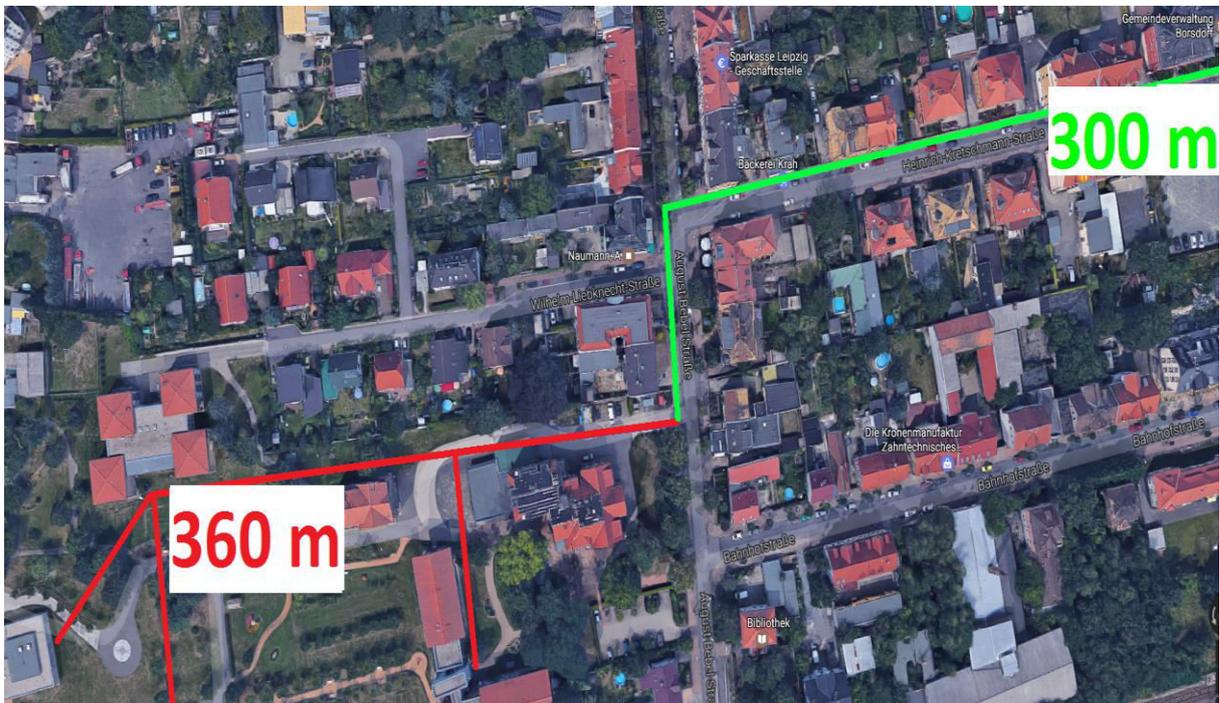
Das in Abb. 4.6 vorhandene BHKW versorgt in erster Linie die Wärmepumpen des kalten Netzes (grün dargestellt) mit Strom und wird zusätzlich in ein zweites Wärmenetz (rot dargestellt) eingebunden. Diese Systemlösung ist beliebig erweiterbar und auch für Bestandsgebäuden umsetzbar.

## 5 EINBINDUNG DER DIAKONIE IN EIN GESAMTENERGIEKONZEPT DER GEMEINDE

### 5.1 Einbindungsmöglichkeit und Nahwärmenetzplanung

Das Ev.-Luth. Diakonissenhaus ist eine Einrichtung der Behindertenhilfe mit einer über 100-jährigen Geschichte. Die Angebote im Bereich der Eingliederungshilfe umfassen Lebens- und Wohnraum für bis zu 132 Menschen mit geistigen und zum Teil körperlichen Behinderungen, Arbeitsmöglichkeiten in einer Behindertenwerkstatt und das Betreiben einer Großküche. Allein die genannte Großküche versorgt 130 Bewohner und 220 Kinder (Kita Panitzsch) ganztags.

Die Diakonie- Einrichtung ist der größte Strom- und Wärmeverbraucher der Gemeinde. Mit fast 1,3 GWh/a Strom und 1,36 GWh/a Wärme [vgl. 5.1] kann hier, insbesondere durch die zum Großteil veraltete Heizungs- und Beleuchtungstechnik (siehe Anhang A.7), ein hohes Einsparpotential erwartet werden. Die zentrale Lage der Diakonie, nahe des Gemeindezentrums von Borsdorf, lässt grundsätzlich eine Überlegung zum Thema Wärmetrasse zu. Da das Gebäude der Gemeindeverwaltung in naher Zukunft eine neue Heizungsanlage benötigt (ursprünglich geplant Anfang 2017), aber dies aus gemeindehaushaltlichen Gründen unbefristet verschoben werden musste, wäre eine gekoppelte Wärmeversorgung der beiden Einrichtungen der erste Ansatzpunkt.



**Abb. 5.1:** Nahwärmenetz Diakonie - Gemeindeverwaltung<sup>3</sup> (Einzelheiten in Anhang A.8)

<sup>3</sup> Quelle: Google Earth [07.05.2017]

Die in Abbildung 5.1 rot markierten Linien stellen das Netzsystem für das in Anhang A.8 gezeigte Diakoniegelände dar. Das anschließende grüne Netz verbindet die Diakonie mit der Gemeindeverwaltung (am rechten oberen Ende der grünen Linie) und hat eine Gesamtlänge von nur 300 m. Entlang der grünen Strecke und in einem gedachten weiteren Verlauf befinden sich weitere Bestandsgebäude und Einrichtungen, welche ggf. in der Zukunft mit berücksichtigt werden könnten. Diese werden aufgrund derzeitig fehlendem Interesse (kein Sanierungsbedarf der Heizungsanlagen), im Folgenden nicht betrachtet.

Die Netzverluste [5.2, S. 3] der in Abb. 5.1 eingezeichneten Wärmetrasse berechnen sich, aufgrund der vorhandenen Verbrauchsdaten (siehe Anhang A.9), wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{Geg.: } Q_V &= 219 \frac{\text{kWh}}{\text{m} \cdot \text{a}} \\ \text{Netzlänge} &= 660 \text{ m} \\ Q_{\text{Diakonie}} &= 1.358,173 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \\ Q_{\text{GemVerw}} &= 329 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \end{aligned}$$

$$\text{Netzverluste: } 219 \frac{\text{kWh}}{\text{m} \cdot \text{a}} * 660 \text{ m} = 144.540 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$\text{Wärmebedarfsdichte}_{\text{Diakonie}} = \frac{1.358,173 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}}{360 \text{ m}} = 3,77 \frac{\text{MWh}}{\text{m} \cdot \text{a}} > 1,5 \frac{\text{MWh}}{\text{m} \cdot \text{a}}$$

$$\text{Wärmebedarfsdichte}_{\text{GemVerw}} = \frac{329 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}}{300 \text{ m}} = 1,10 \frac{\text{MWh}}{\text{m} \cdot \text{a}} < 1,5 \frac{\text{MWh}}{\text{m} \cdot \text{a}}$$

$$\text{Wärmebedarfsdichte}_{\text{Gesamt}} = \frac{1.687,176 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}}{660 \text{ m}} = 2,56 \frac{\text{MWh}}{\text{m} \cdot \text{a}} > 1,5 \frac{\text{MWh}}{\text{m} \cdot \text{a}}$$

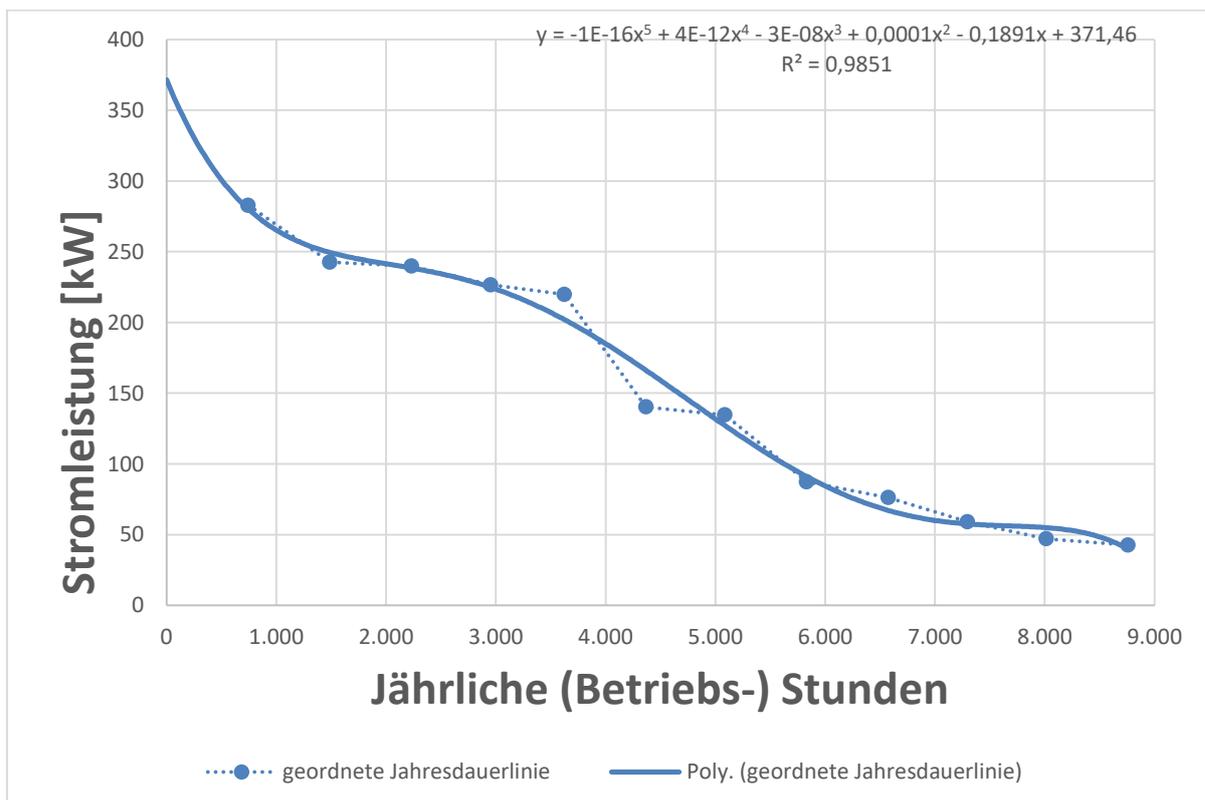
Obwohl die Wärmebedarfsdichte zur Gemeindeverwaltung hin kleiner als die gewünschten  $1,5 \frac{\text{MWh}}{\text{m} \cdot \text{a}}$  ist, kann das in diesem Fall vernachlässigt werden. Es bedarf lediglich einen oder mehrere Verbraucher mit weiteren  $121 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$ , um den Sollwert zu erzielen. Auch ist ein Nahwärmenetz eine für die Zukunft angelegte Investition mit der Option, jederzeit ausgebaut zu werden und andere Gebäude und Einrichtungen versorgen zu können. Theoretisch könnte für die Fernwärme ein Anschluss- und Benutzungszwang eingeführt werden. Entscheidend ist dabei das jeweilige Landesrecht, da sich die gesetzliche Ermächtigung in der Regel in den Gemeindeordnungen (GO) der Bundesländer befindet. Darin wird den

Gemeinden das Recht eingeräumt, einen Anschluss- und Benutzungszwang einzuführen. Das Bundesverwaltungsgericht (BVerwG) in Leipzig hat ein Urteil zu der Frage gefällt, unter welchen Voraussetzungen eine Kommune den Anschluss- und Benutzungszwang an eine Fernwärmeversorgung zum Zwecke des globalen Klimaschutzes nach § 16 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) anordnen darf (Urt. v. 08.09.2016, Az. 10 CN 1.15). Die Gemeinde- und Stadträte müssen vor Erlass einer solchen Satzung nicht immer ein aufwändiges Gutachten über die klimatischen Auswirkungen der Maßnahme einholen. Dies sollte jedoch bei der Planung nicht im Vordergrund stehen und sorgt zumeist für Unmut bei der betroffenen Bevölkerung.

## 5.2 Jahresdauerlinien

Mit Hilfe der Jahresdauerlinie (JDL) kann der jährliche Wärme- und Strombedarf eines Gebäudes dargestellt werden. Auf der Abszisse wird im Normalfall die Zeit im Stundenintervall [h] dargestellt und auf der Ordinate Stromleistung bzw. die Wärmeleistung [kW]. Die Werte werden absteigend von links nach rechts visualisiert. Dabei entspricht die Fläche unter der Kurve dem jährlichen Strom- bzw. Wärmebedarf [kWh]. Zur Erstellung der Jahresdauerlinie werden die Werte absteigend der Größe nach geordnet.

