

EA EnergieArchitektur GmbH
Großenhainer Str. 34
01097 Dresden



Abschlussbericht

Erstellung eines integrierten Quartierkonzepts für das Quartier Schloß- und Ringstraße Lohmen

Auftraggeber: Gemeinde Lohmen
Schloß Lohmen 1
01847 Lohmen

Auftragnehmer: EA EnergieArchitektur GmbH
Königstr. 2
01097 Dresden

Projektleiter: Dr.-Ing. Christian Lerche
Bearbeiter: Dipl.-Ing. René Unger
Dipl.-Ing. Torsten Schwan

Version: V 1.0
Datum: 24.04.2014



Mit freundliche Förderung der KfW Bankengruppe.

Adresse
EA EnergieArchitektur GmbH
Großenhainer Str. 34
01097 Dresden
Geschäftsführer:
Frank Morawetz

Kontakt
Tel. +49 351 656839-0
Fax +49 351 656839-59

Internet
www.ea-gmbh.de

Amtsgericht Dresden
HRB 24692
Steuernummer
202/180/09105

Bankverbindung
Deutsche Bank
Konto 875 85 75 00
BLZ 870 700 24

Vorwort

Der vorliegende Abschlussbericht beinhaltet die Arbeitsergebnisse für das Projekt:

„Erstellung eines integrierten Quartierkonzepts für das Quartier Schloß- und Ringstraße Lohmen“

Er wurde in enger Zusammenarbeit der EA EnergieArchitektur GmbH mit den Partnern Ingenieurbüro Dr. Lerche und der EA Systems Dresden GmbH erstellt.

Auftraggeber ist die Gemeinde Lohmen, die im Rahmen der Kooperation die Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen (WBG Lohmen) und die Eigentümergemeinschaft Schloßstr. 1-9 vertritt.

Die Erarbeitung der vorgestellten Projektergebnisse wird durch die freundliche Förderung der KfW Bankgruppe ermöglicht und durch deren Finanzmittel unterstützt.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Inhaltsverzeichnis	II
1 Einleitung	5
2 Analyse des aktuellen Energieverbrauchs und bestehender Energienetze ...	9
2.1 Bewohner- und Gebäudenutzungsstruktur	10
2.2 Bau- und Sanierungszustand der einzelnen Gebäude	11
2.3 Wärmebedarf und Heizenergieverbrauch der bestehenden Heizungsanlagen	14
2.3.1 Bestehende Kesselanlagen	14
2.3.2 Heizenergie- und Warmwasserbedarf	15
2.3.3 Kesseldimensionierung und Kesselauslastung	19
2.4 Strombedarf im Areal.....	21
2.4.1 Betriebsstrom und Hauslicht	22
2.4.2 Begleitheizung	24
2.4.3 Haushaltsstrom	24
2.4.4 Straßenbeleuchtung	25
2.5 Fahrzeuge der Gemeindeverwaltung Lohmen	26
2.6 CO ₂ -Bilanz und Primärenergiebedarf	27
3 Abschätzung regenerativer und weiterer Energieeinsparpotentiale	29
3.1 Energieeinsparpotentiale der bestehenden Anlagen	29
3.1.1 Einsparungspotentiale der Heizungsanlagen	30
3.1.2 Einsparungspotentiale bei der Betriebsstromnutzung	30
3.2 Energieeinsparpotentiale durch regenerative elektrische Energieerzeugung	31
3.2.1 Photovoltaik	31
3.2.2 Windkraft	33
3.2.3 Wasserkraft.....	33
3.2.4 Biomasse	35
3.3 Energieeinsparpotentiale durch Umrüstung der Wärmeenergieversorgung	37
3.3.1 Umrüstung auf Gasbrennwertkessel.....	37
3.3.2 Solarthermie.....	38
3.3.3 Flusswassererwärmung	41

3.3.4	Abwasserentwärmung	43
3.3.5	Zentrale Kraft-Wärme-Kopplungsanlage	44
3.3.6	Geothermie	45
3.4	Variantenauswahl und erste Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	48
3.4.1	Politische Rahmenbedingungen	48
3.4.2	Kostenstruktur im Bestand	50
3.4.3	Variante 1: Einfache Modernisierungsmaßnahmen	51
3.4.4	Variante 2: Basiskonzept Kesselumrüstung.....	52
3.4.5	Variante 3: Lokale Nahwärmenetze mit regenerativer Stromerzeugung	54
3.4.6	Variante 4: Nahwärmenetzversorgung mit Wärmepumpen und BHKW	56
3.4.7	Variante 5: Nahwärmenetz mit Stromerzeugung aus Photovoltaik	58
3.4.8	Festlegung der Klimaschutzziele.....	59
3.5	Bautechnische Sanierung unsanierter Gebäudeteile	60
3.5.1	Bautechnische Sanierungsmaßnahmen	61
3.5.2	Einsparungspotentiale bautechnischer Maßnahmen.....	65
4	Modellbildung und Simulation.....	67
4.1	Simulationsplattform und Modellierungsansätze	67
4.2	Aufbereitung geeigneter Simulationsdaten.....	73
4.2.1	Gebäudedaten	73
4.2.2	Nutzungsdaten.....	74
4.2.3	Nahwärmenetzplanung	77
4.3	Randbedingungen und Variantenfindung	79
4.3.1	Steuerlich/rechtliche Randbedingungen.....	79
4.3.2	Variantenfindung.....	81
5	Simulationsergebnisse und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	85
5.1	Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsanalyse	85
5.1.1	Randbedingungen der Wohnungsbaugenossenschaft.....	85
5.1.2	Randbedingungen der Gemeinde	86
5.1.3	Randbedingungen der Eigentümergemeinschaft	86
5.1.4	Randbedingungen für Quartiersbetrachtungen	86
5.1.5	Preissteigerungsraten	87
5.1.6	Kostenannahmen	90
5.2	Ergebnisse der Einzelhausbetrachtung	96

5.2.1	Einzelhausbetrachtung für die Gemeinde.....	97
5.2.2	Einzelhausbetrachtung für die Eigentümergemeinschaft	101
5.2.3	Einzelhausbetrachtung für die Wohnungsbaugenossenschaft	104
5.3	Ergebnisse der Quartiersbetrachtung	108
5.4	CO ₂ -Bilanzierung	112
5.5	Fazit und Variantenauswahl	114
6	Weitere Untersuchungen	116
6.1	Elektromobilität.....	116
6.1.1	Regenerative Ladestation am Schloß	117
6.1.2	Regenerativer Stellplatz für Pedelecs	120
6.2	Monitoringkonzept.....	124
6.3	Maßnahmenplan.....	127
6.4	Analyse begünstigender und hemmender Faktoren	132
A	Anhang	136
A.1	Medienpläne der einzelnen Medienträger	136
A.2	Aufnahme gebäudespezifischer Daten	142
A.3	Wasserkraftwerke auf dem Gebiet der Gemeinde Lohmen	152
A.4	Kostenstruktur für die Wirtschaftlichkeitsrechnung	153
A.5	U-Wert-Ermittlung für bautechnische Sanierungsmaßnahmen	160
A.6	Modellbildung Nahwärmenetz – BHKW-Nahwärmenetz	163
A.7	Modellbildung Nahwärmenetz – Wärmepumpen Nahwärmenetz.....	164
A.8	Austausch bestehender Umwälzpumpen.....	165
A.9	Notwendige Kessel-/Brennerleistungen	167
A.10	Installierte elektrische Leistung des Hauslichts.....	168
A.11	Heizlastberechnung Ringstr. 8.....	169
	Quellenverzeichnis	170

1 Einleitung

Die in Abbildung 1 dargestellten Gebäude gehören zum historischen Ortskern der Gemeinde Lohmen. Für diese soll, unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit, eine moderne und nachhaltige Versorgungslösung mit Wärme und Strom erarbeitet werden. Perspektivisch wird dabei eine dezentrale und energieautarke Versorgung angestrebt.

Im Rahmen dieses Vorhabens soll ein entsprechendes Energiekonzept unter Nutzung eines neuartigen Gebäudeenergiesystem-Simulationstools erstellt werden. Ziel der Gemeindeverwaltung Lohmen sowie der WBG Lohmen und der Eigentümergemeinschaft Schloßstr. 1-9 ist es, dass die EA EnergieArchitektur GmbH gemeinsam mit den Partnern des Ingenieurbüros Dr. Lerche und der EA Systems Dresden GmbH auf Grundlage der Voruntersuchung der vorhandenen Potentiale eine auf Simulationsergebnisse gestützte Wirtschaftlichkeitsanalyse der aussichtsreichsten Energiesystemvarianten durchführt.

Abbildung 1 zeigt die im Rahmen des Projekts zu betrachtenden Gebäude im Ortskern der Gemeinde Lohmen. Grün dargestellt sind hier alle Gebäude, die unter öffentlicher Verwaltung stehen, wie der Schulkomplex der Gemeinde an der Stolpener Straße und das Schloß Lohmen, der Sitz der Gemeindeverwaltung oberhalb der Wesenitz. Orange hervorgehoben sind die zu betrachtenden Wohngebäude. Acht der zehn Gebäude stehen im Besitz der Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen. Nur die Wohngebäude der Schloßstraße



Abb. 1: Satellitenbild des Quartiers Schloß- und Ringstraße Lohmen [10]

1-9 gehören einer privaten Eigentümergemeinschaft. Die blau gekennzeichneten Nebengebäude werden durch die Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen betrieben. Sie beinhalten einerseits Garagen für die Anwohner als auch das Büro des Hausmeisters. Diese Gebäude werden hauptsächlich für die Vergrößerung der potentiell zu betrachtenden Dachflächen (z.B. für Photovoltaik) in die Analysen einbezogen.

Zunächst erfolgt im Rahmen der Konzepterstellung die Begutachtung der einzelnen Gebäude des Quartiers. Hierbei werden für das denkmalgeschützte Schloß Lohmen und für den Schulkomplex mit dem historischen Schulgebäude sowie für die Wohngebäude aus den 1960er & 1970er Jahren die bautechnischen und energetischen Ist-Zustände erfasst. Anhand der so gewonnen Erkenntnisse werden zukunftssträchtige Lösungen für die Versorgung der einzelnen Komplexe mit Wärme und Strom erarbeitet. Für noch unsanierte bzw. teilsanierte Gebäudeteile, wie z.B. die Turnhalle und das historische Schulgebäude, welches aktuell als Vereinsheim genutzt wird, werden zusätzlich die kompletten Sanierungsmaßnahmen (bautechnisch, energetisch) erarbeitet und neue Nutzungsmöglichkeiten erörtert.

Im Rahmen der ersten Sanierungswelle Anfang der 1990er Jahren, während der die meisten Gebäude generalsaniert wurden, konnte der Primärenergieverbrauch im betrachteten Quartier deutlich gesenkt werden (vgl. Abb. 2). Dieser Bedarf erfasst nur den Primärenergiebedarf nach EnEV für Wohnungen – d.h. ohne Elektroenergie. Er entspricht unter Beachtung der Sanierung dem Standard der EnEV 2007 [1].

Die bestehende Technik ist in allen Objekten in einem guten bis mittleren Pflegezustand. Der Primärenergieverbrauch steht aber in keinem Verhältnis zu aktuellen und zukünftigen energetischen Standards. Die vorhandenen Kesselanlagen müssen in den nächsten 5-7 Jahren erneuert werden. Vor dem Hintergrund der aktuellen Preisentwicklung fossiler Energieträger (Rohöl, Gas), der sich abzeichnenden Energiewende mit zu erwartenden Preissteigerungen für Strom mit höheren erneuerbaren Erzeugungsanteilen sowie des sich in der Gemeinde vollziehenden demografischen Wandels rückt zunehmend das Themenfeld einer nachhaltigen Energieeffizienz in den Fokus aller Wohnungsgenossenschaft-

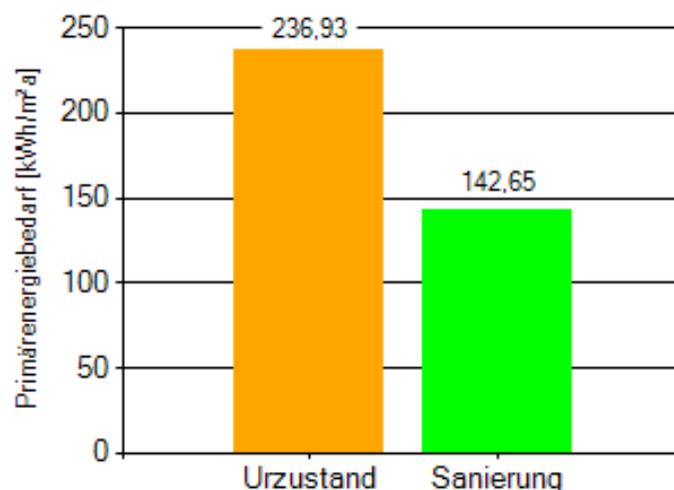


Abb. 2: Änderung des Primärenergiebedarfs der Wohngebäude im Quartier nach bautechnischer Sanierung in den 1990er Jahren [59]

ten, Kommunen und Städte. Verbunden ist dies mit dem Wunsch zur autarken dezentralen Energieerzeugung und der energetischen Vernetzung unterschiedlichster regenerativ erzeugbarer Energieformen und -systeme. Überlagert wird dies ebenso mit der aktuellen Zukunftsdiskussion zur Elektromobilität, um auch die Bedürfnisse einer zukünftigen Individualmobilität für große, aber auch erst recht für kleinere bis mittlere Städte und ländlichere Regionen bzgl. aller Gesellschaftsschichten und Bewohnern darzustellen.

Klassische Planungen und Auslegungen sind hier aufgrund der sehr komplexen Argumentationslandschaft und der vielschichtigen technischen Abhängigkeiten nicht mehr zielführend. Es ist daher notwendig, einen integrativen Ansatz zur gemeinsamen Betrachtung sowohl der aktuellen und zukünftigen Energieversorgungsstruktur als auch peripher angelagerter Themenbereiche wie Wohnstruktur, Wohnverhalten, Altersstruktur und Mobilitätsbedarfe zusammen mit neuen technischen, energetischen Lösungen zu erarbeiten. Schlüssel ist hierbei eine Gebäude- und Systemmodellierung für eine elektrische und thermodynamische Simulation in Verbindung mit einem Energiemanagement, um neben einer effizienten Energieerzeugung und -verwendung auch Anteile für eine intermittierende Energiespeicherung vorzusehen.

Ein weiterer wichtiger Hauptarbeitspunkt der Konzepterstellung betrifft die Erörterung rechtlicher und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen für die Umsetzung einzelner Systemvarianten. Ein möglicher Weg, geeignete Strukturen innerhalb der Gemeinde zu schaffen, ist die Gründung einer Energiegenossenschaft. Dieser Weg und andere Möglichkeiten werden ebenfalls im Rahmen des Energiekonzepts diskutiert.

Folgende einzelne Arbeitsschritte gehören zur Erarbeitung des Quartierkonzeptes:

1. Analyse der energetischen Situation des Quartiers
2. Mitwirkung an der gemeinsame Erarbeitung einer Klimaschutzkonzeption
3. Erarbeitung eines Versorgungskonzeptes
4. Simulation und Optimierung
5. Elektromobilität
6. Monitoring
7. Maßnahmenplan – Wirtschaftlichkeit – Umsetzungsschritte

Das Quartierskonzept wird in enger partnerschaftlicher Arbeit der einzelnen Projektparteien erstellt. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der aktiven Einbeziehung der Bewohner und Bürger der Gemeinde Lohmen und der WBG Lohmen. Einwohnerversammlungen, regelmäßige Berichterstattungen in der lokalen Presse, aktive Arbeit in der Schule bei der Erziehung zum bewussten und sparsamen Umgang mit Energie sowie Mitarbeit bei der Erarbeitung des Klimaschutzkonzeptes des Landkreises sind ebenfalls Teil der durchzuführenden Projektarbeit. Dabei werden u.a. auch die bereits gesammelten Erfahrungen anderer Landkreise und Gemeinden genutzt.

Hauptziel des zu erarbeitenden Energie- und Quartierskonzeptes ist die Entwicklung einer integrativen, wirtschaftlichen und umsetzbaren Gesamtsystemlösung. Diese soll nach Abschluss dieses Vorhabens möglichst schnell und effizient umgesetzt werden. Hierzu

begleiten die Projektpartner den Auftraggeber bei den dafür benötigten verwaltungstechnischen Schritten, u.a. der Einsetzung eines geeigneten Sanierungsmanagers.

Neben der Erarbeitung des Energiekonzepts stellt die Konzeptionierung der bautechnischen und energetischen Sanierung der noch unsanierten Gebäude im Quartier einen Arbeitspunkt dar. Ergebnisse dieser Arbeitsschritte fließen sowohl in die Energiekonzepterstellung als auch in die Erörterung rechtlicher und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen mit ein.

2 Analyse des aktuellen Energieverbrauchs und bestehender Energienetze

Bevor die Ausarbeitung eines integrativen Energiekonzepts für das Quartier Schloß- und Ringstraße in Lohmen beginnen kann, ist es zunächst einmal notwendig, die dort vorhandenen Energieverbraucher sowie bestehende Energienetze zu identifizieren und zu analysieren.

Grundsätzlich wird das Quartier Schloß- und Ringstraße in Lohmen seit der bautechnischen und energetischen Sanierung der einzelnen Gebäude in den 1990er Jahren auf konventionelle Art und Weise unter Nutzung der Energieträger Strom und Erdgas mit Energie versorgt wird. Zusätzlich sind weitere Medienträger (Trinkwasser, Abwasser, Telekommunikation) für die allumfassende Versorgung der Bewohner, Werktätigen und Schüler im zu untersuchenden Gebiet notwendig, um die Grundbedürfnisse der Menschen sicher zu stellen. Daher wurden zunächst die im Quartier anliegenden Medienträger und Energieversorgungsnetze analysiert.

Alle Objekte im Quartier (vgl. Abb. 1) sind abhängig vom benötigten Energiebedarf und Nutzungsgrad bereitstehender Medien an die folgenden Energie- und Mediennetze der entsprechenden Anbieter (in Klammern) angeschlossen:

- Trinkwasser (Trinkwasserzweckverband „Bastei“) [33]
- Abwasser (Gemeinde Lohmen) [34]
- Erdgas (ENSO Energie Sachsen Ost AG) [30]
- Strom (ENSO Energie Sachsen Ost AG) [31]
- Telekommunikation (Deutsche Telekom AG) [32]
- Straßenbeleuchtung (Gemeinde Lohmen) [34]

Alle Pläne sind zur genaueren Darstellung der vorhandenen Medienträger-Landschaft in Anhang A1 dargestellt.

Für die Entwicklung eines integrativen Energiekonzepts ist es von enormer Bedeutung, den genauen Verlauf sowie die Dimensionierung dieses Medienträgernetzes genau zu kennen. Eine wirtschaftliche Umsetzung eines solchen Konzepts baut meist auf der Nutzung vorhandener oder nur leicht angepasster Infrastrukturen auf. Eine komplette Ersetzung oder Neuplanung nur eines Netzbestandteils kann selbst noch so wirtschaftliche Systemkonzepte schnell unwirtschaftlich werden lassen.

Die in der Folge betrachteten Energiebedarfe und strukturellen Bedingungen werden bezüglich der zu untersuchenden Wohngebäude für einzelne Gebäudekomplexe zusammengefasst. So können Gebäude ähnlicher Bauarten und gleicher Besitzverhältnisse gemeinsam betrachtet werden, wodurch darüber hinaus eine weiterführende Mittelung der Ergebnisse erfolgt. Konkret werden aufgrund der Unterscheidung der Besitzverhältnisse die Gebäude der Schloßstraße 1-9 (Eigentümergeinschaft) und Schloßstraße 10-17 (WBG Lohmen) differenziert betrachtet. Aufgrund unterschiedlicher Bauart werden auch die

Gebäude der Ringstraße (WBG Lohmen) getrennt untersucht. Schul- und Sportkomplex sowie das Schloß (beide Gemeinde Lohmen) werden hier ebenfalls getrennt aufgeführt.

2.1 Bewohner- und Gebäudenutzungsstruktur

Das betrachtete Quartier Schloß- und Ringstraße in Lohmen beinhaltet einerseits die Nutzung einiger Gebäude zu Wohnzwecken. Andererseits werden andere Gebäude im Gebiet vorwiegend öffentlich genutzt, als Schul- und Versammlungsraum sowie als Verwaltungsgebäude. Die Nutzung der Gebäude hat jedoch einen erheblichen Einfluss auf den tatsächlichen Energieverbrauch jedes Objekts, sei es der Bedarf an Wärmeenergie durch Heizung und Warmwasserbereitung oder Strom.

Daher ist es zunächst notwendig die Bewohner- sowie die Nutzungsstruktur der Gebäude im zu untersuchenden Areal genauer zu analysieren.

Tab. 1: Bewohnerstruktur des Quartiers Schloß- und Ringstraße in Lohmen [3]

	<i>Hauptwohnsitz</i>	<i>Nebenwohnsitz</i>	<i>Gesamt</i>
Ringstraße 1 - 14	155	6	161
Schloßstraße 1 - 9	170	10	180
Schloßstraße 10 - 17	132	10	142
Summe	457	26	483

Zu den wohnungswirtschaftlich genutzten Gebäuden im Quartier zählen sechs in den 1960er Jahren errichtete dreigeschossige Wohngebäude der Ringstraße 1-14 sowie die vier in den 1970er Jahren errichteten fünfgeschossigen Wohngebäude der Schloßstraße 1-17. Im gesamten Areal sind laut Stand vom 30.06.2012 genau 483 Bewohner gemeldet (vgl. Tab. 1).

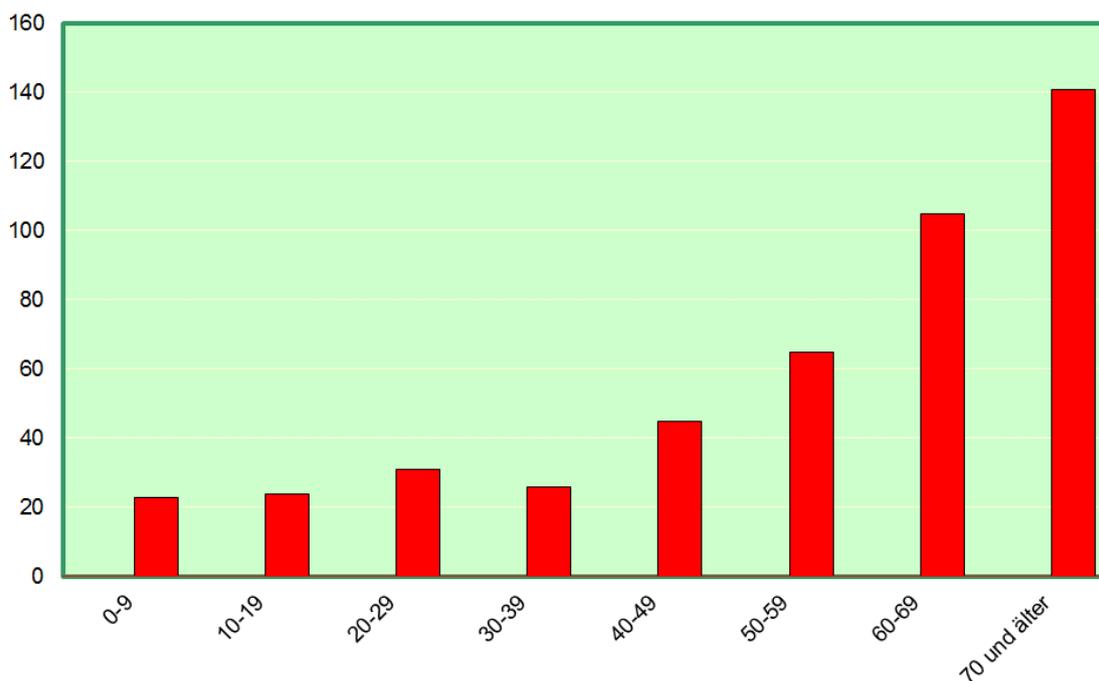


Abb. 3: Altersstruktur im Quartier Schloß-/Ringstraße Lohmen [3]

Im Schloß Lohmen selbst, dem Sitz der Gemeindeverwaltung arbeiten 20 Mitarbeiter. Im ebenfalls unter kommunaler Verwaltung stehenden Schul- und Sportkomplex werden laut aktuellem Stand 75 Schüler in vier Klassen von vier Lehrern und einer Schulleiterin unterrichtet. Das alte Schulgebäude (ehemals Mittelschule) wird als Vereins- und Versammlungsgebäude genutzt.

Die Schulkantine selbst wird durch die Schüler und Bediensteten der Schule sowie die Kinder der Kindertagesstätten-Außenstelle, die Mitarbeiter der Gemeinde und einige Bewohner im Quartier in Anspruch genommen. Hierbei werden werktags (Montag bis Freitag) täglich ca. 150 Essenportionen gekocht.

In der Sporthalle findet der Schulsport der Grundschule statt. Darüber hinaus wird sie von Vereinen der Region genutzt (hauptsächlich in der Woche). Das Kellergeschoss der Turnhalle ist zusätzlich als Gaststätte verpachtet.

Die Bewohner des Areals sind in allen Altersgruppen vertreten und haben aktuell ein Durchschnittsalter von ca. 54,2 Jahren [3]. Damit liegt das Durchschnittsalter der Bewohner deutlich über dem Durchschnittsalter der gesamten Gemeinde Lohmen von ca. 47,3 Jahren [3]. Dieses Durchschnittsalter ist jedoch im deutschlandweiten Vergleich jedoch ebenfalls schon signifikant hoch (Durchschnittsalter Deutschland 44,2 Jahre [2]). Aufgrund von Zuzügen junger Bewohner und Familien mit Kindern sowie dem Versterben älterer Bewohner im Quartier ist aufgrund der hohen Attraktivität der Lage des Wohnkomplexes (gute Nahverkehrsanbindung, zentrale Lage zu relevanten Versorgungseinrichtungen, etc.) mit einer gleichbleibenden Bevölkerungszahl und einem bis 2025 leicht abnehmenden Durchschnittsalter auf 50,8 Jahre [3] zu rechnen.

2.2 Bau- und Sanierungszustand der einzelnen Gebäude

Der Hauptsitz des Gemeindeamtes Lohmen ist das denkmalgeschützte Schloß welches sich oberhalb der Wesenitz befindet und im Jahr 1524 errichtet worden ist. Die bautechnische und energetische Sanierung erfolgte in den Jahren 1999 – 2001 aus einem ruinösen Zustand heraus. Insgesamt besitzt es eine Nutzfläche von ca. 1240 m², wobei das Dachgeschoss seit der Sanierung ausgebaut ist und genutzt wird, der Spitzboden darüber jedoch noch nicht ausgebaut ist und auch nicht genutzt wird.

Der Schul- und Sportkomplex der Gemeinde Lohmen besteht aus sechs Gebäudeteilen, die zu unterschiedlichen Zeiten errichtet worden und sich teilweise nach Sanierung in unterschiedlichen bautechnischen Zuständen befinden:

- Historisches Schulgebäude (Bj. 1906)
- Zwischenbau (Bj. 1960/70)
- Hort/Kita (Bj. 1960/70)
- Grundschule (Bj. 1960/70)
- Verbindungsbau (Bj. 1960/70)
- Turnhalle (Bj. 1930)

Das historische Schulgebäude aus dem Jahr 1906 steht unter Denkmalschutz und ist unsaniert. Es wird zurzeit teilweise von der Grundschule, von den Vereinen und als Bibliothek genutzt. Das Gebäude ist an Außenwänden und Kellersockel ungedämmt. Der Dach-

boden ist ebenfalls ungedämmt, besitzt aber als obere Geschosdecke eine Holzkonstruktion mit Schüttung. Die Fenster wurden im Rahmen einer ersten Sanierung erneuert ($U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Der Zwischenbau ist das Verbindungsgebäude zwischen historischem Schulgebäude und Hort/Kita. Dessen Außenwände sind mit einer 20 cm Dämmung versehen (Sanierung 2002-2008), jedoch sind sowohl der Kellersockel, der Kellerboden und die oberste Geschosdecke ungedämmt. Das Gebäude besitzt zusammen mit dem historischen Schulgebäude eine Nutzfläche von ca. 1180 m².

Das Gebäude, in dem sich der Hort bzw. die Kita (ca. 1560 m² Nutzfläche) befindet wurde zwischen 1960 und 1970 errichtet und wurde von 2010 bis 2011 bautechnisch saniert. Dabei wurden die Außenwände 18 cm und der Kellersockel bis ins Erdreich 9 cm gedämmt. Die oberste Geschosdecke ist teilweise ungedämmt, besitzt teilweise jedoch eine 25 cm ISOFLOC-Dämmung. Der Kellerboden blieb weiterhin ungedämmt.

Der Verbindungsbau ist unsaniert, beheizt und besitzt noch Verbundfenster aus dem Zeitraum der Erbauung. Das angeschlossene Grundschulgebäude (ca. 1050 m² Nutzfläche) wurde ebenfalls von 1960 bis 1970 erbaut und von 2002 bis 2008 saniert. Die Außenwände (15 cm) und der Kellersockel (13 cm bis Erdreichtniveau) sind gedämmt. Weitere Dämmung im Erdreich ist nicht erfolgt. Die oberste Geschosdecke ist mit 8 cm Polystyrol und 2 cm OSB-Platten gedämmt.

Die Turnhalle stammt aus dem Jahr 1930 und ist im aktuellen Zustand unsaniert. Sie wurde jedoch im Jahr 1991 geringfügig bautechnisch in Stand gesetzt. Sie besitzt eine Nutzfläche von ca. 390 m² und wird größtenteils von der Grundschule und den Vereinen



Abb. 4: Wohngebäude Ringstraße (Ziegelbau) und Schloßstraße (IW 65) im Quartier

genutzt.

Die dreigeschossigen Wohngebäude der Ringstraße 1-14 wurden zwischen 1960 und 1962 in Ziegelbauweise errichtet zwischen 1993 und 1998 bautechnisch und energetisch saniert. Alle Gebäude besitzen eine Gesamtnutzfläche von 6.863 m². Im Rahmen der Sanierung wurden neue Fenster eingesetzt ($U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) und die Dämmung von Außenwänden (6 cm), Dach (10 cm), oberster Geschossdecke (10 cm) und Kellerdecke (5 cm) vorgenommen. Besonderheit in diesen Gebäuden ist, dass der Dachboden der jeweiligen Gebäude teilweise ausgebaut ist und als zusätzlicher Wohnraum genutzt und beheizt wird. Tabelle 2 zeigt, dass ca. 20-30% der Dachbodenfläche nach der Sanierung zu zusätzlichem Wohnraum ausgebaut worden sind und sich nun in der thermischen Hülle des Gebäudes befinden.

Tab. 2: Anteil der ausgebauten Dachfläche in den Gebäuden der Ringstraße

Gebäude	Grundfläche	Ausgebaute Dachfläche
Ringstraße 1-2	320 m ²	100 m ²
Ringstraße 3-5	470 m ²	95 m ²
Ringstraße 6-8	465 m ²	90 m ²
Ringstraße 9-10	365 m ²	105 m ²
Ringstraße 11-12	310 m ²	90 m ²
Ringstraße 13-14	365 m ²	100 m ²

Im Gegensatz dazu sind die Dachböden der fünfgeschossigen Wohngebäude der Schloßstraße 1-17 nicht ausgebaut. Alle vier Gebäude (Haustyp IW65) wurden 1974 errichtet und 1996 (Schloßstr. 1-9, Nutzfläche: 6.655 m²; Schloßstraße 10-17, Nutzfläche: 5.313 m²) bautechnisch und energetisch saniert.

Im Rahmen der Sanierung der Schloßstr. 1-9 (Fenstersanierung: $U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) wurden folgende Dämmungen vorgenommen:

- Außenwände (10 cm)
- Kellerdecke (5 cm)
- Kellersockel (Giebelseite) bis ins Erdreich (6 cm)
- Dach ungedämmt, außerhalb der thermischen Hülle
- Oberste Geschossdecke (9 cm Mineralwolle, 2 cm OSB-Platte)

Kältebrücken bestehen im Bereich des Anschlusses der Decke an die Außenwand und der ungedämmten Balkone, die nicht thermisch entkoppelt sind. Hierzu fanden 2013 umfangreiche Sanierungsmaßnahmen statt.

Die Gebäude der Schloßstraße 10-12 und Schloßstraße 13-17 sind im Besitz der WBG Lohmen. Im Unterschied zur Schloßstraße 1-9 sind u.a. die Giebelwände im Kellerbereich ungedämmt. Jedoch wurden sonst im Rahmen der Sanierung 1996 ähnliche Maßnahmen der Dämmung ergriffen. Das Dach ist auch hier ungedämmt und über die oberste Geschossdecke thermisch entkoppelt (10 cm Dämmung). Die Außenwände sind mit nur 6

cm und der Kellerboden mit 5 cm Dämmung versehen. Die Fenster wurden während der Sanierung ebenfalls ersetzt ($U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Alle für die weiterhin folgenden Rechnungen und Simulationen genutzten U-Werte der jeweiligen Gebäude können dem Anhang A2 entnommen werden.

2.3 Wärmebedarf und Heizenergieverbrauch der bestehenden Heizungsanlagen

Analog zur Vorgehensweise bei der Beschreibung des aktuellen bautechnischen Zustands der Gebäudekomplexe in Abschnitt 2.2 sollen in diesem Abschnitt die bestehenden Heizungsanlagen, die einzelnen jährlichen Wärmebedarfe bzw. darauf zurückzuführende Heizenergieverbräuche bezüglich bestehender Eigentümerverhältnisse und Baustandards der unterschiedlichen Gebäudekomplexe untersucht und dargestellt werden.

Wärmeenergiebedarf entsteht in den Gebäuden einerseits durch das Heizen und durch den Bedarf der Bewohner bzw. Gebäudenutzer (z.B. Schüler in der Schule) an Warmwasser. Im Gegensatz zum über das Jahr nahezu konstant anzusehenden Warmwasserbedarf ist der Heizenergiebedarf jahreszeitlichen und klimatischen Schwankungen unterlegen, die bei der Bewertung der bestehenden Heizungsanlagen und Wärmeenergiebedarfe berücksichtigt werden müssen.

2.3.1 Bestehende Kesselanlagen

Im Rahmen der ersten Sanierungswelle (1993-2001) im Gebiet Schloß- und Ringstraße in Lohmen wurden in allen Gebäuden die bestehenden, größtenteils kohlebefeuernten Heizungsanlagen durch adäquate zentrale Gaskesselheizungen ersetzt.

Im Rahmen der Sanierung wurde 1994 im Keller des Hort/Kita-Gebäudes eine zentrale Heizungsanlage mit zwei abwechselnd betriebenen 408 kW Gasbrennwertkesseln (Viessmann) verbaut. Diese Anlage versorgt alle Gebäude des Schul- und Sportkomplexes (vgl. Abschnitt 2.1) mit Heizenergie und teilweise mit Warmwasser (Warmwasserbereitung in Hort/Kita-Gebäude elektrisch). Die Anlagen arbeiten raumluftabhängig und regeln die Kesseltemperaturen auf konstante Werte. Nachteilig bleibt zu erwähnen, dass die gesamte Heizkreisverteilung in der Heizzentrale über eine mangelhafte Dämmung verfügt. Zusätzlich wird der Brennwerteffekt (Abkühlung der Abgastemperatur auf bis zu 35°C) aufgrund der hohen Vorlauftemperaturen (Kesselsolltemperaturen: 75°C) schlecht bzw. gar nicht ausgenutzt. Nachteilig für eine Bewertung der Messergebnisse stellt sich außerdem dar, dass Gasversorgung für Schulküche und Heizzentrale über nur einen Zähler vermessen und abgerechnet wird. Dieser Effekt ist für genauere Untersuchungen aus den Ergebnissen herauszurechnen (z.B. Anzahl der zubereiteten Mahlzeiten). Die bestehende Warmwasseranlage besitzt ein Zirkulationssystem.