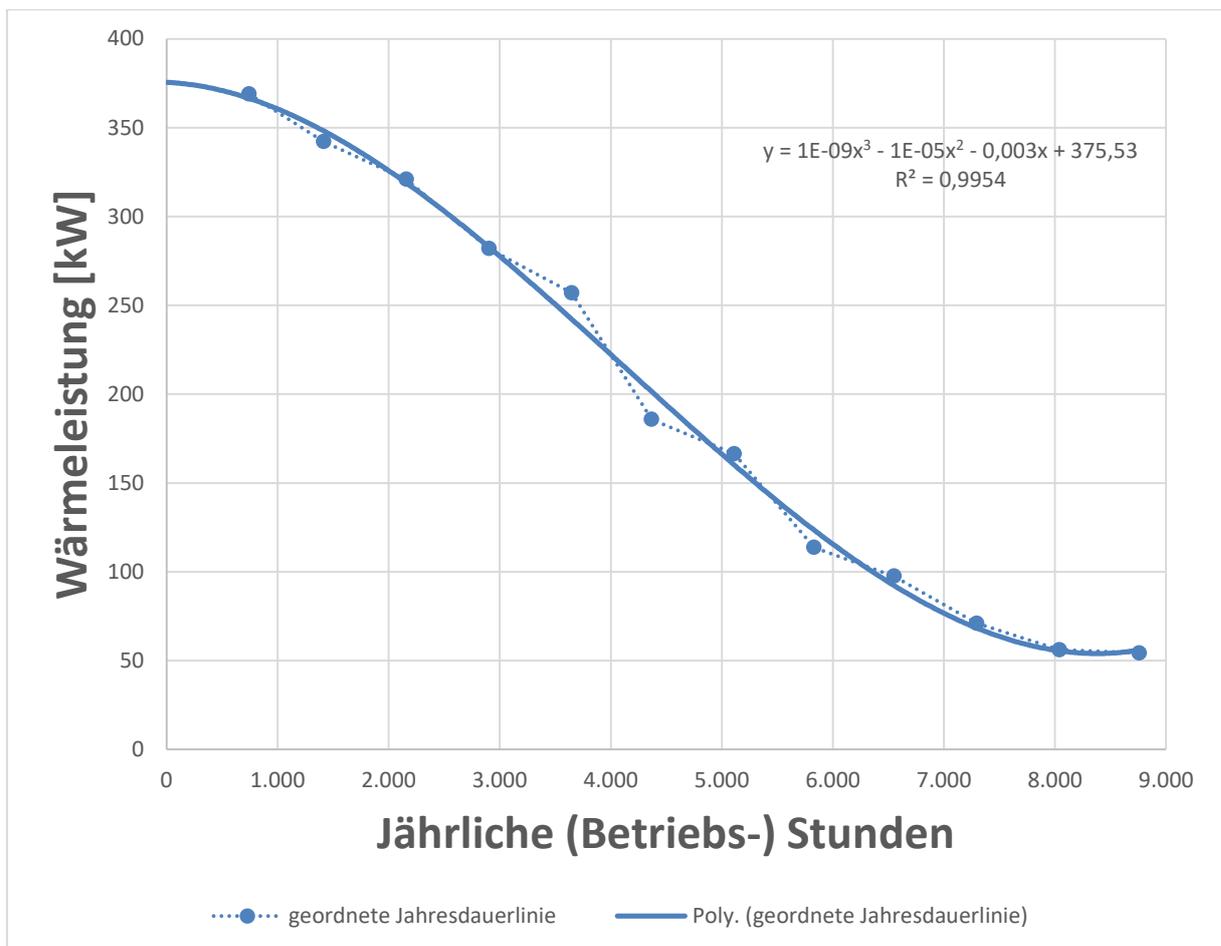
Aufgrund der vorhandenen Monatsverbrauchsdaten der zwei Einrichtungen (siehe Anhang A.9), können die Jahresdauerlinien für Strom (Abb. 5.2) und Wärme (Abb. 5.3) erstellt werden.



**Abb. 5.2:** JDL (Strom) Diakonie und Gemeindeverwaltung [eig. Darst.]

Durch die Diagramme ist es möglich, die benötigte Grundlast  $P_{\min}$  bzw.  $P_{\max}$  annähernd darzustellen, ohne die tatsächlichen Werte aufwendig ermittelt zu haben.

Für eine wirtschaftlich vernünftige Auslegung der Energieerzeuger hat die Grundlast eine besondere Bedeutung. Aufgrund des ganzjährigen Grundenergiebedarfs können die Volllaststunden der entsprechend geplanten Anlagen optimiert und ein energieeffizienter Betrieb gewährleistet werden.

**Abb. 5.3:** JDL (Wärme) Diakonie und Gemeindeverwaltung [eig. Darst.]

Die hohen Grundverbräuche und ein ähnlicher Jahresverlauf von Strom und Wärme sprechen für einen Betrieb mit Blockheizkraftwerken. Das BHKW sollte derzeit eine Laufzeit von mindestens 5.000 Betriebsstunden pro Jahr erreichen (Angaben der Hersteller), um sich in absehbarer Zeit zu refinanzieren. Wenn die BHKW's als Hauptwärmeerzeuger genutzt werden, sollte nicht die elektrische Leistung im Vordergrund stehen, sondern der Wärmebedarf im Objekt über lange Zeit gewährleistet werden.

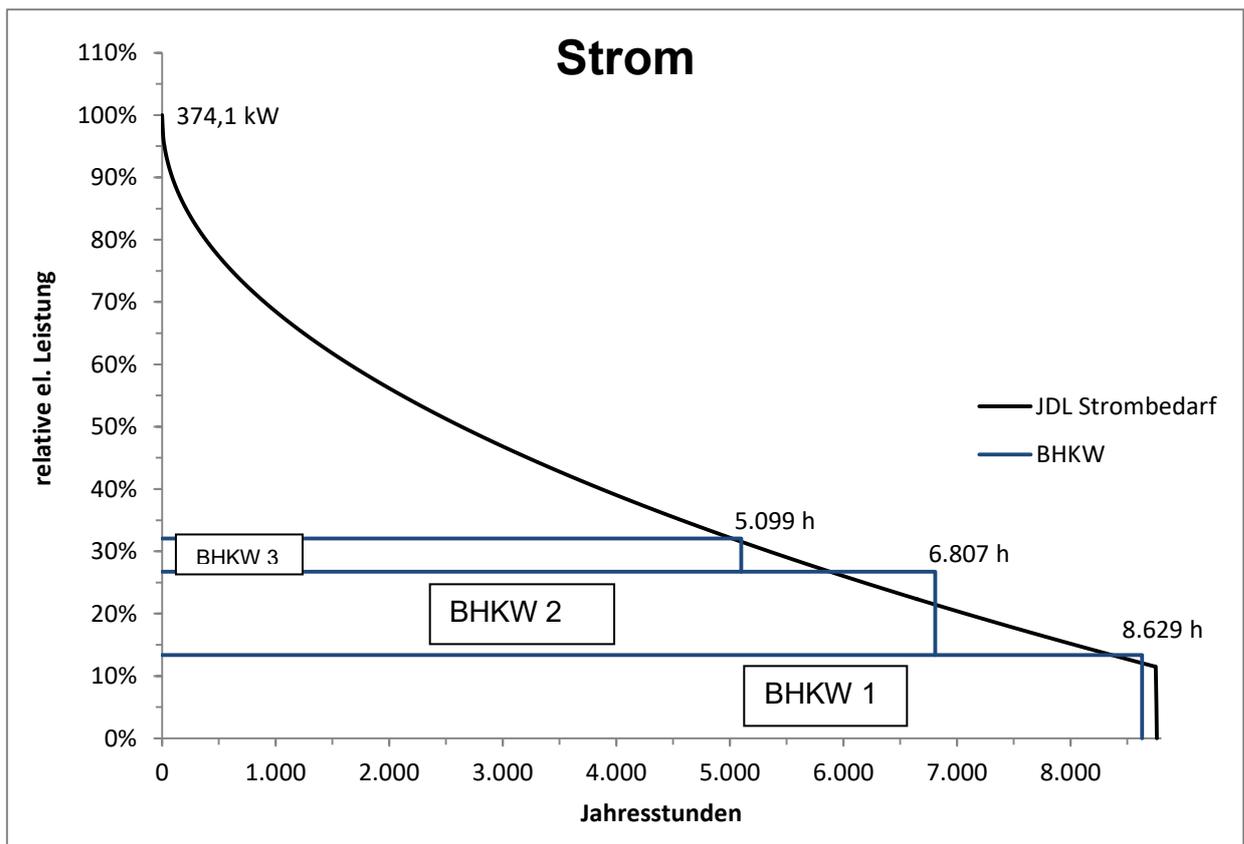
### 5.3 BHKW - Planung

Mit Hilfe eines Excel-gestützten Berechnungsprogramm [vgl. 5.3] können verschiedene Installationsvarianten ermittelt, beziehungsweise geprüft werden.

Grundvoraussetzung für die Berechnungen sind die Strom- und Wärmeverbräuche mit  $P_{\min}$  und  $P_{\max}$  (aus JDL ermittelt). Die aktuellen Bezugspreise, Vergütungen und Abgaben sowie die benötigten Investitionskosten.

Zusätzlich müssen drei weitere wichtige Aspekte beachtet werden:

1. Größtmöglicher Volllastbetrieb der BHKW's für maximale Förderung (> 5.000 h/a)
2. Auswahl passender Module mit entsprechender Leistung (maximale Flächenabdeckung unter der Jahresdauerlinie)
3. BHKW mit jeweils einer Leistung bis maximal 50 kW<sub>el</sub> für größtmögliche Förderung auswählen



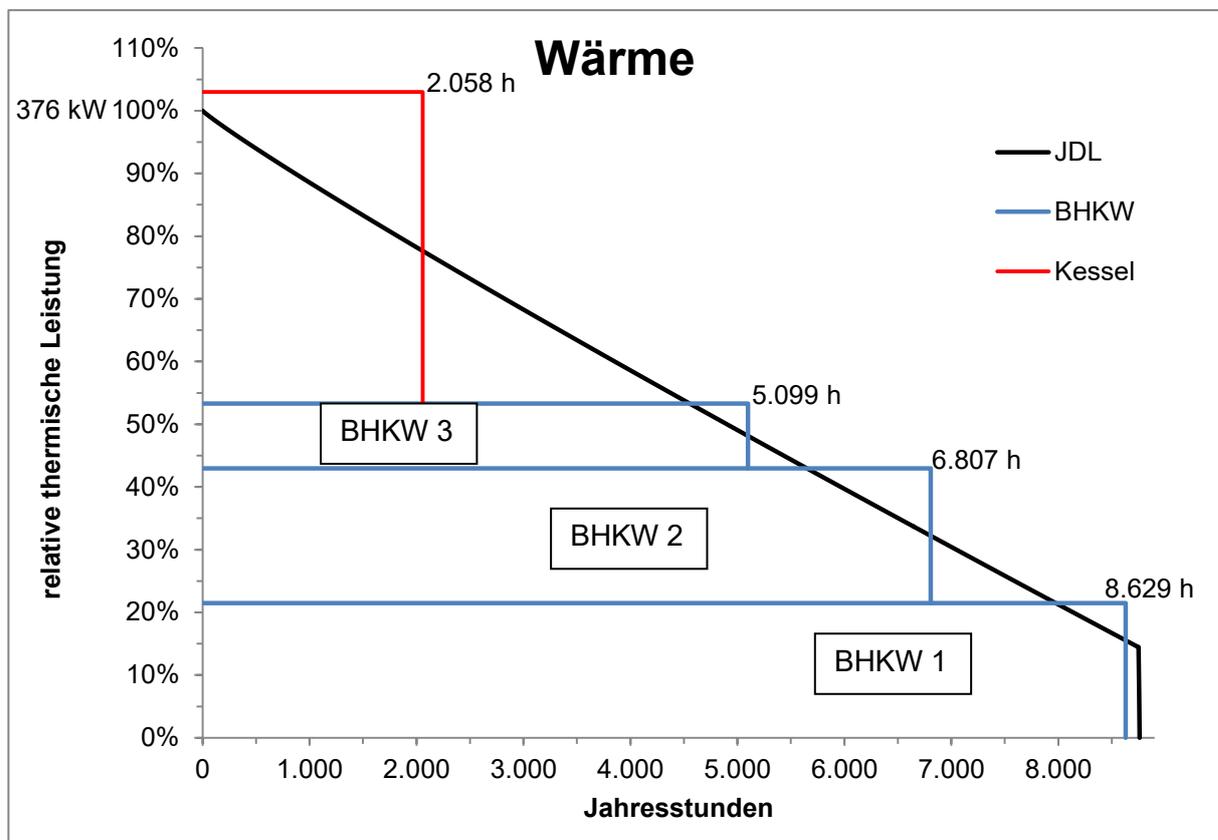
**Abb. 5.4:** JDL (Strom) BHKW-Programm [vgl. 5.3]

Die BHKW-Jahresbetriebsstunden sind durch die Auslegung nach dem Wärmebedarf festgelegt (Abb. 5.5). Mit der JDL (-Strom) wird berechnet, welcher Anteil des Strombedarfs durch das BHKW gedeckt werden kann.

Die BHKW's sollen vorzugsweise wärmegeführt betrieben werden, um damit den größtmöglichen Teil des spezifischen Wärmebedarfs zu decken. Die danach noch vorhandene Versorgungslücke wird durch einen Spitzenlastkessel (rote Linien; 187 kW Gas-Brennwertkessel), dessen Größenauslegung ebenfalls über das Berechnungsprogramm erfolgt, geschlossen. Dies ist auch insofern wichtig, da eine mögliche Förderung für ein Nahwärmenetz nur erfolgen kann, wenn mindestens 75 % der Wärmemengen von KWK-Anlagen bereitgestellt wird [vgl. 5.4]. In der in Abb. 5.4 und Abb. 5.5 simulierten Variante wird ein KWK-Anteil von 79 % erreicht und erfüllt damit die geforderten Parameter. Die Strombedarfsdeckung liegt in diesem Fall bei 62,3 % und wirkt sich somit ebenfalls positiv auf die CO<sub>2</sub>- und Primärenergieeinsparung aus.

Eine stromgeführte Variante wäre bei der Verwendung von Biogas denkbar, da die EEG-Abgabe wegfallen würde. Für die Erstellung eines nachhaltigen Energiekonzepts, welches in diesem Fall eine Nahwärmetrasse enthalten soll, wird hier der Schwerpunkt auf den Wärmebedarf der Einrichtungen gelegt.

Mit der dafür ausgewählten Anlagenauslegung können 554.482 kg CO<sub>2</sub>/a und 1.277.721 kWh/a Primärenergie eingespart werden [vgl. 5.3]. Dies entspricht einer Reduzierung von 52 % CO<sub>2</sub>-Ausstoß bzw. einen um 33,4 % gesenkten Primärenergiebedarf.



**Abb. 5.5:** JDL (Wärme) BHKW-Programm [vgl. 5.3]

Die in den Abbildungen 5.4 und 5.5 aufgezeigten Betriebsstunden dienen lediglich der Veranschaulichung. In der Praxis wird man die Zuschaltprioritäten der Module so wechseln, dass alle Module auf etwa gleiche Betriebszeiten kommen. Die tatsächlichen Betriebszeiten stellen dann den Durchschnitt der hier errechneten Zeiten dar. Die durch das Berechnungsprogramm ermittelten Betriebsstunden von insgesamt 20.535 h werden durch die drei BHKW's dividiert und ergeben somit 6.845 Betriebsstunden pro BHKW im Jahr. Die KWK-Förderung ist auf 60.000 Betriebsstunden begrenzt und würde somit nach

$$\frac{60.000 \frac{h}{a}}{6.845 \frac{h}{a}} = 8,77 \text{ Jahren}$$

für die jeweiligen BHKW's enden.

Bei der Planung des BHKW sollte außerdem Einbringung, Platzbedarf, Geräuschbelastung, Abgasführung, Leitungswege Elektro, Gaszufuhr und Heizungsanbindung berücksichtigt werden.

## 5.4 Wirtschaftlichkeitsabschätzung

### 5.4.1 Investitionskosten

Um die Diakonie und die Gemeindeverwaltung mit den entsprechenden Wärmemengen beliefern zu können, braucht es ein Nahwärmenetz und entsprechend ausgelegte BHKW's mit einem Spitzenlastkessel.

Die Wärmetrasse wird mit Kosten von 300 € pro laufendem Meter angenommen und beinhaltet folgende Bestandteile [vgl. 5.5, S. 4]:

1. Netzleitung inkl. Montage
2. Hausübergabestation inkl. Montage
3. Grabungskosten
4. Netz-Pumpen
5. Visualisierung Nahwärmenetz
6. Netzregelung über SPS
7. Planung 5 %



**Abb. 5.6:** Nahwärmenetz [vgl. 5.6]

Bei einer Netzlänge von 660 m ergeben sich somit Netzkosten in Höhe von:

$$I_{\text{Nahwärme}} = 300 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 660\text{m} = \underline{198.000\text{€}}$$

Die Förderung für die Netzleitung erfolgt bis zu einer Größe von DN 100, welche als Hauptleitung für große Netze benötigt wird und in diesem Fall wesentlich kleiner ausfallen würde. Einen Anhaltspunkt liefern die Herstellerangaben, welche unter Berücksichtigung von Druck- und Leitungsverlusten, Vor- und Rücklauftemperaturen, sowie  $P_{\max}$  und Strömungsgeschwindigkeiten eine Abschätzung ermöglichen und somit eine mögliche Größe von DN 32 liefern (siehe Anhang A.10). Die Dämmung entspricht den Vorgaben der EnEV 2014, wonach die Leitungen bis DN 100 mit einer Dämmstärke zu ummanteln sind, die mindestens dem Innendurchmesser der Rohrleitung entspricht. Dies gilt bei Verwendung von Dämmstoffen mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Beim Einsatz von Dämmstoffen mit niedrigerer Wärmeleitfähigkeit sind die Dämmstärken anzupassen.

Aus Referenzprojekten, wie Seniorenzentrum Moers-Schwafheim [vgl. 5.7] oder LBZ St. Anton in Riegel [vgl. 5.8], wurden aufgrund passender Verbrauchsdaten die entsprechenden BHKW-Größen hergeleitet. Um konkrete Berechnungen durchführen zu können, wurden zwei verschiedene BHKW's und ein Spitzenlastkessel der Firma Viessmann ausgewählt (Anhang A.11) (die Preise anderer Hersteller variieren geringfügig).

1. Vitobloc 200 EM-50/81: 50,0 kW<sub>el</sub> / 81,0 kW<sub>th</sub>; Erdgas
2. Vitobloc 200 EM-20/39: 20,0 kW<sub>el</sub> / 39,0 kW<sub>th</sub>; Erdgas
3. VIESSMANN CT3B067 Vitocrossal 300- 187/170 kW

Bei den in Tabelle 5.1 aufgelisteten Kosten für die BHKW's sind zusätzlich Pufferspeicher, Lieferung, Installation, Verrohrung und Inbetriebnahme enthalten.

**Tabelle 5.1:** Kostenaufstellung Wärmeerzeuger [vgl. 5.9, 5.10]

Wärmeerzeuger	Anzahl	Einzelkosten	Gesamtkosten
Vitobloc 200 EM-50/81	2	135.000 €	270.000 €
Vitobloc 200 EM-20/39	1	80.000 €	80.000 €
CT3B067 Vitocrossal 300- 187/170 kW	1	14.000 €	14.000 €
Gesamt			364.000 €

Ohne Fördermittel in Anspruch zu nehmen, würden sich Kosten in Höhe von 562.000 € ergeben. Diese setzen sich aus den Investitionskosten des Nahwärmenetzes und den Wärmeerzeugern zusammen.

Nahwärmenetz:	198.000 €
<u>Wärmeerzeuger:</u>	<u>364.000 €</u>
Gesamt:	562.000 €

### 5.4.2 Mögliche Fördermittel

Für die Investition stehen verschiedene Fördermöglichkeiten zur Verfügung. So fördert das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) Nahwärmenetze und Wärmespeicher mit bis zu 100 € pro verlegtem Trassenmeter und 250 € pro m<sup>3</sup> Speichervolumen [vgl. 5.11, S. 10, 5.12]. Mit dem Förderprodukt 201 der KfW kann das gesamte Projekt zinsgünstig (0,05 %) [vgl. 5.13] finanziert werden und es wird ein Tilgungszuschuss von bis zu 5 % gewährt.

Weiterhin werden durch das Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz-KWK) [vgl. 5.14, §§ 7 ff.] KWK Zuschläge mit einer Förderdauer von 60.000 Vollbetriebsstunden erteilt:

- 8,0 Cent/kWh für den in das allgemeine Stromnetz ausgespeisten KWK-Strom
- 4,0 Cent/kWh für den im Objekt selbst verbrauchten KWK-Strom

Nach Berücksichtigung der Förderungen ergeben sich die neu berechneten Investitionskosten in Höhe von 494.500 € und bilden damit die Grundlage für die Finanzierungsrechnung in Tabelle 5.2.

**Tabelle 5.2:** Darlehen mit KfW-Förderung 201

Kreditbetrag:	494.500,00	Euro
Effektiver Jahreszinssatz:	0,05	% p.a. (interner Zinssatz, IRR)
Rückzahlungsrate monatlich:	4.131,23	Euro
Laufzeit festgeschrieben:	10	Jahre
Zinsen und Gebühren gesamt:	1.247,30	Euro
Gesamtaufwand:	495.747,30	Euro

Das in Tabelle 5.2 verzinste Darlehen wird nochmals in Höhe des Tilgungszuschusses verringert und ergibt somit die realen Investitionskosten von:

Investitionskosten vorher:	562.000,00€
Nahwärmenetzförderung:	- 66.000,00€
<u>Wärmespeicherförderung:</u>	<u>- 1.500,00€</u>
	494.500,00€
Zinsen KfW Darlehen (Tab. 5.1)	1.247,30€
<u>Tilgungszuschuss KfW (5 %):</u>	<u>- 24.725,00€</u>
<b><u>Reale Investitionskosten:</u></b>	<b><u>471.022,30€</u></b>

### 5.4.3 Betriebskosteneinsparung

Für die Betriebskostenberechnung werden alle aktuellen Daten von dem derzeitigen EXX-Strompreis (Juni 2017: 3,3 ct/kWh), der Einspeisevergütung/Förderung für KWK-Anlagen (4 ct/kWh Eigennutzung / 8 ct/kWh Stromausspeisung) und die mit zuletzt für 2017 geänderte EEG-Abgabe (6,88 ct/kWh selbstproduzierter Strom) berücksichtigt. Weiterhin wurde der derzeitige Strom- und Gastarif der Diakonie (sehr niedrige Arbeitspreise für Strom mit ca. 16 ct/kWh und Gas mit 2 ct/kWh) für die Berechnung genutzt. Um die Wirkungsgrade der neuen Heizanlagen (BHKW) mit einbeziehen zu können, um damit den neuen Gasverbrauch zu ermitteln, musste zusätzlich eine Umrechnung von Brenn- und Heizwert gem. DIN V 18599-1 mittels der Annäherungsformel  $H_s = 1,11 * H_i$  erfolgen.

Die gesamten Betriebskosten können somit in Anhang A.12 aufgelistet werden. Als Vergleich zu einem ausschließlichen Gaskesselbetrieb ergeben sich für den KWK-Förderzeitraum (60.000 Vollbetriebsstunden) Kosteneinsparungen von ca. 67.000 €/a und im weiteren Betriebsverlauf (nach Ablauf der KWK- Förderung) ca. 32.000 €/a.

### 5.4.4 Dynamische Investitionsrechnung

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde die Barwertmethode (Kapitalwertmethode) gewählt. Damit werden den hohen Investitionskosten und die in der Energiewirtschaft typischen langen Laufzeiten, am besten Rechnung getragen. Dies geschieht durch die Diskontierung der Zahlungsreihen unter Berücksichtigung von Zinsen und Inflation [vgl. 5.15, S. 159]. Der Inflationssatz im April 2017 beträgt 2 % [vgl. 5.16]. Der kalkulatorische Zinssatz entspricht bei Fremdfinanzierung der Höhe des Darlehenszinses, was bei der KfW-Förderung 201 einem Zins von 0,05 % entspricht (Juni 2017).

Um die kumulierten Barwerte erhalten zu können, bedarf es vorher der Ermittlung des realen Zinsfaktors (q):

$$q = \frac{1+i}{1+j} = \frac{1+0,0005}{1+0,02} = 0,98088 \quad (5)$$

i: kalk. Zinssatz, als Absolutzahl

q: realer Zinsfaktor

j: Inflationsrate, als Absolutzahl

Mithilfe der ermittelten Investitionskosten, der jährlichen Kosteneinsparung (Tabelle 4.2) und dem realen Zinsfaktor, ist es nun möglich mit folgender Gleichung den wirtschaftlichen Betriebsverlauf (Tabelle 4.3) der Investition darzustellen:

$$K_0 = -I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{E_t - A_t}{q^t} \quad (6)$$

$K_0$ : Kapitalwert zum Bezugszeitpunkt "0" in €

$I_0$ : Investitionsausgaben in €

$(E_t - A_t)$ : Kosteneinsparung in €/a

q: realer Zinsfaktor

t: Betriebsjahr

Wird der Kapitalwert positiv, ist die Investition wirtschaftlich und kann durchgeführt werden.

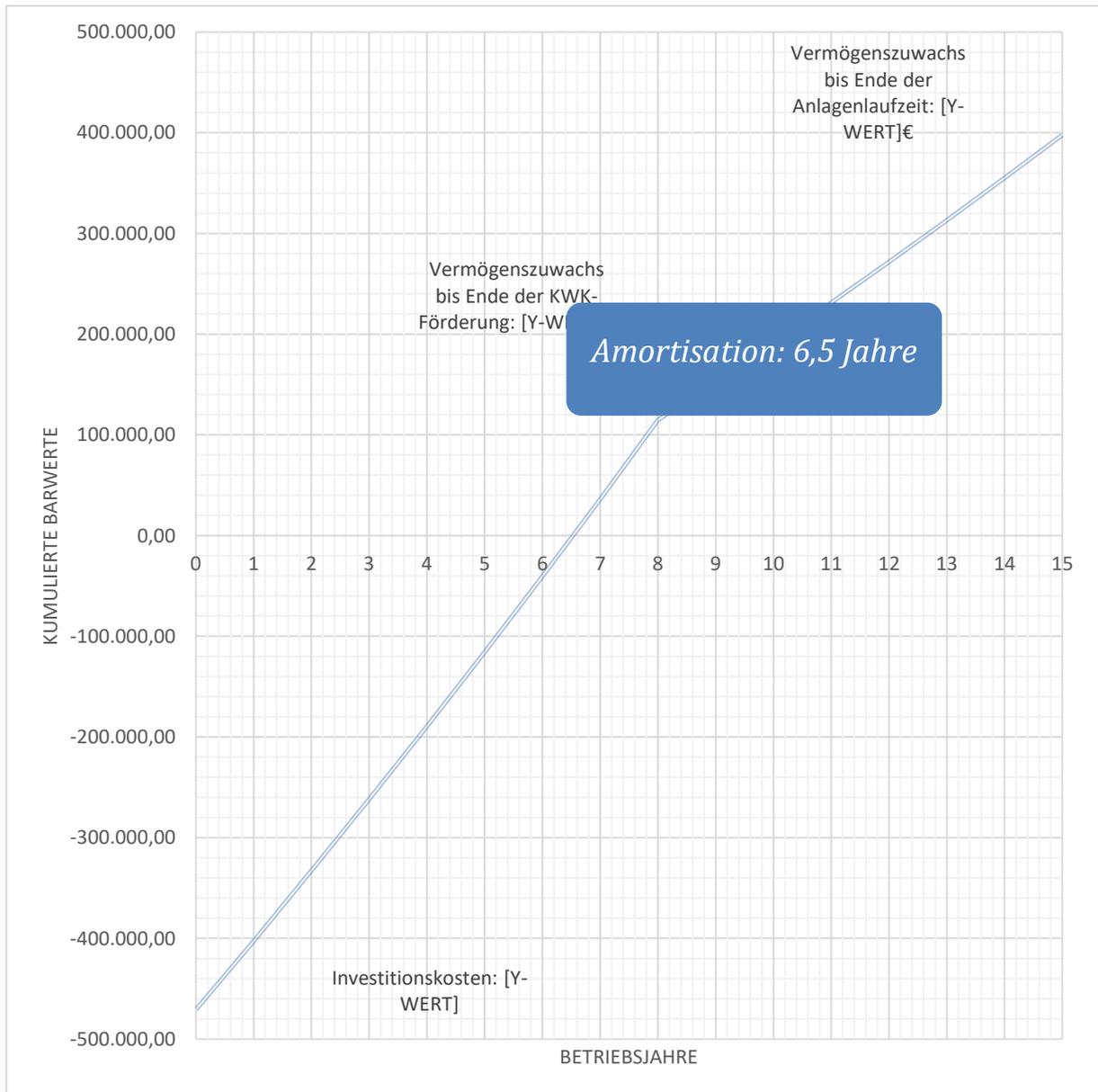
**Tabelle 5.3:** Barwertentwicklung über die Laufzeit von 15 Jahren

Laufzeit (t) in Jahre	jährliche Kosteneinsparung (E-A)	Barwerte abgezinst	Kapitalwert (K)
0	Investitionskosten ( $I_0$ )		-471.022,30
1	67.039,88	68.346,50	-402.675,80
2	67.039,88	69.678,60	-332.997,20
3	67.039,88	71.036,65	-261.960,55
4	67.039,88	72.421,17	-189.539,38
5	67.039,88	73.832,68	-115.706,70
6	67.039,88	75.271,70	-40.435,01
7	67.039,88	76.738,76	36.303,75
8	67.039,88	78.234,42	114.538,17
9 <sup>4</sup>	32.087,14	38.174,97	152.713,14
10	32.087,14	38.919,01	191.632,15
11	32.087,14	39.677,55	231.309,71
12	32.087,14	40.450,88	271.760,59

<sup>4</sup> Ablauf der KWK- Förderung (60.000 Vollbetriebsstunden)

13	32.087,14	41.239,28	312.999,86
14	32.087,14	42.043,04	355.042,90
15	32.087,14	42.862,47	397.905,37

Unter den hier festgelegten Rahmenbedingungen wäre ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage bereits nach 6,5 Jahren möglich. Die BHKW's sind für 15 Jahre und die Wärmetrasse sogar für bis zu 40 Jahre Laufzeit ausgelegt. Die Abb. 5.7 zeigt somit nur einen Teil des hohen Potentials dieser Anlagenplanung.



**Abb. 5.7:** Vermögenszuwachs durch Betriebskosteneinsparung [eig. Darst.]

Die Möglichkeit das Wärmenetz jederzeit nach Bedarf zu erweitern und ein modularer Betrieb der BHKW's, machen eine nachhaltige Wärme- und Stromversorgung des Gemeindezentrums denkbar und aufgrund der beschränkten Möglichkeiten bei Bestandsgebäuden auch attraktiv.