Das Schloß wird ebenfalls seit der Sanierung in den Jahren 1999 bis 2001 durch eine Gasbrennwertkesselanlage (Viessmann) beheizt. Dieser Kessel wird ebenfalls raumluftabhängig betrieben, dient jedoch nur der Heizenergiebereitstellung. Warmwasser wird im Schloß elektrisch vorgehalten (z.B. Durchlauferhitzer). Aufgrund der vergleichsweise geringen Abnahme an Warmwasser (größtenteils durch Waschbecken) ist der Anteil der

hierfür benötigten Heizenergie signifikant klein und kann nahezu vernachlässigt werden. Bei der Aufnahme der Kesseldaten fiel darüber hinaus ein starkes Schwingen der Kesseltemperatur auf (Heizen auf 87°C, Abkühlung auf 58°C). Auch hier muss konstatiert werden, dass Armaturen und Heizkreisverteilung im Heizungskeller mangelhaft gedämmt sind und dass aufgrund der hohen Kesseltemperaturen der Brennwerteffekt kaum bzw. nicht ausgenutzt wird.

Die Wohngebäude selbst können analog zur Vorgehensweise in Abschnitt 2.2 betrachtet werden. Die Wohngebäude der Eigentümergemeinschaft Schloßstraße 1-9 werden durch zwei 1995 installierte, raumluftunabhängig betriebene Niedertemperaturgaskessel der Firma Remeha beheizt. Diese sind jedoch im unbeheizten Dachraum untergebracht und versorgen von hier aus die Wohnungen mit Heizenergie und Warmwasser. Hervorzuheben bleibt hierbei die teilweise hohe Abwärme der Anlagen in der Heizzentrale, die bedingt ist durch die schlechte Isolierung der Kesselanlagen sowie der Armaturen und Heizkreisverteiler. Trotz schlechter Isolierung des Daches wurden teilweise Temperaturen von 34°C bei gleichzeitigen -5°C Außentemperatur gemessen. Im Gegensatz zu den Anlagen in allen anderen Gebäuden wird für die Warmwasserbereitung hier keine Zirkulation verwendet, sondern eine elektrische Begleitheizung.

Die Wohngebäude der Schloßstraße 10-17 (WBG Lohmen) werden ebenfalls von Niedertemperaturgaskesseln mit Wärme versorgt, die bereits 1993 installiert worden sind und raumluftabhängig betrieben werden. Sie sind in den jeweiligen Heizzentralen in den Kellern der beiden Gebäude untergebracht. In der Warmwasserbereitung ist eine Zirkulationsleitung vorhanden. Wiederum konnte hier in den Heizzentralen eine schlechte Isolierung der Armaturen und Heizkreisverteilungen festgestellt werden. Besonders hervorzuheben bleibt hier, dass das Heizenergieverteilungssystem (Vorlauf-/Rücklaufleitungen zum/vom Heizkörper) als Tichelmannsystem erbaut worden ist, wodurch im gesamten Gebäude ein gleichmäßiges Erwärmen der Heizkörper auch ohne zusätzliche Regelsysteme ermöglicht wird.

Für die Gebäude der Ringstraße 1-14 (WBG Lohmen) bleibt zunächst festzuhalten, dass auch sie mit Niedertemperaturgaskesseln beheizt werden, die in den jeweiligen Heizzentralen in den Kellern der Gebäude untergebracht sind. Bis auf das Gebäude der Ringstraße 1-2 werden alle Gebäude durch zwei baugleiche und abwechselnd betriebene Kesselanlagen versorgt. Die Anlagen wurden 1994 in Betrieb genommen und sind daher wie die Anlagen aller anderen Wohngebäude vor der bautechnischen und energetischen Sanierung der Gebäude geplant und installiert worden. Die Warmwasserversorgung wird in diesen Gebäuden wiederum mit Zirkulationsleitungen sichergestellt. Auch hier sind deutlich Mängel an der Isolierung von Armaturen sowie den Heizkreisverteilungen zu erkennen. Zusätzlich sind in diesen Gebäuden keine Strangregulierventile vorhanden. Damit ist die Möglichkeit eines hydraulischen Abgleichs nicht gegeben, was im Rahmen neuerlicher Sanierungsmaßnahmen notwendig wird.

2.3.2 Heizenergie- und Warmwasserbedarf

Wie bereits beschrieben, besitzen die jeweiligen Kesselanlagen in den einzelnen Gebäuden die Aufgabe einerseits Heizenergie für die Beheizung des jeweiligen Gebäudes und

andererseits größtenteils die Wärme zur Bereitstellung von ausreichenden Mengen an Warmwasser zu erzeugen. Für eine Bewertung des Energiebedarfs der einzelnen Gebäude sowie des gesamten Areals ist es daher zunächst notwendig, den aktuellen Energiebedarf bzw. Heizenergieverbrauch (hier: Erdgas) zu ermitteln.

Hierzu wurden seitens der Gemeinde Lohmen, der Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen und der Eigentümergeinschaft Schloßstraße 1-9 die Energieabrechnungen der beiden Jahre 2010 und 2011 und für den Schulkomplex sogar von 2008-2011 zur Verfügung gestellt. Da es sich hier um Messwerte für jährliche Gasverbrauchsvolumina bzw. Warmwasservolumina handelt, mussten diese zunächst in geeignete Energiewerte umgerechnet werden.

Diese Umrechnungswerte für den Energiegehalt des verbrauchten Erdgases unterscheiden sich jedoch von Energieversorger zu Energieversorger in geringfügigem Maß. Während die Gemeinde Lohmen und die Eigentümergeinschaft von der ENSO Energie Sachsen Ost mit Gas versorgt werden ($10,68 \text{ kWh/m}^3$), werden die Gebäude der WBG Lohmen von der Energiehaus Dresden eG beliefert ($10,55 \text{ kWh/m}^3$).

Im Gegensatz dazu erfolgt die Umrechnung des gemessenen Warmwasserbedarfs unter Nutzung einer generalisierten Formel (§9 Heizkostenverordnung) zur Berechnung des jährlichen Brennstoffverbrauchs, der zu Bereitstellung von Warmwasser durch eine zentrale Heizanlage benötigt wird [4]:

$$\text{Brennstoffverbrauch} = 2,5 \cdot \text{Warmwasservolumen} \cdot (T_{\text{Warmwasser}} - 10^\circ\text{C}) \quad (1)$$

Der Brennstoffverbrauch wird hier entsprechend in kWh berechnet. Das Warmwasservolumen entspricht den jeweiligen gemittelten jährlichen Verbräuchen der einzelnen Gebäude. Die Temperaturdifferenz gibt die Spreizung zwischen den gemittelten Temperaturen des Kaltwasserzulaufs (10°C) und der einzustellenden Warmwassertemperatur (hier: 60°C) an. Der zusätzliche Faktor 2,5 ist eine Konstante für den Wirkungsgrad der Warmwasseraufbereitung. Sie entspricht ungefähr einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 46,5%, wobei dadurch die Effekte der Kessel-, Kamin-, Boiler- und Leitungsverluste beachtet werden [4].

Die Differenz aus dem berechneten Brennstoffverbrauch für die Warmwassererwärmung und dem jährlichen gemessenen Brennstoffverbrauch für die einzelnen Anlagen resultiert dann aus den Heizenergiemengen, die das Gebäude benötigt.

Jedoch können die hieraus resultierenden Energiemengen nicht einfach für verschiedene Jahresmengen gemittelt werden, wie das bei den nutzungsabhängigen Energieverbrauchsmengen der Warmwasserbereitung durchgeführt wurde. Sie sind stark abhängig von den vorherrschenden klimatischen Verhältnissen, d.h. ob die Temperaturverhältnisse in dem jeweiligen betrachteten Jahr sehr warm oder kalt bzw. normal waren. Um nun den Normalenergieverbrauch einer jeweiligen Anlage für das Heizen berechnen zu können, müssen die Werte anhand statistischer Wetterdaten analysiert werden.

Einerseits gibt der Deutsche Wetterdienst (DWD) monatlich sogenannte Klimafaktoren heraus, die für einen Zeitraum von genau einem Jahr das Verhältnis zwischen für einen längeren Zeitraum normalisierten Temperaturverlauf und dem aktuellen Wetterverlauf

kennzeichnen. Diese Werte werden auch genutzt um Energieverbrauchsausweise nach EnEV für einzelne Gebäude zu erstellen.

Andererseits werden vom DWD ebenfalls für jedes Jahr die sogenannten monatlichen Gradtagszahlen herausgegeben, die in einem Verhältnis zu den gemittelten Gradtagszahlen für den Zeitabschnitt der letzten Dekade gesetzt werden können.

Diese Gradtagszahlen beschreiben das Produkt aus Anzahl der monatlichen Heiztage (Tage mit einer mittleren Temperatur unter 15°C) und der absoluten Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Temperatur der Heiztage und der Innentemperatur (hier: 20°C). Diese lassen sich monatlich aufsummieren, wodurch ein Vergleich zwischen den Mittelwerten der zurückliegenden Dekade und dem betrachteten Jahr ermöglicht wird. Anhand

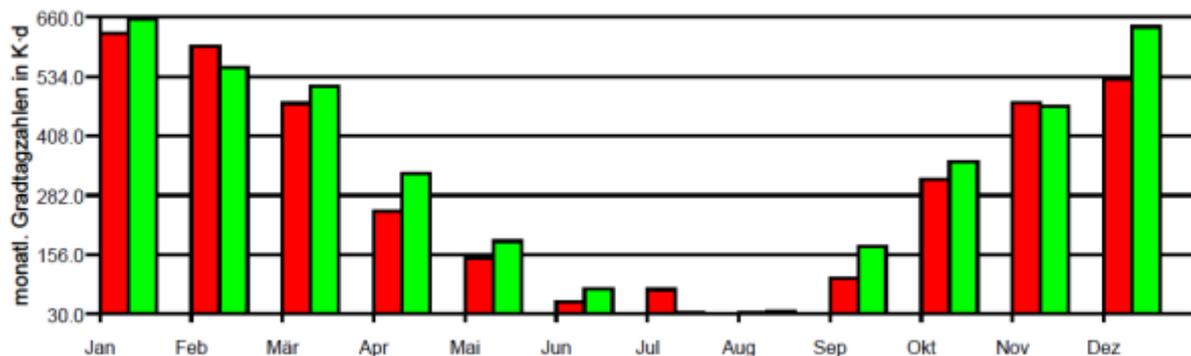


Abb. 5: Gradtagszahlen für Standort Lohmen für 2011 (rot) und Dekade von 2001-2010 (grün) [5]

des daraus berechneten Verhältnisfaktors konnten nun in der Folge die ermittelten Verbrauchswerte für Heizenergie der einzelnen Objekte für die betrachteten Zeiträume umgerechnet werden.

Zum Beispiel ergeben sich für Lohmen folgende Gradtagszahlen [5]:

- 2011: 3699,3 K*d
- 2010: 4529,9 K*d
- 2009: 3921,0 K*d
- 2008: 3758,4 K*d
- Dekade: 2001-2010: 4021,8 K*d

Aus den ermittelten Gradtagszahlen lässt sich erkennen, dass die Jahre 2008, 2009 und 2011 geringer sind als der Durchschnitt der Dekade. Das Jahr 2010 war dagegen augenscheinlich ein sehr kaltes Jahr. Das heißt der gemessene Heizenergieverbrauch der Jahre 2008/09 und 2011 ist niedriger als der zu ermittelnde Normverbrauch, für 2010 stellt sich dieser Sachverhalt anders herum dar. Auf diese Weise konnten für die einzelnen Anlagen der Gebäudekomplexe folgende Normbrennstoffverbrauchswerte für Warmwasser und Heizenergie ermittelt werden.

Tab. 3: Normierter Energieverbrauch der einzelnen Gebäude im Areal

<i>Gebäude</i>	<i>Brennstoff- verbrauch Heizung</i>	<i>Brennstoff- verbrauch Warmwas- ser+ Küche*</i>	<i>Brennstoff- verbrauch Gesamt</i>	<i>Nutzfläche</i>	<i>Energie- verbrauchs- kennwert</i>
	<i>[kWh]</i>	<i>[kWh]</i>	<i>[kWh]</i>	<i>[m²]</i>	<i>[kWh/m²a]</i>
Schulkomplex*	513.100	139.100	652.200	4.175	157,8
Schloß	139.800	0	139.800	1.120	124,8
Ringstraße 1-2	82.000	22.300	104.300	945	110,4
Ringstraße 3-5	128.100	26.000	154.100	1.370	112,5
Ringstraße 6-8	110.000	32.000	142.000	1.370	103,6
Ringstraße 9-10	95.400	20.500	115.900	1.150	100,8
Ringstraße 11-12	78.700	20.200	98.900	945	104,7
Ringstraße 13-14	94.700	24.700	119.400	1.085	110,0
Schloßstraße 1-5	277.200	52.800	330.000	3.695	89,3
Schloßstraße 6-9	248.400	42.300	290.700	2.960	98,2
Schloßstraße 10-12	147.800	37.700	185.500	1.885	98,4
Schloßstraße 13-17	275.400	80.700	356.100	3.430	103,8

* Gasverbrauchsmessung im Schulkomplex für Heizung und Küche an einem Zähler

Im Rahmen der Untersuchungen waren einige signifikante Besonderheiten zu beachten und in die Betrachtung mit einzubeziehen. Der Schulkomplex selbst wurde bis 2010 im höheren Maße genutzt als es ab 2011 der Fall war. Das war eindeutig an den übermittelten Kennwerten für den Erdgasverbrauch zu erkennen. Unter Nutzung der skizzierten Berechnungsverfahren wurde für den Zeitraum 2008-10 ein normierter Brennstoffverbrauch von ca. 922.000 kWh ermittelt. Dieser ist um ca. 40% höher als der aktuell betrachtete Verbrauch, der bezüglich der Nutzung des Gebäudekomplexes auch in den nächsten Jahren zu erwarten ist.

Anders als bei den Wohngebäuden im Areal lagen keine detaillierten Informationen zum Warmwasserverbrauch des Schulkomplexes vor (keine Wärmemengenzähler, Messung über einen Gaszähler). Aufgrund der Gebäudenutzung und der teilweisen parallelen elektrischen Warmwasserbereitung im Hort/Kita-Gebäude wurde die begründete Annahme getroffen, dass 10% des gesamten Brennstoffenergieverbrauchs zur Warmwasserbereitung genutzt werden.

Im Schloß wird die Warmwasserbereitung elektrisch durch Durchlauferhitzer realisiert. Daher wird der gesamte anfallende Brennstoffenergiebedarf für Heizwärme benötigt.

Weiterhin ist zu beachten, dass für die Wohngebäude der Schloßstraße 1-9 (Eigentümergeinschaft) keine detaillierten Werte für den Warmwasserverbrauch vorlagen. Aufgrund der ähnlichen Bau- und Nutzungsstruktur der Gebäude im Vergleich zu Schloßstraße 10-17 wurden daher die benötigten Werte nutzungsflächenbereinigt bezüglich der Werte dieser Gebäude berechnet. Darüber hinaus war es dafür notwendig, den Unterschied im Brennstoffverbrauch bezüglich Begleitheizung und Zirkulation zu betrachten. Hierfür wurden Ansätze des vom Institut für Wohnen und Umwelt in Darmstadt entwickelten Verfahrens zur statistischen Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung eines Energieprofils verwendet [6]. Hiermit war es möglich einen statistisch abgesicherten Faktor zu errechnen, der das Verhältnis des Brennstoffmehrverbrauchs zwischen Begleitheizung und Zirkulation beschreibt. Dies ist notwendig, da der Leitungswärmeverlust bei Warmwasserversorgungen mit Zirkulation ja durch das zentrale Heizsystem selbst ausgeglichen werden muss. Bei Verwendung einer Begleitheizung wird dieser Energieverlust elektrisch ausgeglichen.

2.3.3 Kesseldimensionierung und Kesselauslastung

In Abschnitt 2.3.1 wurden die bestehenden Kesselanlagen beschrieben, die in den einzelnen Gebäuden des Areals für die Heizenergieproduktion und Warmwasserbereitung genutzt werden.

Eine entscheidende Frage war nun, ob die verbauten Kesselanlagen ausreichend oder zu groß dimensioniert sind und ob diese Anlagen wirtschaftlich ausgelastet sind. Veränderungen in der Gebäudestruktur (z.B. Sanierung) sowie deren Nutzung (z.B. veränderte Mieterzahl) können dafür sorgen, dass installierte Kesselanlagen über- oder unterdimensioniert sind. Das kann dazu führen, dass die entsprechenden Kessel häufig im Teillastbereich laufen, wodurch Bereitschaftsverluste erhöht und der Anlagenwirkungsgrad verringert werden. Mit Hilfe der Berechnung der Kesselauslastung kann untersucht werden, ob die eingebauten Brenner richtig eingestellt sind und so wirtschaftlich betrieben werden.

Für die Überprüfung der Dimensionierung der installierten Kesselleistungen müssen die sogenannten Kesselvollbenutzungsstunden berechnet werden. Diese können wiederum unter Nutzung der Gradtagszahlen-Daten (vgl. Abb. 5) für den gegebenen Standort ermittelt werden. Diese für den Standort benötigten Vollbenutzungsstunden geben an, wie lang eine heizungstechnische Anlage im Jahr durchschnittlich unter Volllast laufen sollte, um den Wärmeenergiebedarf für die vorliegenden klimatischen Verhältnisse decken zu können.

Für Lohmen ergaben sich aus den Daten für die mittleren Gradtagszahlen der letzten Dekade (2001-2010) 1690 Vollbenutzungsstunden (min. Lufttemperatur: -15°C , mittlere Temperatur der Heiztage: $5,3^{\circ}\text{C}$). Anhand des verbrauchten Brennstoffbedarfs für Heizenergie und den Vollbenutzungsstunden ergibt sich die Kesselleistung, die für das betrachtete Gebäude optimal ist.

Abbildung 6 vergleicht die auf diesem Wege berechneten, optimalen Kesselleistungen der einzelnen Gebäude mit den Vorort gemessenen Werten. Der Schulkomplex stellt hierbei eine Besonderheit dar, da der gemessene Gasverbrauch für die Berechnung um den ge-

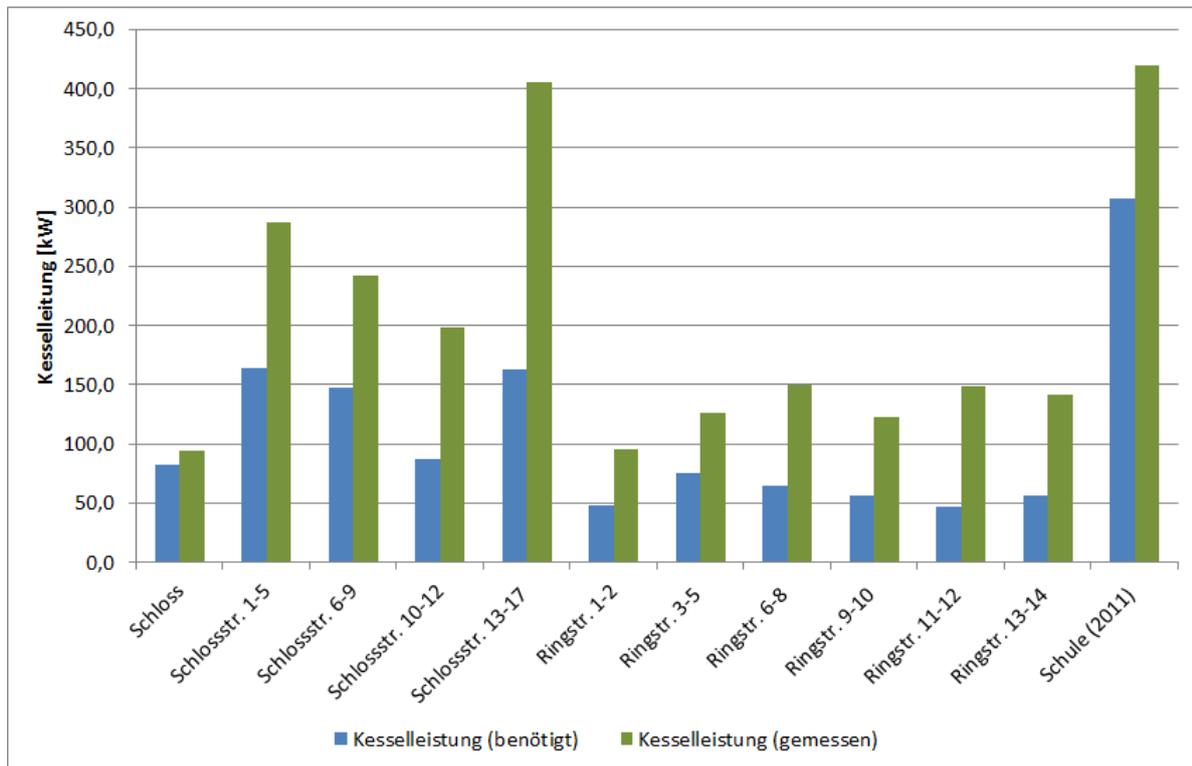


Abb. 6: Vergleich der gemessenen und anhand der Volllaststunden ermittelten Kesselleistungen

geschätzten Gasverbrauch reduziert worden ist, der durch die Zubereitung der Mahlzeiten in der Schulküche jährlich anfällt (2 kWh pro Mahlzeit) [7].

Der in Abbildung 6 ersichtliche Vergleich zeigt, dass die Kesselanlagen leicht oder gar erheblich überdimensioniert sind, d.h. zumindest die eingestellte Brennerleistung zu hoch gewählt ist. Dies kann einerseits aus der Tatsache folgen, dass die Kesselanlagen, zumindest der Wohnanlagen vor der eigentlichen Sanierung in den 1990er Jahren geplant und installiert worden waren.

Andererseits sind in den Wohngebäuden Schloßstraße 1-5 und 13-17 sowie in den Gebäuden der Ringstraße 13-14 jeweils zwei Kesselanlagen verbaut. Diese sind gleich dimensioniert und werden abwechselnd zur Wärmeenergieversorgung genutzt. Jedoch halten all diese Kesselanlagen möglichst eine konstante Kesseltemperatur. So dass sie immer in Bereitschaft sind und so hohe Bereitschaftsverluste (z.B. Wärmestrahlung) entstehen. Die abwechselnde Nutzung dient der Sicherstellung einer möglichst langen Lebenszeit der Anlagen.

Weiterhin kann zur Bewertung einzelner Kesselanlagen der Auslastungsgrad genutzt werden. Dieser wird anhand der berechneten Brennerlaufzeit und den entsprechenden Anlagenwirkungsgraden sowie den gemessenen Gesamtbrennstoffverbräuchen (Heizung und Warmwasser) der einzelnen Anlagen berechnet.

Die für die Berechnung des Kesselwirkungsgrads benötigten Abgasverluste wurden im Rahmen der Begehung abgelesen. In den Gebäuden der Schloßstraße 1-9 waren diese nicht zu ermitteln, daher wurden diese Werte anhand bauähnlicher Anlagen gemittelt. Weiterhin wurden die benötigten Strahlungsverluste der einzelnen Kessel nach DIN 4701

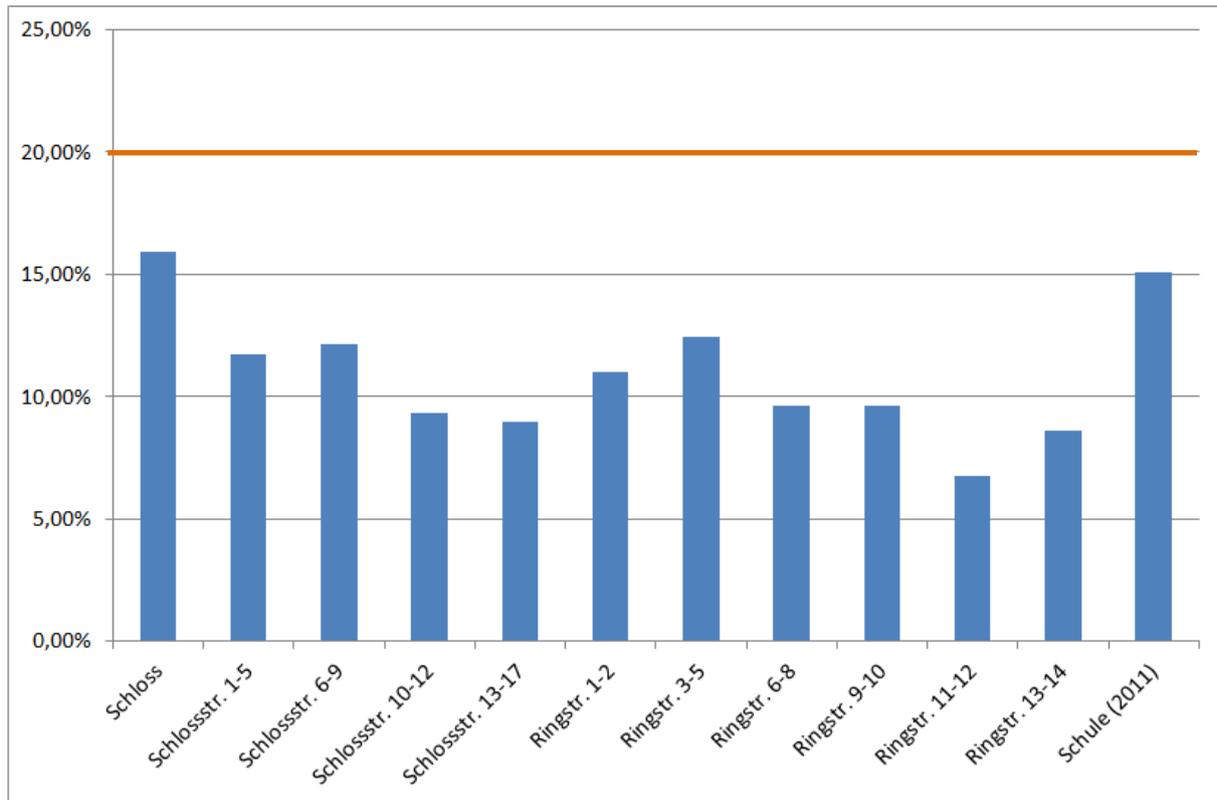


Abb. 7: Vergleich des Auslastungsgrads der einzelnen Kesselanlagen

(Blatt 12) berechnet. Mit Hilfe der gemessenen Brennerleistungen und des Gesamtbrennstoffverbrauchs kann daraufhin die theoretische Brennerlaufzeit berechnet werden.

Aufgrund dessen, dass in den meisten Gebäuden im Areal die Kesselanlagen für Heizung und Warmwasserbereitung verwendet werden, beträgt die theoretische Betriebsbereitschaftszeit eines jeden Brenners 8760 h pro Jahr. Da in der Regelung der für den Kessel im Schloß keine adäquate Abschalteneinstellung ermittelt werden konnte, wird hierbei ebenso davon ausgegangen, dass auch dieser Brenner ganzjährig in Bereitschaft steht.

Eine Kesselanlage ist optimal ausgelegt, wenn sie eine Auslastung von mindestens 20% besitzt. Analog zur zuvor vorgestellten Untersuchungsvariante erfüllt auch hier nahezu kein Brenner diese Vorgaben. D.h. die eingestellten Brennerleistungen sind zu hoch und sollten angepasst werden. Die Gründe hierfür sind ähnlich der zuvor bereits angeführten Begründungen (Auslegungszeitpunkt, mehrere Kesselanlagen im Parallelbetrieb).

Für den Schulkomplex zeigt sich wiederum, dass eine detaillierte Untersuchung der unterschiedlichen Energieverbräuche der Küche und der Heizzentrale unabdingbar ist.

2.4 Strombedarf im Areal

Neben der benötigten Wärmeenergie stellt der Stromverbrauch den zweiten wichtigen Energieverbrauchsfaktor im betrachteten Areal dar. Dieser wird aktuell vollständig aus dem elektrischen Netz gedeckt. Die Gemeinde Lohmen bzw. die Eigentümergemeinschaft Schloßstraße 1-9 und die Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen nutzen hierfür auch unterschiedliche Anbieter, die Gemeinde bezieht den Strom von der ENSO Sachsen Ost AG und die WBG Lohmen nutzt die LichtBlick AG als Anbieter.

Grundsätzlich resultiert der Gesamtstromverbrauch im Areal aus verschiedenen unterschiedlich relevanten Einzelstromverbräuchen:

- Betriebsstrom technische Anlagen / Hauslicht / sonstige Hilfsenergie
- Haushaltsstrom der Bewohner
- Straßenbeleuchtung
- Begleitheizung Schloßstraße 1-9

Diese einzelnen Stromverbräuche wurden anhand von seitens der WBG und der Gemeinde Lohmen übermittelten Daten (Messwerte, Rechnungen, etc.) analysiert. Die innerhalb der Gemeinde durch die bestehenden Wasserkraftwerke (Abschnitt 3.2.3) erzeugten regenerativen Energiemengen können hierbei nicht einberechnet werden, da sie direkt ins Verbundenergienetz eingespeist werden bzw. teilweise durch private Träger bewirtschaftet werden.

2.4.1 Betriebsstrom und Hauslicht

Im Rahmen der Analyse dieser Einzelstromverbräuche werden alle seitens der Gebäudebetreiber abzurechnenden Stromverbräuche bilanziert, die nicht direkt durch Bewohner verursacht und wohnungsweise abgerechnet werden.

Tab. 4: Betriebs- und Hauslichtstromverbrauch der Gebäude der WBG Lohmen

<i>Gebäude</i>	<i>Betriebsstrom/ Hilfsenergie</i> <i>[kWh]</i>	<i>Hauslicht</i> <i>[kWh]</i>	<i>Energieverbrauchs- kennwert</i> <i>[kWh/m²a]</i>
Ringstraße 1-2	1.959	831	2,95
Ringstraße 3-5	3.052	484	2,58
Ringstraße 6-8	1.954	710	1,87
Ringstraße 9-10	2.177	949	2,72
Ringstraße 11-12	1.901	856	2,92
Ringstraße 13-14	1.728	893	2,42
Schloßstraße 10-12	2.887	1.003	2,06
Schloßstraße 13-17	8.663	2.238	3,18

Hierzu zählen Stromverbräuche resultierend aus dem Betrieb technischer Anlagen bzw. benötigter Hilfsenergie (z.B. Umwälzpumpen) bzw. aus dem Hauslichtstromverbrauch der Wohngebäude.

Um diese Verbräuche für die einzelnen Parteien und relevanten Gebäudestrukturen quantifizieren zu können, wurden die übermittelten Messwerte für die Jahre 2009 – 2012 gemittelt und bezüglich der Gebäudekomplexe bewertet.

Aus den einzeln in Tabelle 4 aufgelisteten Strombedarfen für die Wohngebäude der WBG Lohmen ergeben sich jährliche Gesamtstromverbräuche von rund 27.500 kWh für Betriebsstrom und Hilfsenergie sowie rund 7.950 kWh für Hauslicht.

Für die Gebäude der Gemeinde Lohmen bzw. der Eigentümergemeinschaft Schloßstraße 1-9 konnte anhand der übermittelten Verbrauchswerte keine differenzierte Betrachtung des Stromverbrauchs nach Hauslicht und Betriebsstrom durchgeführt werden.

Tab. 5: Betriebsstromverbrauch der Gebäude Schloßstraße 1-9 sowie des Schloßes und des Schul- und Sportkomplexes

<i>Gebäude</i>	<i>Betriebsstromverbrauch</i> <i>[kWh]</i>	<i>Energieverbrauchskennwert</i> <i>[kWh/m²a]</i>
Schloßstraße 1-5	25.200	6,82
Schloßstraße 6-9	18.900	6,38
Schloß	24.200	21,6
Schul- und Sportkomplex	62.800	15,04

Aufgrund der installierten Struktur der Warmwasserversorgung in den Gebäuden der Eigentümergemeinschaft Schloßstraße 1-9 enthalten die in Tabelle 5 aufgeführten Betriebsstromverbräuche neben dem Energieverbrauch resultierend aus Hilfsenergie und Anlagenbetrieb sowie aus dem Hauslichtstromverbrauch ebenfalls den Energiebedarf, der sich aus der Nutzung der Begleitheizung zur Warmwasserbereitung ergibt. Eine detailliertere Betrachtung der Verbräuche der Begleitheizung erfolgt im Abschnitt 2.4.2.

Für das Schloß sowie den Schul- und Sportkomplex sind ebenfalls Energieanteile für die Warmwasserbereitung (Schloß und Hort/Kita: Durchlauferhitzer) in den ausgewiesenen Betriebsstromanteilen enthalten.

Analog zu den ermittelten Gasverbräuchen für den Schul- und Sportkomplex ist aus den übermittelten Werten wiederum eine deutliche Änderung der Nutzung der Gebäude innerhalb des Jahres 2010 zu erkennen. In den Jahren 2008-2010 konnte ein um ca. die Hälfte höherer Strombedarf (ca. 90.000 kWh) des Komplexes ermittelt werden. Da in Zukunft mit einer gleichbleibenden Nutzung der Gebäude auf dem Niveau von 2011 zu rechnen ist, wird in weiteren Untersuchungen mit dem geringeren Wert gerechnet.

Der spezifische Stromverbrauch des Schul- und Sportkomplexes (Tab. 5) entspricht bezüglich der seit dem Jahr 2011 aufgenommenen Menge dem Energieverbrauchs- und Vergleichswert (15,10 kWh/m²a) für Nichtwohngebäude, im Speziellen für allgemein bildende Schulen und Hallen (ohne Schwimmhallen) nach EnEV 2009 [39].

Das Lohmener Schloß, welches der Gemeindeverwaltung als Verwaltungsgebäude dient, liegt bezüglich des spezifischen Stromverbrauchs etwas über den Vorgaben der EnEV 2009 mit 20 kWh/m²a [40].

2.4.2 Begleitheizung

Wie bereits in Abschnitt 2.4.1 beschrieben, resultiert ein signifikanter Teil des Betriebsstromverbrauchs der Wohngebäude Schloßstraße 1-9 aus dem Verbrauch für die Begleitheizung der Warmwasserbereitung.

Um den Aufwand für die Begleitheizung zu quantifizieren und möglich Einsparpotentiale identifizieren zu können, wurden die Unterschiede der Betriebsstromverbräuche zu den baugleichen und ähnlich bewohnten Wohngebäuden der Schloßstraße 10-17 untersucht. Für die Analyse konnten jedoch nur die Verbrauchswerte der Schloßstraße 10-12 herangezogen werden (vgl. Tab. 6), da im Dach des Gebäudes der Schloßstraße 13-17 die zentrale Satellitenanlage für alle 10 Wohngebäude im Areal untergebracht ist und auch hier mit Strom versorgt wird.