Insbesondere müssen an dieser Stelle nochmals die hohen Fördermöglichkeiten genannt werden. Da sie in der Regel zeitlich und in ihrer Summe begrenzt sind, sollte mit der Umsetzung schnellstmöglich begonnen und weitere potentielle Gebäudeanbindungen geprüft werden.

## 6 INSTALLATION EINER PV - ANLAGE AUF DER KITA APFELKÖRNBCHEN

### 6.1 Lage, Ausrichtung und Verschattung

Die Kita Apfelkörnchen in Borsdorf ist nach der gemeindlichen Kita in Panitzsch, die zweitgrößte der Gemeinde und bietet für ca. 80 Kinder einen Betreuungsplatz. Die BEB hatte im Herbst 2013 bereits eine PV-Anlage auf der gemeindlichen Kita realisiert, um den zusätzlichen Strombedarf der vorhandenen Wärmepumpe zu relativieren. Aufgrund des hohen Strombedarfs der Betreuungseinrichtungen während der Betriebszeiten (06:00 Uhr bis 17:00 Uhr) kann mit einem hohen Selbstversorgungsanteil (ca. 50 %) gerechnet werden.



Abb. 6.1: Dachfläche und Verschattung Kita Apfelkörnchen<sup>5</sup>

Die günstige Dachneigung von ca. 40° und einem Azimut von 160° sind optimale Voraussetzungen für eine PV-Anlage. Die in der Abbildung 6.1 aufgezeigte Dachfläche (grüne Markierung) umfasst 250 m<sup>2</sup>.

<sup>5</sup> Quelle: Google Earth [07.07.2017]

Verschattungen sind zwischen Oktober und Februar durch die mit roten Markierungen versehene Birke möglich, welche sich mit einem Abstand von 25 m zu dem Gebäude befindet. Da der Laubbaum in diesem Zeitraum keine Blätter führt, werden die zu erwartenden Verschattungen, wie in Abbildung 6.2 dargestellt, minimal ausfallen.

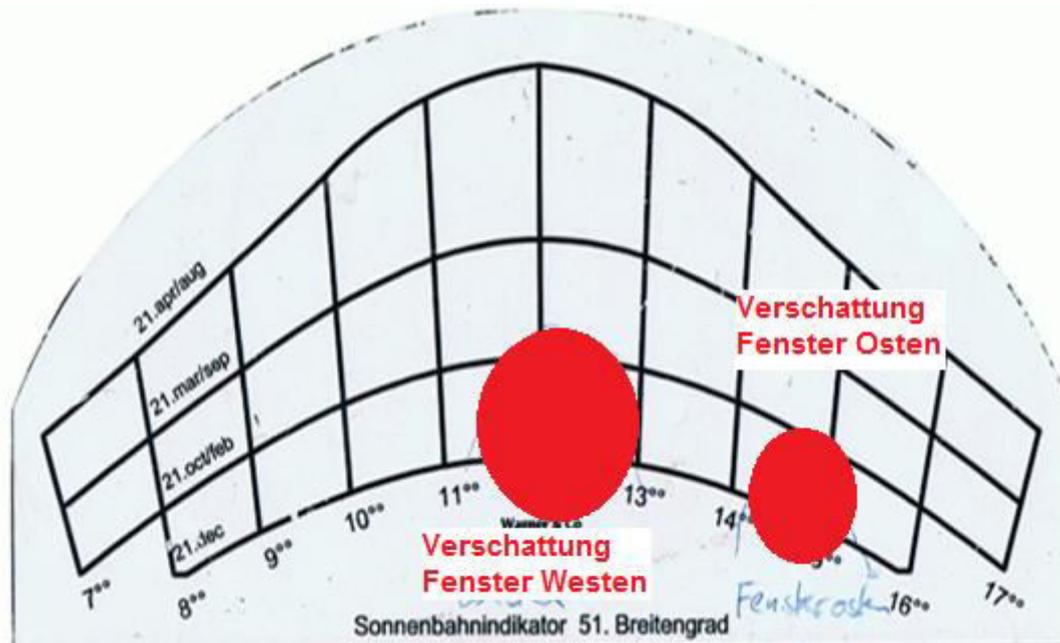


Abb. 6.2: Ermittlung der möglichen Verschattung auf dem Dach der Kita Apfelkörbchen

## 6.2 Stromverbrauch und Anlagenauslegung

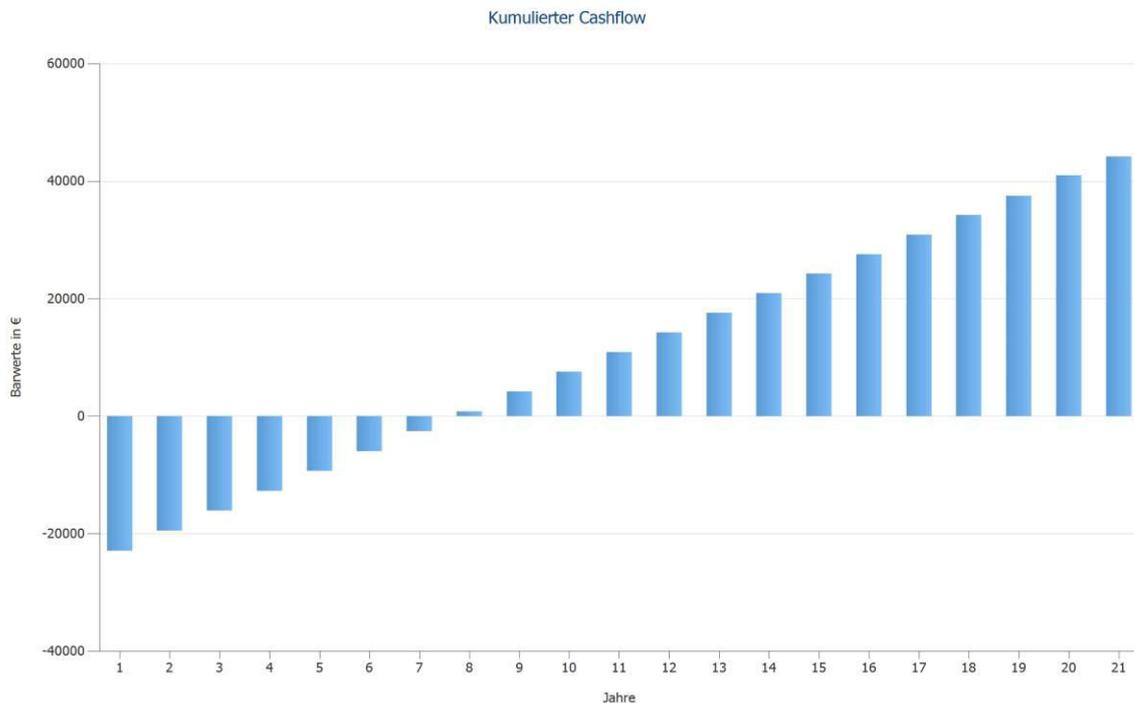
Die im Jahr 2015 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) publizierten „Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden“ legen einen Referenzwert für den spezifischen Endenergieverbrauchskennwert eines Gebäudes, in Abhängigkeit von dessen Nutzungsart, fest.

Im Fall der Kita Apfelkörbchen wird der Referenzwert von  $20 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$  [vgl. 6.1] mit einem spezifischen Endenergieverbrauchskennwert von  $54 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$  weit überschritten. Dieser ergibt sich durch den durchschnittlichen Jahresstromverbrauch ( $27.834 \frac{kWh}{a}$ ) im Verhältnis zur Gebäudenutzfläche ( $516 m^2$ ) [vgl. 6.2].

Für die Auslegung einer möglichen PV-Anlage wurde das Programm PV\*Sol [vgl. 6.3] genutzt, welches eine Anlagengröße von 20,52 kW ergab (siehe Anhang A.13.1). Diese besteht aus 76 Modulen mit jeweils 270 W und einem Wechselrichter mit 20,75 kW.

### 6.3 Kostenabschätzung PV- Anlage

Aufgrund der Vielzahl von Anbietern und unterschiedlichen Anlagentypen (zum Bsp. Dünnschichtmodule oder kristalline Module) wird zur Vereinfachung der Investitionskosten von einem durchschnittlichen Preis von  $1.250 \frac{\text{€}}{\text{kWp}}$  (Module, Wechselrichter, BoS, Installation) [vgl. 6.4] und einer Größe der Anlage von 20,5 kWp ausgegangen. Die gesamten Investitionskosten hätten somit eine Höhe von 25.650 €. Nach einer Simulation durch PV\*Sol (siehe Anhang A.13.2 ff.), kann eine monetäre Abschätzung erfolgen.



**Abb. 6.3:** Kumulierter Cashflow nach PV\*Sol

Die Anlage liefert im ersten Betriebsjahr einen Ertrag von 20.652 kWh und hat eine realistische Amortisationszeit von 7,8 Jahren (siehe Abb.14), welche bei der derzeitigen Einspeisevergütung von  $0,1187 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$  (Stand: Juli 2017 durch Bundesnetzagentur) nicht ungewöhnlich ist.

Durch steigende Stromkosten und ein angepasstes Nutzerverhalten (Inbetriebnahme von Großverbrauchern in den Sonnenstunden) kann die Rentabilität weiter gesteigert und die Amortisationszeit weiter gesenkt werden.

## 7 ZUSAMMENFASSUNG UND WEITERFÜHRENDE MAßNAHMEN

Die Gemeinde Borsdorf befindet sich auf dem richtigen Weg zur energetischen Sanierung. Dies wird nicht nur durch den zum Großteil niedrigen spezifischen Energieverbrauch, sondern auch durch die bereits durchgeführten bzw. geplanten Maßnahmen (z.B. Umrüstung der Beleuchtung auf LED) der Gemeinde, deutlich. Besonders herausragende Beispiele sind hier die städtische Kita in Panitzsch (Wärmepumpe und PV-Anlage), die vorhandene Elektromobilität der Gemeinde (ein E-Auto plus öffentlich zugängliche Ladestation im Gemeindekern), die sich im Bau befindliche Turnhalle mit Pelletheizung sowie der Umrüstungsbeginn der Straßenbeleuchtung auf LED-Technik.

Eine energieautarke Versorgung der Gemeinde, mit all seinen Ortsteilen, kann mittel- bis langfristig nicht realisiert werden. Dies wird durch zwei wesentliche Punkte begründet. Zum einen werden die regenerativen Energien aus Windkraft und Biomasse derzeit von der Gemeinde ausgeschlossen und zum anderen ist eine energetische Verbindung der einzelnen Ortsteile, aufgrund der räumlichen Trennung, nicht wirtschaftlich. In Panitzsch und Zweenfurth scheinen derzeit Insellösungen unumgänglich. Die Versorgung des Borsdorfer Ortskerns wäre mit dem in dieser Arbeit geplanten Wärmenetz möglich und zukünftig beliebig erweiterbar. Auch wenn in der Anlagenplanung aus wirtschaftlichen Gründen von einem Erdgas betriebenen BHKW ausgegangen wurde, wäre die Verwendung von NawaRo's (Biogas, Holzhackschnitzel oder Pellets) denkbar, wenn sich genügend Abnehmer finden, um eine positive Wirtschaftsbilanz anzustreben.

Für die Umsetzung der in dieser Arbeit aufgeführten Maßnahmen erscheint folgende Priorisierung sinnvoll:

1. Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf LED- Retrofit
2. Installation einer PV-Anlage auf der Kita Apfelkörbchen
3. Ermittlung eines möglichen Kältebedarfs für die Nutzung der Wärmeüberschüsse des AZV
4. Planung eines Wärmenetzes im Ortszentrum Borsdorf

Die Reihenfolge dieser Priorisierung ergibt sich durch die schnelle Umsetzbarkeit (noch 2017 realisierbar) für Punkt 1. und 2., womit unmittelbar nach der Umrüstung ein hohes Energieeinsparpotential (243.101,38 kWh/a) erreicht wird. Für die Punkte 3. bzw. 4. sind die Antragsfristen für mögliche Förderungen durch BAFA und KfW entscheidend. Diese laufen im Regelfall im April des jeweiligen Antragsjahres aus. Somit wäre die nächstmögliche Umsetzung frühestens im Jahr 2018 realisierbar.

Aus den energetischen Untersuchungen für die Gemeinde kann ein 5-Jahres-Stufen-Konzept erstellt werden, welches mit seinen Arbeitsschritten in Abb. 7.1 aufgezeigt wird.



**Abb. 7.1:** 5-Jahres-Energie-Stufen-Plan für die Gemeinde Borsdorf [eig. Darst.]

Mit der Umsetzung der hier aufgezeigten Maßnahmen, würde die Gemeinde nicht nur ihren Stromverbrauch um ca. 48 % und den CO<sub>2</sub> - Ausstoß um 688 t/a senken, sondern auch mit einem Wärmenetz ein zukunftsfähiges Wärmeversorgungskonzept verwirklichen. Durch eine mögliche Speisung des Netzes mit regenerativen Energieträgern wäre zumindest eine teilautarke Versorgung in Zukunft möglich.

## LITERATURVERZEICHNIS

### Kapitel 1:

- [1.1] Kalks, T. (2016). *Studie zur nachhaltigen kommunalen Wärmeenergie-versorgung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Rahmen eines 5-Jahres-Energie-Stufen-Konzeptes für die Gemeinde Borsdorf* (Arbeitstitel Masterarbeit 190/14). HTWK Leipzig / Fakultät Maschinenbau und Energietechnik.
- [1.2] Meyer, S. (2017). *Vorbereitung einer nachhaltigen kommunalen Stromversorgung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Rahmen eines 5-Jahres-Energie-Stufen-Konzeptes für die Gemeinde Borsdorf* (Arbeitstitel Praktikumsarbeit). HTWK Leipzig / Fakultät Maschinenbau und Energietechnik.

### Kapitel 2:

- [2.1] Kompetenzzentrum Contracting für Gebäude (2017). *Energiesparcontracting* (Onlineportal).  
Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (Hrsg.).  
URL:<http://www.kompetenzzentrum-contracting.de/contracting-modelle/energiespar-contracting/> [08.05.2017]
- [2.2] Verband Deutscher Bürgschaftsbanken (2017). *Contracting-Bürgschaften* (Onlineportal).  
URL: <http://www.vdb-info.de/aktuelles/contracting-buergschaften> [30.05.2017]
- [2.3] Energie & Management GmbH (2016). *Contracting-Branche wächst leicht* (Onlineportal).  
URL:<https://www.energie-und-management.de/nachrichten/detail/contracting-branchen-waechst-leicht-114510> [28.05.2017]
- [2.4] Kompetenzzentrum Contracting für Gebäude (2017). *Energiesparcontracting* (Onlineportal).  
Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (Hrsg.).  
URL:<http://www.kompetenzzentrum-contracting.de/contracting-modelle/energiespar-contracting/> [08.05.2017]
- [2.5] Siemens Schweiz. *Finanzierung durch Energiespar Contracting* (Onlineportal).  
URL:<http://w1.siemens.ch/buildingtechnologies/ch/de/gebaeudeautomation-hlk/Seiten/energiemanagement.aspx?tabcardname=finanzierung&ismobile=true>  
[28.06.2017]
- [2.6] SAENA - Sächsische Energieagentur GmbH, Dresden (2013). *Energiespar-Contracting* (Stand: April 2013)

- [2.7] Kompetenzzentrum Contracting für Gebäude (2017). *Energiesparcontracting* (Onlineportal).  
Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (Hrsg.).  
URL:<http://www.kompetenzzentrum-contracting.de/contracting-modelle/energiespar-contracting/> [08.05.2017]
- [2.8] Stadtwerke Rottenburg am Neckar (2017). *Energie-Einspar-Contracting (Onlineportal)*.  
URL:<http://www.sw-rottenburg.de/de/Waerme/rowaerme/Contracting1/Unser-Produktportfolio/> [24.06.2017]

### **Kapitel 3:**

- [3.1] Planert, M. *Leiter Bürgerservice und Bauverwaltung - Gemeinde Borsdorf* (Mehrfache Konsultationen und Schriftverkehr im Zeitraum März - September 2016).
- [3.2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – BMUB – (2015). *Bundesumweltministerium fördert auch 2016 Klimaschutzprojekte in Kommunen* (Stand: Dezember 2015).  
URL: <http://www.bmub.bund.de/pressemitteilung/bundesumweltministerium-foerdert-auch-2016-klimaschutzprojekte-in-kommunen/> [12.04.2017]
- [3.3] envia Mitteldeutsche Energie AG – *Energiebericht Straßenbeleuchtung für die Gemeinde Borsdorf (Chemnitz, 23.08.2011)*
- [3.4] Berger, A. *Berg-Berger Elektroanlagenbau*  
URL: <http://www.berg-berger.de/leipzig-halle-delitzsch/home.html>
- [3.5] Hartung, S. *Kommunal-KW GmbH & Co KG*  
URL: <http://www.kommunal-kw.de/kontakt/>
- [3.6] Umweltbundesamt - *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix (Stand: 23.05.2017)*  
URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen#Strommix>
- [3.7] EnEV-Online - *Primärenergiefaktor für Strom mindert sich ab 2016 (Stand: 20.07.2015)*  
URL:[http://www.enev-online.com/enev\\_praxishilfen/vergleich\\_enev\\_2016\\_enev\\_2014\\_neubau\\_wohnbau\\_5\\_pri\\_maerenergiefaktor\\_strom\\_15.07.20.htm](http://www.enev-online.com/enev_praxishilfen/vergleich_enev_2016_enev_2014_neubau_wohnbau_5_pri_maerenergiefaktor_strom_15.07.20.htm)

**Kapitel 4:**

- [4.1] AZV Parthe – *Verbandsgeschichte* (Onlineportal).  
URL: <https://www.azv-parthe.de/ueber-uns/verbandsgeschichte.html>
- [4.2] Abwasserverband Isar-Loisachgruppe - *Der technische Ablauf* (Onlineportal).  
URL: <http://www.ka-wolfratshausen.de/Homepage/wordpress/klaeranlage-heute/der-technische-ablauf/> [12.07.2017]
- [4.3] C.A.R.M.E.N. e.V. (2017). *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](https://www.carmen-ev.de/files/festbrennstoffe/merkblatt_Nahwaermenetz_carmen_ev.pdf) [05.05.2017]
- [4.4] Absorbtiionskältemaschine.de - *Funktionsprinzip Absorbtiionskältemaschine* (Onlineportal).  
URL: <http://absorptionsmaschine.de/thermisch-angetriebene-verfahren/absorptionsmaschinen/funktionsprinzip.html>
- [4.5] Absorbtiionskältemaschine.de - *Herstellerübersicht* (Onlineportal).  
URL: <http://absorptionsmaschine.de/thermisch-angetriebene-verfahren/absorptionsmaschinen/herstelleruebersicht-einstufig.html>
- [4.6] Absorbtiionskältemaschine.de - *Absorbtiionskältemaschine zur Kälteerzeugung* (Onlineportal).  
URL: <http://absorptionsmaschine.de/wirtschaftlichkeitsbetrachtung-der-absorptionsmaschine/absorptionskaeltemaschine-zur-kaelteerzeugung-.html>
- [4.7] Absorbtiionskältemaschine.de - *Herstellerübersicht* (Onlineportal).  
URL: <http://absorptionsmaschine.de/thermisch-angetriebene-verfahren/absorptionsmaschinen/herstelleruebersicht-einstufig.html>
- [4.8] YAZAKI EUROPE LIMITED (2008) - *CASE STUDY Einsatz einer Yazaki-Absorbtiionskältemaschine in einem Hotel*  
URL: [http://www.gasklima.de/fileadmin/filemounts/gkl/pdf/Produkte\\_Yazaki/CaseStudy\\_hotel\\_YAZAKI.pdf](http://www.gasklima.de/fileadmin/filemounts/gkl/pdf/Produkte_Yazaki/CaseStudy_hotel_YAZAKI.pdf) [ 08.05.2017]
- [4.9] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2017) – *Kälte- und Klimaanlage* (Onlineportal).  
URL: [http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Klima\\_Kaeltetechnik/klima\\_kaeltetechnik\\_node.html](http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Klima_Kaeltetechnik/klima_kaeltetechnik_node.html) [08.05.2017]
- [4.10] Geo-En Energy Technologies GmbH (2017) – *Referenzprojekt Wohnquartier in Berlin-Zehlendorf* (Onlineportal).  
URL: <http://www.geo-en.de/referenzen/wohnanlagen-quatiere/berlin-zehlendorf-900kw>

- [4.11] Deutsches Institut für Urbanistik (2017) – *Klimaschutz und erneuerbare Wärme*  
Druck: Spree Druck Berlin GmbH [2017]

### **Kapitel 5:**

- [5.1] Meyer, S. (2017). *Vorbereitung einer nachhaltigen kommunalen Stromversorgung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Rahmen eines 5-Jahres-Energie-Stufen-Konzeptes für die Gemeinde Borsdorf* (Arbeitstitel Praktikumsarbeit). HTWK Leipzig / Fakultät Maschinenbau und Energietechnik.
- [5.2] C.A.R.M.E.N. e.V. (2017). *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](https://www.carmen-ev.de/files/festbrennstoffe/merkblatt_Nahwaermenetz_carmen_ev.pdf) [05.05.2017]
- [5.3] Ingenieurbüro energiekontor Hannover (2014) – *BHKW-Wirtschaftlichkeitsberechnung (Online xls. Datei)*.  
[https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEWj\\_qYeMhYTVAhVFsxQKHTUmDKIQFggxMAE&url=http%3A%2F%2Fenergiekontor-hannover.de%2Ffileadmin%2Fuser\\_upload%2Fprogramme%2FBHKW-Wirtschaftl.rechn.\\_Vorlage.xlsx&usg=AFQjCNH\\_5B0KJi7CAFXse\\_g6OJFPKzGRHA](https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEWj_qYeMhYTVAhVFsxQKHTUmDKIQFggxMAE&url=http%3A%2F%2Fenergiekontor-hannover.de%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Fprogramme%2FBHKW-Wirtschaftl.rechn._Vorlage.xlsx&usg=AFQjCNH_5B0KJi7CAFXse_g6OJFPKzGRHA)  
[08.05.2017]
- [5.4] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2017) – *Wärme- und Kältenetze (Onlineportal)*.  
URL: [http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft\\_Waerme\\_Kopplung/Waerme\\_Kaeltenetze/waerme\\_kaeltenetze\\_node.html](http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft_Waerme_Kopplung/Waerme_Kaeltenetze/waerme_kaeltenetze_node.html) [08.05.2017]
- [5.5] C.A.R.M.E.N. e.V. (2017). *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](https://www.carmen-ev.de/files/festbrennstoffe/merkblatt_Nahwaermenetz_carmen_ev.pdf) [05.05.2017]
- [5.6] Bioenergie-Reporter (Januar 2013) - *Der lange Endspurt zum funktionierenden Nahwärmenetz (Onlineportal)*.  
URL: <https://bioenergiereporter.wordpress.com/der-lange-endspurt-zum-funktionierenden-nahwarmenetz/>
- [5.7] COMUNA-metall GmbH (2017) – *Referenzprojekt Seniorenzentrum Moers-Schwafheim (Onlineportal)*.  
URL: <http://www.comuna-metall.de/referenzprojekte.html> [12.06.2017]
- [5.8] solares bauen GmbH (2017) - *BHKWs in Schulen und anderen Bildungseinrichtungen, LBZ St. Anton, Riegel (Onlineportal)*.  
URL: <http://www.bhkw-jetzt.de/beispiele/schulen/> [12.06.2017]

- [5.9] BHKW-Prinz.de (März 2011) - *Viessmann: Vitobloc 200 EM-20/39 und EM 50/81 Mini-BHKW (Onlineportal)*.  
URL:<http://www.bhkw-prinz.de/viessmann-vitobloc-200-em-20-39-und-em-50-81-mini-bhkw/1609#Preis> [08.06.2017]
- [5.10] Net-Handel (2017) - *VISSMANN Vitobloc 200 EM-20/39 (Onlineportal)*.  
URL:<http://net-handel.de/shop/VISSMANN/Mini-KWK/BHKW-EM-18/36-EM-20/VISSMANN-Vitobloc-200-EM-20-39::158454.html>
- [5.11] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2017) – *Wärme- und Kältenetze (Onlineportal)- Merkblatt Wärme- und Kältenetze*.  
URL:[http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft\\_Waerme\\_Kopplung/Waerme\\_Kaeltenetze/waerme\\_kaeltenetze\\_node.html](http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft_Waerme_Kopplung/Waerme_Kaeltenetze/waerme_kaeltenetze_node.html) [08.05.2017]
- [5.12] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2017) – *Wärme- und Kältespeicher bis 50 m³ (Onlineportal)*.  
URL:[http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft\\_Waerme\\_Kopplung/Waerme\\_Kaeltespeicher/Speichervolumen\\_bis\\_50/speichervolumen\\_bis\\_50\\_node.html](http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft_Waerme_Kopplung/Waerme_Kaeltespeicher/Speichervolumen_bis_50/speichervolumen_bis_50_node.html) [08.05.2017]
- [5.13] KfW Bankengruppe (2017) - *Kredit 201: IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (Onlineportal)*.  
URL:[https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Energetische-Stadtsanierung/Finanzierungsangebote/Energieeffiziente-Quartiersversorgung-Kommunen-\(201\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Energetische-Stadtsanierung/Finanzierungsangebote/Energieeffiziente-Quartiersversorgung-Kommunen-(201)/)
- [5.14] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Dez 2015) - *Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz - KWKG)*  
URL: [https://www.gesetze-im-internet.de/kwkg\\_2016/BJNR249810015.html](https://www.gesetze-im-internet.de/kwkg_2016/BJNR249810015.html) [20.06.2017]
- [5.15] Konstantin, P. (2013). *Praxisbuch Energiewirtschaft Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt* (3., aktualisierte und erweiterte Auflage). Berlin: Springer-Vieweg Verlag.
- [5.16] [inflationrate.com](http://www.inflationrate.com/) (2017) – *Inflationrate Deutschland (Onlineportal)*.  
URL: <http://www.inflationrate.com/> [08.04.2017]

**Kapitel 6:**

- [6.1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015). *Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand* (Stand: 7. April 2015).  
URL: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/9B9CD50DABEDCF48C1257E51003C1324/\\$file/704-4\\_2015-04-30-EnEV-Bekanntmachung-20150407-IV.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/9B9CD50DABEDCF48C1257E51003C1324/$file/704-4_2015-04-30-EnEV-Bekanntmachung-20150407-IV.pdf) [29.08.2016]
- [6.2] Meyer, S. (2017). *Vorbereitung einer nachhaltigen kommunalen Stromversorgung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Rahmen eines 5-Jahres-Energie-Stufen-Konzeptes für die Gemeinde Borsdorf* (Arbeitstitel Praktikumsarbeit). HTWK Leipzig / Fakultät Maschinenbau und Energietechnik.
- [6.3] Valentin Software GmbH (2017) – *PV\*Sol (Onlineportal)*.
- [6.4] solaranlagenportal (2017) - *Die Kosten für eine Photovoltaikanlage (Onlineportal)*.  
URL: <https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/kosten> [01.07.2017]
- [6.5] KfW Bankengruppe (2017) - *Kredit 270: Erneuerbare Energien – Standard (Onlineportal)*.  
URL: [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-\(270/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270/)

**Anhang:**

- [A.1] envia Mitteldeutsche Energie AG – *Energiebericht Straßenbeleuchtung für die Gemeinde Borsdorf (Chemnitz, 23.08.2011)*
- [A.2] Hartung, S. *Kommunal-KW GmbH & Co KG – Angebot an die Gemeinde Borsdorf - Mai 2017*  
URL: <http://www.kommunal-kw.de/kontakt/>
- [A.3] AZV Parthe: *Energiebilanz der Verbandskläranlage Jahr 2015*
- [A.4] Meyer, S. (2017). *Vorbereitung einer nachhaltigen kommunalen Stromversorgung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Rahmen eines 5-Jahres-Energie-Stufen-Konzeptes für die Gemeinde Borsdorf* (Arbeitstitel Praktikumsarbeit). HTWK Leipzig / Fakultät Maschinenbau und Energietechnik.
- [A.5] Fraunhofer Umsicht – *Leitfaden Nahwärme*.  
URL: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/energie/leitfaden-nahwaerme.pdf> [08.06.2017]
- [A.6] BHKW-Prinz.de (März 2011) - *Viessmann: Vitobloc 200 EM-20/39 und EM 50/81 Mini-BHKW (Onlineportal)*.

URL:<http://www.bhkw-prinz.de/viessmann-vitobloc-200-em-20-39-und-em-50-81-mini-bhkw/1609#Preis> [08.06.2017]

- [A.7] Net-Handel (2017) - *VISSMANN Vitobloc 200 EM-20/39 (Onlineportal)*.

URL:<http://net-handel.de/shop/VISSMANN/Mini-KWK/BHKW-EM-18/36-EM-20/VISSMANN-Vitobloc-200-EM-20-39::158454.html>

- [A.8] Ingenieurbüro energiekontor Hannover (2014) – *BHKW-Wirtschaftlichkeitsberechnung (Online xls. Datei)*.