Tab. 6: Analyse der Hauseingänge und Betriebsstromverbräuche der Wohngebäude der Schloßstraße

Gebäude	Hauseingänge	Mittlerer Betriebsstrombedarf je Hauseingang [kWh]
Schloßstraße 1-5	5	1.270
Schloßstraße 6-9	4	1.270
Schloßstraße 10-12	3	1.270
Schloßstraße 13-17	5	2.270

Das Wohngebäude der Schloßstraße 10-12 dient als Referenzgebäude für die Ermittlung des Betriebsstromverbrauchs ohne Begleitheizung in der Schloßstraße 1-9. Anhand der Anzahl der Hauseingänge konnte der mittlere Betriebsstrombedarf je Hauseingang ermittelt werden. Aus der Differenz zu den Messwerten des Betriebsstromes ergab sich hieraus der durchschnittliche Strombedarf der Begleitheizung:

- Schloßstraße 1-5: 18.900 kWh
- Schloßstraße 6-9: 13.800 kWh

2.4.3 Haushaltsstrom

Als Haushaltsstromverbrauch wird die jährlich verbrauchte Strommenge bezeichnet, die seitens der Mieter und Wohnungseigentümer direkt in ihren Wohnungen entsteht und direkt über sie abgerechnet wird. Jedoch stehen hierfür keine detaillierten Werte für die Quantifizierung des Energiebedarfs zur Verfügung, da diese sowieso für eine Auswertung im Rahmen dieses Energiekonzepts aus Gründen der Anonymität nicht genutzt werden dürfen.

Jedoch ist es notwendig, diese Energiebedarfe im Rahmen des Energiekonzepts mit zu betrachten, da sie signifikante Auswirkungen auf den Gesamtenergiebedarf und die ökologische Bilanz des Areals haben. Außerdem sind diese Energiemengen ebenfalls den aktuellen und zukünftig zu erwartenden Preissteigerungen unterworfen. D.h. Mieter und

Wohnungseigentümer müssen diese Kosten tragen (können). Eine lokale, regenerative Energieproduktion kann helfen, dass diese Energiemengen in den kommenden Jahren lokal und zu bezahlbaren Preisen zur Verfügung stehen. Eine daraus resultierende überschaubare Entwicklung der Nebenkosten erhöht wiederum die Attraktivität des Wohnungsstandorts und bietet damit ebenfalls wirtschaftliche Vorteile, die eine Betrachtung des Haushaltsstroms im Rahmen des Energiekonzepts benötigt.

Um die Energieverbräuche für Haushaltsstrom mit einbeziehen zu können, wurde seitens der WBG Lohmen und der Gemeinde ein mittlerer Stromverbrauch von ca. 850 kWh/Person kommuniziert. Dieser Wert liegt zwar deutlich unter korrespondierenden Kennwerten, die für Quantifizierung des Stromverbrauchs in der Wohnungswirtschaft normalerweise genutzt werden. Jedoch sind diese Werte auf Grund der ländlichen Lage von Lohmen sowie der existierenden deutlichen Unterschiede zwischen Haushaltsstromverbräuchen in den alten und neuen Bundesländern durchaus plausibel. Daher werden diese Werte in der Folge für die Berechnungen genutzt.

Tab. 7: Haushaltstrombedarf und Bewohner der Wohngebäude im Quartier

	<i>Bewohner</i>	<i>Haushaltsstromverbrauch [kWh]</i>
Ringstraße 1 - 14	161	137.000
Schloßstraße 1 - 9	180	153.000
Schloßstraße 10 - 17	142	120.000
Summe	483	410.000

Im Vergleich zu den summierten Betriebsstromverbräuchen aller Wohngebäude sowie des Schloßes und des Schulkomplexes von ca. 166.500 kWh zeigt sich, dass der geschätzte Haushaltsstromverbrauch von 410.000 kWh eine enorme Bedeutung für den gesamten Energiebedarf im Areal besitzt.

2.4.4 Straßenbeleuchtung

Aufgrund dessen, dass keine näheren Informationen zu den Energieverbräuchen der Straßenbeleuchtung übermittelt werden konnten, wurden die im Areal befindlichen Straßenbeleuchtungsanlagen gezählt und einzeln begutachtet.

Im Quartier Schloß- und Ringstraße in Lohmen befinden sich 28 Straßenlaternen, die jeweils nur mit einer Leuchte moderner Technik ausgerüstet sind. Diese Leuchten können mit einer durchschnittlichen elektrischen Leistung von 100W [11] angenommen werden.

Unter Nutzung der Simulation des Sonnenstandes für Lohmen mit Hilfe der EA Systems ‚Green Building‘ – Bibliothek konnten monatlich aufgelöst die Nachtzeiten (4350 h pro Jahr) berechnet werden. In Abhängigkeit von der Einschaltdauer der einzelnen Leuchten während der Nachtzeiten kann man daraus einen Strombedarf von ca. 8.000 kWh/a bei teilweiser Nachtabschaltung bis zu ca. 12.000 kWh/a bei durchgängiger Brenndauer aller Leuchten während der Nacht für die Straßenbeleuchtung ermitteln. Auf Grund dessen, dass dieser Energiebedarf im Verhältnis zu Betriebs- und Haushaltsstrombedarf im Areal



Abb. 8: Standorte der Straßenbeleuchtung im Quartier Schloß- und Ringstraße Lohmen [10]

gering ist, genügt diese Übersichtsrechnungen den Anforderungen an die Energiebedarfserfassung. Weitere, detailliertere Untersuchungen erscheinen diesbezüglich als nicht zwingend notwendig.

Abbildung 8 zeigt die Standorte der Straßenbeleuchtung im Areal. Zehn Leuchten stehen auf der Schloßstraße, acht auf der Ringstraße, drei vorm Schulkomplex und sieben weitere innerhalb des Areals (u.a. Hof, Park).

2.5 Fahrzeuge der Gemeindeverwaltung Lohmen

Seitens der Gemeindeverwaltung Lohmen wurde übermittelt, dass zwölf Fahrzeuge im Besitz der Gemeindeverwaltung sind und von den Mitarbeitern sowie auf dem Bauhof Lohmen genutzt werden (Kleinwagen, Multicar, etc.).

Verbrauchs- und Emissionswerte wurden anhand der Fahrzeugmarke und -typ ermittelt und wurden für die weiteren Berechnungen unter Nutzung der übermittelten jährlich zurückgelegten Wegstrecken genutzt.

Mit einem errechneten Gesamtkraftstoffbedarf der Fahrzeuge von rund 6.200 l pro Jahr ist die für die Erfüllung der Mobilitätsaufgabe benötigte Energiemenge (55.000 kWh) gegenüber den zuvor ermittelten Werten für Gas- und Stromverbrauch vergleichsweise gering. Jedoch können auch hier in der Folge zu konzipierende Einsparungsmaßnahmen, wie z.B. Hybridisierung und Elektrifizierung der Fahrzeugflotte, energetisch relevante Emissionseinsparungen und Kostensenkungen hervorrufen.

2.6 CO₂-Bilanz und Primärenergiebedarf

Für die ökologische und energetische Bewertung der Energienutzung im Areal Schloß- und Ringstraße in Lohmen werden verschiedene Faktoren berücksichtigt.



Abb. 9: End- und Primärenergiebedarf der einzelnen Gebäudekomplexe [10]

Der Primärenergiebedarf bezieht dabei Energieverluste durch Erzeugung und Transport der verschiedenen Energieträger mit ein. Für Strom wird hier ein Primärenergiefaktor von 2,6 aufgrund des derzeitigen Strommix laut EnEV vorgeschrieben [8]. Für Erdgas liegt dieser Faktor bei 1,1. Die resultierenden Primärenergiebedarfe für das betrachtete Areal und die einzelnen Gebäudekomplexe kann normiert auf die Nutzfläche der einzelnen Gebäude der Abbildung 9 entnommen werden.

Tab. 8: CO₂-Emissionen bezüglich der einzelnen ermittelten Energieverbräuche

Energieverbrauch	CO ₂ -Emissionen [t CO ₂ /a]
Erdgas	537
Betriebsstrom	103
Haushaltsstrom	252
Straßenbeleuchtung	7,5
Fahrzeuge	14,9

Die für die Wohngebäude aufgeführten Primärenergiebedarfe sind nicht identisch mit denen nach EnEV ermittelten, da bei dieser Betrachtung der verbrauchte Strom durch die Bewohner mit erfasst wurde.

Ein zweiter Bewertungsfaktor charakterisiert die aufgrund des Energieverbrauchs erzeugten CO₂-Emissionen. Diese ökologische Bilanz wird analog zum Primärenergiebedarf anhand spezifizierter Faktoren berechnet. Laut GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme) [9] wird hier für Strom ein Faktor von 0,616 kg CO₂/kWh und für Erdgas ein Faktor von 0,198 kg CO₂/kWh genutzt. Anhand dieser Faktoren konnten folgende CO₂-Emissionen für die einzelnen Energieverbräuche ermittelt werden.

Anhand der einzelnen CO₂-Bilanzen für die einzelnen betrachteten Energieverbräuche konnte eine Gesamt-CO₂-Bilanz von ca. 915 t pro Jahr für das Areal errechnet werden.

3 Abschätzung regenerativer und weiterer Energieeinsparpotentiale

Im Rahmen des zu erarbeitenden Energiekonzepts besteht das Ziel, den Aufwand an konventioneller Energie zur Erfüllung dieser Bedarfe möglichst auf ein Minimum zu verringern.

Hierfür können zunächst die bestehenden technischen Energieversorgungsanlagen bezüglich existierender Einsparpotentiale untersucht werden. Darüber hinaus besteht eine Vielzahl von Möglichkeiten durch Nutzung regenerativer Energie dieses Ziel zu erreichen. Auch ermöglicht die Umrüstung bestehender technischer Anlagen durch moderne energieeffiziente Systeme das Heben weiterer Einsparpotentiale.

Für all diese Möglichkeiten sollen innerhalb dieses Kapitels die bestehenden Potentiale für eine Vielzahl von Maßnahmen abgeschätzt werden. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine Vorauswahl aussichtsreicher Systemkonfigurationen, die in der Folge durch detailliertere Berechnungen und Simulationen untersucht und anhand der Ergebnisse verglichen werden können. Hierfür gilt natürlich immer der Grundsatz, dass eine Systemkonfiguration nur optimal für die Energieversorgung des Areals genutzt werden kann, wenn ihr Einsatz auch wirtschaftlichen Notwendigkeiten genügt.

3.1 Energieeinsparpotentiale der bestehenden Anlagen

Wie bereits in Kapitel 2 analysiert wird die Wärmeversorgung (Warmwasser & Heizung) im Areal größtenteils durch zentrale Kesselanlagen in den einzelnen Gebäuden (Einzelhausversorgung) gewährleistet. Der Strombedarf für Betriebs- und Haushaltsstrom wird aus dem öffentlichen Netz gedeckt.

Die einfachste Möglichkeit, eine nachhaltige Energieeinsparung zu erzeugen, ist die Optimierung der Energienutzung durch bestehende haustechnische Anlagen. Dies kann auf Seiten der Wärme- und der Stromnutzung zu signifikanten Einsparungsmöglichkeiten führen.

Bevor eine begründete Abschätzung der bestehenden Einsparpotentiale erfolgen kann, muss zunächst jedoch festgestellt werden, dass natürlich mögliche Einsparungen bei Haushaltsstromverbräuchen (z.B. effizientere Geräte) nicht betrachtet werden können, da das Nutzerverhalten grundsätzlich vom Energiekonzept nicht beeinflusst werden soll und kann. Im Gegensatz dazu ist sogar mit einem leichten Anstieg des Haushaltstromverbrauchs in den nächsten Jahren zu rechnen, da die zunehmende Technifizierung und Nutzung von Multimedia-Angeboten beim aktuell vergleichsweise geringen Stromverbrauch (Abschnitt 2.4.3) der einzelnen Haushalte hier signifikante Bedeutung haben kann.

Gleichzeitig ist abzusehen, dass es bis 2025 hier zu einer leichten Verjüngung der Bewohnerstruktur (Abschnitt 2.1) kommen wird, wodurch potentiell auf Grund anderer Nutzungsgewohnheiten ebenfalls der Haushaltsstrombedarf leicht ansteigen wird.

3.1.1 Einsparungspotentiale der Heizungsanlagen

Im Rahmen der Begutachtung der einzelnen Heizzentralen der Gebäude im Areal wurden die Steuerungsparameter (z.B. Solltemperaturen) und der technische Zustand der einzelnen Anlagen aufgenommen und bezüglich bestehender Mängel und Optimierungsmöglichkeiten untersucht. Hierfür konnten folgende Verbesserungsmöglichkeiten festgestellt werden:

- Dämmung von Wärmebrücken, Anlagenarmaturen und Rohrleitungen
- Hydraulischer Abgleich für bestehende Heizungsanlagen (teilweise benötigt die Installation neuer Strangventile, vgl. Abschnitt 2.3.1)
- Adaption der Kesseltemperaturregelung (gleitend, außentemperaturgeführt)
- Verringerung / Anpassung der Vorlauftemperaturen (Ausnutzung Brennwerteffekt)

Unter Einbeziehung dieser Möglichkeiten und der Analyse des nutzflächenabhängigen Energiebedarfs konnte für die einzelnen Gebäude in Summe ein Einsparungspotential von ca. 15%, d.h. ca. 400.000 kWh Erdgaseinsparung, abgeschätzt werden. Unter Nutzung der in Abschnitt 2.6 beschriebenen GEMIS-Faktoren [9] zur Analyse des CO₂-Emissionsgrades kann für dieses ermittelte Einsparpotential eine korrespondierende CO₂-Emissionsverringerung um ca. 79 t pro Jahr ermittelt werden.

3.1.2 Einsparungspotentiale bei der Betriebsstromnutzung

Analog zum Vorgehen bezüglich der Heizungsanlagen wurden die signifikanten Verbraucher von Betriebsstrom im Areal ebenfalls im Rahmen mehrerer Begehungen analysiert und begutachtet.

Bezüglich der Betriebsstromverbräuche existieren gebäudespezifisch signifikante Unterschiede in Nutzung. In den meisten Wohngebäuden sowie größtenteils im Schulkomplex fällt der erfasste Betriebsstromverbrauch ausschließlich bezüglich des Hilfsenergieverbrauchs für die Steuerung technischer Anlagen sowie des Hauslichtes an. Hierfür bestehen geringfügige Einsparungspotentiale hinsichtlich einer effizienteren Regelung und Nutzung der verschiedenen Pumpen und der Beleuchtung. Dies kann durch Anpassung oder Austausch der bestehenden technischen Anlagen geschehen.

Die Einsparpotentiale für die Warmwasserbereitung durch Durchlauferhitzer im Schloß und im Hort/Kita-Gebäude sind sehr geringfügig und nicht quantifizierbar.

Die Einsparpotentiale für die Begleitheizung in den beiden Wohngebäuden der Schloßstraße 1-9 sind dagegen beachtenswert. Aktuell regelt die elektrische Begleitheizung die Warmwassertemperatur in den Leitungen auf ca. 60°C Vorlauftemperatur. Dies konnte durch einen Abgleich der ermittelten Verbrauchswerte der Begleitheizung (vgl. Abschnitt 2.4.2) und den Simulationsmodellen der Warmwasserbereitungsanlage (vgl. Abschnitt 3.3.2) bestätigt werden. In der Steuerungsanlage selbst waren auch keine Funktionskomponenten zur zeitweisen Abschaltung der Begleitheizung (z.B. in der Nacht) eingebaut, so dass man von einem Dauerbetrieb der Anlage ausgehen kann. Durch eine intelligentere, temperaturabhängige Regelung der Begleitheizung können weitere Einsparpotentiale bei Betriebsstromverbrauch erschlossen werden. Zum Beispiel ist eine Temperaturspreizung von 5K zur Sollvorlauftemperatur von 60°C durchaus zulässig.

Auf diese Art und Weise kann für die Begleitheizung (ca. 25.500 kWh / Jahr) ein Einsparpotential von ca. 9.000 kWh abgeschätzt werden.

Bezüglich potentieller Einsparungen für den Hilfsenergieverbrauch kann dagegen für nahezu alle Gebäude ein Gesamteinsparpotential von ca. 12.000 kWh pro Jahr abgeschätzt werden.

Insgesamt belaufen sich die potentiellen Energieeinsparungen beim Betriebsstrom durch zuvor beschriebene Maßnahmen auf ca. 21.000 kWh pro Jahr, was ca. 15-20% entspricht. Damit ist eine CO₂-Emissionsverringerung von ca. 13 t pro Jahr zu erreichen.

3.2 Energieeinsparpotentiale durch regenerative elektrische Energieerzeugung

Die Versorgung mit elektrischer Energie stellt einen wesentlichen Bestandteil des zu erarbeitenden Energiekonzepts für das betrachtete Quartier dar. Diesem Bestandteil kommt eine entscheidende Bedeutung zu, da zukünftig nicht nur ein hoher Grad an regenerativer Energienutzung politisch gewünscht und gefordert wird, sondern auch eine über einen langen Zeitraum bezahlbare elektrische Energieversorgung sichergestellt werden muss.

Hierfür werden in der Folge Untersuchungen zu bestehenden Potentialen der regenerativen Energieerzeugung im Quartier bzw. im Bereich der Gemeinde Lohmen durchgeführt. Speziell werden folgende Energieerzeugungsvarianten bezüglich ihres Potentials analysiert:

- Photovoltaik
- Windkraft
- Wasserkraft
- Biomasse

Die angeführten Energieversorgungsvarianten werden in Hinblick auf bestehende Gegebenheiten sowie politische Rahmenbedingungen untersucht und das bestehende Energieeinsparpotential abgeschätzt.

3.2.1 Photovoltaik

Die Installation von Photovoltaikanlagen bietet die Möglichkeit die regenerative Energie der Sonne zur Stromerzeugung zu nutzen. Jedoch ist in Zukunft mit einer weiteren Verminderung der Förderfähigkeit solcher Anlagen, besonders im Bereich der Einspeisevergütung, zu rechnen. Dem gegenüber stehen aufgrund technologischer Fortschritte im weiter sich verringernde Anlagenkosten und steigende Energieerträge. Daher stellt die Nutzung von Photovoltaik eine der effektivsten Methoden dar, den Strombedarf des Areals durch regenerative Energie zu decken. Hierzu werden im weiteren Verlauf genauere Analysen bezüglich der Bilanzierung von Energieverfügbarkeit und -bedarf durchgeführt.

An dieser Stelle soll zunächst einmal eine Analyse des bestehenden Potentials der Technologie sowie zu wirtschaftlich nutzbaren Standorten erfolgen.

Die Dächer der Gebäude des betrachteten Areals können dabei aufgrund ihrer exponierten Lage wohl am besten als Standorte für Photovoltaikanlagen genutzt werden. Im Rahmen dieser ersten Voruntersuchung wurden jedoch Dachflächen auf denkmalgeschützten Gebäuden, wie Schloß und historisches Schulgebäude, von der Untersuchung im Vorhinein ausgeschlossen.

Für die einzelnen Dachflächen der Gebäude wurden für jeweils beide Dachseiten Flächeninhalt, Neigung und Ausrichtung aus bestehenden Lageplänen bemessen.

Mit Hilfe der Photovoltaik-Anlagenmodelle der ‚Green Building‘ - Bibliothek und charakteristischen Wetterdaten (Temperatur, Diffuse und Direkte Sonneneinstrahlung) wurden dann potentielle Energieerträge für die einzelnen Dachflächenorientierungen simuliert und auf die zur Verfügung stehenden Dachflächen hochgerechnet. Die resultierenden Energieerträge wurden danach ins Verhältnis zur simulierten Anlagengröße (Nennleistung kWp) gesetzt und für die einzelnen Dachflächen verglichen.

Abbildung 10 zeigt die Dachflächen, auf denen installierte Photovoltaik-Anlagen einen spezifischen Energieertrag von mindestens 800 kWh/kWp erbringen können (Förderung nur für südlich ausgerichtete Anlagen). Dieser Schwellwert wurde anhand wirtschaftlicher Gesichtspunkte festgelegt. Auf diese Weise kann eine Differenzierung von für Photovoltaik geeigneten und ungeeigneten Dachflächen durchgeführt werden. Wie Abbildung 10 ebenfalls zeigt, wurden so lediglich Dachflächen mit Süd- oder zumindest südlicher Ausrichtung für die weiteren Betrachtungen in Erwägung gezogen.

Insgesamt wurden so Anlagen mit einer Gesamtnennleistung von 360 kWp in die Berechnungen einbezogen. Für diese Anlagengröße konnte ein jährlicher Betrag von ca. 323.000 kWh ermittelt werden. Dies entspricht unter Nutzung der bereits vorgestellten GEMIS-



Abb. 10: Standorte für geeignete Photovoltaik-Dachflächen im Quartier [10]

Daten [9] einer CO₂-Emissionsreduktion von ca. 200 t pro Jahr.

Im Rahmen dieser Berechnung sind keine weiteren Untersuchungen zum Anteil von Eigenverbrauch und Einspeisung durchgeführt wurden.

3.2.2 Windkraft

Analog zu Photovoltaik bietet die Nutzung von Windenergie eine weitere Möglichkeit regenerative Energie zur Stromproduktion zu nutzen. Jedoch sind die Einflüsse von regionalen und überregionalen geografischen Randbedingungen (d.h. Berge, Täler vs. Meeresnähe, kontinentale Lage) signifikant wichtig für resultierende Energieerträge.

Daher wurde im Rahmen dieser Ertragsabschätzung eine 500 kW - Windkraftanlage mit Hilfe der ‚Green Building‘ – Bibliothekskomponenten für standortspezifische Wetterdaten bezüglich verschiedener Ausrichtungen simuliert und die jährlichen Erträge erfasst:

- Freie Ausrichtung (mit drehend): 280.000 kWh
- Westausrichtung (beste Richtung): 70.000 kWh

Es zeigt sich hier, dass eine solche Anlage, wenn sie windrichtungsgeführt arbeitet, einen signifikanten Beitrag zur Stromerzeugung im Quartier liefern kann. Mit vergleichbaren Kosten gegenüber Photovoltaik (Windkraft: 0,56 kWh je € Investition, PV: 0,4 kWh je € Investition) bieten sie bei optimaler Installation für den Standort des Quartiers ebenfalls eine wirtschaftliche Alternative für die regenerative Stromerzeugung [12]. Analog zur Photovoltaik Nutzung könnten mit nur einer 500 kW – Windkraftanlage ca. 172 t CO₂-Emissionen eingespart werden.

Jedoch wurde seitens des Landkreises Sächsische Schweiz - Osterzgebirge beschlossen, dass Windkraft in der Region nicht im öffentlichen Bereich zur Stromproduktion genutzt werden darf. Daher entfallen weitere Untersuchungen zu nutzbarem Windkraftpotential.

3.2.3 Wasserkraft

Die Gemeinde Lohmen besitzt bezüglich der Nutzung regenerativen Energieerzeugung einen geostrategischen Vorteil. Sie ist an einem ganzjährig wasserführenden Fluss gelegen – der Wesenitz.

Für eine detailliertere Untersuchung des regenerativen Energiepotentials der Elektroenergieerzeugung mit Wasserkraftwerken wurden zunächst mit Hilfe gewässerkundlicher Monatsberichte des Freistaates Sachsen die mittleren Wassermengen der Wesenitz über das Jahr hinweg analysiert [13].

Es zeigt sich, dass die minimalen und mittleren Wassermengen der Wesenitz über das Jahr hinweg mit ca. 2 m³/s relativ konstant über das Jahr verfügbar sind. Bei den maximalen mittleren Wassermengen sind darüber hinaus die Einflüsse von Schneeschmelzen (Februar, März) und erhöhten sommerlichen Niederschlägen (Juli) zu erkennen. Als Gewässer der 1. Ordnung unterliegt das Gewässer verwaltungstechnisch dem Freistaat Sachsen (Landestalsperrenverwaltung), wodurch die Nutzung von Wasserkraft grundsätzlich ermöglicht wird.

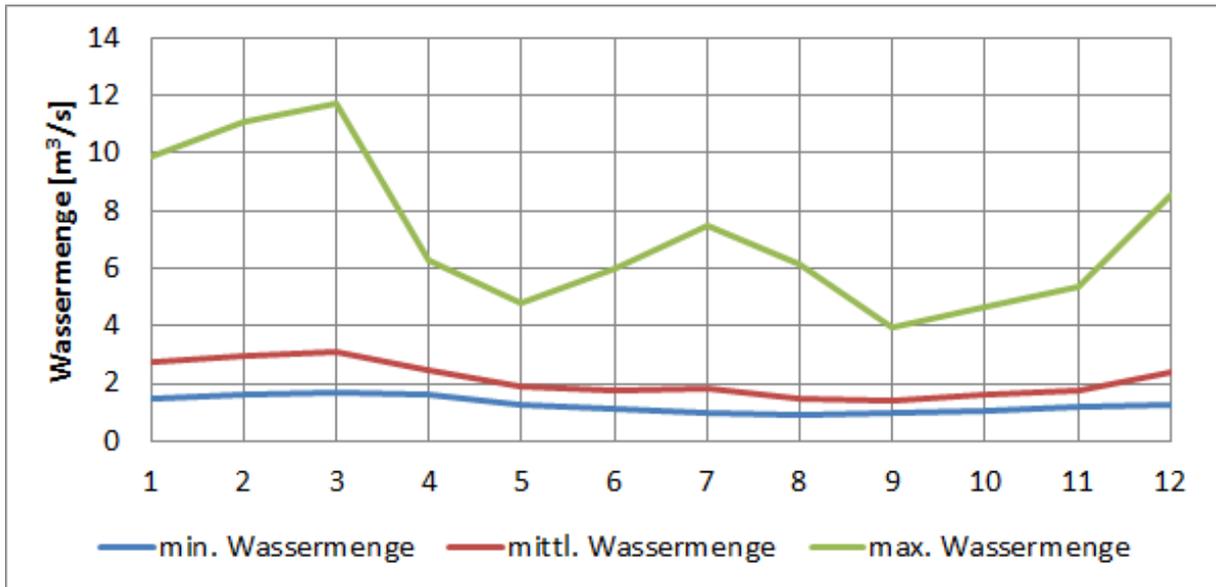


Abb. 11: Monatliche Wassermengen der Wesenitz [13]

Seitens der Fischereibehörde wird außerdem festgelegt, dass mindestens eine Wassermenge von 250 l/s bei Nutzung eines Wasserkraftwerks über das Wehr fließen muss um entsprechende Fischbestände nicht zu gefährden [14]. Dadurch ist gesichert, dass mindestens 80% des durchschnittlichen Durchflusses zur Stromerzeugung genutzt werden dürfen.

Im Einzugsbereich der Gemeinde Lohmen befinden sich bereits drei Wasserkraftwerksanlagen im ständischen Betrieb:



Abb. 12: Wasserkraftwerke im Einzugsbereich der Gemeinde Lohmen [10]

- Wasserkraftwerk Daubemühle: ca. 400.000 kWh
- Wasserkraftwerk Wauermühle: ca. 180.000 kWh
- Wasserkraftwerk Niezelgrund: ca. 950.000 kWh

Diese werden bereits wasserwirtschaftlich genutzt und wurden im Rahmen einer Begehung analysiert. Mittlere jährliche Erträge, Besitzverhältnisse sowie Nutzungsverhältnisse können Abbildung 12 entnommen werden. Weitere Informationen zu den einzelnen Kraftwerken sind im Anhang A3 dokumentiert.

Bezieht man nun nur die beiden großen Wasserkraftwerke in die Abschätzung des regenerativen Energiepotentials mit ein (Wasserkraftwerk Wauermühle ist im Privatbesitz und wird größtenteils zur Eigennutzung verwendet), ergeben sich potentielle Stromerträge für das Quartier von 1.350.000 kWh pro Jahr, was laut GEMIS-Datenbank [9] einer CO₂-Emissionsvermeidung von ca. 830 t pro Jahr entspricht.

Da diese Kraftwerke schon in Betrieb sind, erhöht sich durch deren Nutzung im Rahmen eines neuen Energiekonzepts per se der regenerative Energieanteil des Stromverbrauchs im untersuchten Quartier nicht. Jedoch speisen beide Kraftwerke direkt ins ENSO-Netz ein. Die Einspeisung wird dabei durch eine vergleichsweise geringe Vergütung (ca. 11,2 ct/kWh) entlohnt. Bei Betrachtung der zukünftigen Energiepreise für Strom (schon heute ca. 25 ct/kWh) ist eine solche Vorgehensweise nicht mehr empfehlenswert.

Im Rahmen dieses Energiekonzepts wird die Nutzung der Wasserkraft zur Stromerzeugung in der Folge auch im Zusammenhang mit der Gründung einer Energiegenossenschaft diskutiert werden. Dadurch ergeben sich Möglichkeiten, die Problematik der niedrigen Einspeisevergütung durch Eigennutzung der erzeugten Energie in der Gemeinde zu überwinden. In diesem Zusammenhang werden auch mögliche und notwendige Maßnahmen für Reinvestitionen zur Erhöhung des Stromertrags (Instandsetzung Wehr, WKW Niezelgrund) diskutiert.

3.2.4 Biomasse

Ein weiteres regeneratives Energiepotential der Gemeinde, die zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt werden kann, ist die im Laufe eines Jahres anfallende Biomasse im gemeindeeigenen Klärwerk in der Nähe des Wasserkraftwerks Daubemühle (Abb. 12). Dieses wurde ebenso im Rahmen der Begehung der Wasserkraftanlagen besichtigt und detaillierte Daten zur Biomasse-Nutzung wurden aufgenommen:

- Klärschlammmasse: 540 t / Jahr
- Trockensubstratanteil: 17%

Diese anfallende Biomasse kann innerhalb einer Biomasse-Verbrennungsanlage zur Stromerzeugung genutzt werden. Hierzu ist jedoch ein chemisches Verfahren zur Vorbereitung und Verarbeitung der Biomasse durchzuführen

Abbildung 13 beschreibt dieses Verfahren schematisch und stellt die für Nutzung der in Lohmen anfallenden Biomasse benötigten bzw. erzeugten Energiemengen dar.

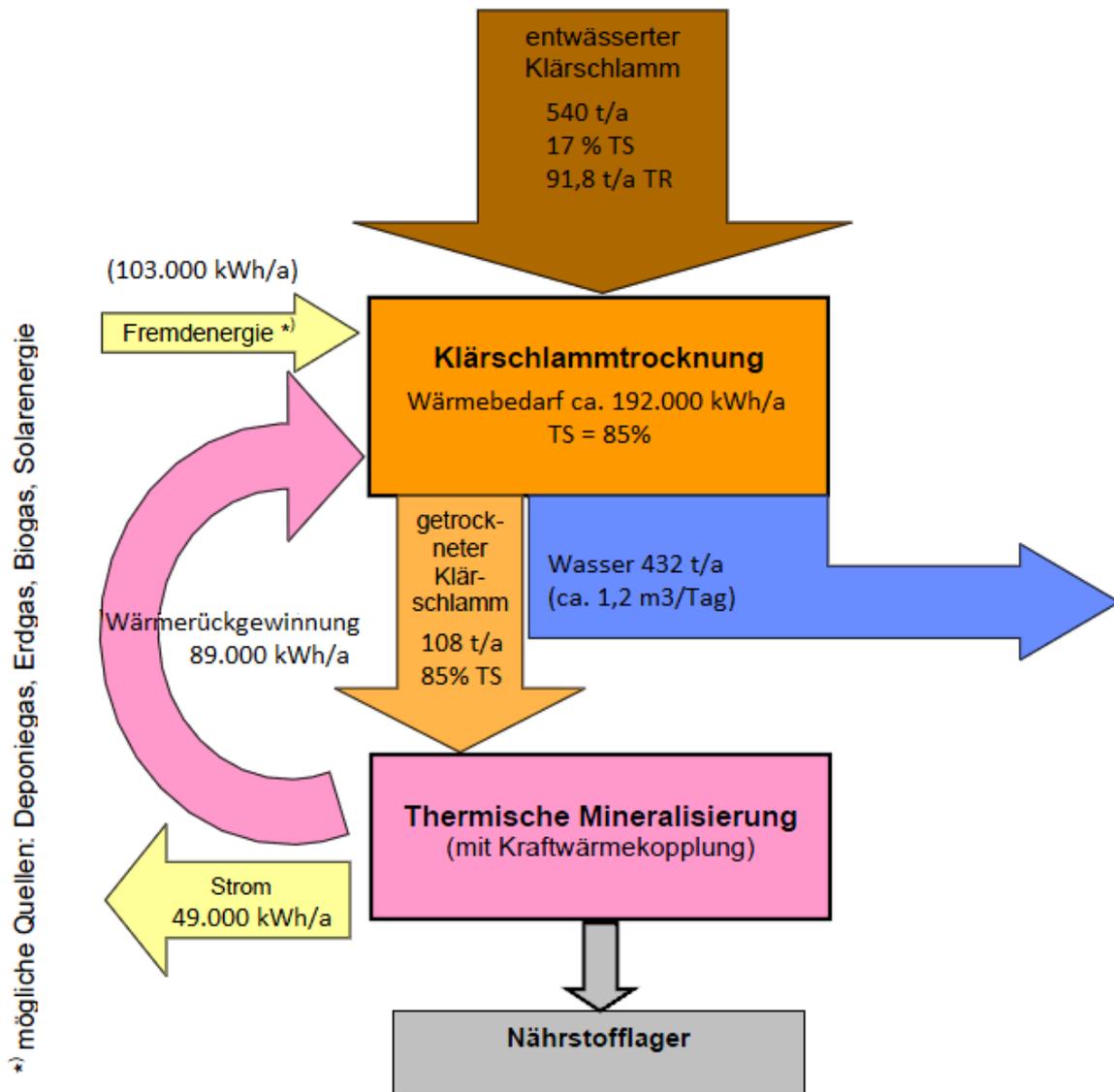


Abb. 13: Energiebilanzen des Verfahrens zur Biomasse-Verstromung [15]

Aus der thermischen Mineralisierung können innerhalb eines Jahres ca. 89.000 kWh Wärme zurückgewonnen werden (46% Wärmerückgewinnungsgrad). Für eine vollständige Trocknung der anfallenden Biomasse müssen hierzu noch 103.000 kWh Fremdenergie zugesetzt werden. Hierfür kann z.B. Erdgas genutzt werden. Aus der getrockneten Biomasse können dann in der Folge aus den in Lohmen auftretenden Mengen ca. 49.000 kWh Elektroenergie jährlich erzeugt werden.

Bilanziert man nun den auf diese Weise erzeugten Strom mit der zu zuführenden Fremdenergie für die Trocknung kann man unter Nutzung der GEMIS-Datenbank [9] potentielle CO₂-Emissionseinsparungen von rund 7,3 t pro Jahr errechnen.

Dies ist zwar eine vergleichsweise kleine Menge. Sollten jedoch mit dem Abtransport der Biomasse weitere Kosten verbunden sein oder entsprechende Wärmemengen z.B. aus dem Abwasser der Kläranlage gewonnen werden können (Abschnitt 3.3.4), so könnte ein solches Verfahren einen weiteren auch wirtschaftlich relevanten Faktor für die Energiebilanz des zu betrachtenden Areals darstellen.

3.3 Energieeinsparpotentiale durch Umrüstung der Wärmeenergieversorgung

Die Energieversorgung des zu betrachtenden Areals Schloß- und Ringstraße in Lohmen beinhaltet neben der Deckung des Strombedarfs auch die Bereitstellung von genügend Wärmeenergie für die Gebäudeheizung und die Warmwasserbereitung. Nach näherer Analyse der bestehenden Energieverbräuche (vgl. Kapitel 2) stellt sich sogar heraus, dass der Wärmebedarf (d.h. Erdgasverbrauch) im Areal sogar den Hauptteil des Endenergieverbrauchs einnimmt.

Dieser Bedarf wird zurzeit für jeden Gebäudekomplex einzeln durch eine zentrale Heizungsanlage gedeckt. Analog zum Vorgehen bei der Vorstellung möglicher Einsparpotentiale durch die Nutzung regenerativer elektrischer Energie in Abschnitt 3.2 sollen in diesem Kapitel daher die Einsparpotentiale bei Nutzung regenerativer Heizenergie bzw. effizienterer Heizungssysteme diskutiert werden.

Grundsätzlich kann man hierfür zweierlei Versorgungskonzepte unterscheiden, die Einzelhausversorgung oder die Versorgung unter Nutzung von Nahwärmenetzen. Einsparpotentiale in der Wärmeenergieversorgung ergeben sich bei Anpassung der derzeit genutzten Einzelhausversorgung durch folgende Maßnahmen:

- Umrüstung aller Heizzentralen auf moderne Gasbrennwertgeräte
- Nutzung von Solarthermie für die saisonale Warmwasserbereitung

Andererseits bieten weiterführende Konzepte die Möglichkeit unter Nutzung von Nahwärmenetzen die besonderen Gegebenheiten in Lohmen für die Energieversorgung zu nutzen:

- Flusswasserentwärmung
- Abwasserentwärmung
- Zentrale Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen
- Geothermie

Zur Vorbewertung der einzelnen Potentiale werden in der Folge Untersuchungen zu Verfügbarkeit der einzelnen Energieformen und gleichzeitigem Energiebedarf durchgeführt. Dies ist, anders als bei Untersuchungen zu elektrischen Energiepotentialen, notwendig, da erzeugte Wärme sofort im Areal verbraucht oder zumindest lokal gespeichert werden muss.

3.3.1 Umrüstung auf Gasbrennwertkessel

Die Wärmeversorgung in den einzelnen Gebäuden des Areals wird seit der Generalsanierung in den 1990er überwiegend durch Niedertemperatur-Gaskessel mit Gebläse-Brenner sichergestellt. In Schloß und Schulkomplex wurden schon zu Zeiten der Umrüstung Gasbrennwertgeräte verbaut, die jedoch nicht mehr vollkommen heutigen Anforderungen an Energieeffizienz entsprechen. Zudem wird auf Grund der sehr hohen Vorlauftemperaturen der Brennwerteffekt bei diesen Geräte nicht oder nur teilweise ausgenutzt.

Daher stellt die Umrüstung aller bestehenden Kesselanlagen auf moderne Gasbrennwertgeräte die einfachste Möglichkeit dar, weitere Potentiale für Energieeinsparungen zu he-

ben. Gleichzeitig können auf diese Weise die Kesseldimensionierung und Brennerleistungseinstellung an die gegebenen Verhältnisse angepasst werden (vgl. Abschnitt 2.3.3).

Daraus ergibt sich nun die Frage, wie mögliche Energieeinsparungen durch eine solche Kesselumrüstung quantifiziert werden können. Dies ist notwendig, um eine Vorentscheidung zur Umsetzbarkeit einer solchen Lösung treffen zu können.

Unter Nutzung der DIN V 4701 Norm [16, 17] wurden zunächst für die bestehenden Kesselanlagen die einzelnen Wirkungsgrade der Anlagen errechnet. Es konnte ein mittlerer Wirkungsgrad der verbauten Kesselanlagen im Areal inklusive Verlusten der Warmwasserbereitung von ca. 79,7% ermittelt werden.

Die Umrüstung aller Kesselanlagen auf moderne Brennwertgeräte brächte laut der verwendeten Berechnungsmethodik eine Anhebung des Gesamtwirkungsgrades der Wärmeenergieversorgung im Areal auf ca. 92,7%. Die damit verbundenen Einsparungen von ca. 322.000 kWh Erdgas entsprechen laut GEMIS-Datenbank [9] einer CO₂-Emissionsreduktion um ca. 64 t pro Jahr. Entscheidend hierbei ist jedoch, ob in den einzelnen Gebäuden die Vorlauftemperatur so gesenkt werden kann, dass mit neuen Kesselanlagen der Brennwerteffekt ausgenutzt wird (vgl. Abs. 2.3.1). Eine Bewertung hierzu erfolgt im Rahmen der anschließenden Simulationsuntersuchungen.

Eine solche Maßnahme trägt augenscheinlich bereits zu erheblichen Einsparungen im Endenergieverbrauch bei. Als konventionelle Variante einer modernen Wärmeenergieversorgung wird sie als Basis und Vergleichswert für alle weiteren im Detail untersuchten Systemvarianten verwendet werden.

3.3.2 Solarthermie

Für die durchzuführenden Vorbetrachtungen zum Solarthermie-Potential wurden zunächst die Untersuchungsergebnisse zu einstrahlungsleistungsrelevanten Dachflächen aus der Photovoltaik-Anlagenanalyse (Abschnitt 3.2.1) genutzt.

Im Gegensatz zum Vorgehen bei Photovoltaik-Anlagen ist die Auslegung von Solarthermie-Anlagen durchaus diffiziler. Auch hier ist das Ertragsmaximum für die Sommermonate zu erwarten. Anders als beim vergleichsweise konstanten Elektroenergiebedarf ist der Wärmebedarf des betrachteten Areals jedoch sehr stark saisonal abhängig. Im Sommer wird im Grunde genommen nur noch Wärmeenergie zur Warmwasserbereitung benötigt. Dieser Energiebedarf ist ebenfalls vergleichsweise konstant über das Jahr verteilt.

Eine Auslegung der Solarthermieanlagengröße muss anhand der verfügbaren Wärmespeicherkapazität in den einzelnen Gebäuden sowie anhand des sommerlichen Warmwasserverbrauchs erfolgen.

Zur Potentialabschätzung der Solarthermie-Anlagennutzung wurde wiederum die ‚Green Building‘-Simulationsumgebung genutzt.

Grundsätzlich besteht das verwendete Modell (Abb. 14) aus den verschiedenen Komponenten der Warmwasserbereitung inklusive eines Solarthermie-Anlagenmodells.

Das Heizkessel- und Regelungsmodell wurde anhand der gebäudespezifisch aufgenommenen Parameter der Heizungsanlagen (Abgasverluste, Strahlungsverluste, Bereit-

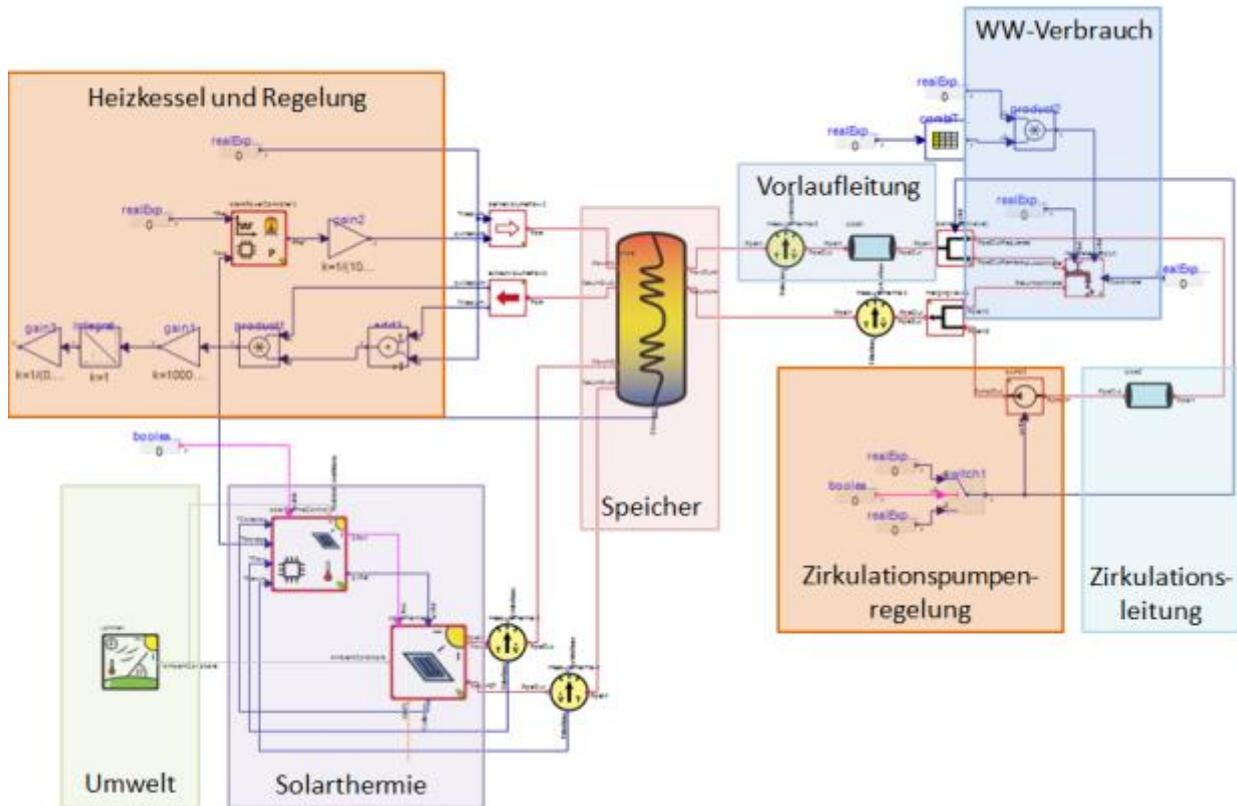


Abb. 14: Simulationsmodell für Solarthermie-Anlagensimulation

schaftsverluste – vgl. Abschnitt 2.3.1) parametrisiert und symbolisiert die konventionelle Wärmeversorgung der gebäudeinternen Warmwasserspeicher (500 -1500l Viessmann Verticell). Vorlauf- und Zirkulationsleitungen [18] sowie Zirkulationspumpenregelung [19] (Ein- und Abschaltzeiten) bzw. Begleitheizungsregelung wurden anhand der bei Begehungen aufgenommenen Daten (vgl. Abschnitt 2.3.1) sowie den übermittelten Gebäudeplänen (vgl. Abschnitt 3.3.1) parametrisiert. Auf diese Weise ist es möglich, die zusätzlich bei der Warmwasserbereitung entstehenden Verlustleistungen mit Hilfe des Modells bezüglich der nutzungsabhängigen Warmwasserabnahme zu quantifizieren.

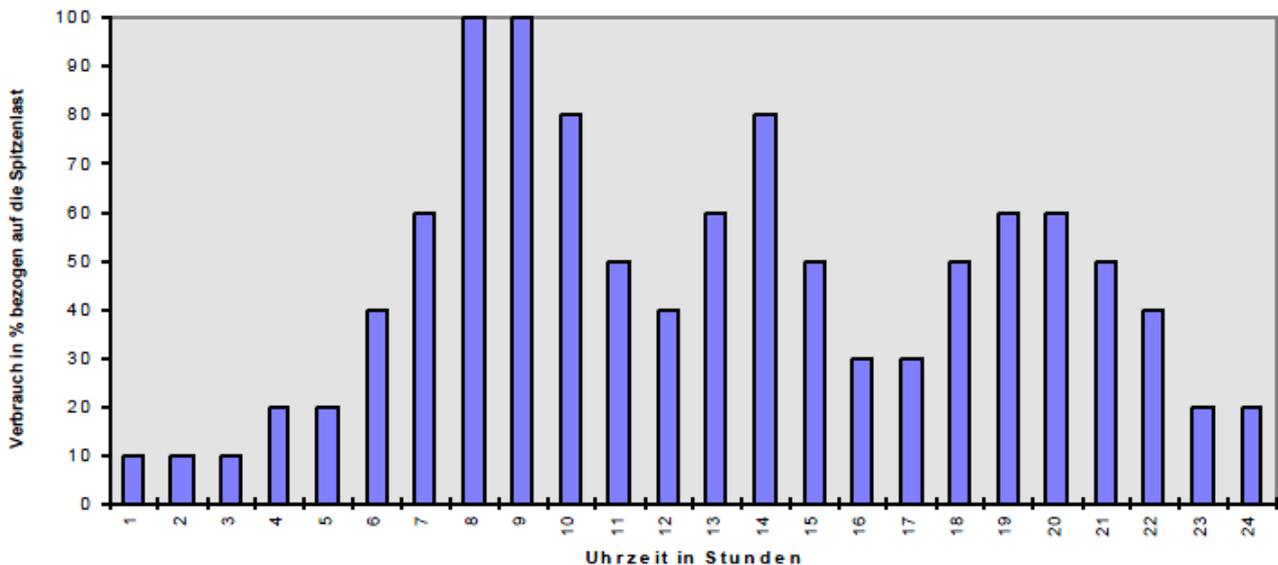


Abb. 15: Prozentualer Tageslastgang des Warmwasserbedarfs in Mehrfamilienhäusern [20]

Aufgrund dessen, dass im Schloß vollständig und im Schulkomplex teilweise der Warmwasserbedarf elektrisch gedeckt wird, werden diese Komplexe für die Betrachtung der Anwendbarkeit solarthermischer Anlagen ausgeschlossen.

Daher werden für diese Untersuchung nur Wohngebäude (Schloßstraße 1-17, Ringstraße 1-14) in die Betrachtung mit einbezogen. Typische Tageslastgänge für den Warmwasserbedarf (Abb. 15) mitteln die Einflüsse unterschiedlichen Verhaltens der Bewohner im hohen Maße heraus, so dass diese Daten als konstant über das Jahr vorherrschend betrachtet werden können. Anhand der jeweiligen Bewohnerzahl jedes Gebäudes (vgl. Abschnitt 2.1) kann diese Kurve dann auf den Gesamtwarmwasserbedarf eines jeden Hauses skaliert werden.

Die Ausrichtung der solarthermischen Anlagen wurde für jedes Gebäude anhand der Dachausrichtung vorgenommen, die bereits im Rahmen der Photovoltaik-Analyse (Abschnitt 3.2.1) als präferierte Ausrichtung ermittelt worden war. Die Dimensionierung und Bewertung einer jeweiligen Anlage erfolgte in zwei Schritten.

Zunächst musste ermittelt werden, welche Anlagengröße für jedes betrachtete Wohngebäude überhaupt praktikabel ist.

Maßgabe war hier jeweils, eine Konfiguration zu finden, bei der an fünf aufeinanderfolgenden sonnigen Sommertagen die Wärmespeichertemperatur nicht über 90°C steigt. Die jeweiligen optimalen Anlagegrößen wurden fixiert und für sie in Kombination mit einer konventionellen Heizkesselregelung, die die Temperatur des Warmwasserboilers auf 60°C regelt, eine Simulation des Jahresertrages vorgenommen. Die Solarthermie-Anlage wurde dabei stets als Flachkollektor parametrisiert.

Für die einzelnen Kollektoren wurde in der Folge der spezifische Energieertrag (kWh/m² Kollektorfläche) berechnet. Um eine signifikante Anzahl von Anlagen und einen relevanten regenerativen Energieertrag im Rahmen dieser Voruntersuchung betrachten zu können, wurde als Schwellwert für die Nutzbarkeit von Solarthermie ein Ertrag von 150 kWh/m² gewählt. Anlagengrößen und Standorte, die diese Anforderung erfüllen können, sind schematisch in Abbildung 16 dargestellt.

Auf diese Weise würde eine Gesamtmodulfläche von ca. 243 m² dazu verwendet werden um ca. 45.300 kWh Wärmeenergie für die Warmwasserbereitung (ca. 11%) im Areal bereitzustellen. Unter Nutzung der GEMIS-Datenbank [9] entspräche das einer CO₂-Ersparnis von ca. 11 t pro Jahr.

Aufgrund dessen, dass dadurch jedoch die zur Verfügung stehende Dachfläche für Photovoltaikanlagen sinkt, würde die Photovoltaik-Stromproduktion um ca. 29.300 kWh im Vergleich zum bereits vorgestellten Konzept (Abschnitt 3.2.1) verringert werden, was ungefähr dem jährlichen Betriebsstromverbrauchs des Schloßes entspricht. Die hierzu gehörende CO₂-Ersparnis von ca. 200 t pro Jahr würde dann auf ca. 180 t pro Jahr sinken.

In Zusammenhang mit der Umrüstung der bestehenden Kesselanlagen durch moderne Gasbrennwertgeräte würden bei Einbeziehung solarthermischer Anlagen in das Konzept natürlich auch die Einsparpotentiale der Umrüstung aufgrund des geringeren Brennstoffbedarfs seitens der Heizungsanlagen verringert werden. Insgesamt würden dadurch ca.



Abb. 16: Einsatz von Solarthermieanlagen zur Warmwasserbereitung in Quartier [10]

18.000 kWh Erdgas weniger eingespart, wodurch die kumulierte CO₂-Emissionsreduktion für Kesselumrüstung und Solarthermienutzung auf ca. 71 t pro Jahr zu beziffern ist.

Eine detailliertere Aussage über die Machbarkeit der Nutzung solarthermischer Anlagen, auch hinsichtlich der Nutzung anderer Kollektorarten (z.B. CPC-Kollektoren), wird im Rahmen der noch durchzuführenden Simulationsuntersuchungen getroffen werden können. Auch sind hierbei gesetzliche Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten bei der Auslegung mit in Betracht zu ziehen, die teilweise höhere spezifische Energieerträge derartiger Anlagen sowie kombinierte technische Lösungen für die Installation von Solarthermie (z.B. Heizungs- und Warmwasserunterstützung, Warmwasserversorgung in Nahwärmenetzen) erfordern [21].

3.3.3 Flusswasserentwärmung

Wie bereits in Abschnitt 3.2.3 beschrieben, besitzt die Gemeinde Lohmen bezüglich der Nutzung regenerativen Energien einen geostrategischen Vorteil. Sie ist an einem ganzjährig wasserführenden Fluss gelegen – der Wesenitz.

Analysiert man nun die monatlichen Mitteltemperaturen des Flusswassers, zeigt sich, dass diese in den für die Heizperiode relevanten Zeiträumen signifikant höher ist als die Lufttemperatur (Abb. 17).

Zusätzlich besitzt das Flusswasser eine signifikant größere Wärmekapazität als Luft. Aufgrund dieser höheren Wärmekapazität und der höheren Temperaturen des Wassers während der Heizperiode können Wasser-Wasser-Wärmepumpen mit einer höheren Effizienz (COP – Coefficient of Performance) als Luft-Wasser-Wärmepumpen betrieben werden. Daher bietet die Nutzung des Flusswassers als Wärmeträgermedium für die Heizenergie-

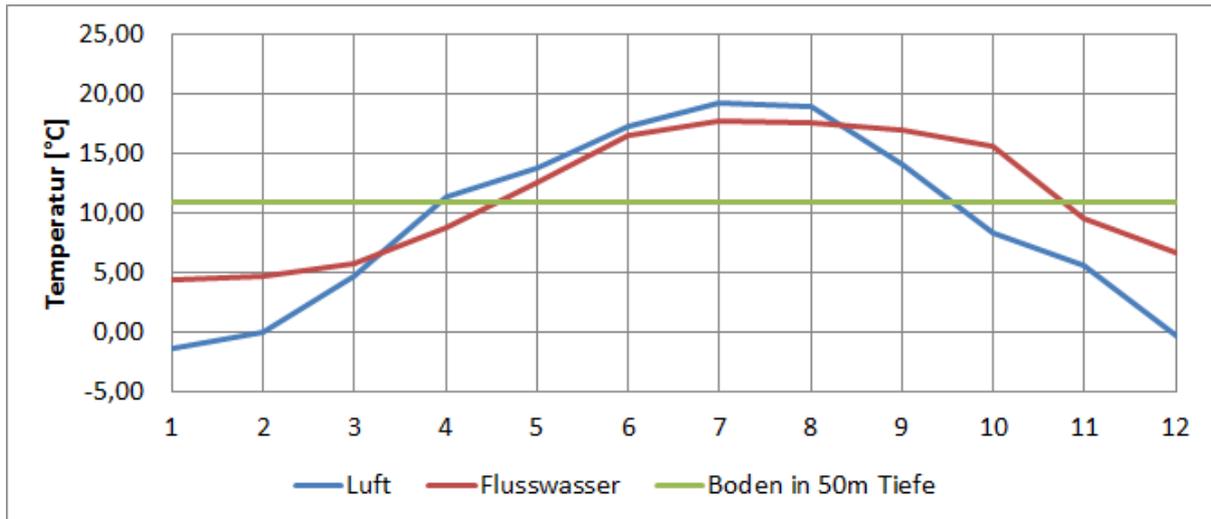


Abb. 17: Monatliche mittlere Temperaturen [22, 23, 24]

produktion eine energieeffiziente Möglichkeit, die Wärmeversorgung für das betrachtete Areal in einem Nahwärmenetz umzusetzen.

Als Randbedingung hierfür gilt, dass die für Wesenitz als Gewässer 1. Ordnung der Durchfluss über das gesamte Jahr garantiert werden muss (Unterhaltungslast). Daher darf die Temperatur des Wassers keinesfalls durch die Wärmeentnahme bis zum Gefrierbereich verringert werden [Angaben der Unteren Wasserbehörde – Landkreis Sächsische Schweiz – Osterzgebirge]. Da selbst in den kältesten Monaten die Wassertemperatur mehr als 4°C im Durchschnitt beträgt (Abb. 17), kann für die erste Abschätzung der potentiellen Wärmeentnahme eine Abkühlung um maximal 1K in Kauf genommen werden.

Gleichzeitig soll im Rahmen der ersten Potentialabschätzung nur die Heizenergieversorgung der einzelnen Gebäude betrachtet werden. Hierfür können Wärmepumpen genutzt werden, die Vorlauftemperaturen bis zu 60°C sicherstellen können. Um nun eine Potentialabschätzung der Energieeinsparung für die Anwendung dieses Prinzips erarbeiten zu können, wird darüber hinaus festgelegt, dass durch einen benötigten Wärmekollektor im Fluss lediglich 5% des Flusswassers zur Entwärmung genutzt werden sollen. Diese Annahme und die Nutzung der minimalen monatlichen Durchflussverhältnisse der Wesenitz (Abb. 11) führten laut Berechnung zum Ergebnis, dass nahezu die gesamte Wärmeenergie, die im Areal benötigt wird (zusätzlich zur potentiellen Einsparungen durch Modernisierung der Heizungsanlagen – vgl. Abschnitt 3.1.1), auf diese Weise erzeugt werden kann (ca. 1.940.000 kWh Brennstoffenergie).

Jedoch benötigt eine solche Anlagenkonfiguration aufgrund der notwendigen Hebung des Temperaturniveaus den gleichzeitigen Einsatz von Fremdenergie. Für erste Berechnungen wurde daher angenommen, dass diese Energiemengen als Elektroenergie zugeführt werden müssen (elektrische Wärmepumpe). Für die monatlich ermittelten, mittleren Quelltemperaturen (Abb. 17) wurden daher zunächst die COPs vergleichbarer Anlagen berechnet. Anhand dieser COPs konnte ein jährlicher Elektroenergiebedarf von ca. 395.000 kWh für diese Wärmepumpen berechnet werden.

Unter Nutzung der GEMIS-Datenbank [9] ergibt sich daraus eine mögliche CO₂-Ersparnis von jährlich ca. 140 t. Die generelle Anwendung und Skalierung des Systems unterliegt

weiterer, simulationsgestützter Untersuchungen. Diese erste Potentialabschätzung zeigt jedoch, dass diese Energieversorgungsvariante einen signifikanten Beitrag zu einer energieeffizienten und regenerativen Energieversorgung für das Areal beitragen kann.

In der Folge wird im Rahmen der Simulationsuntersuchungen ein solches Konzept näher detailliert und auch hinsichtlich wirtschaftlicher Gesichtspunkte bewertet. Mischsystemvarianten, die eine Kombination eines solchen Wärmepumpensystems mit anderen Energiesystemkomponenten (z.B. Blockheizkraftwerke) vorsehen, können dabei dazu führen, dass der Anteil der Heizwärmeproduktion im Areal durch solche Wärmepumpen sinkt.

3.3.4 Abwasserentwärmung

Das Prinzip der Entwärmung potentiell zur Verfügung stehender Energieträgermedien niedriger Temperaturniveaus durch Zuführung von Fremdenergie kann analog zur Flusswasserentwärmung auf das anfallende Abwasser im betrachteten Areal und der Gemeinde angewendet werden.

Dafür waren zunächst die anfallenden Abwassermengen im Areal Schloß- und Ringstraße zu untersuchen. Da hierfür keinerlei Messdaten zur Verfügung standen, wurde für die erste Abschätzung angenommen, dass das gesamte zugeführte Kalt- und Warmwasser als Abwasser zurückgeführt wird. Eine solche Annahme ist zulässig, da zur Abrechnung der Abwassermengen oftmals die Zulaufmengen genutzt werden. Analog zur Flusswasserentwärmung sind hierfür jedoch auch die vorherrschenden Temperaturverhältnisse im Abwasser interessant.

Anhand des übermittelten Anteils von verbrauchten Warm- und Kaltwasser (25% Warmwasser) wurde begründet angenommen, dass Kaltwasser mit einer Temperatur von durchschnittlich 10°C und Warmwasser mit einer durchschnittlichen Temperatur von 25°C ins Abwasser zurückgeführt wird. Anhand dieser geschätzten Verhältnisse konnte eine durchschnittliche Abwassertemperatur von 13-14°C berechnet werden. Diese Annahme kann auch durch weitere Quellen bestätigt werden [25].

Zur Abschätzung des Energieeinsparpotentials bleibt hier weiterhin als Randbedingung nennen, dass seitens des Abwasserträgers vorgeschrieben ist, dass die zu Temperatur des Abwassers nach der Entwärmung eine Temperatur von 8°C nicht unterschreiten darf. Daher wurde für die Berechnung festgelegt, dass eine Temperaturspreizung von 3K aufgrund der Erwärmung zulässig ist.

Bei Nutzung einer Wärmepumpenanlage für die Entwärmung der durchschnittlich anfallenden 14.000 m³ Abwasser pro Jahr, deren COP sich äquivalent zu den in Abschnitt 3.3.3 diskutierten Annahmen verhält, kann dadurch eine jährliche erzeugbare Wärmeenergie von ca. 63.000 kWh errechnet werden. Unter Berücksichtigung der dafür benötigten Elektroenergie von ca. 13.500 kWh kann durch Einsparung von fossilen Brennstoffen eine CO₂-Ersparnis von ca. 6,8 t pro Jahr erzielt werden.

Eine ähnliche Untersuchung wurde bezüglich der im Klärwerk Lohmen anfallenden jährlichen Abwassermengen durchgeführt. Jedoch unterliegen die hier jährlich anfallenden 89.000 m³ Abwasser aufgrund der zurückgelegten Strecken anderen Temperaturverhältnissen. Im Sommer ist laut übermittelten Daten von einer Abwassertemperatur von ca.



Abb. 18: Anbindung Klärwerk Lohmen an Quartiersversorgung über ein Nahwärmenetz [10]
 11°C auszugehen. Diese sinkt im Winter auf ca. 6°C. Für die Berechnung des regenerativen Energiepotentials wurde auch hier die Randbedingung der minimalen Abwassertemperatur von 8°C nach der Entwärmung berücksichtigt. Anhand dieser Daten konnte eine erzeugbare Wärmeenergie von ca. 145.000 kWh bei einer benötigten Elektroenergie von ca. 34.000 kWh berechnet werden. Dies würde zu einer CO₂-Ersparnis von ca. 14 t pro Jahr führen.

Beide untersuchten Konzepte bieten die Möglichkeit, das entstehende Abwasser in der Gemeinde für die Wärmeversorgung des betrachtenden Areals zu nutzen. Jedoch sind die potentiellen Ersparnisse vergleichsweise klein, wodurch eine wirtschaftliche Umsetzung eines hierfür benötigten Nahwärmenetzes als nicht praktikabel erscheint. Dies erschließt sich im Besonderen, da für die Anbindung der im Klärwerk aus dem Abwasser erzeugten Heizwärme an das Arealnetz Schloßstraße/Ringstraße eine Nahwärmleitung von ca. 1 km zu errichten wäre.

Die Nutzung der Abwasserwärme in näheren Umkreis der Kläranlage hingegen, zum Beispiel zur Bereitstellung der Wärmeenergie für die Trocknung von Biomasse (Abschnitt 3.2.4), könnte jedoch eine wirtschaftliche Alternative bieten.

3.3.5 Zentrale Kraft-Wärme-Kopplungsanlage

Eine weitere Möglichkeit, die Wärmeenergieversorgung im Areal energieeffizient unter Nutzung eines Nahwärmenetzes zu gestalten, bietet die Nutzung einer zentralen Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (Blockheizkraftwerk – BHKW).

Grundlage der effizienten (wirtschaftlichen) Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ist eine möglichst lange Betriebsdauer. Auf diese Weise kann ein Großteil des benötigten Strombedarfs gedeckt und sogar noch Energie in das Netz eingespeist werden. Anders als bei Photovoltaik-Anlagen bestehen heute noch gute Möglichkeiten der Förderung solcher Anlagen, sei es durch Einspeisevergütungen, Mineralölsteuererstattungen oder Eigennutzungsförderungen. Demzufolge besteht der ausschlaggebende Auslegungsgrundsatz hierin, dass die produzierte Wärmeenergie möglichst sofort im angeschlossenen Areal verbraucht oder in lokalen Speichern kurzzeitig gespeichert werden können muss.

Um nun möglichst lange Betriebszeiten (mehr als 6000 h pro Jahr) des zu dimensionierenden BHKWs sicherstellen zu können, ist es daher sinnvoll, den sommerlichen Wärmebedarf als Grundlage für die Bestimmung der zu erzeugenden Wärme in diesen Monaten zu ermitteln.

Hierzu bestehen nun zwei Möglichkeiten. Einerseits kann als Grundlage nur der über das Jahr nahezu konstante Bedarf an Wärmeenergie für die Warmwasserbereitung genutzt werden. In diesem Fall würden sich für ein adäquates BHKW mit ca. 8000 h Betriebszeit im Jahr folgende Kennwerte ergeben (mit [26]):

- Wärmeerzeugung BHKW: ca. 255.000 kWh
- Leistungsklasse BHKW: ca. 30 kW
- Elektroenergieerzeugung: ca. 128.000 kWh (Stromkennzahl: 0,5)
- Kraftstoffenergie BHKW: ca. 450.000 kWh (Wirkungsgrad BHKW 85%)
- CO₂-Ersparnis: ca. 51 t / Jahr

Darüber hinaus kann ein solches BHKW größer dimensioniert werden, wenn zusätzlich zum ganzjährigen Warmwasserbedarf ein Teil des Wärmebedarfs eines Gebäudes (z.B. des Schulkomplexes) mit abgedeckt werden soll. Für ein derartiges BHKW mit ca. 7000 h Betriebszeit pro Jahr würden sich folgende Kennwerte ergeben:

- Wärmeerzeugung BHKW: ca. 425.000 kWh
- Leistungsklasse BHKW: ca. 60 kW
- Elektroenergieerzeugung: ca. 213.000 kWh (Stromkennzahl: 0,5)
- Kraftstoffenergie BHKW: ca. 750.000 kWh (Wirkungsgrad BHKW 85%)
- CO₂-Ersparnis: ca. 85 t / Jahr

Alles in allem bietet eine Zentrale Kraft-Wärme-Kopplungsanlage eine effiziente Möglichkeit Heizenergie für das betrachtete Areal zu erzeugen und gleichzeitig einen Beitrag für die Deckung des hier entstehenden Strombedarfes zu liefern.

3.3.6 Geothermie

Die Nutzung von Geothermie stellt genauso wie die Nutzung des Flusswassers (vgl. Abschnitt 3.3.3) eine energieeffiziente und umweltfreundliche Möglichkeit, Umweltwärme für die Wärmeenergieerzeugung im betrachteten Areal Schloß- und Ringstraße in Lohmen zu nutzen. Auch hierfür werden Wärmepumpenanlagen zur Hebung der niedrigen Temperaturniveaus verwendet.

Analog zur Verwendung von Flusswasser als Wärmequelle besteht bei der Nutzung der Vorteil, dass das Temperaturniveau des Bodens (vgl. Abb. 17) in den für die Heizperiode

relevanten Zeiträumen höher ist als das der Luft, wodurch ein deutlich höherer COP der genutzten Wärmepumpenanlagen erreicht werden kann. Gegenüber Flusswasser ist die Bodentemperatur während der Heizperiode in der durchschnittlich genutzten Tiefe sogar deutlich höher.

Abbildung 19 zeigt, dass die Bodenstruktur in Lohmen [Angaben des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)] überwiegend verschiedene Sandsteinschichten (Pirnaer Oberquader) aufweist. Gleichzeitig ist ersichtlich, dass in Bodennähe keinerlei grundwasserführende Schichten vorhanden sind, wodurch die Nutzung von Grundwasser als Wärmequelle aus wirtschaftlich/technischen Gesichtspunkten ausgeschlossen werden kann.

Ansonsten weisen die übermittelten Daten keinerlei Gründe aus, die eine Nutzung von



Abb. 19: Bodenstruktur unterhalb der Gemeinde Lohmen

Geothermie für das betrachtete Areal ausschließen. Es sind hier keinerlei Trinkwasserschutz-zonen und Heilquelleneinzugsgebiete zu beachten.

Um nun die aus dem Boden entnehmbaren Wärmemengen quantifizieren zu können, ist es notwendig die nutzbare Wärmeentzugsleistung des vorliegenden Bodenprofils (Abb. 19) zu ermitteln. Hierfür liegen seitens des SMUL noch keine geothermischen Karten bereit. Auch ist eine pauschalierte Berechnung der Wärmezugsleistung nicht möglich. Wichtig bei dieser Berechnung ist, dass die Anlagen so dimensioniert werden, dass die Frostfreiheit der Anlage über 25-50 Jahre garantiert werden kann. Für eine erste Abschätzung des Potentials muss dies noch nicht durch einen zertifizierten Fachbetrieb durchgeführt werden, jedoch müssen die bestehenden Gegebenheiten in den Berechnungen beachtet werden.

Wie bereits beschrieben besteht der Untergrund Lohmens größtenteils aus Sandstein (Wärmeleitfähigkeit=2,3W/mK). Unter Nutzung der GTK 50 -Formel [27] wurde zunächst anhand der Wärmeleitfähigkeit von Sandstein eine nutzbare Entzugsleistung von ca. 54 W/m Sondentiefe berechnet. Dieser Wert bezieht sich auf die Nutzung der Geothermie für ca. 1800 h pro Jahr, also nur der Nutzung für die Bereitstellung von Heizwärme. Eine andere Nutzung, z.B. für ganzjährige Warmwasserbereitung oder Wärmeeintrag durch Kühlbetrieb, würden diese realisierbare Entzugsleistung weiter verringern können. Aus diesem Gründen soll in den folgenden Abschätzungen auch nur die Einsparung von Heizenergie, erzeugt durch die bestehenden Kesselanlagen, diskutiert werden.

Für die Berechnung wurde eine maximale Sondentiefe von 90 m genutzt, da Bohrungen tiefer als 100 m gesonderte Genehmigungsverfahren nach sich ziehen würden [Angaben des LfULG]. Der COP der zu verwendenden Wärmepumpen wurde für die bereits skizzierten mittleren Bodentemperaturverhältnisse für handelsübliche Geräte abgeschätzt (COP=4,2).