[https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj\\_qYeMhYTVAhVFsxQKHTUmDKIQFggxMAE&url=http%3A%2F%2Fenergiekontor-hannover.de%2Ffileadmin%2Fuser\\_upload%2Fprogramme%2FBHKW-Wirtschaftl.rechn.\\_Vorlage.xls&usg=AFQjCNH\\_5B0KJi7CAFXse\\_g6OJFPKzGRHA](https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj_qYeMhYTVAhVFsxQKHTUmDKIQFggxMAE&url=http%3A%2F%2Fenergiekontor-hannover.de%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Fprogramme%2FBHKW-Wirtschaftl.rechn._Vorlage.xls&usg=AFQjCNH_5B0KJi7CAFXse_g6OJFPKzGRHA)  
[08.05.2017]

- [A.9] Hochschule Bochum (2017) – *Praktika - Kläranlage (Onlineportal)*.

URL: <http://www.hochschule-bochum.de/fbb/labore/siwawi/praktika/klaeranlage.html>

## IV ANHÄNGE

Anhang A.1: Auszug DIN 8930 – 5 (Contracting).....	52 -
Anhang A.2: Durchschnittlicher Stromverbrauch der Gemeinde Borsdorf.....	53 -
Anhang A.3.1: Bestandsleuchten der Gemeinde.....	54 -
Anhang A.3.2: Bestandsleuchten der Gemeinde.....	55 -
Anhang A.4: Contractingvariante (4% Zins) Straßenbeleuchtung [vgl. A.2].....	56 -
Anhang A.5: Klärgaserzeugung AZV 2015 [vgl. A.3, A.9].....	57 -
Anhang A.6: Überschusswärmemengen AZV 2015 [vgl. A.3].....	58 -
Anhang A.7: Bestandsdaten im Objekt Diakonissenhaus.....	59 -
Anhang A.8: Lageplan Diakonissenhaus.....	60
Anhang A.9: Verbrauchsdaten Diakonie u. Gemeindeverwaltung [vgl. A.4].....	61
Anhang A.10: Auswahl des Rohrdurchmesser bei der Nahwärmenetzauslegung.....	62
Anhang A.11: Gaskessel und BHKW VIESSMANN.....	63
Anhang A.12: Betriebskostenvergleichsrechnung BHKW und reiner Gaskessel.....	64
Anhang A.13.1: Auslegung der PV- Anlage auf Kita Apfelkörnchen.....	65
Anhang A.13.2: Aufbau der Anlage und Ausrichtung.....	66
Anhang A.13.3: Simulationsergebnisse der PV- Anlage in PV*Sol.....	67
Anhang A.13.4: Wirtschaftlichkeitsanalyse der PV- Anlage.....	68
Anhang A.13.5: Cashflowverlauf der PV- Anlage.....	69
Anhang A.13.6: Auswahl PV- Module Heckert-Solar 270 W.....	70
Anhang A.13.7: Auswahl Wechselrichter ABB 20 kW.....	71
Anhang A.13.8: mögliche Verschattung der PV- Anlage.....	72

## Anhang A.1: Auszug DIN 8930 – 5 (Contracting)

### **Energieliefer-Contracting**

- Anlagen-Contracting
- Nutzenergie-Lieferung
- Errichten oder Übernehmen und Betreiben einer Energieerzeugungsanlage zur Nutzenergielieferung durch einen Contractor auf Basis von Langzeitverträgen

### **Einspar-Contracting**

- Performance-Contracting
- Energie-Einspar-Contracting
- Energiespar-Contracting
- gewerkeübergreifende Optimierung der Gebäudetechnik und des Gebäudebetriebs durch einen Contractor auf Basis einer partnerschaftlich gestalteten Zusammenarbeit

### **Finanzierungs-Contracting**

- Anlagenbau-Leasing
- Bereitstellung einer abgegrenzten technischen Einrichtung oder Anlage zum Zwecke der Ermöglichung eines sicheren, wirtschaftlichen und umweltschonenden Betriebs

### **Technisches Anlagenmanagement**

- Betriebsführungscontracting
- Technisches Gebäudemanagement
- Umsetzung technischer Dienstleistungen durch einen Contractor, um einen sicheren, wirtschaftlichen und umweltschonenden Betrieb von technischen Anlagen sicherzustellen und zu erhalten

## Anhang A.2: Durchschnittlicher Stromverbrauch der Gemeinde Borsdorf

Tabelle A.2.1: Stromverbrauch der Gemeinde Borsdorf 2013 - 2015

Einrichtung/Gebäude	Verbrauch in kWh/a
Straßenbeleuchtung	409.918,16
Rathaus Borsdorf	19.250,00
Bibliothek	10.858,00
Sportlerheim	6.572,00
Hirtenhaus	1.140,00
Bauhof Verwaltung	15.908,00
Feuerwehr Borsdorf	7.107,00
Bauhof/Werk II	1.449,00
Jugendhaus	4.824,00
Feuerwehr Panitzsch	5.682,00
Tribünengebäude Panitzsch	27.515,00
Hort Parthenstrolche	17.889,00
Kindergarten Parthenflöhe Altbau	5.448,00
Kindergarten Parthenflöhe Neubau WP <sup>1</sup>	31.293,00
Kindergarten Parthenflöhe Neubau	13.957,00
Grundschule Panitzsch	63.690,00
Bürgerhaus NT	18.609,00
Bürgerhaus HAT	713,00
Feuerwehr Zweenfurth	2.806,00
<b>gesamt</b>	<b>664.628,16</b>

<sup>1</sup> Stromverbrauch Wärmepumpe

**Anhang A.3.1: Bestandsleuchten der Gemeinde**

**Tabelle A.3.2: Bestandsleuchten Borsdorf [vgl. A.1, S. 51]**

Hersteller /Typ	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5	Typ 6	Typ 7
<b>DDR-Leuchten</b>	 BG 1	 RSL	 Topf				
<b>Leipziger Leuchten</b>	 ASL 70	 ASL 2009	 ASL 2010	 Eva 1	 Nadja	 2076.02	 Uta
<b>Philips / AEG</b>	 SGS 101	 SGP070	 SGS 203				
<b>Siteco / Siemens</b>	 5NA341	 5NA522	 5NA583	 kleine Glocke	 kl. Klassiker	 SL 100	
<b>Trilux</b>	 9331						
<b>Schuch</b>	 BR 43	 BR 44					

## Anhang A.3.2: Bestandsleuchten der Gemeinde

Tabelle A.3.3: Bestandsleuchten Borsdorf [vgl. A.1, S. 52]

Hersteller/Typ	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5	Typ 6	Typ 7
<b>Fußgänger- überwegleuchte</b>	 FGÜ						
<b>Selux</b>	 unbekannt						
<b>unbekannt</b>	 Altstadtleuchte						
<b>unbekannt</b>	 Lichtsäule						

**Anhang A.4: Contracting-Variante (4% Zins) Straßenbeleuchtung [vgl. A.2]**

<b>Rentabilitätsabschätzung</b>		
	NAV	LED
Anzahl der Leuchtpunkte	1.000 Lampen	1.000 Lampen
Leistung Leuchtmittel	70 Watt	28 Watt
Leistung Vorschaltgerät	5 Watt	
Gesamtleistung	75 Watt	28 Watt
Lichtleistung	3.500 Lumen	3.920 Lumen
Brutto-Strompreis	0,250 €/kWh	0,250 €/kWh
Leuchtdauer pro Jahr	4.000 Stunden p.a.	4.000 Stunden p.a.
Stromverbrauch	300.000 kWh	112.000 kWh
jährliche Stromkosten	75.000,00 €	28.000,00 €
Installationskosten pro Lampe	35,00 €	35,00 €
Leuchtmittelkosten	10,00 €	65,00 €
Investitionskosten pro Lampe	45,00 €	100,00 €
Investitionskosten gesamt	45.000,00 €	100.000,00 €
Lebensdauer	5,00 Jahre	10,00 Jahre
jährliche Abschreibung pro Lampe	9,00 €	10,00 €
jährliche Abschreibung /Erneuerung	9.000,00 €	10.000,00 €
Gesamtkosten	84.000,00 €	38.000,00 €

**Liquiditätsabschätzung MIET-Variante**

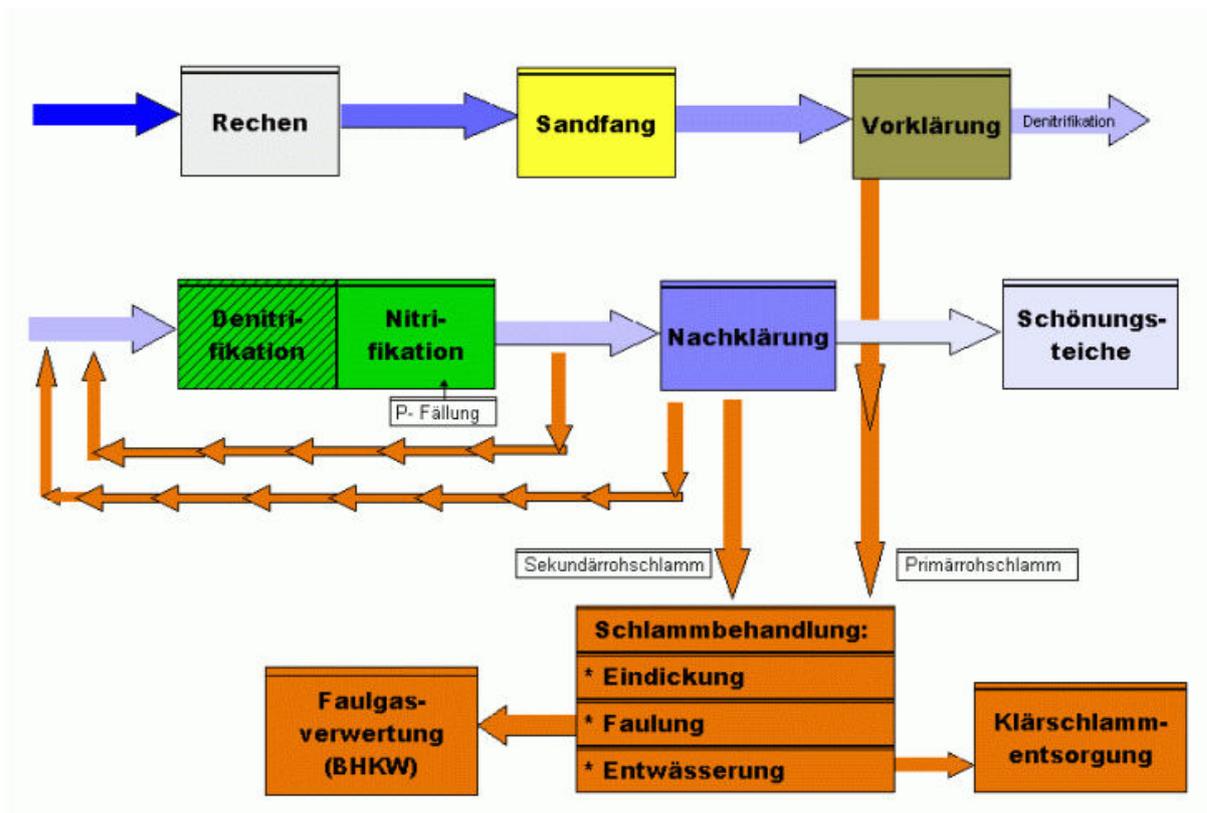
<b>LED-Leuchtmittel</b>				
Jahr	Leuchtmittel	Stromkosten	Gesamt	kumuliert
Jahr 1	27.549,00 €	28.000,00 €	55.549,00 €	55.549,00 €
Jahr 2	27.549,00 €	28.000,00 €	55.549,00 €	111.098,01 €
Jahr 3	27.549,00 €	28.000,00 €	55.549,00 €	166.647,01 €
Jahr 4	27.549,00 €	28.000,00 €	55.549,00 €	222.196,02 €
Jahr 5		28.000,00 €	28.000,00 €	250.196,02 €
Jahr 6		28.000,00 €	28.000,00 €	278.196,02 €
Jahr 7		28.000,00 €	28.000,00 €	306.196,02 €
Jahr 8		28.000,00 €	28.000,00 €	334.196,02 €
Jahr 9		28.000,00 €	28.000,00 €	362.196,02 €
Jahr 10		28.000,00 €	28.000,00 €	390.196,02 €

Anhang A.5: Klärgaserzeugung AZV 2015 [vgl. A.3, A.9]

AZV Parthe  
Energiebilanz der Verbandskläranlage Jahr 2015

Klärgaserzeugung:	Jan - Dez 2015	467.308	m <sup>3</sup> /a
Erdgasbezug:	Jan - Dez 2015	121.795	m <sup>3</sup> /a
Strombezug:	Jan - Dez 2015	123.903	kWh/a

Funktionsweise der Kläranlage [vgl. A.8]



**Anhang A.6: Überschusswärmemengen AZV 2015 [vgl. A.3]****Tabelle A.6.4: Wärmeüberschüsse AZV**

Monat	Wärmeüberschuss AZV in MWh	Wärmeüberschuss Abzüglich Wärmeverluste bei Nahwärmenetzlänge von 1515 m in MWh	Warmwasserbedarf f Parthenaue in MWh	Differenz Wärmeüberschuss / Wärmebedarf in MWh
Jan	37,8	23,814	70,68833333	-46,87433333
Feb	35,5	22,365	70,68833333	-48,32333333
Mrz	56	35,28	70,68833333	-35,40833333
Apr	63,9	40,257	70,68833333	-30,43133333
Mai	91,1	57,393	70,68833333	-13,29533333
Jun	95,7	60,291	70,68833333	-10,39733333
Jul	98,7	62,181	70,68833333	-8,50733333
Aug	123,4	77,742	70,68833333	7,05366667
Sep	107,4	67,662	70,68833333	-3,02633333
Okt	78,6	49,518	70,68833333	-21,17033333
Nov	64,4	40,572	70,68833333	-30,11633333
Dez	45,3	28,539	70,68833333	-42,14933333
<b>Gesamt</b>	<b>897,8</b>	<b>565,614</b>	<b>848,26</b>	<b>-282,646</b>

## Anhang A.7: Bestandsdaten im Objekt Diakonissenhaus

Tabelle A.7.5: Heizungssysteme Diakonie

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

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

<sup>2</sup> Die angegebene Fläche entspricht dem Teil der Gebäudegrundfläche, der gemäß der jeweiligen Zweckbestimmung genutzt wird

<sup>3</sup> T...Teilsanierung / G... Generalsanierung / M... Modernisierung / U... Umbaumaßnahmen

<sup>4</sup> Betreutes Wohnen (insgesamt 27 Mieteinheiten)