Aus der Abschätzung ergab sich, dass mit ca. 140 Sonden ca. 1.940.000 kWh Heizenergie erzeugt werden können. Dies würde einen Strombedarf von ca. 380.000 kWh für den Betrieb der Wärmepumpen hervorrufen. Damit könnte der Heizwärmebedarf des Areals (unter Einbeziehung der potentiellen Einsparungen durch Modernisierung der Heizungsanlagen – vgl. Abschnitt 3.1.1) nahezu vollständig gedeckt werden. Dabei wäre eine CO₂-Ersparnis von ca. 150 t pro Jahr erreichbar.

Jedoch verursacht diese doch vergleichsweise hohe Sondenzahl erhebliche Investitionskosten (ca. 25 €/m). Auch wird für die große Anzahl an Sonden eine relativ große Fläche benötigt (ca. 7800 m²). Dies wird dadurch bedingt, dass die einzelnen Sonden mindestens 7-10 m voneinander entfernt installiert werden müssen, um eine gegenseitige thermische Beeinflussung ausschließen zu können.

All diese Tatsachen zeigen, dass Geothermie zwar für die Versorgung des Areals mit Heizenergie durchaus als Alternative angesehen werden kann. Die wirtschaftliche Machbarkeit kann jedoch erst durch eine erste Kostenrechnung überprüft werden. Hier bestehen u.U. auch Möglichkeiten Mischvarianten, die nur eine teilweise Versorgung des Areals mit Heizenergie aus Geothermie, zu untersuchen. Es lässt sich jedoch schon absehen, dass ein wirtschaftlicher Einsatz einer solchen Anlagenkonfiguration ohne Zuhilfenahme von Fördermitteln nur schwer möglich ist, wodurch die Betrachtung dieser Varianten in den nachfolgenden Untersuchungen eher eine untergeordnete Rolle spielen wird.

3.4 Variantenauswahl und erste Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Nachdem die Versorgungsnetze und Medienträger sowie die bestehenden Energieverbräuche im Areal Schloß- und Ringstraße in Lohmen erfasst und existierende Potentiale zur Energieverbrauchsreduktion und Nutzung regenerativer Energien diskutiert wurden, erfolgt im Rahmen dieses Abschnitts die Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse durch eine Klassifizierung von Systemvarianten, die im Rahmen simulationsgestützter Untersuchungen und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen näher betrachtet werden sollen.

3.4.1 Politische Rahmenbedingungen

Die Steigerung der Energieeffizienz in der Gebäudetechnologie sowie die Förderung der energetischen Sanierung von Gebäuden stehen im Fokus des politischen Handels der Bundesregierung und der Sächsischen Landesregierung. Hierzu sind bereits eine Vielzahl von Fördermöglichkeiten geschaffen worden, die die Umsetzung solcher Maßnahmen vereinfachen sollen.

Die Bundesregierung und das Land Sachsen verfolgen dabei ähnliche Ziele, die durch Vorgaben für Energieeinsparziele manifestiert werden. Die Bundesregierung hat dafür für den Primärenergiebedarf der Gebäude festgelegt, dass dieser für Gebäude bis zum Jahr 2020 um 20% und 2050 um 50% gegenüber dem Jahr 1990 gesenkt werden soll. Ähnliches wird hinsichtlich der CO₂-Emissionseinsparung proklamiert. Hier werden Einsparungen um 55% bis 2030, um 70% bis 2040 und um 80% bis zum Jahr 2050 gegenüber den Vergleichswerten von 1990 (Ausgangspunkt: 77,1 kg CO₂/m²a) angestrebt [28].

Die Sächsische Landesregierung dagegen hat ihre Ziele im Jahr 2012 bezüglich des Jahres 2010 festgelegt [29]:

- Anteil des Stromes aus KWK-Anlagen am Bruttostromverbrauch soll auf 30% erhöht werden
- Energieproduktivität soll für Kleinverbraucher um durchschnittlich 1,5% pro Jahr erhöht werden
- Energieverbrauch in Haushalten soll um 15%, speziell der Verbrauch an fossilen Brennstoffen in Haushalten soll um 25% gesenkt werden
- Heizenergieverbrauch der staatlichen Liegenschaften soll um 18% gesenkt werden
- Potentiale zur Energieeinsparung in Kommunen und privaten Haushalten soll weiterhin kontinuierlich erschlossen werden

Diese leicht unterschiedlichen Zielstellungen rühren unter anderem daher, dass in den neuen Bundesländern in einer ersten Sanierungswelle in den 1990er Jahren bereits eine Vielzahl von Maßnahmen durchgeführt wurden, um die energetische Bilanz der Bestandsgebäude zu verbessern.

All diese Zielstellungen beziehen sich sowohl auf Energieeinsparungen durch Steigerung der Effizienz der gebäudetechnischen Anlagen und Gebäudesanierung als auch auf eine zunehmende Nutzung regenerativer Energieträger. Diesen Zielen soll im Rahmen dieses Energiekonzepts natürlich Rechnung getragen werden.

Tabelle 9 zeigt einen Vergleich der im Rahmen der ersten Untersuchungen eruierten Möglichkeiten zur Energieeinsparung und regenerativen Energienutzung. Die verwendeten Farben bzw. Noten (grün, Schulnote 1 - sehr gut umsetzbar, rot, Schulnote 5 - nicht umsetzbar) zeigen eine Bewertung der Umsetzbarkeit der einzelnen Maßnahmen auf Grund der erzielten Untersuchungsergebnisse (Kap. 2 und 3).

Tab. 9: Vergleich einsetzbarer Maßnahmen

<i>Maßnahme</i>	<i>Einsetzbarkeit</i>	<i>Grund</i>
Anlageninstandsetzung und -modernisierung	1	Einfach umsetzbar, kosteneffizient
Regelung/Ersetzung elektrischer Verbraucher	1	Einfach umsetzbar, kosteneffizient
Kesselumrüstung	2+	Mittlerer Kostenaufwand, vgl. geringe Einsparung
Photovoltaik	2	Hoher Kostenaufwand, hohe Stromeinsparung
Solarthermie	3+	Effizienter Ertrag erfordert innovatives Systemkonzept
Windkraft	5	Abgelehnt seitens Landkreis und Gemeinde
Wasserkraft	1-	Anlagen bereits vorhanden, Netzanbindung
Geothermie	4	Hoher Kostenaufwand auf Grund großer Sondenzahl
Flusswärme	2	Mittlerer Kostenaufwand, vgl. hohe Einsparungen
Biomasse	3-	Vgl. geringer Verfügbarkeit, Distanz
Abwasserwärme	3-	Vgl. geringer Verfügbarkeit, Distanz
Kraft-Wärme-Kopplung	1-	Hohe Stromeinsparungen, Nahwärmenetz notwendig

Auf Grund der in Tabelle 9 gezeigten Einsetzbarkeit der untersuchten Maßnahmen wurden fünf relevante Systemvarianten entworfen, die im Rahmen der nächsten Abschnitte bezüglich der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zum Bestandssystem untersucht werden sollen. Diese dienen dann in der Folge auch als Vorlage für Detailuntersuchungen unter Nutzung der Simulationsumgebung „Green Building“.

3.4.2 Kostenstruktur im Bestand

Im Rahmen der Untersuchung der derzeitigen Energieverbräuche im betrachteten Quartier (Kapitel 2) konnten folgende Gas- und Stromverbräuche für das gesamte Gebiet festgestellt werden:

- Gasverbrauch: 2.714.000 kWh pro Jahr
- Stromverbrauch: 588.000 kWh pro Jahr (inkl. aller Haushalte)

Diese ermittelten Energiemengen werden jedoch durch die einzelnen Parteien teilweise von unterschiedlichen Anbietern (vgl. Kapitel 2) und zu teilweise stark unterschiedlichen Konditionen bezogen, wodurch sich die in Abbildung 20 ersichtliche Kostenstruktur für das Areal ergibt.



Abb. 20: Kostenstruktur des betrachteten Areals [10]

Abbildung 20 zeigt die für das Jahr 2012 ermittelten Preise für Betriebsstrom und Erdgas zugeordnet zu den einzelnen Parteien bzw. Gebäudekomplexen. Es ist ersichtlich, dass die Betriebsstrompreise in den Gebäuden der Ringstraße bzw. der Schloßstraße 10-17, d.h. die Preise, die seitens der Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen für den Betriebsstrom gezahlt werden müssen, verhältnismäßig hoch sind. Dahingegen sind die seitens der Gemeinde zu zahlenden Strompreise für den Betriebsstrom des Schulkomplexes ca. 40% niedriger. Für alle Haushalte wurde im Vergleich ein derzeitiger Preis von ca. 25 ct./kWh angenommen, was den aktuellen marktüblichen Verhältnissen entspricht.

Für den Erdgasankauf sind ähnliche Unterschiede bei den Preisen für die einzelnen Parteien festzustellen. Herauszustellen bleibt hier die aktuellen Kosten (2012) für Erdgas, der seitens der Gemeinde für den Schulkomplex zu zahlen ist. Dieser Preis von ca. 8 ct./kWh liegt ca. 30% über den minimal im Quartier zu zahlenden Erdgaspreisen. Er rührt wahrscheinlich daher, dass ein Mischpreis für Heizenergieversorgung und Küche hier sei-

tens des Anbieters veranschlagt wird, da sich im Schulkomplex nur ein Gaszähler befindet. Dieser Mischpreis führt jedoch zu insgesamt höheren Kosten, da die Heizenergie einen Großteil des verbrauchten Erdgases beansprucht (siehe Abschnitt 2.3).

Um mögliche Veränderungen der Energieversorgungsinfrastruktur und Sanierungsmaßnahmen ökonomisch bewerten zu können, ist es notwendig die Entwicklung der Energiekosten über einen längeren Zeitraum zu betrachten. Als geeigneter Zeitraum können hier die nächsten 20 Jahre betrachtet werden, da Energieversorgungsanlagen für Gebäude üblicherweise eine solche Einsatzdauer besitzen und eventuell anstehende Investitionen über einen derartigen Zeitraum auch finanzierbar sind. Des Weiteren sind die resultierenden Preis über den zu betrachtenden Zeitraum zu mitteln und auf ein gemeinsames Bezugspotential zu beziehen. Als Bezugspotential soll hierbei die gesamt Gebäudenutzfläche des betrachtenden Areals von ca. 24.125 m² verwendet werden.

Geht man nun von aktuell üblichen jährlichen Preissteigerungsraten von 5,0% für Strom und 4,5% für Erdgas aus, ergeben sich für die nächsten 20 Jahre mittlere Stromkosten von 10,13 €/m² und mittlere Erdgaskosten von ca. 12,64 €/m². Alles in allem fallen für das gesamt Areal jährliche Energie- und Unterhaltungskosten von ca. 550.000 € an.

Die in der Folge untersuchten alternativen Systemvarianten werden in den folgenden Abschnitten inklusive aller entstehenden Investitions-, und Nebenkosten (u.a. Anlagenwartung und Versicherung) sowie nutzbaren Fördermöglichkeiten und Vergütungen bezüglich der gleichen Annahmen (Preissteigerungen) und Bezugsgrößen analysiert. Dabei werden jährliche Wartungs- und Versicherungskosten anlagenspezifisch prozentual zur veranschlagenden Investitionssumme berechnet. Für Investitionen gelten folgende Berechnungsgrundlagen:

- Investition < 10.000 €: Direkte Finanzierung ohne Verzinsung
- Investition < 100.000 €: Darlehensverzinsung von 3% p.a. und 12 Jahre
- Investition > 100.000 €: Darlehensverzinsung von 3% p.a. und 20 Jahre

3.4.3 Variante 1: Einfache Modernisierungsmaßnahmen

Die erste Energieversorgungssystemvariante gilt als erste Vergleichsvariante für weiterführende Ideen und beinhaltet einfache Anlagensanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen, die schnell und verhältnismäßig einfach umzusetzen sind und dabei nur einen geringen Kostenaufwand verursachen.

Folgende Maßnahmen werden hierbei ergriffen bzw. Tätigkeiten werden durchgeführt:

- Anpassung der Begleitheizungsregelung in den Gebäuden Schloßstr. 1-9
- Umrüstung und Modernisierung des Hauslichts (evtl. auch Straßenbeleuchtung)
- Aufteilung der Gaszählung im Schulgebäude
- Modernisierung und Instandsetzung der bestehenden Heizungsanlagentechnik

Detaillierte Arbeitsschritte zu diesen einzelnen Maßnahmen wurden bereits in Abschnitt 3.1 beschrieben. Ebenfalls wurden hier die entsprechenden Einsparpotentiale aufgezeigt. All diese Maßnahmen gelten auch als Basis für weiterführende Systemkonzepte, die in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

Zusätzlich zu diesen technischen Maßnahmen, die mehrere Einzelinvestitionen in einem Gesamtumfang von ca. 120.000 € erfordern (siehe Anlage 4), sollen im Rahmen dieser Variante auch noch die Auswirkungen einer gemeinsamen Energieeinkaufspolitik/-strategie der Partner Gemeinde Lohmen, Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen und Eigentümergemeinschaft Schloßstraße 1-9 betrachtet werden. Das heißt, geht man von einem gemeinsamen aktuellen Einkaufspreis von 25 ct./kWh für Strom und 6 ct./kWh Erdgas aus, können bezüglich der in Abbildung 20 gezeigten Kostenstruktur weitere Einsparpotentiale gehoben werden. Hierfür sind natürlich entsprechende Sanierungsmaßnahmen, wie der Einbau eines zweiten Gaszählers im Schulkomplex essentiell.

Aus all diesen Maßnahmen und den in Kapitel 3 gezeigten Einsparungsmöglichkeiten ergeben sich unter Verwendung der Annahmen in Abschnitt 3.4.2 folgende mittlere jährliche, im Folgenden aufgeführte Energiekosten. Diese ergeben sich aus dem Quotienten aus resultierenden Energieverbräuchen (Strom und Gas separat) und der Gesamtnutzfläche des betrachteten Quartiers. Entsprechend notwendige Investitionen werden bezüglich ihrer Abschreibungszeit auf die entsprechenden Energiearten angerechnet. Die mittleren Kosten ergeben sich unter Beachtung von angenommenen Preissteigerungsraten als Mittelwert über die nächsten 20 Jahre:

- Strom: 9,87 €/m²a
- Erdgas: 10,21 €/m²a

Die daraus errechneten mittleren, jährlichen Gesamtkosten von ca. 484.500 €/a entsprechen einer Kostenersparnis von ca. 12 % pro Jahr gegenüber dem Bestandssystem.

3.4.4 Variante 2: Basiskonzept Kesselumrüstung

Die bestehende Energieversorgungsinfrastruktur im betrachteten Areal besteht größtenteils aus Niedertemperatur-Gaskesseln, die zwischen 1994 bis 1999 eingebaut und in Betrieb genommen wurden. Bei einer mittleren Lebensdauer solcher Anlagen von ca. 20 – 25 Jahren ist es ersichtlich, dass die Anlagen mittelfristig durch neue Anlagen zu ersetzen sind. Daher stellt diese Systemvariante ein erstes Basiskonzept für eine langfristige Planung dar.

Hierbei werden die zwölf bestehenden Kesselanlagen in den einzelnen betrachteten Gebäuden eins zu eins durch moderne Gasbrennwertgeräte ersetzt und die bestehende Heizungs- und Warmwasserversorgungsstruktur weiterverwendet. Lediglich die unter Abschnitt 3.4.3 aufgezeigten Modernisierungsmaßnahmen werden ebenfalls durchgeführt um die entsprechenden Einsparpotentiale ebenfalls ausnutzen zu können.

Um die Maßnahme des Einsatzes der Brennwerttechnik effizient durchführen zu können, sind maximale Vorlauftemperaturen von 55°C erstrebenswert. Diesbezüglich gilt es zu untersuchen, ob die vorhandenen Heizkörper und das vorhandene Rohrleitungssystem auf diese neuen Systemparameter umgestellt werden können. Dabei mussten folgende Arbeiten durchgeführt werden:

1. Bestimmung der Heizlast vor der bautechnischen Sanierung der Gebäude
2. Bestimmung der Heizlast nach der bautechnischen Sanierung der Gebäude
3. Überprüfung der vorhandenen Heizkörper

Im Rahmen der Konzepterstellung wurden diese Arbeiten stichprobenhaft durchgeführt. Dazu wurde eine Eckwohnung im Erdgeschoss des Gebäudes der Ringstraße 8 ausgewählt (siehe Grundriss Anhang A11), da diese aufgrund ihres Wärmeverlustes an den Keller und mehrerer Außenwände sowie lagebedingter, geringer solarer Einstrahlung potentiell einen hohen Wärmebedarf hat. Wie in Anhang A11 aufgezeigt, wurde für die Wohnzimmer eine Raumtemperatur von 22°C und für das Bad von 24°C angenommen.

Tab. 10: Berechnete Heizlasten vor und nach der Sanierung

Raumbezeichnung	Heizlast vor Sanierung (W)	Heizlast nach Sanierung (W)
Wohnzimmer groß (Raum 131)	2348	1123
Wohnzimmer klein (Raum 135)	1710	819
Bad (Raum 133)	821	500

Für die installierten Heizkörper in den einzelnen Räumen der ausgewählten Wohnung (siehe Anhang A11) konnten folgende Wärmeabgabeleistungen für ein Vorlauf-/ Rücklaufverhältnis von 55°C/45°C ermittelt werden.

Tab. 11: Wärmeabgabe der Heizkörper

Raumbezeichnung	Heizkörper	Wärmeabgabe mit 55°C/45°C (W)
Wohnzimmer groß (Raum 131)	22-D-600-1600	1387
Wohnzimmer klein (Raum 135)	33-DKEK-600-800	978
Bad (Raum 133)	22-DK-600-800	693

Daraus wird deutlich ersichtlich, dass die bestehenden Heizkörper bei geringerer Vorlauf-temperatur die notwendige Heizleistung zur Erfüllung der Heizlast abgeben können.

Darüber hinaus galt es, das bestehende Rohrleitungssystem überschlägig bezüglich der neuen Anforderungen zu überprüfen. Die Heizlast des beispielhaft gewählten Gebäudes (Ringstr. 6-8) verringerte sich in Folge der bautechnischen Sanierungsmaßnahmen in den 1990er Jahren auf rund 80 kW (vgl. Abb. 6). Jedoch haben die im Objekt montierten Heizkörper eine Gesamtheizleistung von 140 kW bei einem Vorlauf- / Rücklaufverhältnis von 80°C/60°C.

Aus dem Verhältnis der Heizleistungen (140 kW zu 80 kW) zu den Temperaturspreizungen (20 K auf 10 K) vor und nach der Sanierung ergibt sich unter Nutzung von:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Ein Massenstromverhältnis durch die Systemveränderung von:

$$\frac{m_1}{m_2} = 7/8$$

Der Volumenstrom würde also in den Rohrleitungen nach der Umrüstung um ca. 12,5 % steigen. Diese Veränderung ist ohne Probleme umsetzbar. Eine neue Voreinstellung der einzelnen Heizkörper im Rahmen des hydraulischen Abgleiches ist dabei natürlich obligatorisch.

Für die Ersetzung der Kesselanlagen fallen insgesamt ca. 370.000 € Investitionskosten an (Anlage 4), die zusätzlich zu den für die Modernisierungsmaßnahmen benötigten Kosten erbracht werden müssen. Die einzelnen Kesselanlagen werden so ausgelegt, dass sie den Grundsätzen einer optimalen Systemauslastung (vgl. Abschnitt 2.3.3) genügen.

Unter Einbeziehung der Ergebnisse der erzielbaren Energieeinsparungen bei der Kesselumrüstung (vgl. Abschnitt 3.3.1) und entsprechend veranschlagten jährlichen Wartungs- und Versicherungskosten ergeben sich unter den bereits getroffenen Annahmen im Folgenden aufgezeigte mittlere jährliche Kosten. Diese beinhalten ebenfalls anteilig an der betrachteten Energieform, bestehende Förder- und Vergütungsansprüche (z.B. Wärmepumpeninvestitionsförderung, BHKW-Stromvergütung):

- Strom: 9,87 €/m²a
- Erdgas: 10,45 €/m²a

Aufgrund dessen, dass die die Umrüstung bestehender Kesselanlagen keinen oder allenfalls geringsten Einfluss den Stromverbrauch im Areal hat, können hierfür keine weiteren Kosten- und Energieeinsparungen erzielt werden. Die Erdgaskosten dagegen sind geringfügig höher als in Variante 1 (Abschnitt 3.4.3), da hier die vergleichsweise hohen Investitionskosten für die Kesselumrüstung mit bilanziert werden müssen. Da diese Variante als Einzelhausversorgungsvariante eine erste Möglichkeit liefert, die Energieversorgung für das Areal langfristig zu sichern, sind hier kleinere Energiekostensteigerungen akzeptabel. Trotz allem sind gegenüber den derzeitigen jährlichen Energiekosten mit hierfür benötigten 490.300 €/a im Mittel noch Einsparungen von ca. 11 % zu erzielen.

3.4.5 Variante 3: Lokale Nahwärmenetze mit regenerativer Stromerzeugung

Diese Systemvariante stellt ein erstes Konzept für eine regenerative, nachhaltige Energieversorgung des betrachteten Areals dar. Basis des Konzept bildet die Heizenergieversorgung wiederum mit neuen Gasbrennwertkesseln dar.

Im Gegensatz zur Ersetzung der einzelnen bestehenden Kesselanlagen in Abschnitt 3.4.4, bei der in einzelnen Gebäuden teilweise auch kleinere, ineffizientere und vergleichsweise kostenintensivere Anlagen verbaut werden, soll bei dieser Variante einzelne Gebäudegruppen mit einer gemeinsamen Kesselanlage versorgt werden (schematisch dargestellt in Abb. 21). Hierbei werden zwischen den einzelnen Gebäuden sogenannte lokale Nah-

wärmenetze gebildet, die den Verbau und die Ausnutzung größerer Kesselanlagen erfordern, jedoch aber die Anlagenanzahl deutlich reduzieren. Statt der zwölf bestehenden Kesselanlagen werden dabei nur fünf Anlagen mit ca. 1 MW Anschlussleistung eingesetzt, um die Heizenergieversorgung zu sichern.

Zusätzlich zu den zu verwendenden Gasbrennwertkesseln werden optimal ausgerichtete solarthermische Anlagen zur Warmwasserbereitstellung in der Übergangszeit und im Sommer eingeplant. Um hierbei etwaige Förderrichtlinien [21] einhalten zu können, wird zunächst für die in Abschnitt 3.3.2 ermittelten besten Anlagenstandorte angenommen, dass diese durch innovative Systemlösungen (Anpassung Speichergröße, Versorgung mehrerer Gebäude, Heizungsunterstützung, etc.) den jährlichen Mindestertrag 350 kWh/m² Modulfläche erbringen. Damit ließen sich kosteneffizient weitere Energiekosteneinsparungen erzielen. Genauere Untersuchungen zu adäquaten Systemkonfigurationen und deren Machbarkeit erfolgt im Rahmen der anstehenden Simulationsuntersuchungen.

Die restlichen Dachflächen werden, insofern sie adäquate solare Energieerträge ermöglichen (vgl. Abschnitt 3.2.1), mit Photovoltaikanlagen ausgerüstet. So ist eine regenerative Versorgung mit Wärme und Strom durch ein solches Konzept möglich.

Weiterhin wird ein großes, zentrales Blockheizkraftwerk (60 kW thermische Nennleistung) zur Erzeugung von Strom und Wärme im Heizungskeller des Schulgebäudes aufgeplant. Dieses soll den als nahezu konstant anzusehenden Warmwasserbedarf des Areals zusätzlich zu den Solarthermieanlagen decken und dazu einen Teil der benötigten Wärme für den Schulkomplex bereitstellen.

Die gesamten Investitionskosten für ein derartiges Konzept würden sich inklusive der in Abschnitt 3.4.3 vorgestellten Modernisierungsmaßnahmen auf ca. 1.250.000 € belaufen (Anlage 4). Ein Großteil dieser Investition beinhaltet dabei jedoch die Installation der Photovoltaik-Anlagen. Eine detaillierte Untersuchung der optimalen Anlagengröße erfolgt dann ebenfalls im Rahmen der nachfolgenden Simulationsuntersuchungen.



Abb. 21: Systemvariante 3 mit lokalen Nahwärmenetzen, Photovoltaik, Solarthermie und zentralem BHKW im Schulgebäude [10]

Unter Einbeziehung der Ergebnisse der erzielbaren Energieeinsparungen und anlagenspezifisch veranschlagten jährlichen Wartungs- und Versicherungskosten ergeben sich unter den bereits getroffenen Annahmen folgende mittlere jährliche Kosten:

- Strom: 4,82 €/m²a
- Erdgas: 10,69 €/m²a

In diesen Kosten schlagen sich die vergleichsweise hohen Investitionskosten nieder. Jedoch sind gerade bei den Stromkosten auf Grund der hohen lokalen Stromproduktion (Photovoltaik, Kraft-Wärme-Kopplung) erhebliche Einsparungen möglich. Die Erdgaskosten bewegen sich dabei im Bereich von Variante 2 (vgl. Abschnitt 3.4.4), da unter Verwendung von Erdgas auch Strom durch das BHKW erzeugt wird.

Die jährliche Gesamtkosten dieser Systemvariante würden sich unter Einbeziehung aller einmaligen und laufenden Kosten auf ca. 368.500 €/a belaufen. Dies entspräche einer Einsparung von ca. 33 % gegenüber dem Bestandssystem.

3.4.6 Variante 4: Nahwärmenetzversorgung mit Wärmepumpen und BHKW

Die vierte Systemvariante beinhaltet ein innovatives Konzept zur Heizenergieversorgung des Areals. Dabei soll das Wasser der naheliegenden Wesenitz als Wärmequelle für eine Wärmepumpenkaskade (Nennwärmeleistung 4x100 kW) genutzt werden (vgl. Abschnitt 3.3.3). Die Wärmeversorgung der Gebäude wird dann über ein Nahwärmenetz durchgeführt. Die Zuführung des benötigten Flusswassers zu den Wärmepumpen erfolgt über vier parallel betriebene Pumpen (4x 90 m³/h, 40 m Höhenunterschied). Der daraus resultierende Mehrverbrauch an Strom (ca. 56.000 kWh/a) kann ebenfalls teilweise regenerativ

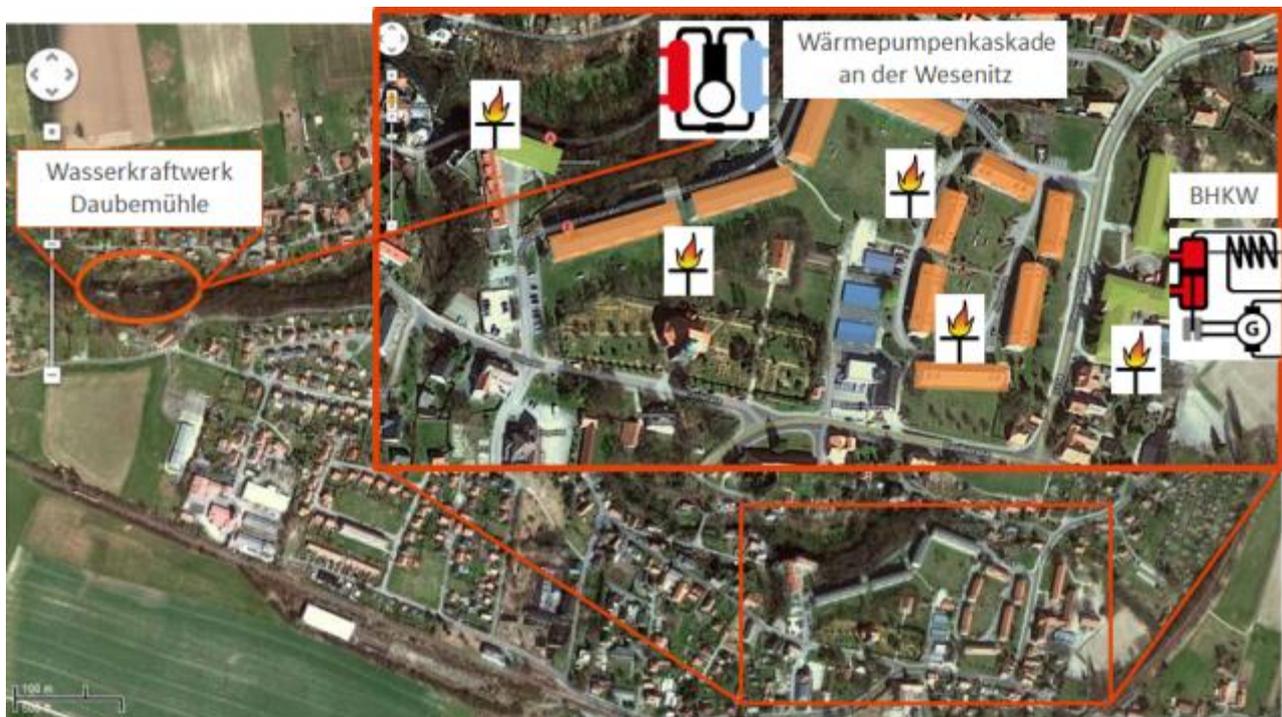


Abb. 22: Systemvariante 4 mit Nahwärmenetzversorgung aus einer Wärmepumpenkaskade, zentralem BHKW und Spitzenlastkesseln [10]

gedeckt werden (z.B. Wasserkraft).

Parallel dazu soll im Rahmen dieser Versorgungsvariante der sommerliche bzw. Übergangszeitliche Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung in den einzelnen Wohngebäuden durch ein zentrales Blockheizkraftwerk (vgl. Variante 3 - Abschnitt 3.4.5) im Schulgebäude (60 kW thermische Nennleistung) gedeckt werden. Zusätzlich versorgt wird das Areal wiederum über zentrale Spitzenlastgasbrennwertkessel (ca. 680 kW Heiznennleistung), die die benötigte Wärme in Zeiten hohen Heizenergiebedarfs (bei Tagesdurchschnittstemperaturen unter -3°C) sicherstellen.

Zur Gewinnung von Wärme aus der Wesenitz wird seitens der Wärmepumpen Fremdenergie benötigt. Diese wird bei vielen Geräten dieser Art elektrisch bereitgestellt. Diese vergleichsweise hohen, benötigten Strommengen aus dem Verbundenergienetz darzustellen verursacht jedoch hohe Kosten und mindert den ökologisch-positiven Effekt einer solchen Anlage. Jedoch bestehen auf dem Gebiet der Gemeinde Lohmen bereits drei funktionstüchtige Wasserkraftwerke, die bereits Strom dezentral erzeugen (Abschnitt 3.2.3). Eines dieser Kraftwerke, das Wasserkraftwerk Daubemühle, ist sogar im Gemeindebesitz. Es produziert über das Jahr im Mittel so viel Strom, das der gesamte Bedarf der Wärmepumpenkaskade gedeckt werden könnte. Daher bietet es sich für das betrachtete Areal an, den produzierten Strom des Wasserkraftwerks für die Bereitstellung von Heizenergie zu nutzen.

Seitens der zuständigen unteren Wasserbehörde (Landratsamt LK Sächsische Schweiz / Osterzgebirge – Geschäftsbereich 3 – Abteilung Umwelt / Referat Gewässerschutz) ist ein solches Vorhaben der Wassernutzung der Wesenitz auch genehmigungsfähig. Es fallen dabei seitens, nicht wie bei Nutzung der Wasserkraft üblich, keine zusätzlichen Gebühren wie z.B. ein „Wasserpfeinig“ an. Aufgrund der Größe der vorhandenen Flutrinne ist das entnommene Wasser der Wesenitz jedoch direkt am Entnahmepunkt wieder zuzuführen. Die prognostizierte Abkühlung stellt dagegen gewässertechnisch kein Problem dar.

Bei der Planung der benötigten Entnahmestelle für das Wasser im Flussbereich ist darauf zu achten, dass der Hochwasserschutz gewährleistet bleibt und der Gewässerrandstreifen (5m am Fluss) nicht verändert wird. Aus diesen Gründen ist ein Bau der Entnahmestelle im Erdboden zu favorisieren. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass etwaige Genehmigungen für die Nutzung anliegender Grundstücke rechtzeitig eingeholt werden.

Die gesamten Investitionskosten für dieses Konzept würden sich inklusive der in Abschnitt 3.4.3 vorgestellten Modernisierungsmaßnahmen auf ca. 935.000 € belaufen (Anlage 4 - WWP1100X). Dabei stellt sich als erheblicher Vorteil heraus, dass das zu nutzende Wasserkraftwerk Daubemühle bereits vollständig instand gesetzt und funktionstüchtig ist.

Unter Einbeziehung der Ergebnisse der erzielbaren Energieeinsparungen und anlagenspezifisch veranschlagten jährlichen Wartungs- und Versicherungskosten sowie dem aus der verringerten Netzeinspeisung des Wasserkraftwerks resultierenden Einnahmenausfall ergeben sich unter den bereits getroffenen Annahmen folgende mittlere jährliche Kosten:

- Strom: 7,68 €/m²a
- Erdgas: 6,03 €/m²a

Auch für diese Variante ergeben sich vergleichsweise hohe Investitionskosten. Analog zur Vorgehensweise in Variante 3 (Abschnitt 3.4.5) werden dabei Investitionskosten für das BHKW anteilig bei Strom- und Erdgaskosten verrechnet (vgl. Stromkennzahl in Abschnitt 3.3.5). Da ein Großteil der benötigten Wärme durch Wärmepumpen erzeugt wird, sinken der Erdgasbedarf und die daraus resultierenden Kosten signifikant. Jedoch sind die entstehenden Stromkosten etwas höher als in Variante 3.

Die jährliche Gesamtkosten dieser Systemvariante würden sich unter Einbeziehung aller einmaligen und laufenden Kosten auf ca. 330.800 €/a belaufen. Dies entspräche einer Einsparung von ca. 40 % gegenüber dem Bestandssystem.

3.4.7 Variante 5: Nahwärmenetz mit Stromerzeugung aus Photovoltaik

Es ist schnell ersichtlich, dass die Systemvariante 3 (Abschnitt 3.4.5) dafür sorgen kann, dass die mittleren Stromkosten über die nächsten 20 Jahre sehr gering gehalten werden können. Ähnliches zeigt sich für die Systemvariante 4 (Abschnitt 3.4.6) bezüglich der Erdgaskosten. Das führt zu der Annahme, dass durch Vermischung beider Systemvarianten ein global optimales Anlagenkonzept konzipiert werden kann.