<sup>5</sup> Wärmeversorgung über Schwesternhaus

<sup>6</sup> Umbauarbeiten und Sanierung in 05/2016 zu einem UMA-Heim

Anhang A.8: Lageplan Diakonissenhaus

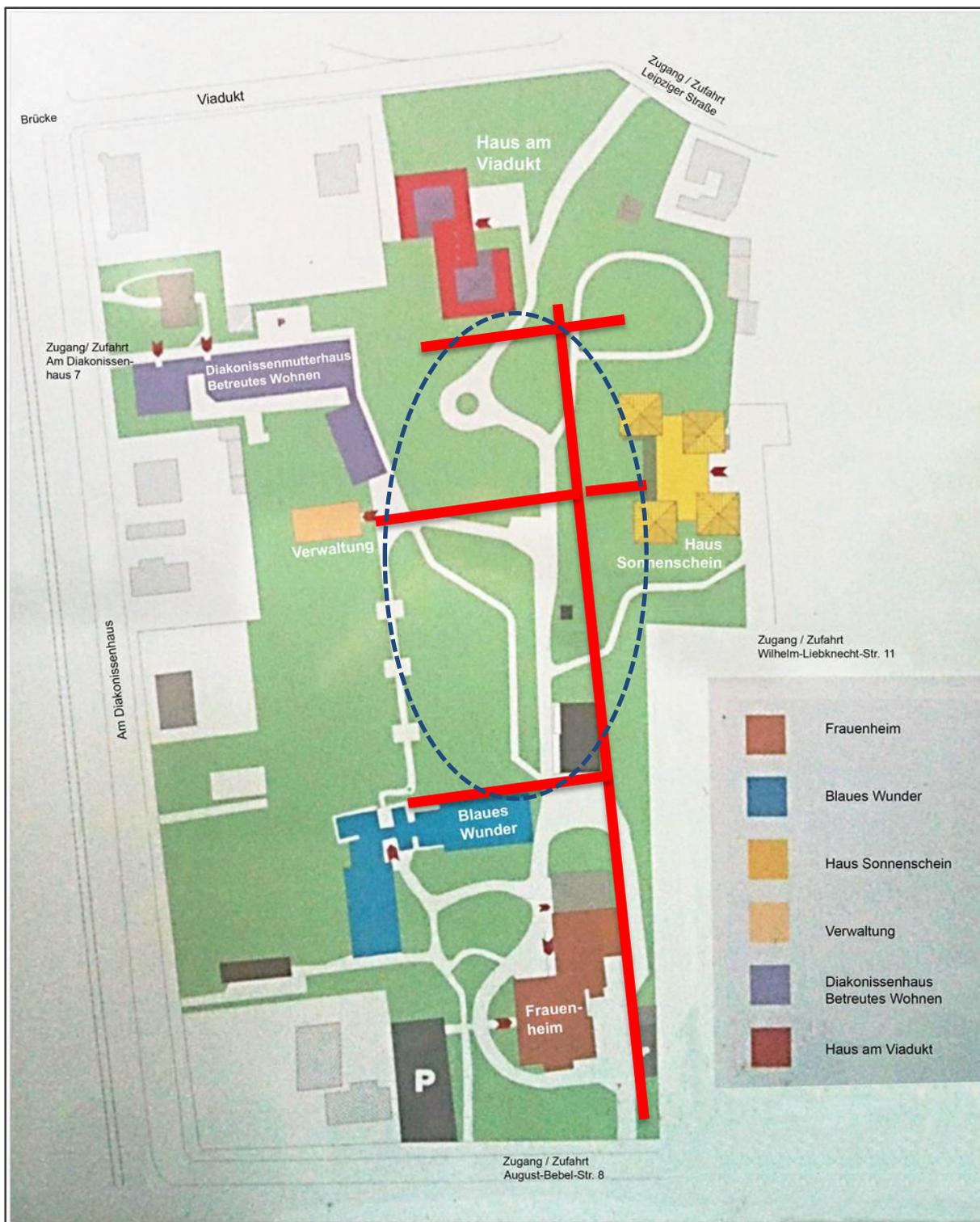


Abb. A.1: Lageplan Diakonissenhaus<sup>6</sup> mit geplanten Strahlennetz (rote Linien) oder Ringnetz (blau schraffiert)

<sup>6</sup> Quelle: eigene Darstellung

**Anhang A.9: Verbrauchsdaten Diakonie u. Gemeindeverwaltung [vgl. A.4]****Tabelle A.9.6:** Stromverbrauch Diakonie und Gemeindeverwaltung 2013 - 2015

<b>Zeitpunkt</b>	<b>h / Monat</b>	<b>kWh</b>
Ø Jan	744	180.488
Ø Feb	672	147.678
Ø Mrz	744	104.374
Ø Apr	720	56.626
Ø Mai	744	33.886
Ø Jun	720	31.721
Ø Jul	744	42.573
Ø Aug	744	64.981
Ø Sep	720	96.869
Ø Okt	744	163.100
Ø Nov	720	178.344
Ø Dez	744	210.377
Ø 2013 - 2015	8.760	1.311.018
Ø -Monat	730	109.251

**Tabelle A.9.7:** Wärmeverbrauch Diakonie und Gemeindeverwaltung 2013 - 2015

<b>Zeitpunkt</b>	<b>h / Monat</b>	<b>kWh</b>
Ø Jan	744	274.427
Ø Feb	672	229.871
Ø Mrz	744	209.724
Ø Apr	720	123.840
Ø Mai	744	81.850
Ø Jun	720	52.833
Ø Jul	744	39.088
Ø Aug	744	41.705
Ø Sep	720	70.168
Ø Okt	744	133.702
Ø Nov	720	191.197
Ø Dez	744	238.771
Ø 2013 - 2015	8.760	1.687.176
Ø -Monat	730	140.598

**Anhang A.10: Auswahl des Rohrdurchmesser bei der Nahwärmenetzauslegung**

**Geg.:**

- Temperaturspreizung = 80 K

(Vorlauftemperatur BHKW 92 °C, Umgebungstemperatur Erdreich 10 °C)

- $P_{max} = 80 \text{ kW}$  (geschätzt)

Verluste können aufgrund der Auswahl des DN 32 vernachlässigt werden, da das Leitungsnetz zusätzliche 100 kW zulassen würde.

**Tabelle A.10.8:** Stahlmediumrohr bei 100 Pa/m Druckverlust [vgl. A.5 S. 124]

DN	$d_{an}$ [mm]	$S_W$ [mm]	** $D_a$ [mm]	Wasser- geschw. [m/s]	Wasser- strom [m <sup>3</sup> /h]	Leistung ? $T= 20 \text{ K}$ [kW]	Leistung ? $T= 40 \text{ K}$ [kW]	Leistung ? $T= 60 \text{ K}$ [kW]	Leistung ? $T= 80 \text{ K}$ [kW]
15	21,3	*2,6	90	0,28	0,206	5	9	14	19
20	26,9	*2,6	90	0,35	0,464	11	21	32	42
25	33,7	3,2	90	0,41	0,858	20	39	59	78
32	42,4	*2,6	110	0,50	1,959	45	89	130	180
40	48,3	*2,6	110	0,56	2,902	66	130	200	260
50	60,3	*2,9	125	0,65	5,413	120	250	370	490
65	76,1	*2,9	140	0,77	10,634	240	480	730	970
80	88,9	3,2	160	0,85	16,238	370	740	1110	1480
100	114,3	3,6	180	1,00	32,340	740	1470	2210	2940
125	139,7	3,6	200	1,15	56,668	1290	2580	3870	5160
150	168,3	4	250	1,29	93,489	2130	4260	6380	8510

\* Die Mindestnennwanddicke beträgt 2,0-2,9 mm (DIN EN 253), die neue Standard-Nennwanddicke beträgt 3,2 mm (1998, AGFW FW401)

\*\* Dämmklasse 1

**Anhang A.11: Gaskessel und BHKW VIESSMANN**

1. Vitobloc 200 EM-50/81: 50,0 kW<sub>el</sub> / 81,0 kW<sub>th</sub>; Erdgas (zweites Modul von rechts)
2. Vitobloc 200 EM-20/39: 20,0 kW<sub>el</sub> / 39,0 kW<sub>th</sub>; Erdgas (zweites Modul von links)



**Abb. A.2:** BHKW's VIESSMANN [vgl. A.6]

3. VIESSMANN CT3B067 Vitocrossal 300- 187/170 kW



**Abb. A.3:** Gaskessel VIESSMANN [vgl. A.7]

## Anhang A.12: Betriebskostenvergleichsrechnung BHKW und reiner Gaskessel

Tabelle A.12.9: Betriebskostenvergleich mit/ohne BHKW [vgl. A.8]

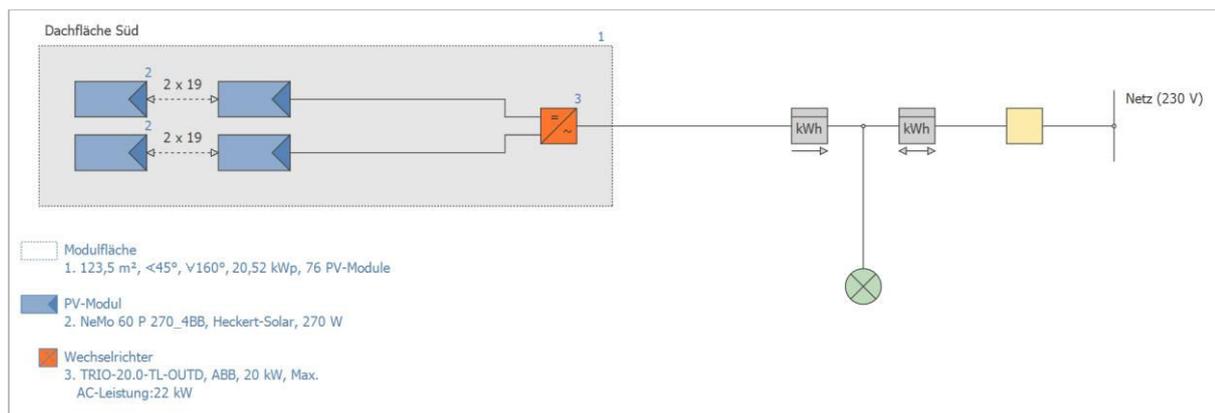
	BHKW+Spitzenlastkessel		jährliche Kosteneinsparung	reiner Gaskesselbetrieb	
Wärme gesamt	1.831.716	kWh		1.831.716	kWh
Wärme BHKW	1.446.941	kWh			
Wärme Kessel	384.775	kWh		1.831.716	kWh
<b>Gasverbrauch</b>					
Gasverbrauch BHKW (HS)	2.810.873	kWh			
Gasverbrauch Kessel (HS)	449.579	kWh		2.140.216	kWh
Gasverbrauch gesamt (HS)	3.260.452	kWh			
<b>Gaskosten gesamt (2 ct/kWh(HS))</b>	<b>65.509,05</b>	<b>€</b>		<b>42.804,31</b>	<b>€</b>
BHKW Wartung (3,3ct/kWhel)	28.836,01	€			
<b>Strom gesamt</b>					
BHKW Eigenstromverbrauch	1.311.018			1.311.018	kWh
EEG- Abgabe (6,88 ct/kWh)	816.273	kWh			
Zusatzbezug Strom (15 ct/kWh)	56.159,56	€			
interne Stromabrechnung	74.211,80	€		<b>196.652,69</b>	€
Erdgassteuer Rückerstattung (0,55 ct/kWh BHKW HS)	600	€			
<b>Einspeisevergütung</b>					
EEX (3,3 ct/kWh)	-1.899,02	€			
verm. Netznutzungsentgeld (0,5 ct/kWh)	-287,73	€			
KWK-Bonus Eigennutzung (für 60.000 VBS)	-34.952,74	€			
<b>Gesamtkosten innerhalb 60.000 VBS</b>	<b>172.417,12</b>	<b>€</b>	<b>67.039,88 €</b>	<b>239.457,00</b>	<b>€</b>
<b>Gesamtkosten nach 60.000 VBS</b>	<b>207.369,86</b>	<b>€</b>	<b>32.087,14 €</b>		

Anhang A.13.1: Auslegung der PV-Anlage auf Kita Apfelkörbchen



3D, Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern

Klimadaten	Borsdorf (1991 - 2010)
PV-Generatorleistung	20,52 kWp
PV-Generatorfläche	123,5 m <sup>2</sup>
Anzahl PV-Module	76
Anzahl Wechselrichter	1



### Anhang A.13.2: Aufbau der Anlage und Ausrichtung

Aufbau der Anlage	
Klimadaten	Borsdorf
Anlagenart	3D, Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern
Verbrauch	
Gesamtverbrauch	28000 kWh
Spitzenlast	13,3 kW
PV-Generator Modulfläche	
Name	Dachfläche Süd
PV-Module*	76 x NeMo 60 P 270_4BB
Hersteller	Heckert-Solar
Neigung	45 °
Ausrichtung	Süden 160 °
Einbausituation	Dachparallel - gut hinterlüftet
PV-Generatorfläche	123,5 m <sup>2</sup>

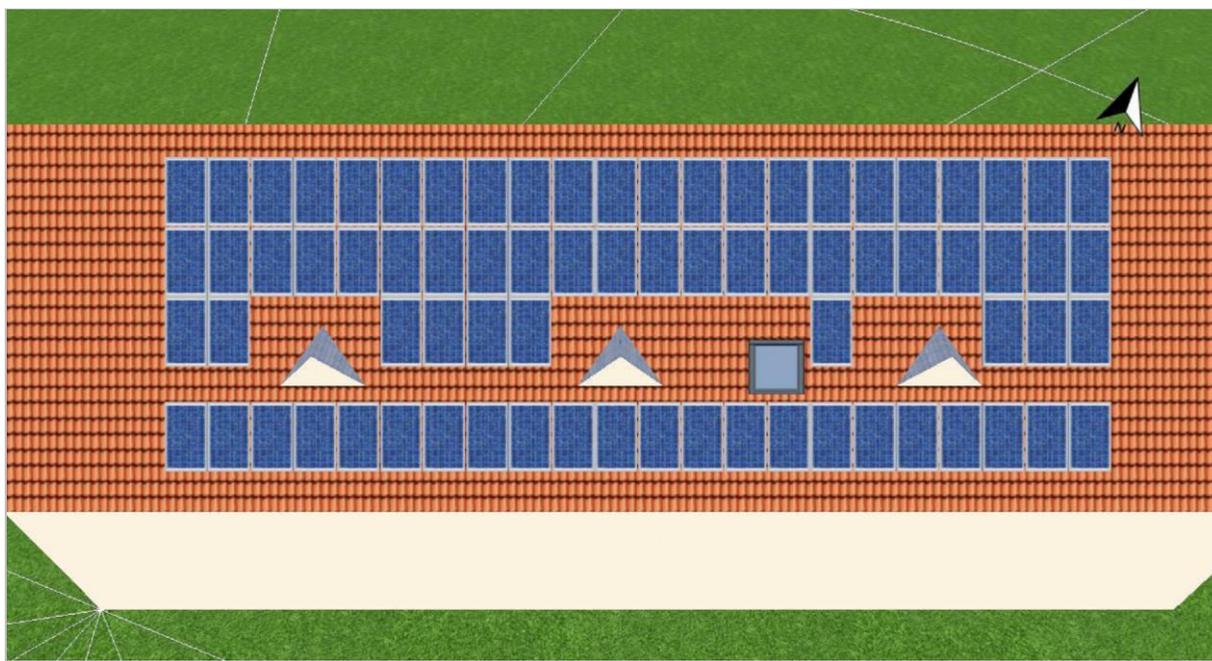


Abbildung: 3D-Planung zu Dachfläche Süd

**Anhang A.13.3: Simulationsergebnisse der PV-Anlage in PV\*Sol**

**Simulationsergebnisse**

**PV-Anlage**

PV-Generatorleistung	20,5 kWp
Spez. Jahresertrag	1.006,44 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	87,4 %
Ertragsminderung durch Abschattung	2,4 %/Jahr
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	20.652 kWh/Jahr
Eigenverbrauch	13.096 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	7.556 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	63,4 %
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen	12.391 kg/Jahr