Hauptunterschied beider Varianten ist die Photovoltaik-Anlage. Diese ermöglicht eine erhöhte dezentrale Produktion an Strom. Jedoch führen sinkende Vergütungen von eingespeistem Photovoltaikstrom zu verminderten Erträgen und damit zu einer verminderten Wirtschaftlichkeit. Das heißt, die Überdimensionierung von Photovoltaik-Anlagen über den notwendigen Eigenbedarf hinaus, führt, anders als zu Beginn der staatlichen Förde-

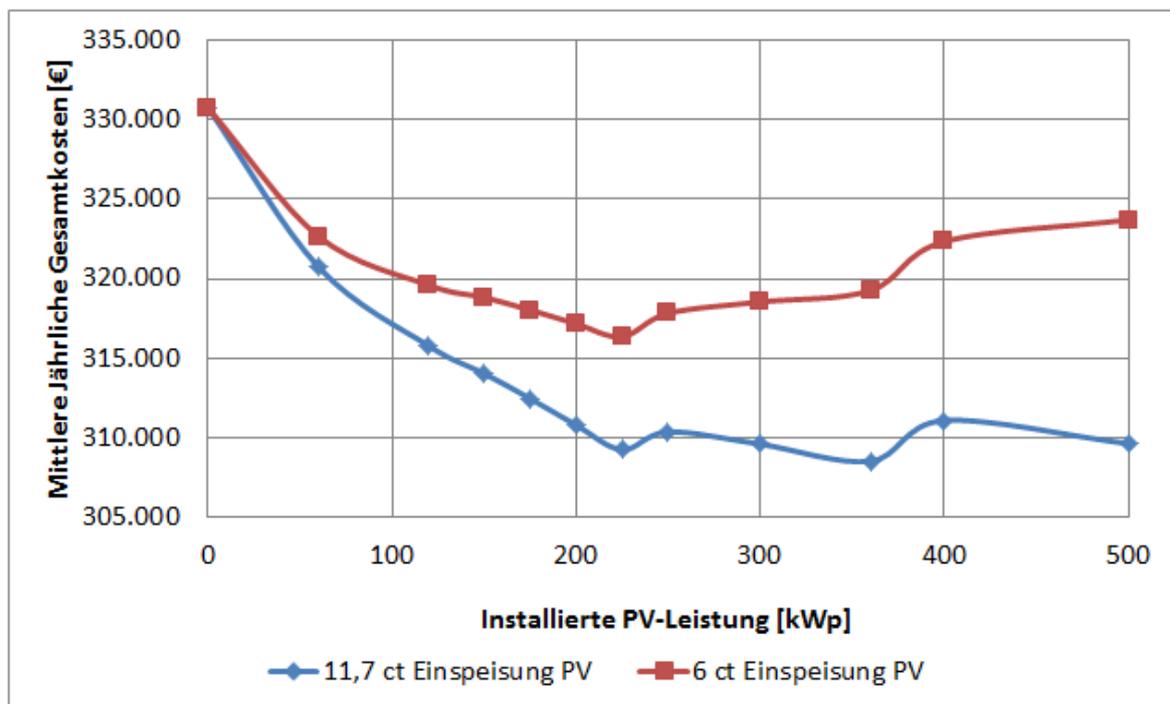


Abb. 23: Vergleich der mittleren jährlichen Gesamtkosten über 20 Jahre in Abhängigkeit der installierten PV-Leistung und der garantierten Einspeisevergütung

zung solcher Anlagen, zu Minderung der Kosteneffizienz. Daher ist für eine solche Mischvariante zunächst zu untersuchen, welche Photovoltaik-Anlagengröße die optimale Systemlösung darstellt.

Abbildung 23 zeigt, dass eine installierte Photovoltaik-Leistung von ca. 200 kWp für die im Areal bestehende Gebäude- und Nutzungsstruktur ein Kostenminimum für eine zu konzipierende Mischsystemvariante ermöglicht. Bei kleineren Systemen kann nicht der größtmögliche Photovoltaikstrom für den Eigenbedarf des Areals verwendet werden. Darüber hinaus übertreffen die Mehrinvestitionen die Erträge, die durch Einspeisevergütungen erzielt werden können.

Unter Nutzung dieser Erkenntnisse können für die resultierende Mischvariante (und einer PV-Einspeisevergütung von 11,7 ct./kWh) Investitionskosten von 1.320.000 € veranschlagt werden (Anlage 4). Als folgende mittlere jährliche Kosten ergeben sich folgende Werte:

- Strom: 6,79 €/m²
- Erdgas: 6,03 €/m²

Dabei ist ersichtlich, dass sich die Erdgaskosten gegenüber der Basisvariante 4 nicht ändern. Lediglich können auf Grund erhöhter Einsparungen beim Stromverbrauch weitere Kosten eingespart werden. Die jährliche Gesamtkosten dieser Systemvariante würden sich unter Einbeziehung aller einmaligen und laufenden Kosten auf ca. 309.300 €/a belaufen. Dies entspräche einer Einsparung von ca. 44 % gegenüber dem Bestandssystem.

3.4.8 Festlegung der Klimaschutzziele

In den Abschnitten 3.4.3 bis 3.4.7 wurden fünf Systemvarianten für eine neue und/oder modernisierte Energieversorgung des Areals Ringstraße/Schloßstraße in Lohmen aufgezeigt, die sich auf Grund der Voruntersuchungen in Kapitel 2 und 3 sowie erster Wirtschaftlichkeitsanalysen als aussichtsreich herausgestellt haben.

Die ersten beiden Varianten beruhen auf der bestehenden Versorgungsinfrastruktur und verursachen vergleichsweise geringe Investitionskosten. Im Gegensatz zu diesen Einzelhausversorgungskonzepten bedienen sich die drei anderen Varianten notwendigerweise neu zu erstellenden Nahwärmenetzen, entweder zwischen einzelnen Gebäuden oder gar auf dem ganzen Areal.

Die beiden Varianten, die eine Wärmepumpenkaskade zur Heizenergieerzeugung nutzen, stellen nach ersten Untersuchungen das größte Potential dar, möglichst viel der innerhalb der Gemeinde selbst erzeugten Energie (vor allem Wasserkraft) auch hier zu nutzen. Detailliertere Untersuchungen zu optimalen Systemkonfigurationen auch in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit erfolgen im Rahmen der anstehenden Simulationsuntersuchungen.

Alle betrachteten Varianten ermöglichen es, den Energiebedarf als auch die entstehenden Systemkosten zu senken. Im Zuge dessen wird durch die Durchführung der beschriebenen Maßnahmen auch die CO₂-Bilanz des betrachtenden Areals signifikant verbessert.

Abbildung 24 zeigt für alle fünf entwickelten Systemvarianten die resultierenden Einsparungen für Strom und Erdgas sowie die möglichen erzielbaren CO₂-

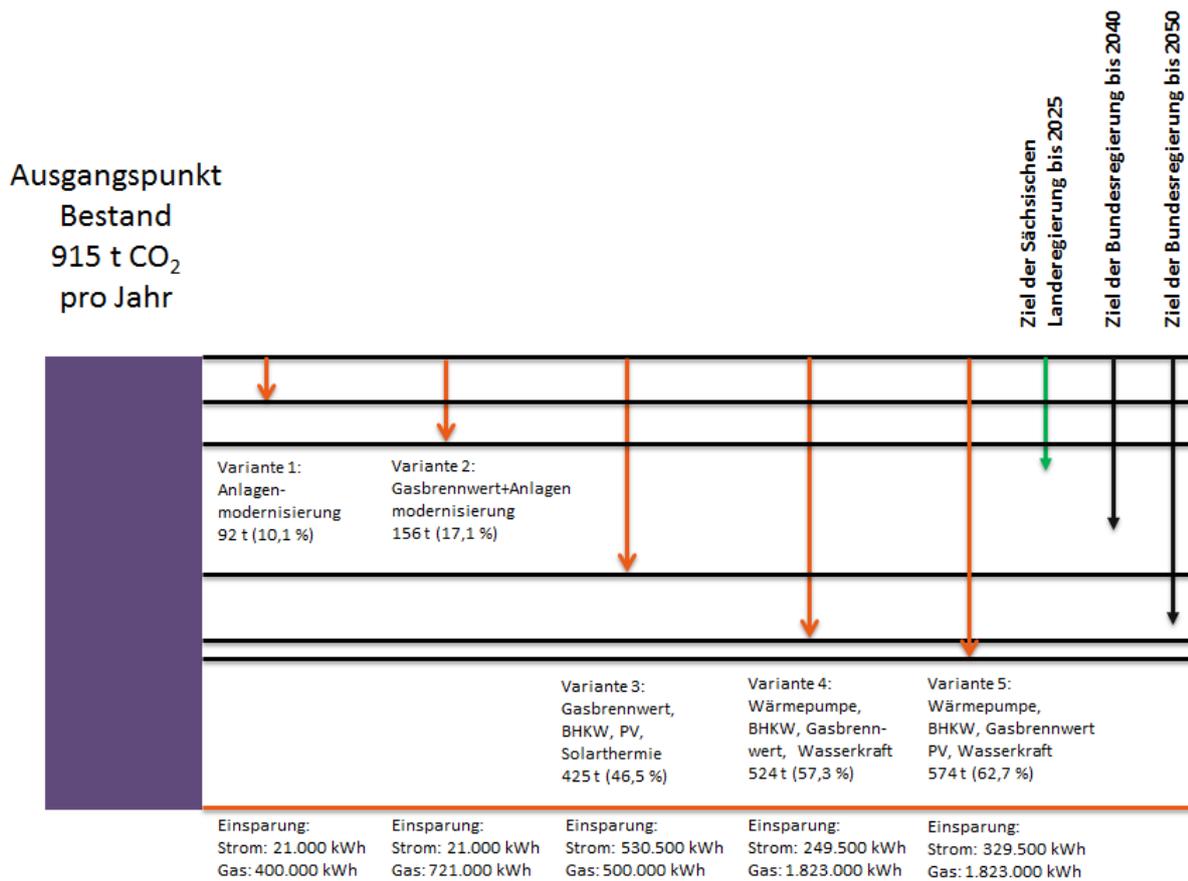


Abb. 24: CO₂-Emissionseinsparungen der einzelnen Systemvarianten im Vergleich zu den klimapolitischen Zielen von Bundesregierung und sächsischer Landesregierung

Emissionsverminderungen auf. Zusätzlich zeigt es den Vergleich zu den in Abschnitt 3.4.1. dargestellten politischen Zielen der Bundesregierung sowie der Sächsischen Landesregierung.

Die drei Nahwärmenetzkonzepte können hierbei sogar schon Klimaschutzziele der Landesregierung Sachsen für das Jahr 2025 und die der Bundesregierung bis 2040 erfüllen. Die beiden letzten Varianten, die eine Wärmepumpenkaskade zur Heizenergiebereitstellung vorsehen, erfüllen sogar bereits die Ziele der Bundesregierung bis 2050.

Anhand der in Abschnitt 3.1 bis 3.4 dargestellten Einsparungsmöglichkeiten sowie der ersten Wirtschaftlichkeitsabschätzung vereinbarten die Partner Gemeinde Lohmen, Wohnungsbaugenossenschaft und Eigentümergemeinschaft, dass im betrachteten Quartier die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2025 um mindestens 30% gesenkt werden sollen umso das Klimaschutzziel der Landesregierung des Freistaates Sachsen zu übertreffen. Dieses bleibt jedoch unter Vorbehalt der detaillierten Systemanalyse und der darauf basierenden abschließenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

3.5 Bautechnische Sanierung unsanierter Gebäudeteile

Im Rahmen des energetischen Quartierskonzepts für die Schloß- und Ringstraße der Gemeinde Lohmen gilt es des Weiteren neben der Untersuchung möglicher Anlagenkonzepte zur Nutzung vorhandener regenerativer Energiepotentiale und bestehender Energie-

einsparpotentiale ein Konzept zur bautechnischen Sanierung noch unsanierter Gebäudeteile des Areals zu erarbeiten. Die in der Folge vorgestellten Maßnahmen werden im Rahmen der Untersuchung einzelner Anlagenkonzepte zusätzlich zu den erzielbaren Energieeinsparpotentialen betrachtet.

Aufgrund der umfangreichen, bereits in den 1990er Jahren durchgeführten bautechnischen Sanierungsmaßnahmen im Quartier Schloß- und Ringstraße in Lohmen sind im Bestand nur noch im Schulkomplex unsanierte Gebäudeteile zu finden. Diese betreffen folgende Gebäudeteile:

- Historisches Schulgebäude
- Alte Turnhalle
- Verbindungsbau zwischen Hort/Kita und Grundschule

In der Folge werden die einzelnen Sanierungsmaßnahmen vorgestellt und mit möglichen neuen Nutzungsszenarien der Gebäudeteile korreliert. Detaillierte Angaben und Darstellungen zu Dämmmaßnahmen sind darüber hinaus in Anhang A5 dargestellt. Abschließend erfolgt eine Vorstellung der aufgrund der Sanierungsmaßnahmen erzielbaren Energieeinsparpotentiale.

3.5.1 Bautechnische Sanierungsmaßnahmen

Der größte noch unsanierte Gebäudeteil im betrachteten Areal ist das historische Schulgebäude (Abb. 25). Bis zum Jahr 2010 wurde das Gebäude als Realschule der Gemeinde betrieben und vollständig genutzt. Seitdem dient es in zeitweiser Nutzung verschiedenen lokalen Vereinen als Treffpunkt und beherbergt eine Bibliothek. Im Keller befindet sich die weiterhin genutzte Schulküche, in der die Mittagessen für die Grundschule, Hort- und



Abb. 25: Nordansicht des historischen Schulgebäudes

Kita sowie einheimische Interessenten und das Gemeindepersonal zubereitet und ausgegeben werden.

Eine adäquate bautechnische Sanierung geht einher mit der Planung neuer Nutzungsszenarien für das unter Denkmalschutz stehende Gebäude aus dem Jahr 1906. Daher werden in der Folge verschiedene Ausbaustufen der bautechnischen Sanierung in Abhängigkeit möglicher neuer Nutzungsszenarien diskutiert. Zunächst einmal werden dabei die auch nach der Beendigung des realen Schulbetriebs im Jahr 2010 genutzten Räumlichkeiten im Keller bzw. im Erd- und Obergeschoss betrachtet.

Die Außenwände besitzen einen vermutlich zu DDR-Zeiten aufgetragenen 5 cm dicken Außenwandputz. Dieser kann durch einen neuen Wärmedämmputz (z.B. Hagatherm) ersetzt werden. Diese Maßnahme würde den U-Wert der Außenwände von ca. $1,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$ senken. Dies entspräche zwar noch nicht vollständig den aktuellen EnEV-Bestandsvorgaben, stellt aber eine maximal mögliche Maßnahme im Rahmen der Einhaltung der Denkmalschutzrichtlinien dar. Das Aufbringen einer Innendämmung stellt eine alternative bzw. zusätzliche Möglichkeit zur Verbesserung der Wärmedämmung des Gebäudes dar. Aufgrund möglicher Problemstellungen bezüglich der vergleichbar massiven Wand- bzw. Deckenstrukturen sollte jedoch auf derartige Maßnahmen verzichtet werden.

Im Kellerbereich müssen im Rahmen von bautechnischen Sanierungsmaßnahmen zunächst die Warmwasserleitungen (vor allem im Schulküchenbereich) gedämmt werden. Zusätzlich gilt es im Rahmen weiterer bautechnischer Sanierungsmaßnahmen die Dämmung des Sockelbereichs fortzuführen. Dies kann einerseits durch eine Perimeterdämmung erfolgen. Andererseits kann die bereits begonnene Umschließung des Sockelbereichs (Westsockel) mit Beton-L-Profilen um das gesamte Schulgebäude fortgeführt wer-



Abb. 26: L-Profilen zur Sockeldämmung an der Westseite (links) und Spitzboden (rechts)



Abb. 27: Südansicht der alten Turnhalle

den (Abb. 26, links). Dabei kann ein Eindringen von Feuchtigkeit in den Sockelbereich vermieden (Horizontalsperre nicht möglich) und eine Senkung des U-Wertes im Sockelbereich von ca. $1,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf ca. $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ erzielt werden. Diese Maßnahme würde wiederum eine maximale Senkung der Transmissionsverluste unter Einhaltung der Denkmalschutzrichtlinien ermöglichen.

Zur vollständigen bautechnischen Sanierung der thermischen Hülle des aktuell genutzten Raumes im historischen Schulgebäude muss ebenfalls die oberste Geschossdecke gedämmt werden. Hierbei wird im Spitzboden (Abb. 26) eine 15 cm Hartschaum Dämmung auf die bestehende oberste Geschossdecke aufgebracht. Dadurch lässt sich der U-Wert der obersten Geschossdecke von ca. $0,97 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf ca. $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ verringern. Diese Maßnahme würde im Bodenbereich des Spitzbodens zusätzlich zu einer Verringerung der Stolpergefahr durch am Boden verlegte Querbalken führen.

Weitere bautechnische Sanierungsmaßnahmen, vor allem im Dachbereich, sind nur mit einer neuen Nutzungsstrategie des vorhandenen Spitzbodens des historischen Schulgebäudes sinnvoll. Im Folgenden soll daher zunächst ein Nutzungsszenario dieses Gebäudeteils vorgeschlagen werden, welches allen Bürgern der Gemeinde zu Gute kommt.

Diesbezüglich soll ein Ausbau des Dachbodens des historischen Schulgebäudes zu einem öffentlich zugänglichen Veranstaltungsraum (z.B. Auditorium, Kaffee, etc.) für die gesamte Gemeinde vorgeschlagen werden. Hierfür wäre es zwingend notwendig einen barrierefreien Zugang zu schaffen. Dies könnte über einen Fahrstuhl auf der Rückseite des Gebäudes realisiert werden. Aufgrund dessen, dass dieser außerhalb des Sichtbereiches läge, könnten eventuelle Bedenken seitens des Denkmalschutzes reduziert werden. Der Spitzboden selbst sollte dabei in seiner vollen, monumentalen Höhe von über 6 m bis auf die Reduzierung um die oberste Geschossdeckendämmung unbedingt erhalten blei-



Abb. 28: Südansicht des Verbindungsbaus

ben. Weiterhin müsste die bestehende Vodafone-Funkstation bzw. der Technikraum vom langen in das kurze Dachschiff verbracht werden.

Neben den Maßnahmen zur Dämmung der obersten Geschossdeckendämmung, die gleichzeitig eine Reduktion der Stolpergefahr im neuen Veranstaltungsraum hervorrufen würden, wären für die bautechnische Sanierung des Dachbodenbereichs noch weitere Arbeiten notwendig. Einerseits müsste das Dach inklusive Unterspannbahn und Dämmung neu gedeckt werden. Zur Erhöhung der Lichteinstrahlung wäre eine ebenfalls ein zusätzlicher Einbau weiterer Dachfenster z.B. auf der Ostseite sinnvoll. Da diese wieder außerhalb des Sichtbereiches lägen, wäre eine solche Maßnahmen wohl denkmalsschutztechnisch unbedenklich. Des Weiteren sollte ein Rückbau bzw. eine Erneuerung der vorhandenen Schornsteine stattfinden.

Ein zweiter Gebäudeteil des Schulkomplexes, der noch unsaniert ist, ist die alte Turnhalle aus dem Jahr 1930. Für dieses Gebäude gilt kein Denkmalschutz. Grundsätzlich sind in diesem Zusammenhang die Überlegungen der Gemeinde zur Erbauung einer neuen Turnhalle bzw. eine Turnhallenerweiterungsbaus zu beachten.

Wie im historischen Schulgebäude sind die Fenster bereits erneuert und können erhalten bleiben. Auch das Dach der Turnhalle ist in einem passablen Zustand. Zur Aufbringung einer adäquaten Außenwanddämmung ist zunächst ein Dachüberhang herzustellen. Danach können die Außenwände mit einer 13 cm dicken Hartschaum EPS 035 - Dämmschicht versehen werden. Dies reduziert den U-Wert der Außenwände von bestehenden $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf ca. $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Weiterhin sollte wiederum die oberste Geschossdecke mit einer 10 cm dicken Hartschaumdämmung versehen werden (Senkung U-Wert von $0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Bei der Begehung konnte zusätzlich festgestellt werden, dass im Sockelbereich sowohl bereits gedämmte als auch noch nicht gedämmte Bereiche bestehen. Eine Sockeldämmung (Hartschaum, EPS 035) würde den U-Wert des Sockelbereiches ebenfalls weiter reduzieren ($1,68 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$). All diese Dämmmaßnahmen ermöglichen darüber hinaus eine signifikante Verringerung notwendigen Vorlauftemperaturen des Heizsystems.

Weitere bautechnische Sanierungsmaßnahmen gehen mit der Planung des Turnhallenneubaus einher. Ein Abriss des alten Turnhallenanbaus sowie ein Rückbau des Lüftungskanals zum Dach (siehe Abb. 27) würden weitere vergleichbar hohe Heizenergieeinsparungen ermöglichen (u.a. Erhöhung der Luftdichtigkeit).

Ein letzter noch unsanierter Gebäudeteil im Schulkomplex ist der Verbindungsbau zwischen Hort/Kita und der Grundschule. Dieser kleine als Sicherheitsschleuse aufgebaute Raum ist noch gänzlich unsaniert. Neben der Ersetzung der Fenster würden eine Außenwanddämmung ($1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$) durch 13 cm Hartschaum, eine ISOFLOC-Dämmung des Daches ($0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$) und eine Fußbodendämmung ($4,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$) weitere signifikante Energieeinsparungen ermöglichen.

Ähnliche Maßnahmen zur Sockeldämmung können an allen, auch schon sanierten Gebäudeteilen im Sockelbereich nachgeholt werden. Dies betrifft vor allem das Rondell zwischen historischem Schulgebäude und Grundschule.

3.5.2 Einsparungspotentiale bautechnischer Maßnahmen

Anhand der ermittelten, neuen U-Werte der zu sanierenden Gebäudeteile wurden in der Folge die Energieeinsparpotentiale einzelner bautechnischer Maßnahmen untersucht und bestimmt.

Die schnellstmöglich umsetzbaren bautechnischen Sanierungsmaßnahmen betreffen eine Generalsanierung des Verbindungsbaus. Diese Maßnahmen ermöglichen eine jährliche Erdgaseinsparung von ca. 13.000 – 14.000 kWh. Weitere Maßnahmen zur Gebäudedämmung und -sanierung, die in Abschnitt 3.5.1 gezeigt wurden, zeigen ein zusätzliches Potential von ca. 40.000 – 50.000 kWh Erdgaseinsparung pro Jahr.

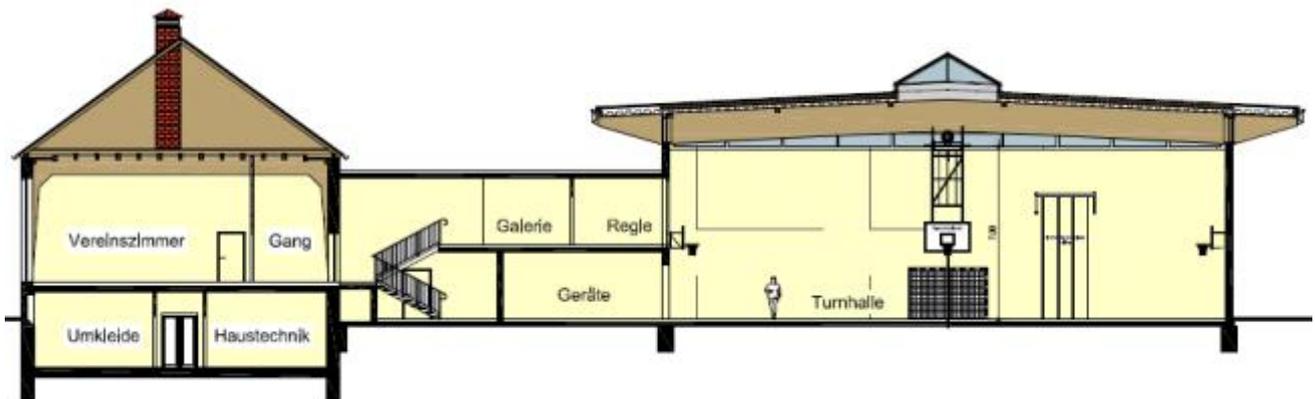


Abb. 29: Studie zum Turnhallenneu/-anbau

Zusätzlich wurde im Rahmen der Untersuchung möglicher Sanierungsmaßnahmen ermittelt, welche energetischen Auswirkungen ein Neubau bzw. Anbau einer neuen Turnhalle im bestehenden Schulkomplex hat. Diesbezüglich wurden seitens der Gemeinde Lohmen weitere Pläne einer ersten Konzeptstudie der geplanten Turnhalle übermittelt, anhand derer das energetische Verhalten des Baus abgeleitet wurde.

Dadurch konnte ermittelt werden, dass der größere Turnhallenanbau einen Mehrverbrauch von ca. 180.000 – 190.000 kWh Erdgas (inkl. Wärmerückgewinnung) und ca. 12.500 – 13.500 kWh Strom pro Jahr hervorrufen würde. Dieser erhöhte Stromverbrauch kann potentiell größtenteils durch im Rahmen des Energiekonzepts aufgeplante Stromerzeuger (z.B. BHKW) gedeckt werden, wodurch die Ausnutzung selbsterzeugten Stromes verbessert werden würde.

Dieses Konzept wird in den folgenden energetischen Betrachtungen nicht weiter berücksichtigt. Jedoch sollen die notwendigen, erhöhten Heizleistungen in den zu erstellenden Anlagenkonzepten mit vorgehalten werden, so dass im Falle eines tatsächlichen Turnhallenneubaus nur wenige Anpassungen am erarbeiteten Energiesystemkonzept durchgeführt werden müssen.

Für die in Abbildung 29 dargestellten Pläne des neuen Turnhallengebäudes konnte daher eine zusätzliche, vorzuhaltende Heizleistung von ca. 110 kW ermittelt werden.

4 Modellbildung und Simulation

Ein zentrales Arbeitspaket des vorliegenden Energiekonzepts beinhaltet die Modellbildung und Simulation des energetischen Verhaltens des Quartiers inklusive der in Frage kommenden Energieversorgungsvarianten. Hierbei wurde auf die in Kapitel 3 durchgeführten Voruntersuchungen aufgebaut. Die daraus resultierenden aussichtsreichen Systemvarianten wurden mit Hilfe der Simulationsumgebung „Green Building“ in SimulationX modelliert und anschließend simulationsgestützt untersucht.

4.1 Simulationsplattform und Modellierungsansätze

Die Modelica-basierte Simulationsumgebung SimulationX und die darin eingebundene „Green Building“ Simulationsbibliothek bietet die Möglichkeit, das Verhalten einer Vielzahl von Energieerzeugersystemen (z.B. BHKWs) mit Energieverbrauchern im Bereich der Gebäudetechnologie (z.B. thermische Gebäudezonen) sowie Speichersystemen (z.B. Wärmespeicher) zeittransient zu simulieren. Die daraus resultierenden Simulationsergebnisse zeigen u.a. den Gesamtbedarf an Elektroenergie und fossilen Brennstoffen sowie erzielbare regenerative Energieerträge, die sich in Abhängigkeit der vorherrschenden Umwelt- und Energieverbrauchsbedingungen für eine bestimmte, modellierte Energieversorgungsvariante ergeben.

Modelica ist eine gleichungsbasierte, physikalisch-akausale Modellierungssprache, die es ermöglicht, physikalische Systeme aus verschiedenen Bereichen der Energietechnik (z.B. Elektroenergie, Wärme) in einem Modell in Abhängigkeit verschiedener Eingangsdaten (z.B. Temperaturen) zu simulieren.

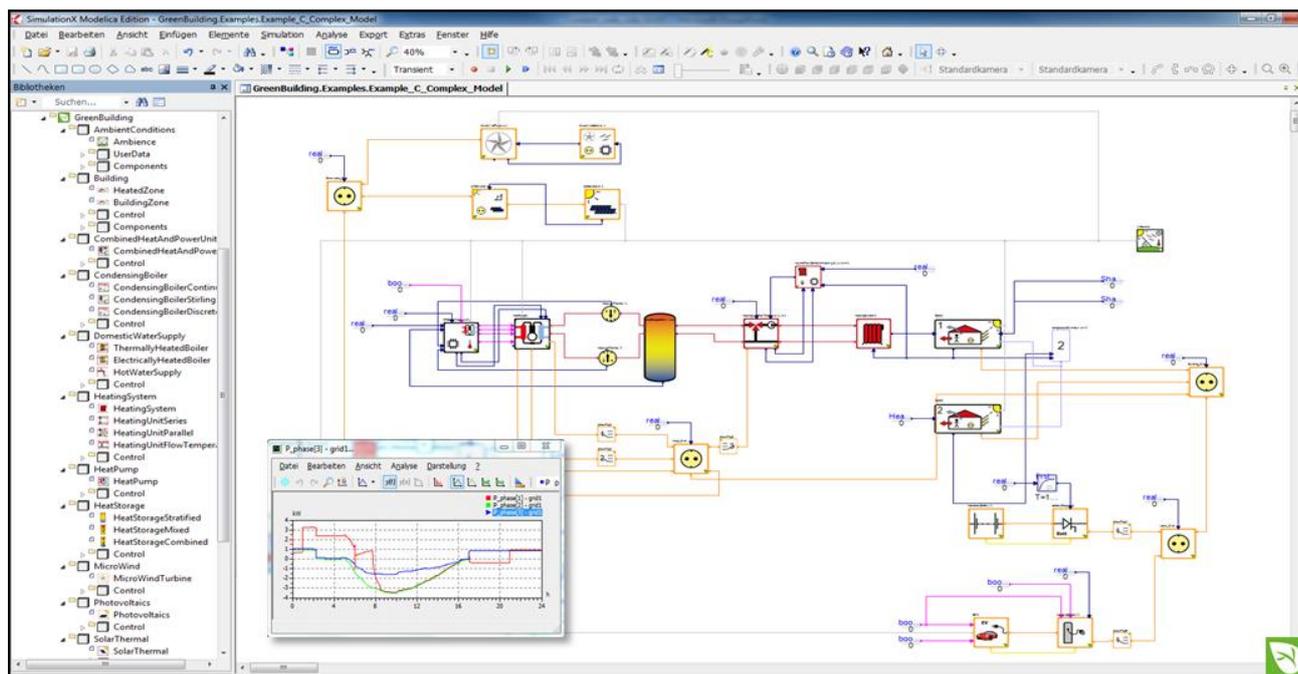


Abb. 30: „Green Building“ Modell eines regenerativ versorgten Einfamilienhauses

Daher wurde die „Green Building“ Simulationsbibliothek auf Basis der Modellierungssprache Modelica entwickelt. Unter Nutzung eines Ansatzes aus der Automobilindustrie wurde dabei eine Bibliothek aus verschiedensten physikalischen Modellen für Energieerzeuger (z.B. Solarthermie), Speichern (z.B. Batterie) und Verbrauchern (z.B. Gebäude) erstellt.

Diese einzelnen Modelle repräsentieren das physikalische Verhalten realer Komponenten wie Umrichter und Ventile einerseits sowie Wärmepumpen und Photovoltaik-Anlagen andererseits. Modellkomplexität und Parametrierbarkeit sind so gestaltet, dass notwendige Systemparameter einfach aus handelsüblichen Datenblättern entnommen werden können. Das interaktive Systemverhalten kann dadurch in kürzester Zeit simuliert und bewertet werden.

„Green Building“ wurde ursprünglich für die Modellierung einzelner Gebäude (Fokus Einfamilienhaus) entwickelt. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbildung 30, ein Einfamilienhaus bestehend aus zwei thermischen Zonen, welches durch eine Wärmepumpe mit Wärme versorgt wird. Zur regenerativen Energieerzeugung sind zusätzlich eine Windkraftanlage und ein Photovoltaik-System modelliert. Als zusätzliche Speicher werden eine stationäres Batteriesystem sowie ein Elektrofahrzeug genutzt.

Für die Modellierungs- und Simulationaufgaben im Rahmen der Energiekonzepterstellung für ein ganzes Quartier mussten daher neue Modellierungsparadigmen entwickelt werden, die trotz der größeren zu verarbeitenden Datenmengen geringe Simulationszeiten bei möglichst hoher Modellierungsgenauigkeit erlauben.

Basis der neu entwickelten Modellierungsparadigmen ist die hierarchische Nutzung der vorhandenen „Green Building“ Simulationsmodelle, d.h. einzelne Gebäude sowie Energiesystemkomponenten werden in einzelnen Untermodellen implementiert und mit geeigneten Interfaces zum Gesamtmodell versehen.

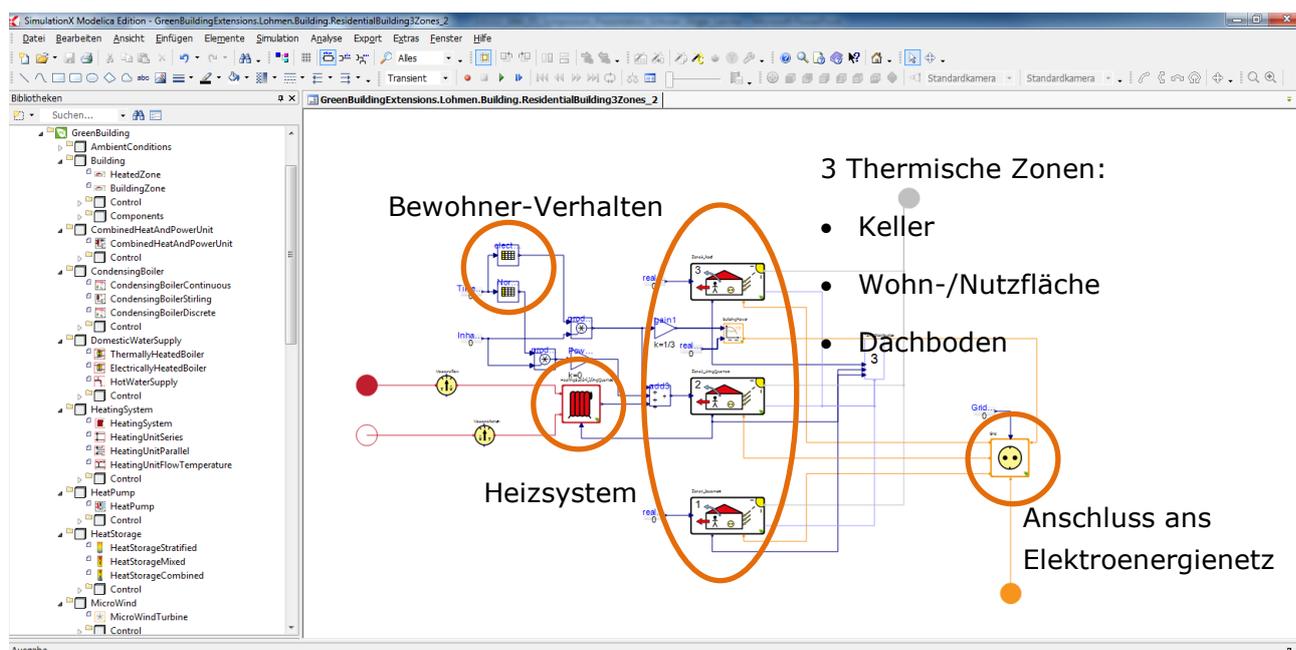


Abb. 31: Basis-Gebäudemodell mit drei thermischen Gebäudezonen und integriertem Heizsystem

Abbildung 31 zeigt den Aufbau des Basis-Gebäudemodells mit drei thermischen Gebäudezonen, die Keller, Dachboden und die eigentliche Wohn- bzw. Nutzfläche des Gebäudes darstellen. Das Modell beinhaltet zusätzlich das Modell des Heizungssystems, den Anschluss ans Elektroenergienetz sowie die die eingangsdaten-basierte Einbindung des Nutzer- bzw. Bewohnerverhaltens, d.h. den Elektroenergiebedarf und die Anwesenheit der Personen im Gebäude.

Um nun den Gesamtenergieverbrauch eines Gebäudes in nur einem Untermodell darstellen zu können, werden diese Gebäudemodelle wiederum in ein übergeordnetes Gebäudeenergiebedarfsmodell eingebunden (vgl. Abb. 32).

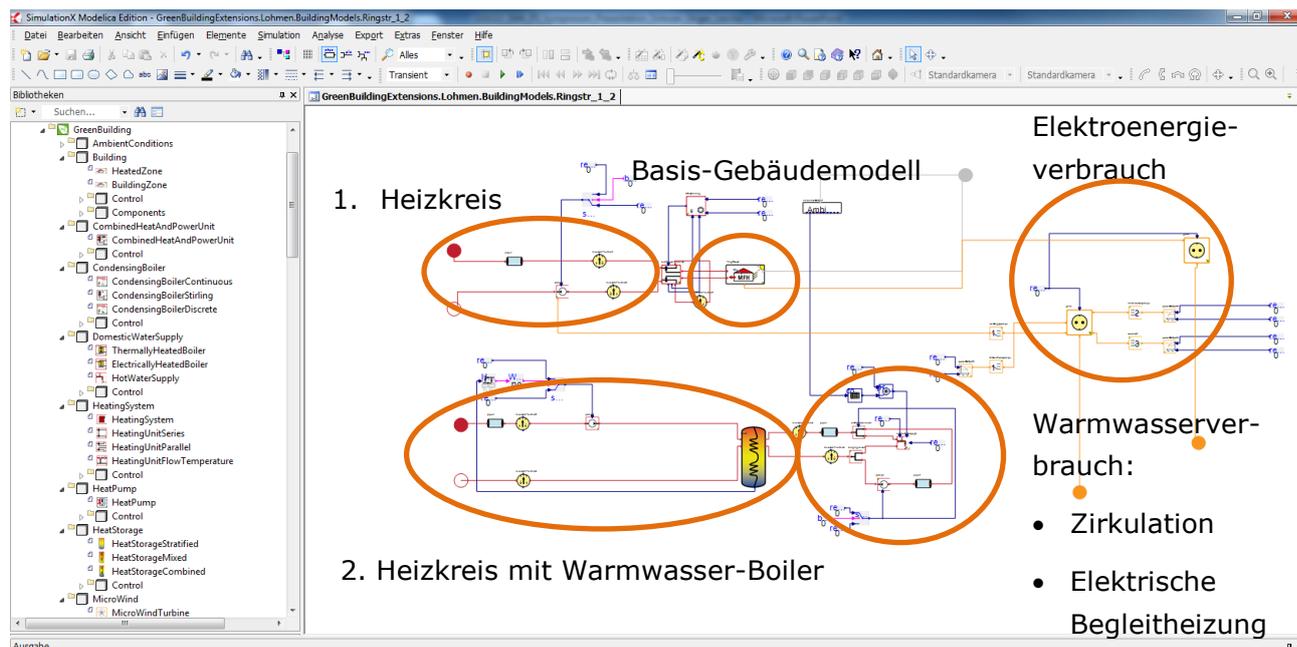


Abb. 32: Gebäudeenergiebedarfsmodell inklusive Warmwasserbereitung

Dieses übergeordnete Modell beinhaltet neben dem Wärmebedarf des Gebäudes unter Nutzung des Basis-Gebäudemodells aus Abbildung 31 auch das Modell der Warmwasserbereitung im Gebäude inklusive der hierfür benötigten Verbrauchsdaten. Der Anschluss ans zentrale Wärmeversorgungssystem wird über die entsprechenden Heizkreise modelliert. Wie bereits in Abschnitt 2.4 diskutiert wurde, wird die Warmwasserversorgung in den meisten Gebäude (u.a. WBG Lohmen) durch Zirkulationsleitungen realisiert, die ein Nachheizen des sich abkühlenden Warmwassers in den Verteilungsrohren ermöglichen. In den beiden Gebäuden der Eigentümergemeinschaft Schloßstraße 1-9 wird dieses Nachheizen durch eine elektrische Rohrbegleitheizung übernommen. Die erstellten Gebäudeenergiebedarfsmodelle stellen je nach Gebäude diesen zusätzlichen Energieverbrauch ebenfalls dar.

Ein vom Standardtyp abweichendes Gebäudemodell stellt das Schulkomplexmodell dar. Da der Schulkomplex aus mehreren teilweise bautechnisch stark unterschiedlichen Gebäudeteilen besteht (vgl. denkmalgeschütztes historisches Schulgebäude mit DDR-Standard-Grundschulgebäude), konnte dieser nicht mit Hilfe eines einzelnen Basis-Gebäudemodells (siehe Abb. 31) modelliert werden. Hierfür wurden zunächst die einzelnen Gebäudeteile analysiert und eine Modellierung mit vier Gebäudemodellen vorge-

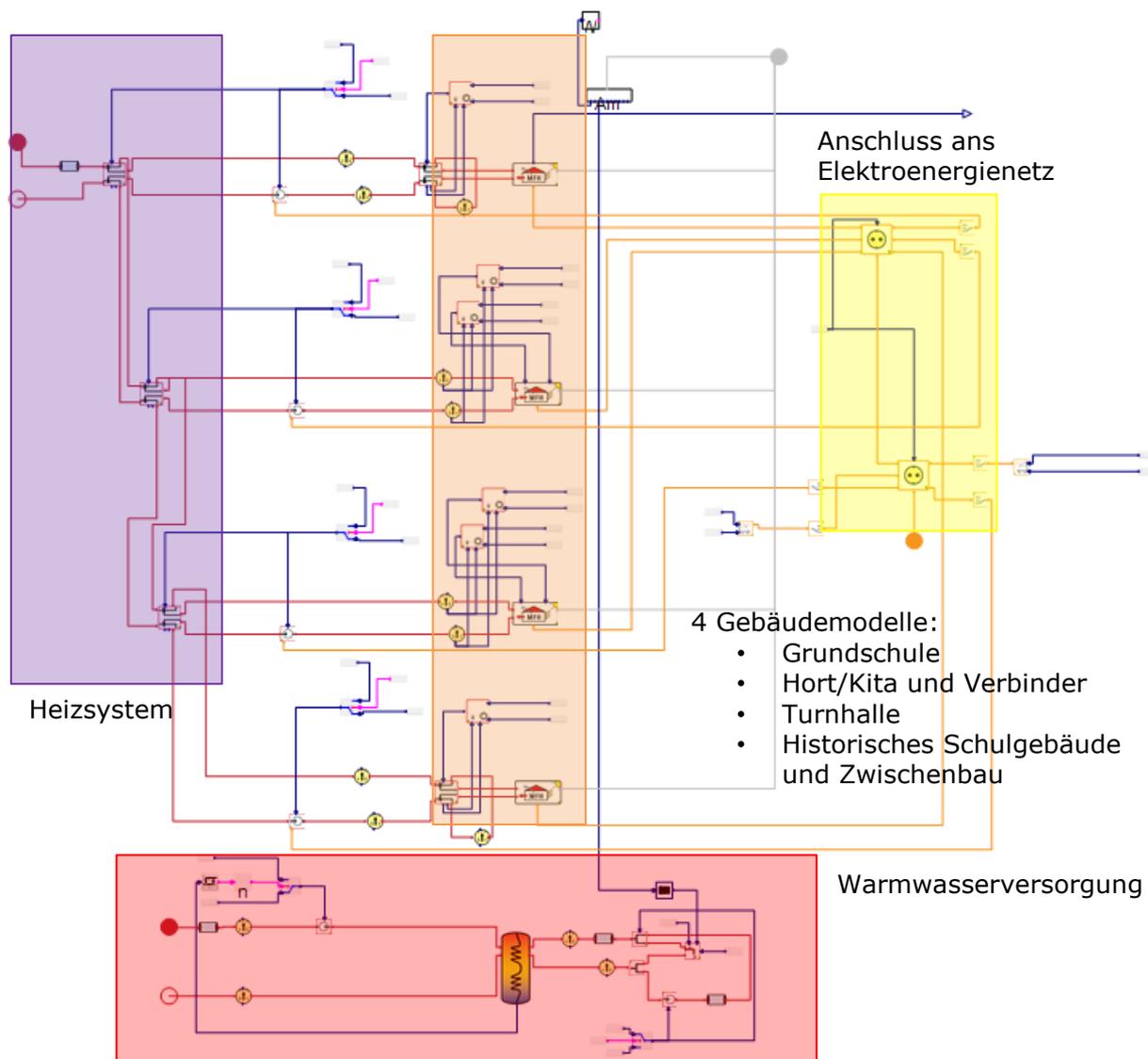


Abb. 33: Energiebedarfsmodell des Schulkomplexes

nommen. Abbildung 33 zeigt das Schulkomplexmodell inklusiver aller Heizkreise der Warmwasserversorgung sowie der vier Gebäudemodelle. Dabei wurden die Gebäudeteile Hort/Kita und Verbinder sowie historisches Schulgebäude und Zwischenbau jeweils in einem Modell dargestellt, was zu einer potentiell signifikanten Verringerung der Simulationszeit bei geringer Verminderung der Ergebnisgenauigkeit führte.

Grundsätzlich gibt es zwei Arten die Gebäude im betrachteten Quartier mit Energie (i.d.R. Wärme und Elektrizität) zu versorgen. Dies kann für jedes Gebäude separat erfolgen (Einzelhausbetrachtung), d.h. jedes Gebäude wird durch eine eigene, zentrale Wärmeversorgungsanlage versorgt. Zusätzliche regenerative Energiequellen (z.B. Photovoltaik) werden nur im Bereich des Gebäudes (z.B. Dach) installiert und betrieben.

Die zweite Versorgungsart bezieht sich auf die Betrachtung des Quartiers als Ganzes. Dazu müssen in einem Modell alle Gebäudemodelle eingebunden werden, wodurch die Simulationszeit aufgrund der vergleichbar großen Daten- und Gleichungsmengen steigt. Andererseits können so Synergien einzelner Gebäude (z.B. Südausrichtung einzelner Ge-

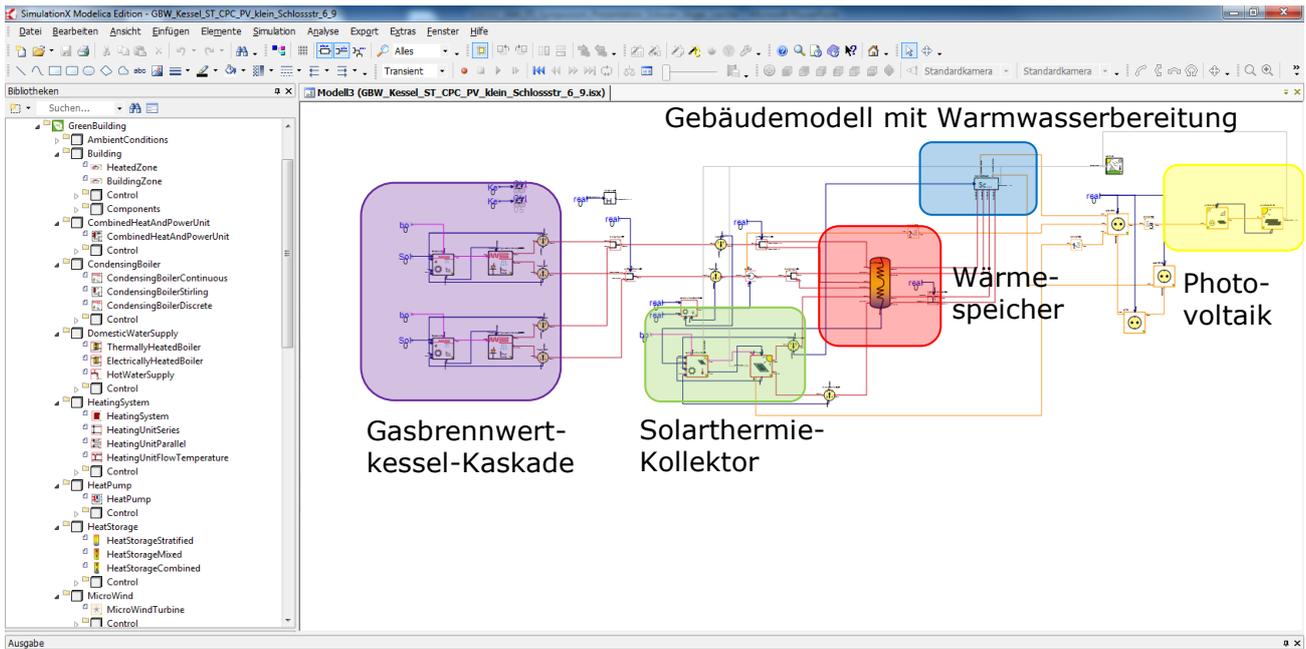


Abb. 34: Einzelhausmodell mit regenerativer Energieversorgung

bäude für gemeinsame Photovoltaik-Nutzung) sowie im größeren Maßstab zur Verfügung stehende regenerative Energien (z.B. Flusswasserwärme) genutzt werden.

Im Rahmen der Einzelhausbetrachtung wurde jedes Gebäude mit der aktuellen Bestandskonfiguration sowie für die einzelnen Gebäude passenden und den rechtlichen Rahmenbedingungen entsprechenden Energiesystemkonfigurationen modelliert und simuliert.

Abbildung 34 zeigt ein beispielhaftes Modell der Einzelhausbetrachtung. Darin wird das Gebäude hauptsächlich durch eine Gasbrennwertkesselkaskade mit Wärme versorgt. Zusätzlich wird eine Solarthermieanlage zur regenerativen Bereitstellung von Warmwasser-

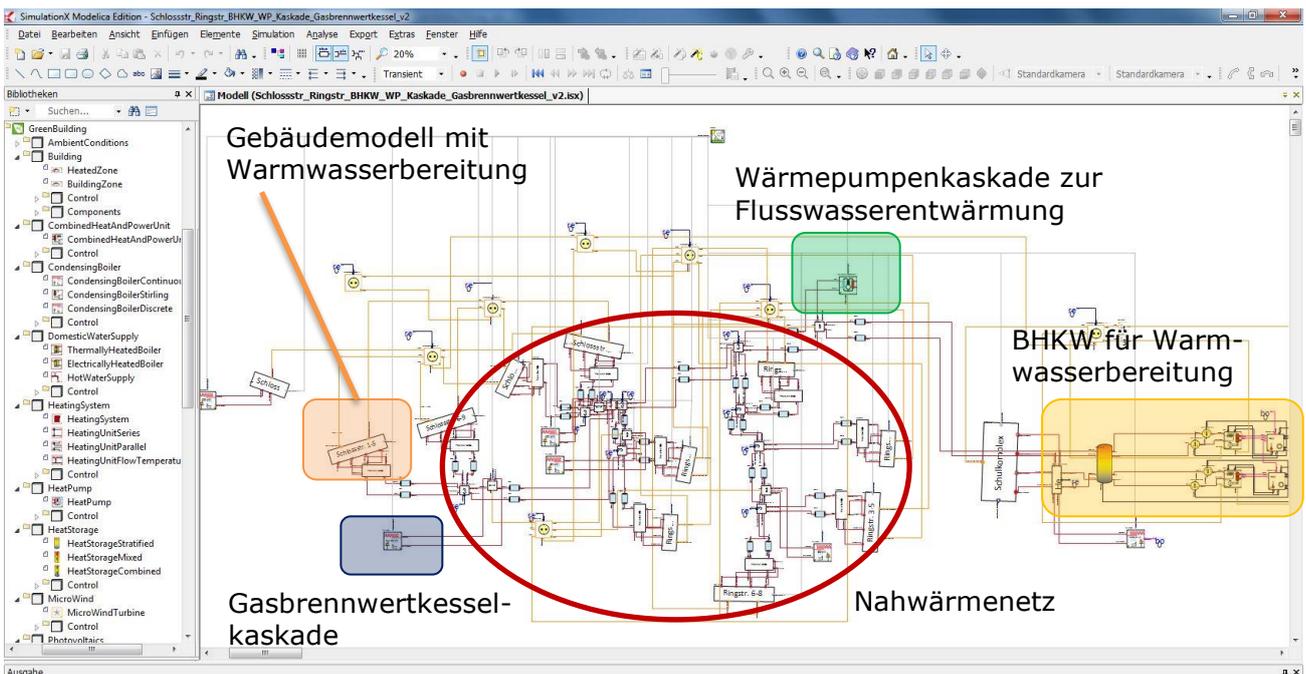


Abb. 35: Quartiersmodell mit regenerativer Energieversorgung und Nahwärmenetz

energie im Sommer genutzt. Weiterhin erzeugt eine kleine Photovoltaikanlage regenerative Elektrizität, die zur teilweisen Deckung des Allgemeinstrombedarfs genutzt wird. Der gesamte Energieverbrauch ist im integrierten Teilmodell des Gebäudes mit Warmwasserbereitung modelliert. Auf diese Weise können verschiedenste Energieversorgungsvarianten einfach und übersichtlich modelliert werden.

Im Gegensatz dazu sind die kompletten Quartiersmodelle (Abb. 35) sehr viel größer. Diese enthalten neben allen Gebäudemodellen auch alle Modelle der zu simulierenden technischen Anlagen. Basis der Energiebereitstellung ist in allen Quartiersvarianten ein neu aufzubauendes Nahwärmenetzmodell, welches in den Quartiersmodellen durch entsprechende „Green Building“ Leitungsmodelle abgebildet wird.

Abbildung 35 zeigt im Speziellen eine Nahwärmenetzvariante mit einer Wärmepumpenkaskade, die hauptsächlich die Wärmeenergie für das gesamte Quartier liefert. Spitzenlasten in besonders kalten Zeiten werden von einzelnen Spitzenlastgasbrennwertkaskaden abgedeckt. Zusätzlich liefern zwei Blockheizkraftwerke mit insgesamt 60 kW thermischer Leistung im Sommer und in der Übergangszeit die Warmwasserenergie für das ge-

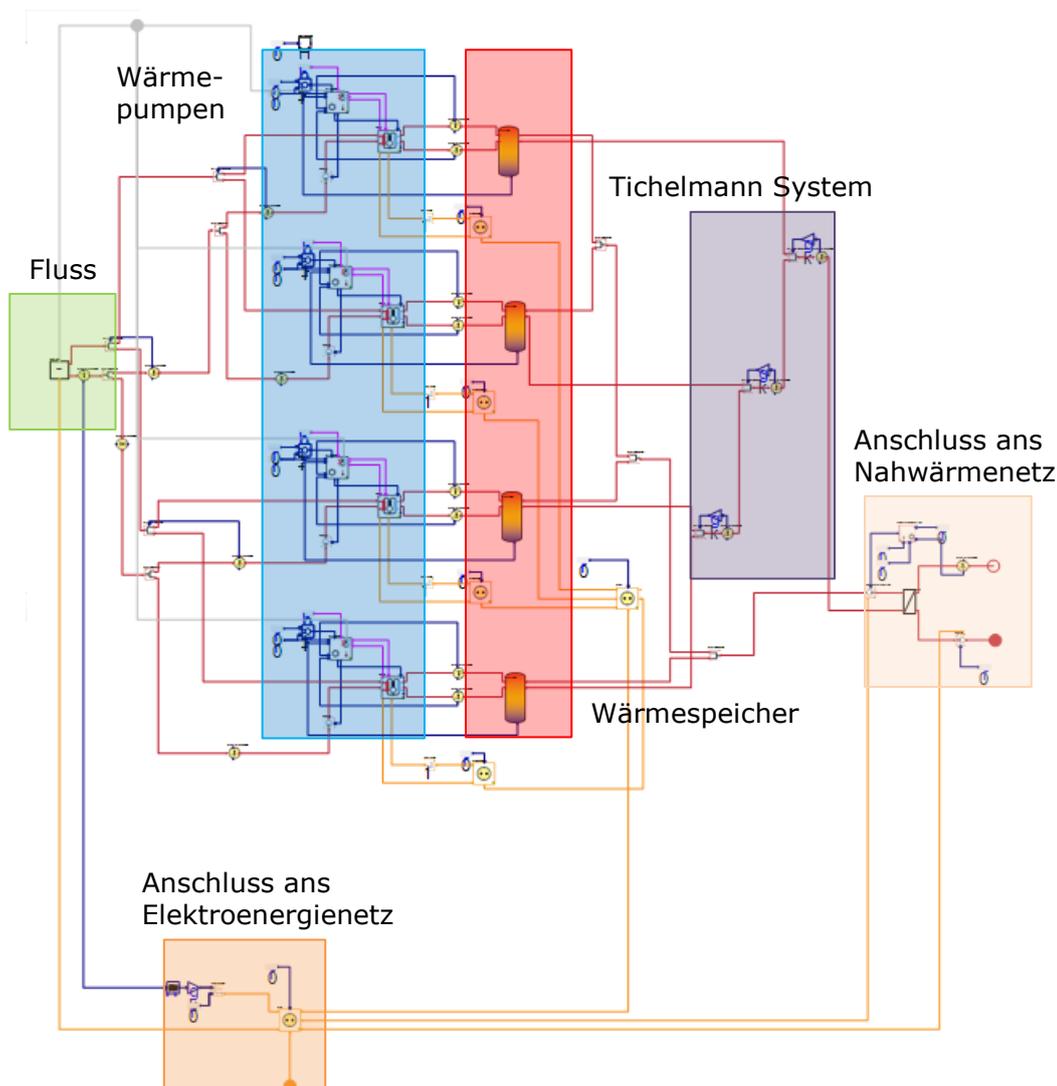


Abb. 36: Wärmepumpenkaskadenmodell mit Flusswasserentwärmung und Nutzung regenerativer Elektroenergie aus einem Wasserkraftwerk

samte Quartier. Der von ihnen produzierte Strom wird zur Deckung des Allgemeinstrombedarfs verwandt.

Analog zu den Gebäudemodellen sind einzelne technische Anlagen ebenfalls in separaten Teilmodellen modelliert. Abbildung 36 zeigt das Teilmodell der Wärmepumpenkaskade bestehend aus vier parallelen Wärmepumpen sowie dazu gehörigen Wärmespeichern. Weiterhin enthält das Modell den Anschluss des Systems an das Nahwärme- und Elektroenergienetz. Als regenerative Energiequelle dient hier der Fluss (Wesenitz). Die Energieentnahme aus dem Fluss ist dabei in einem zusätzlichen Teilmodell modelliert, welches einerseits die Entwärmung des Flusswassers und andererseits die Elektroenergieproduktion eines Wasserkraftwerks (Daubemühle) repräsentiert.

4.2 Aufbereitung geeigneter Simulationsdaten

Neben der Modellierung der einzelnen Gebäude und Energiesystemkomponenten stellt die Aufbereitung geeigneter Simulationsdaten einen weiteren Hauptarbeitsanteil der Energiekonzepterstellung dar. Neben den Gebäudedaten, welche das thermische Verhalten des Gebäudes repräsentieren, werden Datensätze zur Repräsentation des Nutzerverhaltens benötigt, da dieses vor allem im Zusammenhang mit regenerativer Energienutzung einen starken Einfluss auf die wirtschaftliche Umsetzung solcher Systeme hat.

Zusätzlich beinhalten die Quartiersmodelle größere Nahwärmenetze, durch die ebenfalls zusätzliche Energieverbräuche (Wärmeverluste, Pumpenstrombedarf) entstehen. Um diese Energiebedarfe bewerten zu können, ist eine detaillierte Betrachtung und Dimensionierung dieser Nahwärmenetze inklusive Rohrnennweiten sowie Druck- und Wärmeverlusten notwendig.

4.2.1 Gebäudedaten

Die Kubatur eines Gebäudes, dessen Ausrichtung sowie verwendete Materialien und Dämmstärken bestimmen den Wärmeenergiebedarf eines Gebäudes. In Abschnitt 4.1 wurde bereits beschrieben, dass jedes Gebäude mit drei thermischen Gebäudezonen modelliert wird. Jedes dieser Modellkomponenten muss mit ca. 200 Parametern spezifiziert werden, die jene Eigenschaften beschreiben. Daher ist es ersichtlich, dass für alle Gebäude eine Vielzahl von Daten gesammelt werden müssen.

Hierfür wurde seitens der einzelnen Partner, Gemeinde Lohmen, Wohnungsbaugenossenschaft und Eigentümergemeinschaft, umfangreiche Pläne der einzelnen zu betrachtenden Gebäudeteile übermittelt. Aus diesen Plänen wurde einerseits die Kubatur sowie bestehende Fensterflächen der Gebäude ermittelt und in großen Tabellen bezüglich ihrer Zugehörigkeit zu den einzelnen thermischen Zonen der Gebäude gesammelt.

Über eine geeignete Schnittstelle wurden diese Gebäudedaten automatisiert in die Simulationsmodelle geladen. Eine Anpassung der Parametrierung ist auf diese Weise einfach und schnell möglich. Die zusätzlich benötigten Parameter zur Beschreibung des thermischen Verhaltens der Kubatur (U-Werte) wurden separat untersucht und erarbeitet und sind im Anhang A2 und A5 dargestellt.

Weitere wichtige Parameter beziehen sich auf die installierten Heizsysteme, hierbei hauptsächlich die installierte Heizleistung sowie die zur Bestimmung derer anzusetzenden Vorlauf- und Rücklaufverhältnisse. Weiterhin ist das Verhältnis von Konvektion zu Strahlung ein weiterer wichtiger Charakterisierungspunkt eines Heizsystems. Dieser wird durch die entsprechenden Heizkörperexponenten wiedergespiegelt.

Tabelle 12 zeigt die anhand der übermittelten Gebäudepläne mit Hilfe von [41] erarbeiteten installierten Heizleistungen und mittleren Heizkörperexponenten der einzelnen Gebäude. Diese Eigenschaften gelten für Vorlauftemperaturen von 76 °C und Rücklauftemperaturen von 65 °C.

Tab. 12: Installierte Heizleistungen und Heizkörperexponenten in den Gebäuden

Gebäude	Installierte Heizleistung [kW]	Heizkörperexponent
Ringstr. 1-2	93,4	1,30
Ringstr. 3-5	101,5	1,30
Ringstr. 6-8	102,3	1,30
Ringstr. 9-10	84,9	1,30
Ringstr. 11-12	98,8	1,30
Ringstr. 13-14	85,0	1,30
Schloßstr. 1-5	245,2	1,29
Schloßstr. 6-9	224,7	1,29
Schloßstr. 10-12	260,8	1,30
Schloßstr. 13-17	426,7	1,30
Schloß	64,7	1,30
Historische Schule / ZB	160,5	1,30
Hort/Kita / Verbinder	169,1	1,30
Grundschule	200,7	1,30
Turnhalle	103,6	1,30

Analog zu den Daten zur Beschreibung der Gebäudekubatur können diese Daten ebenfalls automatisiert in die einzelnen Gebäudemodelle geladen und jedes entsprechende Gebäudemodell einfach parametrisiert werden.

4.2.2 Nutzungsdaten

Neben der Gebäudekubatur und den thermischen Eigenschaften der einzelnen Gebäudeteile ist die Nutzung der Gebäude ausschlaggebend für den Gesamtenergieverbrauch im betrachteten Quartier. Im Rahmen des Energiekonzepts müssen vor allem drei verschiedene Formen der Gebäudenutzung betrachtet werden. Einerseits muss der Elektroener-

giebedarf im Quartier betrachtet werden. Dabei wird jedoch aus Abrechnungssicht zwischen Allgemeinstromverbrauch der Wohngebäude bzw. des Schloßes und des Schulkomplexes und dem Elektrizitätsbedarf der Bewohner in den Wohngebäuden unterschieden. Zusätzlich erhöht der Verbrauch von Elektroenergie die inneren Lasten in den Gebäuden, wodurch der Wärmebedarf einzelner Gebäude leicht sinkt.

Andererseits ist die Anwesenheit der Bewohner in den Wohngebäuden bzw. der Gemeindefunktionäre im Schloß und der Schüler und Lehrer im Schulkomplex ebenfalls bezüglich zusätzlich entstehender innerer Lasten zu betrachten. Ein dritter Energiebedarf, der im Rahmen der simulationsgestützten Untersuchung des Quartiers erörtert werden muss, ist der Warmwasserbedarf in den Wohngebäuden und im Schulkomplex.

In Kapitel 2 wurden bereits umfangreiche Untersuchungen zu den jährlichen Energieverbrauchsmengen, auch des Haushaltsstromverbrauchs, durchgeführt. Die dynamische Simulation des Energiesystemverhaltens benötigt jedoch zeittransiente Zeitverläufe um z.B. bewerten zu können, ob regenerativ erzeugter Strom zur Deckung des aktuellen Strombedarfs genutzt werden kann oder eingespeist werden muss.

Für die Charakterisierung des Stromverbrauchs in den einzelnen Haushalten wurden bereits umfangreiche statistische Untersuchungen durchgeführt. Abbildung 37 zeigt hierfür einen beispielhaften generischen Elektroenergieverbrauchsverlauf für Wintertage in einem 4-Personen-Haushalt.

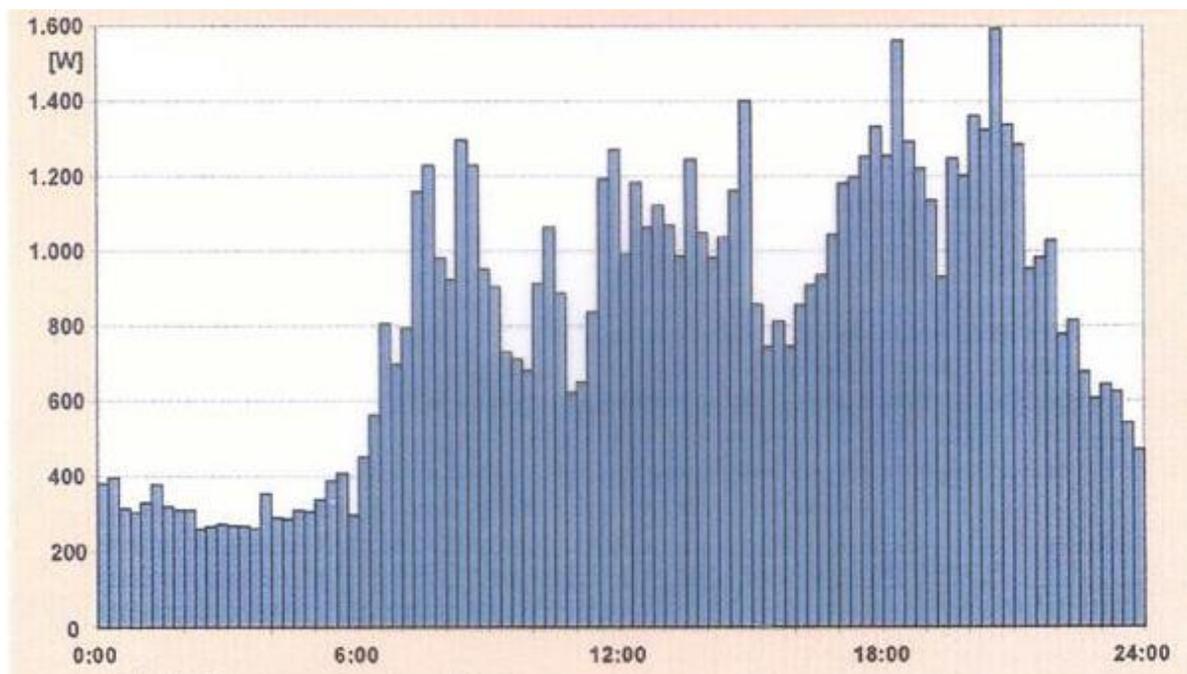


Abb. 37: Stromverbrauch eines 4-Personen-Haushalts an einem Wintertag [42]

Im Rahmen der Simulationsdatenerstellung wurden solche generische Verläufe genutzt um einen normierten Verbrauchsverlauf von Elektroenergie für die einzelnen Haushalte zu erstellen. Diese weisen einen summierten Elektroenergiebedarf von 1.500 kWh pro Person und Jahr auf. Diese Verläufe wurden daraufhin mit den in Kapitel 2 erarbeiteten Werten für den Gesamthaushaltstromverbrauch und der Anzahl der Bewohner in den ein-

zelenen Gebäuden korreliert. Dadurch konnte der Elektroenergiebedarfsverlauf für jedes Gebäude modelliert werden.

Ähnlich wurden die notwendigen Eingangsdaten für das Schloß sowie den Schulkomplex verfahren. Dabei wurde vor allem Augenmerk auf die Unterscheidung von Werktag und Wochenende gelegt. Zusätzlich zum Stromverbrauch wurde für das Schulgebäude noch der Strom- und Gasverbrauch für die Schulküche abgeschätzt. Die in Abschnitt 2.1 dargestellten 150 Portionen, die durchschnittlich jeden Wochentag ausgegeben werden, erzeugen im Mittel einen zusätzlichen Strombedarf von 1,2 kWh/Portion und einen zusätzlichen Gasbedarf von ca. 2,0 kWh/Portion [43]. Für diese Verbrauchswerte wurden weitere Eingangsdatensätze angelegt, mit deren Hilfe dieser Energiebedarf um die Mittagszeit herum betrachtet werden kann.

Wie bereits beschrieben, wurden weitere Datensätze zur Beschreibung der Anwesenheit von Personen in den einzelnen Gebäuden benötigt. Dazu wurden in Kapitel 2 schon umfangreiche Untersuchungen zur Mitarbeiterzahl im Gemeindeamt (Schloß), Schüler- und Lehrerzahlen im Schulkomplex sowie den Bewohnerzahlen in den einzelnen Wohngebäuden gemacht. Für die Erstellung von Eingangsdatensätzen für die öffentlichen Gebäude wurden in der Folge generische Ansätze unter Einbeziehung der Gesamtnutzungszeiten der einzelnen Gebäudekomplexe verwendet. Zum Beispiel sind im Gemeindeamt im Mittel maximal 20 Personen in der Zeit von 07.00 bis 18.00 Uhr anwesend.

Zur Generierung eines Anwesenheitsprofils für die Bewohner der zehn zu betrachtenden Mehrfamilienhäuser musste jedoch ein mehr statistisch abgesicherter Ansatz gewählt werden. Hierzu wurden in [44] bereits umfangreiche Untersuchungen zur statistischen Anwesenheitsverteilung von Bewohnern in Mehrfamilienhäusern durchgeführt. Deren Ergebnisse wurden als Grundlage für die Entwicklung der in Abbildung 38 dargestellten Anwesenheitsprofile verwendet.