**Verbraucher**

Verbraucher	28.000 kWh/Jahr
Stand-By Verbrauch	16 kWh/Jahr
Gesamtverbrauch	28.016 kWh/Jahr
gedeckt durch PV	13.096 kWh/Jahr
gedeckt durch Netz	14.919 kWh/Jahr
Solarer Deckungsanteil	46,7 %

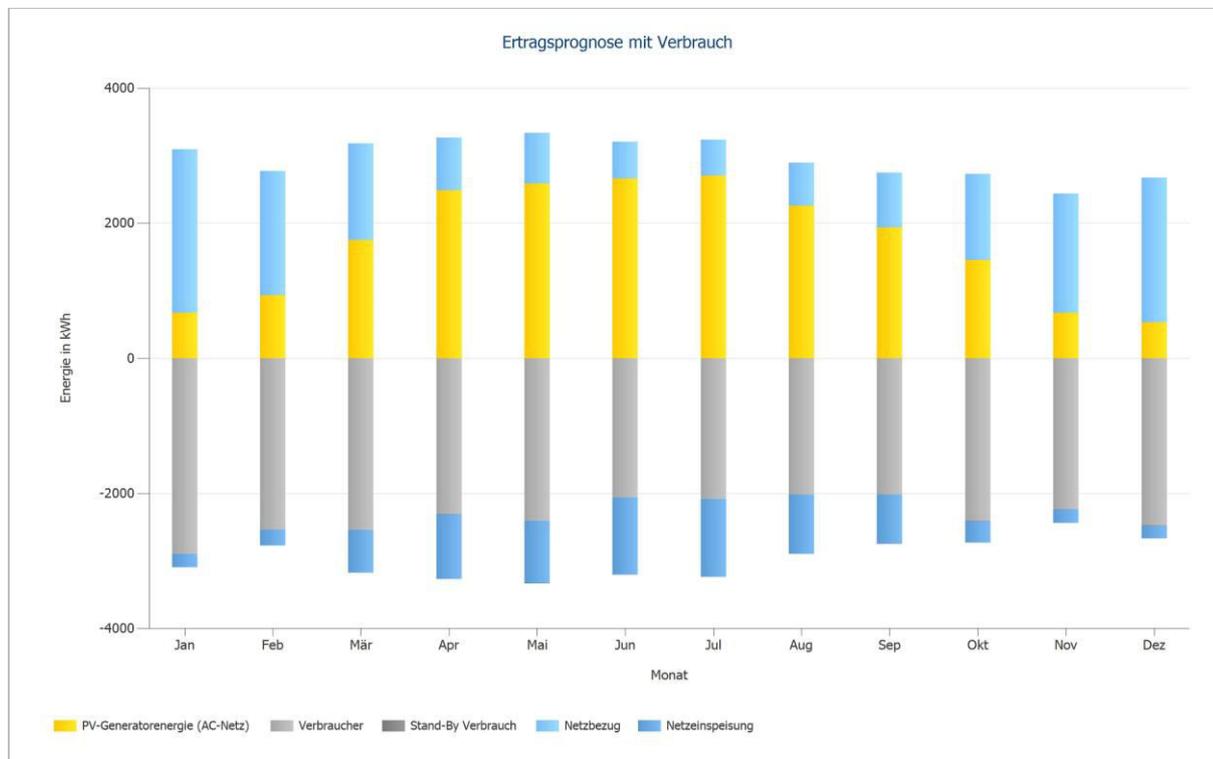


Abbildung: Ertragsprognose mit Verbrauch

## Anhang A.13.4: Wirtschaftlichkeitsanalyse der PV-Anlage

### Wirtschaftlichkeitsanalyse

#### Anlagendaten

Netzeinspeisung im ersten Jahr (inkl. Moduldegradation)	7.522 kWh/Jahr
PV-Generatorleistung	20,5 kWp
Inbetriebnahme der Anlage	17.07.2017
Betrachtungszeitraum	20 Jahre

#### Wirtschaftliche Kenngrößen

Kumulierter Cashflow	44.150,37 €
Mindestlaufzeit der Anlage	7,8 Jahre
Stromgestehungskosten	0,07 €/kWh

#### Zahlungsübersicht

spezifische Investitionskosten	1.250,00 €/kWp
Investitionskosten	25.650,00 €
Einmalzahlungen	0,00 €
Förderungen	0,00 €
Jährliche Kosten	0,00 €/Jahr
Sonstige Erlöse oder Einsparungen	0,00 €/Jahr

#### Kredite

Bezeichnung	Kredit 1
Fremdkapital	25.650,00 €
Auszahlungsrate	100,00 %
Kreditart	Ratenkredit
Laufzeit	10,00 Jahre
tilgungsfreie Anlaufjahre	2,00 Jahre
Zins	1,45
Tilgungsfrist	vierteljährlich

#### Vergütung und Ersparnisse

Gesamtvergütung im ersten Jahr	546,77 €/Jahr
Ersparnisse im ersten Jahr	2.889,17 €/Jahr

#### EEG 2017 - Umlage auf Eigenverbrauch - Alle Anlagenarten

Gültigkeit	01.01.2017 - 31.12.2036
Spezifische Eigenverbrauchsabgabe	0,0275 €/kWh
Eigenverbrauchsabgabe	358,54 €/Jahr

#### EEG 2017 (Juli) - Gebäudeanlage

Gültigkeit	01.07.2017 - 31.12.2037
Spezifische Einspeisevergütung	0,1204 €/kWh
Einspeisevergütung	905,31 €/Jahr

#### Example Private (Example)

Arbeitspreis	0,22 €/kWh
Grundpreis	6,90 €/Monat
Preisänderungsfaktor Arbeitspreis	2 %/Jahr

## Anhang A.13.5: Cashflowverlauf der PV-Anlage

## Cashflow Tabelle

	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
Einspeisevergütung	492,62 €	531,69 €	522,16 €	512,77 €	503,51 €
Einsparungen Strombezug	2.860,57 €	2.865,68 €	2.870,61 €	2.875,37 €	2.879,93 €
Kredittilgungen	0,00 €	0,00 €	-3.111,95 €	-3.081,14 €	-3.050,64 €
Kreditzinsen	-368,24 €	-364,60 €	-344,07 €	-295,98 €	-248,82 €
<b>Jährlicher Cashflow</b>	<b>2.984,94 €</b>	<b>3.032,77 €</b>	<b>-63,25 €</b>	<b>11,01 €</b>	<b>83,98 €</b>
Kumulierter Cashflow	2.984,94 €	6.017,72 €	5.954,47 €	5.965,47 €	6.049,46 €
Kumulierter Cashflow abzüglich noch ausstehender Kredite	-22.886,14 €	-19.488,77 €	-16.096,00 €	-12.707,86 €	-9.324,42 €
	<b>Jahr 6</b>	<b>Jahr 7</b>	<b>Jahr 8</b>	<b>Jahr 9</b>	<b>Jahr 10</b>
Einspeisevergütung	494,38 €	485,39 €	476,53 €	467,79 €	459,18 €
Einsparungen Strombezug	2.884,30 €	2.888,48 €	2.892,46 €	2.896,23 €	2.899,80 €
Kredittilgungen	-3.020,43 €	-2.990,53 €	-2.960,92 €	-2.931,60 €	-2.902,58 €
Kreditzinsen	-202,56 €	-157,19 €	-112,70 €	-69,08 €	-26,30 €
<b>Jährlicher Cashflow</b>	<b>155,70 €</b>	<b>226,15 €</b>	<b>295,37 €</b>	<b>363,34 €</b>	<b>430,10 €</b>
Kumulierter Cashflow	6.205,16 €	6.431,31 €	6.726,68 €	7.090,02 €	7.520,12 €
Kumulierter Cashflow abzüglich noch ausstehender Kredite	-5.945,74 €	-2.571,87 €	797,12 €	4.161,14 €	7.520,12 €
	<b>Jahr 11</b>	<b>Jahr 12</b>	<b>Jahr 13</b>	<b>Jahr 14</b>	<b>Jahr 15</b>
Einspeisevergütung	450,70 €	442,34 €	434,09 €	425,97 €	417,97 €
Einsparungen Strombezug	2.903,15 €	2.906,28 €	2.909,19 €	2.911,87 €	2.914,32 €
Kredittilgungen	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Kreditzinsen	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
<b>Jährlicher Cashflow</b>	<b>3.353,84 €</b>	<b>3.348,61 €</b>	<b>3.343,29 €</b>	<b>3.337,85 €</b>	<b>3.332,30 €</b>
Kumulierter Cashflow	10.873,96 €	14.222,58 €	17.565,86 €	20.903,71 €	24.236,01 €
Kumulierter Cashflow abzüglich noch ausstehender Kredite	10.873,96 €	14.222,58 €	17.565,86 €	20.903,71 €	24.236,01 €
	<b>Jahr 16</b>	<b>Jahr 17</b>	<b>Jahr 18</b>	<b>Jahr 19</b>	<b>Jahr 20</b>
Einspeisevergütung	410,09 €	402,32 €	394,66 €	387,11 €	512,41 €
Einsparungen Strombezug	2.916,54 €	2.918,51 €	2.920,23 €	2.921,71 €	2.922,92 €
Kredittilgungen	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Kreditzinsen	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
<b>Jährlicher Cashflow</b>	<b>3.326,62 €</b>	<b>3.320,83 €</b>	<b>3.314,89 €</b>	<b>3.308,82 €</b>	<b>3.435,33 €</b>
Kumulierter Cashflow	27.562,63 €	30.883,46 €	34.198,35 €	37.507,17 €	40.942,51 €
Kumulierter Cashflow abzüglich noch ausstehender Kredite	27.562,63 €	30.883,46 €	34.198,35 €	37.507,17 €	40.942,51 €
	<b>Jahr 21</b>				
Einspeisevergütung	283,98 €				
Einsparungen Strombezug	2.923,88 €				
Kredittilgungen	0,00 €				
Kreditzinsen	0,00 €				
<b>Jährlicher Cashflow</b>	<b>3.207,86 €</b>				
Kumulierter Cashflow	44.150,37 €				
Kumulierter Cashflow abzüglich noch ausstehender Kredite	44.150,37 €				

Degradation- und Preissteigerungsraten werden monatlich über den gesamten Betrachtungszeitraum angewendet.  
Dies erfolgt bereits im ersten Jahr.

**Anhang A.13.6: Auswahl PV-Module Heckert-Solar 270 W****PV-Modul: NeMo 60 P 270\_4BB**

Hersteller	Heckert-Solar
Lieferbar	Ja
<b>Elektrische Daten</b>	
Zelltyp	Si polykristallin
Nur Trafo-Wechselrichter geeignet	Nein
Anzahl Zellen	60
Anzahl Bypassdioden	3
<b>Mechanische Daten</b>	
Breite	991 mm
Höhe	1640 mm
Tiefe	38 mm
Rahmenbreite	38 mm
Gewicht	17,7 kg
Gerahmt	Nein
<b>U/I Kennwerte bei STC</b>	
Spannung im MPP	31,55 V
Strom im MPP	8,63 A
Nennleistung	270 W
Leerlaufspannung	38,56 V
Kurzschlussstrom	9,19 A
Erhöhung Leerlaufspannung vor Stabilisierung	0 %
<b>U/I Teillastkennwerte</b>	
Quelle der Werte	Hersteller/Eigene
Einstrahlung	200 W/m <sup>2</sup>
Spannung im MPP bei Teillast	29,99 V
Strom im MPP bei Teillast	1,791 A
Leerlaufspannung bei Teillast	35,575 V
Kurzschlussstrom bei Teillast	1,92 A
<b>Weiteres</b>	
Spannungskoeffizient	-119,82 mV/K
Stromkoeffizient	4,6 mA/K
Leistungskoeffizient	-0,39 %/K
Winkelkorrekturfaktor	97 %
Maximale Systemspannung	1000 V
Spez. Wärmekapazität	920 J/(kg*K)
Absorptionskoeffizient	70 %
Emissionskoeffizient	85 %

**Anhang A.13.7: Auswahl Wechselrichter ABB 20 kW****Wechselrichter: TRIO-20.0-TL-OUTD**

Hersteller	ABB
Lieferbar	Ja
<b>Elektrische Daten</b>	
DC-Nennleistung	20,75 kW
AC-Nennleistung	20 kW
Max. DC-Leistung	22,8 kW
Max. AC-Leistung	22 kW
Stand-By Verbrauch	8 W
Nachtverbrauch	2 W
Einspeisung ab	40 W
Max. Eingangsstrom	50 A
Max. Eingangsspannung	1000 V
DC-Nennspannung	620 V
Anzahl Einspeisephasen	3
Anzahl DC-Eingänge	8
Mit Trafo	Nein
Änderung des Wirkungsgrades bei Abweichung der Eingangsspannung von der Nennspannung	0,4 %/100V
<b>MPP-Tracker</b>	
Leistungsbereich < 20% der Nennleistung	99,9 %
Leistungsbereich > 20% der Nennleistung	99,9 %
Anzahl MPP-Tracker	2
Max. Eingangsstrom pro MPP-Tracker	25 A
Max. Eingangsleistung pro MPP-Tracker	12 kW
Min. MPP-Spannung	200 V
Max. MPP-Spannung	950 V