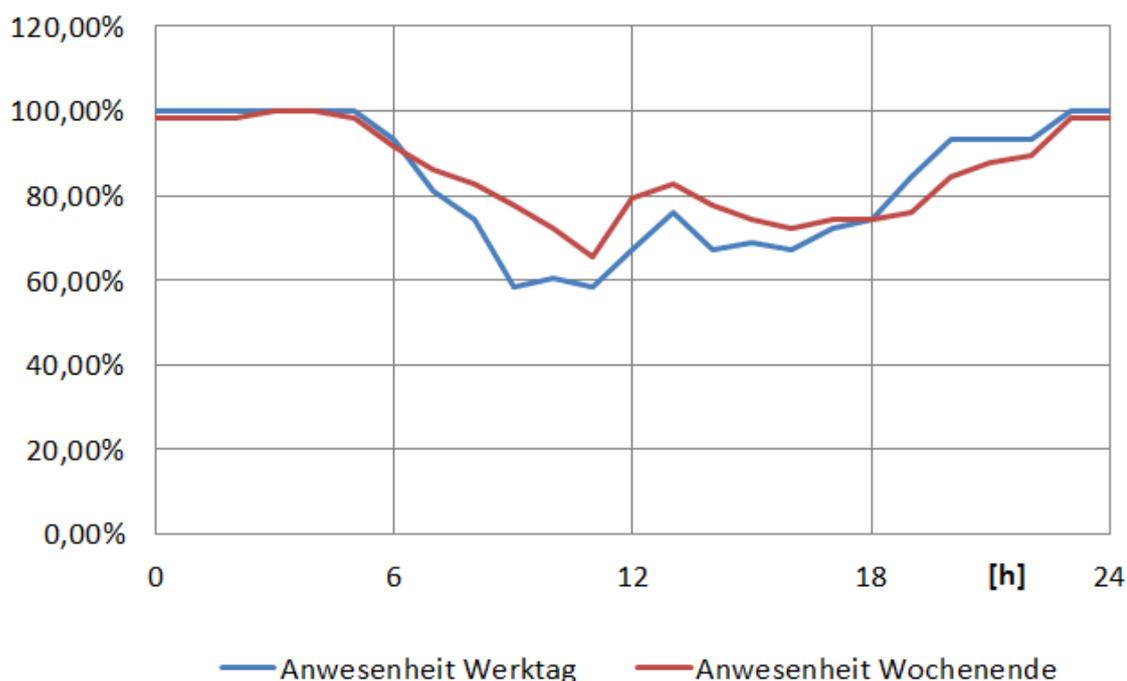


Abb. 38: Verlauf der Anwesenheit von Bewohnern in Mehrfamilienhäusern [44]

In Abschnitt 2.1 wurde jedoch bereits beschrieben, dass die Bewohner der Mehrfamilienhäuser im zu betrachtenden Quartier im Durchschnitt ein höheres Alter haben als das im Rahmen sonstiger statistischer Untersuchungen vorkommt. Dieser Tatsache wurde dahingehend Rechnung getragen, dass die Anwesenheitswahrscheinlichkeit generisch erhöht worden ist. Die daraus resultierenden Verläufe in Abbildung 38 spiegeln daher das Bewohnerverhalten erfahrungsgemäß besser wider.

Ein dritter wichtiger Datensatz, der für die Repräsentation des energetischen Verhaltens der Gebäude benötigt wird, betrifft den Warmwasserbedarf der Bewohner bzw. im Schulkomplex. Für den Schulkomplex wurden hierzu die übermittelten Angaben zur Turnhallennutzung (Nutzungszeiten) und deren Auslastung verwendet. Diesbezüglich liefert [41] geeignete Kennwerte zur Definition des daraus resultierenden Warmwasserbedarfs (30 – 50 l/Tag und Nutzer).

Bezüglich des Warmwasserbedarfs in den Wohngebäuden können wieder intensivere Statistiken genutzt werden. Dazu wird in [20] der typische tägliche Verlauf des Warmwasserverbrauchs in Mehrfamilienhäusern (Abb. 15) prozentual zur Spitzenlast dargestellt. Dieser wurde bereits für erste Untersuchungen zum Energieeinsparpotential von Solarthermieanlagen verwendet. Die entsprechenden in Abschnitt 3.3.2 dargestellten Eingangsdatensätze wurden für die Gesamtsystemsimulation erneut verwendet. Sie nutzen des Weiteren statistische Annahmen, die einen täglichen Warmwasserbedarf von ca. 30 l/Person und Tag mit einer Temperatur von ca. 45 °C ausweisen (u.a. [20], [41]).

4.2.3 Nahwärmenetzplanung

Neben der Aufnahme geeigneter Daten zur Beschreibung des Gebäude- und Nutzerverhaltens ist es des Weiteren notwendig weiterführende Planungen hinsichtlich des Aufbaus der Nahwärmenetze durchzuführen. Wie bereits, in Abschnitt 4.1 beschrieben, sollen neben der Einzelhausbetrachtung auch alle Gebäude des betrachteten Quartiers im Verbund simulationsbasiert untersucht werden. Basis solcher Systemvarianten ist ein Nahwärmenetz, welches den Austausch von lokal produzierter Wärmeenergie (z.B. durch ein BHKW) zwischen den einzelnen Gebäuden im Quartier ermöglicht.

Für die Modellierung eines derartigen Nahwärmenetzes wird jedoch eine Reihe von Voruntersuchungen benötigt. Diese betreffen besonders drei Punkte:

- Identifizierung der Wärmeverluste im Nahwärmenetz
- Identifizierung der Druckverluste im Nahwärmenetz zur Pumpenauslegung
- Position und Leistungsbedarf von notwendigen Spitzenlastkesseln

In den in Kapitel 3 gezeigten Vorüberlegungen zu Energieeinsparpotentialen und Systemkosten wurden bereits zwei grundsätzliche Konzepte zum Aufbau von geeigneten Nahwärmenetzsystemen erarbeitet. Bei der kleinen Nahwärmenetzlösung (BHKW-Nahwärmenetz) stellt ein zentrales BHKW-System im Schulkomplex ganzjährig die Warmwasserenergie für die Wohngebäude bereit. Im Rahmen der großen Nahwärmenetzvariante (WP-Nahwärmenetz) wird die zentrale Warmwasserbereitung durch das BHKW-System durch eine zentrale Heizwärmeerzeugung in einer Wärmepumpenkaskade ergänzt. Diese Wärmepumpenkaskade nutzt das Wasser der Wesenitz als Umweltwärmequelle und wird teilweise regenerativ durch das Wasserkraftwerk Daubemühle mit Elekt-

roenergie versorgt. Die Dimensionierung beider Nahwärmenetzkonzepte ist in Anhang A6 und A7 detailliert dargestellt.

Tab. 13: Eigenschaften Nahwärmenetzleitungen (Isopex – 6 bar [45])

Nennweite	Leistung (20 K) [kW]	Wasserinhalt [l/m]	Wärmeverlustrate [W/mK]
DN 25	14 – 27	0,327	0,1246
DN 32	27 – 54	0,539	0,1582
DN 40	42 – 84	0,835	0,1646
DN 50	77 – 153	1,307	0,1693
DN 63	122 – 243	2,075	0,1921
DN 75	198 – 397	2,961	0,2109
DN 90	285 – 570	4,254	0,2264
DN 100	479 – 959	6,362	0,2608
DN 125	618 – 1237	8,203	0,3390

Ausgehend von den zu übertragenden Wärmeleistungen wurden hier für beide Konzepte anhand der ermittelten Rohrlängen, sowie des ausgewählten Rohrtyps die resultierenden Druckverluste für die einzelnen Nahwärmenetze bestimmt. Mit Hilfe der benötigten Volumenströme (BHKW-Nahwärmenetz: 10 m³/h, WP-Nahwärmenetz: 45 m³/h) konnten geeignete Pumpen ermittelt werden, deren Datenblätter für die Simulation adäquate Angaben zu resultierenden Pumpenstromverbräuchen lieferten.

- BHKW-Nahwärmenetz: WILO DP-E 32/160 -1,1/2
- WP-Nahwärmenetz: WILO DL-E 100/250-7,5/4

Des Weiteren wurden zwei geeignete Pumpen gefunden, die das elektrische Verhalten der Primär- und Sekundärkreise der Wärmepumpenkaskade widerspiegeln können:

- WP-Primärkreis (Fluss): WILO DL-E 100/165-22/2-R1
- WP-Sekundärkreis (Heizkreis): WILO DL-E 100/150-15/2

Alle Pumpen wurden mit geeigneten Sicherheitsfaktoren ausgewählt. Weiterhin wurde bei der Auswahl berücksichtigt, dass Doppelpumpensysteme zu Sicherung der Redundanz verbaut werden sollten.

Wärmeverluste in Leistungsvolumina waren ein weiterer wichtiger Eingangsparameter, der für die Modellierung der Nahwärmenetzvarianten bestimmt werden musste. Hierzu wurden geeignete Herstellerangaben [45] genutzt, die noch einmal dezidiert in Tabelle 13 dargestellt sind.

Der letzte Untersuchungspunkt im Rahmen der Vorbereitung der Nahwärmenetzsimulation bezog sich auf die Dimensionierung notwendiger Spitzenlastkessel und deren Standort. Das BHKW-Nahwärmenetz (Anhang A6) dient der Versorgung des Quartiers mit

Wärme ausschließlich für die Warmwasserbereitung. Daher sind hier auch keinerlei Gasbrennwertkessel weiter ausgewiesen. Für die Versorgung der Gebäude mit Wärmeenergie kommen verschiedene Varianten von Kesselkombinationen (zentral/dezentral) in Betracht. Diese werden auch in der Folge noch näher diskutiert.

Das große Wärmepumpennahwärmenetz (Anhang A7) dagegen soll das gesamte Quartier mit Wärme für Heizung und Warmwasser versorgen. Die Dimensionierung der Wärmepumpenkaskade (4x130 kW) erfolgte für einen Bivalenzpunkt von ca. $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, d.h. bis ca. $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ kann die Wärmepumpenkaskade allein genügend Wärmeenergie für das gesamte Quartier bereitstellen (ca. 250 Heiztage, davon ca. 10 Tage unter -3°C). Bei tieferen Außentemperaturen muss durch dezentrale Gasbrennwertspitzenlastkessel nachgeheizt werden. Anhang A7 zeigt die notwendige Position und die Dimensionierung dieser Spitzenlastkessel innerhalb des geplanten Nahwärmenetzes. Separat dazu befinden sich im Schloß und im Schulkomplex weitere Kesselanlagen, die die Wärmeversorgung dieser Gebäude(-komplexe) sicherstellen.

4.3 Randbedingungen und Variantenfindung

Die zurückliegenden Abschnitte (4.1 und 4.2) beschäftigten sich mit der Aufbereitung benötigter Simulationsdaten und der zu verwendenden Simulationsplattform sowie der für die Simulation verschiedenerer Energiesystemkonzepte notwendigen neuen Modellierungsparadigmen.

Wie bereits eingehend beschrieben, sollen im Rahmen dieses Energiekonzepts sowohl Systemvarianten für die Einzelhaus- als auch für die Quartiersversorgung untersucht und bewertet werden. Eine Vorauswahl potentiell geeigneter Energiesystemkomponenten und -konfigurationen wurde bereits in Kapitel 3 vorgenommen. Jedoch unterliegt die finale Variantenauswahl für die Simulation neben den technischen-wirtschaftlichen auch noch weiteren rechtlich-steuerlichen Randbedingungen.

4.3.1 Steuerlich/rechtliche Randbedingungen

Nachdem im Rahmen der turnusmäßigen Projektbesprechungen nach der Vorstellung erster Energiesystemkonzepte (vgl. Kapitel 3) seitens der Projektpartner Bedenken bezüglich der Minderung steuerlicher Vorteile bei Betrieb regenerativer Energiesysteme sowie dem Verkauf von Energie eingebracht worden waren, wurde diesbezüglich eine Projektbesprechung mit dem Verband Sächsischer Wohnungsgenossenschaften (VSWG) initiiert, im Rahmen dessen wichtige Details sowie rechtliche und steuerliche Belange vor allem bezüglich des Genossenschaftsrechts diskutiert und geklärt werden konnten.

Hierbei sicherte die VSWG den beteiligten Partnern auch über die Beendigung der eigentlichen Energiekonzepterstellung Hilfestellung bei steuerlichen und rechtlichen Fragestellungen sowie der Suche nach Fördermöglichkeiten zu.

Zentrales Thema der Beratung betraf die Erzeugung sowie den Vertrieb von Energie seitens einer Wohnungs- oder Wohnungsbaugenossenschaft, die ihre Einnahmen grundsätzlich nur aus Mieten erzielen sollte. Dabei wurden bezüglich der beiden hauptsächlich im

Quartier Schloß- und Ringstraße aufzuwendenden Energieformen Wärme und Elektrizität unterschiedliche Randbedingungen herausgearbeitet.

Grundsätzlich ist der Vertrieb von Wärme durch eine Genossenschaft umlagefähig und damit steuerunschädlich. Damit ist auch der Verkauf von Wärme innerhalb eines Nahwärmenetzes unproblematisch. Auch der Bau eines Nahwärmenetzes auf dem Grund einer Genossenschaft ist als dingliche Sicherung der Grunddienstbarkeit steuerunschädlich. Einzig allein die Rückspeisung von Wärme, welche in einer Solarthermieanlage produziert wurde, in ein Nahwärmenetz ist steuerrechtlich nicht eindeutig definiert. Von derartigen Maßnahmen sollte daher abgesehen werden.

Bezüglich Stromerzeugung und Vertrieb von selbstproduziertem Strom bestehen für Genossenschaften höhere steuerliche Hürden. Grundsätzlich kann selbstproduzierter Strom zur Deckung des Allgemeinstrombedarfs (Umwälzpumpen, etc.) steuerunschädlich verwendet werden (umlagefähig). Jedoch ist eine Einspeisung des Stromes oder gar ein Verkauf des Stromes an die eigenen Mieter nicht möglich ohne eigene steuerliche Vorteile zu verlieren.

Das betrachtete Quartier beinhaltet eine Reihe von Gebäuden mit unterschiedlicher Ausrichtung, so dass einige Gebäude der Wohnungsbaugenossenschaft (z.B. Ringstr. 13-14) für die Produktion von Photovoltaik-Strom prädestiniert waren. Dieser könnte dann auch zur Deckung des Allgemeinstrombedarfs in allen Gebäuden der Genossenschaft genutzt werden. Dabei dürfte aber keine Übertragung über das öffentliche Netz (Stromhandel) erfolgen. Eine Verlegung eines neuen Netzes bzw. der Rückkauf des Arealnetzes ist zwar hierfür möglich jedoch technisch und wirtschaftlich schwierig.

Ähnlich Einschränkungen ergeben sich auch für im Rahmen des Energiekonzepts zu betrachtende Quartierslösungen. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung derartiger Lösungen ist stark gekoppelt an die zu wählenden Betreibermodelle. Hierfür kommen grundsätzlich zwei Modelle für den Anlagenbetrieb in Frage:

1. Betreibergesellschaft als Eigenbetrieb der Gemeinde
2. Energiegenossenschaft mit allen Partnern als Mitglieder

Grundsätzlich ist der Beitritt der Wohnungsbaugenossenschaft zu einer Energiegenossenschaft (Beachtung KMU-Richtlinien bei Beitritt eines kommunalen Partners (>25%)) möglich. Daher soll auch dieses Betreibermodell als Grundlage für weitere Berechnungen, insbesondere die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen genutzt werden. Dies bietet den Vorteil, dass so kein Kundenverhältnis zwischen Wohnungsbaugenossenschaft, Eigentümergemeinschaft und Gemeinde entsteht. Ansonsten müssten zwischen den einzelnen Partnern weitere Vereinbarungen hinsichtlich einer Absatzgarantie für produzierte Wärme und Strom getroffen werden. Darüber hinaus ist eine anteilige Auszahlung von Gewinnen aus der Energiegenossenschaft an die Wohnungsbaugenossenschaft als Rückvergütung von Überschüssen ohne steuerliche Nachteile möglich.

Für die Produktion regenerativen Stromes im Rahmen einer Energiegenossenschaft bestehen jedoch auch bei Beitritt Wohnungsbaugenossenschaft Einschränkungen hinsichtlich der Nutzung freier Flächen, z.B. Dachflächen für Photovoltaik-Nutzung. Eine Vermietung von Dachflächen ebenso wie eine kostenlose Verpachtung könnten als verdeckte Gewinn-

ausschüttung gewertet werden. Daher ist eine derartige Maßnahme auch im Rahmen einer Energiegenossenschaft nicht möglich.

Ein Verkauf von selbstproduziertem Strom an die Mieter ist im Rahmen einer Energiegenossenschaft steuerunschädlich, da der Energieverkauf zum Kerngeschäft eines solchen Konstrukts zählt. Jedoch bedingt die Abrechenbarkeit den Abschluss von separaten Stromlieferverträgen mit den Mietern, wodurch ein erhöhter Verwaltungsaufwand generiert wird. Derartige Aufwände stehen nicht im Verhältnis zum Gesamtstrombedarf im Quartier. Es wird daher auch im Rahmen der Quartierslösungen davon abgesehen, den Strombedarf der Mieter mit neuinstallierten Anlagen auch nur teilweise decken zu wollen.

Die Verwendung von selbstproduziertem Strom zur Deckung des Allgemeinstrombedarfs bleibt jedoch zentraler Aspekt der Quartierslösungen des zu erarbeitenden Energiekonzepts. Hierzu müssen jedoch wirtschaftliche Unterschiede zwischen Überleitung des Stromes über das bestehende Netz (Netzentgelte), der Rückkauf des Arealnetzes und der Aufbau neuer Netze nach wirtschaftlich-technischen Gesichtspunkten untersucht werden.

Abschließend bleibt zu erwähnen, dass alle in diesem Abschnitt aufgezeigten steuerrechtlichen Einschränkungen nur für die Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen gelten. Alle anderen Partner (Gemeinde und Eigentümergemeinschaft) sind davon ausgenommen. Daher können für sie sowohl in der Einzelhausbetrachtung als auch in der Quartiersbetrachtung Möglichkeiten der regenerativen Stromproduktion auch bei anteiliger Netzeinspeisung untersucht werden.

4.3.2 Variantenfindung

Grundsätzlich ist für die Findung geeigneter, zu simulierender Energiesystemvarianten zu unterscheiden, ob es sich um eine Einzelhaus- oder Quartiersbetrachtung handelt. Grundsätzlich soll dabei auf die im Kapitel 3 aufgezeigten Ergebnisse der Voruntersuchungen (Wirtschaftlichkeit regenerative Energieproduktion und Energieeinsparmaßnahmen) zurückgegriffen werden. Da die Deckung des Haushaltsstrombedarfs wirtschaftlich wie steuerrechtlich schwierig ist, liegt der Fokus aller Varianten auf der Wärmeversorgung.

Bei der Einzelhausbetrachtung muss, wie bereits in Abschnitt 4.3.1 beschrieben, eindeutig zwischen Wohnungsbaugenossenschaft und Gemeinde bzw. Eigentümergemeinschaft Schloßstraße 1-9 unterschieden werden.

Für die Wohnungsbaugenossenschaft kommen aufgrund der getroffenen Einschränkungen folgende Energiesystemvarianten in die engere Auswahl, die im Rahmen der Simulation und der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung analysiert werden sollen.

- Anlagen- und Bestandssanierung
- Umrüstung auf Gasbrennwertkessel
- Gasbrennwertkessel und Solarthermie (Flachkollektoren)
- Gasbrennwertkessel und Solarthermie (Vakuumröhrenkollektoren)

Notwendige Maßnahmen für die ersten beiden Maßnahmen wurden bereits in den Punkten 3.1 und 3.3.1 diskutiert. Jedoch ist eine Kesselumrüstung in jedem Gebäude aufgrund des Alters der bestehenden Anlagen die Grundlage eines nachhaltigen, langfristi-

gen Energiekonzepts. Aufgrund dessen, dass eine eigene Stromerzeugung in den Gebäuden der Wohnungsbaugenossenschaft nicht in Frage kommt, sollen zur Findung einer regenerativen Energieversorgungskonzepte für jedes Gebäude auch der Einfluss unterschiedlicher Solarthermiekollektoren, die zur Erzeugung von Warmwasser vormals im Sommer und in der Übergangszeit verwendet werden, untersucht werden.

Für eines der Gebäude wird darüber hinaus beispielhaft analysiert, welche Ersparnisse durch den Verbau neuartiger Gaswärmepumpen zusätzlich bzw. im Austausch mit neuen konventionellen Gasbrennwertkesseln erzielt werden können. Diese nutzen quellenseitig eine geringe Anzahl von Erdwärmesonden und könnten dadurch auch bei höherem Investitionsaufwand eine sinnvolle Alternative darstellen. Da die für ein Gebäude erzielbaren Ergebnisse ohne weiteres auf alle anderen Gebäude übertragen werden können, ist hier eine beispielhafte Analyse durchaus ausreichend.

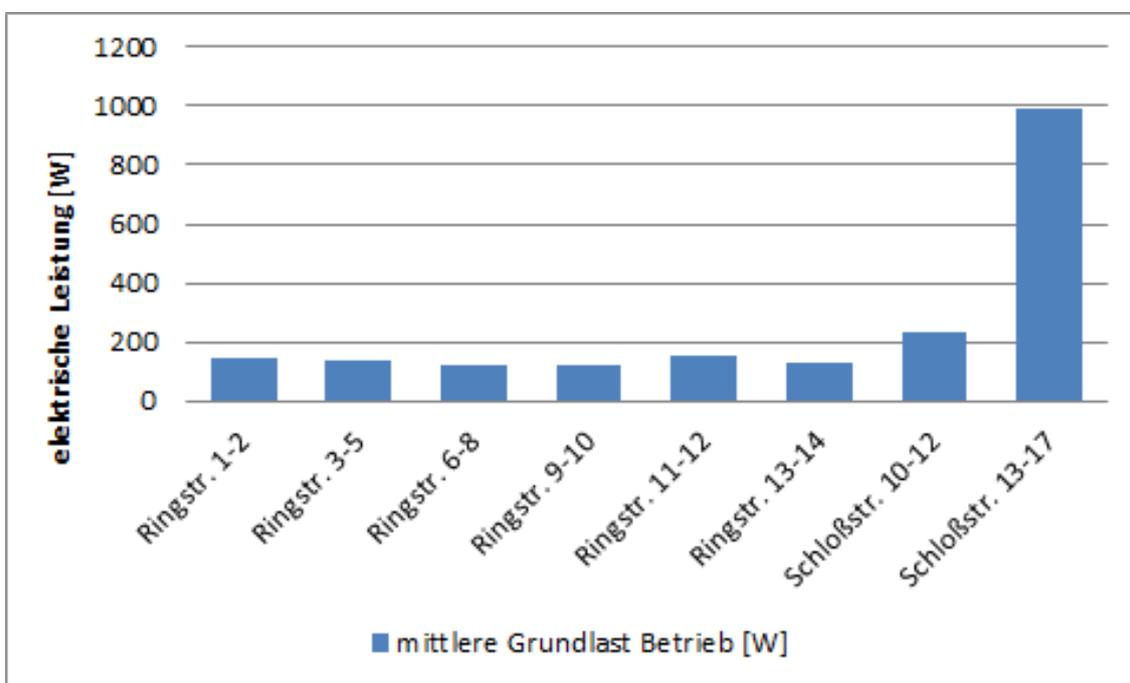


Abb. 39: Mittlere Grundlast des Allgemeinstromverbrauchs aller Gebäude der WBG

Im Rahmen der Einzelhausbetrachtung für die Gebäude der Wohnungsbaugenossenschaft bietet das Gebäude der Schloßstraße 13-17 eine Ausnahme. Abbildung 39 zeigt die mittlere Grundlast des Allgemeinstromverbrauchs aller Gebäude der Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen.

Es ist eindeutig ersichtlich, dass die mittlere Grundlast der Schloßstraße 13-17 signifikant höher ist als die aller anderen Gebäude. Dies ist mit dem kontinuierlichen Stromverbrauch der Satellitenanlage im Dachboden zu begründen (vgl. Abschnitt 2.4.2).

Am Markt existieren bereits Energiesysteme (insbesondere Mini-BHKW), die in einem derartigen Leistungsbereich arbeiten (bis ca. 1 kW elektrisch) und so dezentral den Allgemeinstrombedarf teilweise decken können. Die Nutzung von kleineren Photovoltaik-Anlagen für diese Aufgabe ist jedoch nur schlecht möglich, da bei verringertem Leistungsbedarf die regenerative Stromproduktion nicht ohne weiteres angepasst werden

kann und so die Gefahr besteht, dass doch Strom eingespeist wird. Dagegen können kleinere Blockheizkraftwerke so angesteuert werden, dass sie nur im Falle eines genügend hohen Strombedarfs betrieben werden (stromgeführte Betriebsweise). Daher wird zusätzlich zu allen oben genannten Einzelhausbetrachtungsvarianten für die Gebäude der WBG Lohmen auch noch die Nutzung eines Mini-BHKW mit 1 kW elektrischer Leistung in der Schloßstraße 13-17 untersucht.

Wie bereits beschrieben, bestehen für die Gebäude der Gemeinde und der Eigentümergemeinschaft keine vergleichbar großen steuerrechtlichen Hürden hinsichtlich der Produktion bzw. des Vertriebs von regenerativ erzeugter Elektrizität.

Daher werden für die Eigentümergemeinschaft sowie für die Gemeinde folgende Energieversorgungsvarianten für die einzelnen Gebäude untersucht.

- Anlagen- und Bestandssanierung
- Umrüstung auf Gasbrennwertkessel
- Gasbrennwertkessel und Solarthermie
- Gasbrennwertkessel und Photovoltaik
- Gasbrennwertkessel und Blockheizkraftwerk

Die ersten beiden Punkte beziehen sich auf den gleichen Hintergrund, der schon für die zu untersuchenden Maßnahmen bei den Gebäuden der Wohnungsbaugenossenschaft beschrieben wurde. Weiterhin soll der Einfluss der Unterstützung der Warmwasserbereitung durch Solarthermieanlagen im Sommer und in den Übergangsmontaten untersucht werden. Jedoch werden hier nicht mehr zwei verschiedene Arten von Kollektoren untersucht. Hierbei wird bei der Auswahl der geeigneteren Kollektoren auf die Ergebnisse der Untersuchungen für die Gebäude der Wohnungsbaugenossenschaft zurückgegriffen.

Weiterhin werden für die einzelnen Gebäude unterschiedliche Photovoltaik-Anlagengrößen, eine kleinere und eine größere, analysiert. Im gleichen Maße wird bezüglich unterschiedlicher Blockheizkraftwerke vorgegangen. Darüber hinaus wird im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Gebäude der Schloßstraße 1-9 untersucht, ob ein Verkauf von lokal regenerativ erzeugter Elektrizität an die Mieter eine wirtschaftliche Alternative darstellt.

Als eine weitere Untersuchungsvariante werden Mischkonzepte aus Photovoltaik- und Solarthermieanlagenutzung überprüft. Jedoch werden für das Schloß mit seinem denkmalgeschützten Dach keinerlei Varianten mit Photovoltaik- oder Solarthermieanlagen näher untersucht.

Neben der Tatsache, dass die lokale Stromproduktion keinerlei steuerliche Nachteile für die Partner der Gemeinde oder der Eigentümergemeinschaft darstellt, erscheinen derartige Maßnahmen für diese Gebäude auch dadurch als sehr sinnvoll, da hier der Allgemeinstrombedarf von Grund auf schon höher ist, als in den Wohngebäuden der WBG (vgl. Abb. 39 mit Abschnitt 2.4.1). Dies hängt einerseits mit der Rohrbegleitheizung in den Wohngebäuden der Schloßstraße 1-9 als auch mit dem nutzungsbedingten hohen Allgemeinstrombedarf in den öffentlichen Gebäuden der Gemeinde zusammen.

Für die Untersuchung verschiedener Quartiersversorgungskonzepte sind wiederum weitere Einschränkungen, die bereits in Abschnitt 4.3.1 dargestellt wurden, maßgeblich.

Grundsätzlich liegt der Fokus der Untersuchungen auf der Findung einer wirtschaftlich-tragbaren, nachhaltigen Nahwärmenetzlösung. Ein Rückkauf des Arealnetzes erscheint aufgrund des Gesamtallgemeinstromverbrauchs als unwirtschaftlich. Daher spielt die regenerative Stromproduktion, z.B. durch große Flächen-PV-Anlagen, eher eine untergeordnete Rolle.

Folgende Basisvarianten für unterschiedliche Energiesystemkonzepte wurden daher untersucht.

- Kleines Nahwärmenetz mit zentralem Blockheizkraftwerk zur ganzjährigen Warmwasserbereitung im Quartier
- Großes Nahwärmenetz mit Wärmepumpenkaskade zur Heizenergieerzeugung (Nutzung von Flusswasserwärme und Wasserkraft) sowie zentrales Blockheizkraftwerk zur Warmwasserbereitung im Quartier

Das kleine Nahwärmenetz dient vormals dazu die durch ein zentrales Blockheizkraftwerk in der Schule ganzjährig hergestellte Wärme den einzelnen Wohngebäuden zur Warmwasserbereitung zukommen zu lassen. Der hierbei produzierte Strom wird zur Deckung des Allgemeinstrombedarfs im gesamten Quartier verwendet. Weiterhin werden bezüglich dieser Basisvariante zusätzliche Faktoren untersucht:

- Versorgung der Straßenbeleuchtung im Quartier
- Ersetzung/Ergänzung zentraler Gasbrennwertkaskaden durch Gaswärmepumpen
- Zusätzliche Deckung des Allgemeinstrombedarfs durch eine kleine Flächen-PV-Anlage auf den Dächern der Schloßstraße 1-9

Die große Nahwärmenetzvariante beinhaltet zwei zentrale Wärmeversorgungsanlagen. Neben dem zentralen Blockheizkraftwerk, welches zur Warmwasserbereitung im Quartier genutzt wird, soll ein Großteil der Heizenergie durch eine Wärmepumpenkaskade erbracht werden. Als primärseitigen Energieträger nutzen diese den ganzjährig wasserführenden Fluss Wesenitz. Dieser wird minimal ausgekühlt. Die zusätzlich benötigte Elektroenergie wird durch das gemeindeeigene Wasserkraftwerk Daubemühle teilweise abgedeckt.

5 Simulationsergebnisse und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Nach dem in Kapitel 4 alle Vorüberlegungen zur Modellierung verschiedener Energiesystemkonzepte aufgezeigt, die Aufbereitung geeigneter Simulationsdaten vorgestellt und die Menge an durchzuführenden Simulationsuntersuchungen auf ein sinnvolles Maß begrenzt wurden, werden in diesem Kapitel die Ergebnisse der Simulationsuntersuchungen und die auf Basis derer durchgeführte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beschrieben.

5.1 Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Simulation der einzelnen konzipierten Energiesystemvarianten mit Hilfe der „Green Building“ Simulationsbibliothek ist ein Teil der Entwicklung eines ganzheitlichen Energiekonzepts für das Quartier Ring- und Schloßstraße in Lohmen. Jedoch besteht das Hauptziel der beteiligten Partner, die nachhaltige und bezahlbare Energieversorgung für die Bürger im historischen Ortskern der Gemeinde Lohmen langfristig sicherzustellen. Hierzu ist eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der erzielten Simulationsergebnisse unerlässlich.

Um dies zu ermöglichen, sind weitere Randbedingungen für Finanzierungs- und Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zu ermitteln. Hierfür wurden seitens der Partner Bedingungen mitgeteilt, die ihrer Meinung nach, eine wirtschaftliche Umsetzung ermöglichen. Des Weiteren müssen Annahmen zu zukünftigen Preissteigerungen, laufenden Kosten und erzielbaren Vergütungen getroffen werden, die ebenfalls im Rahmen dieses Abschnitts näher beleuchtet werden sollen.

5.1.1 Randbedingungen der Wohnungsbaugenossenschaft

Grundlage der Wirtschaftlichkeit seitens der Wohnungsbaugenossenschaft stellt die eigentliche Finanzierbarkeit eines Vorhabens dar. Seitens der WBG wurde daher übermittelt, dass die Finanzierung aller notwendiger Maßnahmen maximal mit einem Eigenkapital von 150.000 € gestartet werden kann. Höhere Kosten müssen mit Hilfe von Annuitätendarlehen finanziert werden.

Die hierfür jährlich aufbringbare Jahresannuität ergibt sich aus den durch die WBG erzielbaren Jahresüberschüssen. Sie wird mit 30.000 € taxiert. Es wird eindeutig festgelegt, dass keine Umlage von Investitionskosten auf die Mieter durchgeführt werden soll, wodurch das Ziel jedweder Investition eine langfristige Stabilisierung der Warmmieten als Basis für die Erhaltung eines attraktiven Mietstandorts sein soll.

Die Annuitätendarlehen werden maximal auf zwei aufeinanderfolgende Darlehensperioden aufgeteilt. Die erste Darlehensperiode soll maximal 8 Jahre dauern und einen Zinsfuß von 4% besitzen. Das danach folgende Anschlussdarlehen wird wiederum auf eine Laufzeit von max. 8 Jahren begrenzt. Es darf einen Höchstzinsfuß von 8% besitzen. Nach Ablauf beider Darlehensperioden muss die Restschuld aus den getätigten Investitionen vollständig getilgt sein.

5.1.2 Randbedingungen der Gemeinde

Um eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für einzelne Gebäude der Gemeinde (vormals Schloß Lohmen und Schulkomplex) durchführen zu können, wurden seitens der Gemeindeverwaltung ebenfalls dezidierte Randbedingungen zur Darstellung einer Investitionsfinanzierung übermittelt.

Ähnlich wie bei den in Abschnitt 5.1.1 beschriebenen Initialbedingungen der Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen, kann die Gemeinde ein Eigenkapital von 100.000 € für die Finanzierung von Investitionsmaßnahmen aufbringen. Im Gegensatz zur Wohnungsbaugenossenschaft, ist die Gemeinde zwar nur für zwei statt acht Gebäude im betrachteten Quartier verantwortlich, jedoch sind im Rahmen einer Einzelgebäudesanierung neben den Kosten für neue Anlagensysteme auch noch Investitionen bezüglich der bautechnischen Sanierung noch unsanierter Gebäudeteile (vgl. Abschnitt 3.5) zu finanzieren.

Die Gemeinde gibt daher vor, dass alle Investitionsmaßnahmen, die über die Eigenkapitalfinanzierung hinausgehen, ebenfalls über ein Annuitätendarlehen finanziert werden sollen. Dieses Darlehen soll auf 8 Jahre festgeschrieben werden und einen Zinsfuß von 4% besitzen. Ein Anschlussdarlehen wird nicht angestrebt. Die Restschuld muss nach dieser Zeit getilgt sein.

5.1.3 Randbedingungen der Eigentümergemeinschaft

Die Eigentümergemeinschaft als kleinster der drei Partner ist im historischen Ortskern der Gemeinde Lohmen für nur zwei Gebäude, die Schloßstraße 1-5 und die Schloßstraße 6-9, verantwortlich. Diese wurden größtenteils auch schon in den 1990er Jahren bautechnisch generalsaniert, sodass derartige Investitionen im Rahmen der Anlagensanierung eher nicht anstehen.

Daher können und müssen etwaige Investitionsmaßnahmen im Rahmen der Einzelhausanierung auch nur mit dem geringsten aller Eigenkapitalquoten, max. 50.000 €, finanziert werden. Darrüberhinaus gehende höher Investitionsaufwände müssen analog zur Wohnungsbaugenossenschaft durch Annuitätendarlehen abbezahlt werden.

Die hierfür jährlich aufbringbare Jahresannuität wird seitens der EG auf ca. 20.000 € festgelegt. Dies entspricht der jährlich anzusparenden Instandhaltungsrücklage der Gemeinschaft. Wie auch die WBG verfolgt die Eigentümergemeinschaft im Rahmen ihrer Investitionsstrategie das Ziel, die anfallenden Nebenkosten, vor allem im Bereich der Energieversorgung, langfristig für die kommenden Jahre zu stabilisieren.

Die Darlehensaufnahme wird wiederum auf zwei Darlehen aufgeteilt. Das erste Darlehen soll eine Dauer von 8 Jahren und einen Zinsfuß von ebenfalls 4% besitzen. Ein gegebenenfalls notwendiges Anschlussdarlehen soll die Restschuld in ebenfalls maximal 8 Jahren bei einem Zinsfuß von ca. 8% tilgen.

5.1.4 Randbedingungen für Quartiersbetrachtungen

Im Rahmen der Quartiersbetrachtungen werden alle Gebäude der drei Partner Gemeinde, Wohnungsbaugenossenschaft und Eigentümergemeinschaft gemeinsam betrachtet. Wie bereits in Abschnitt 4.3.1 beschrieben, soll für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen eine

Energiegenossenschaft als Anlagenbetreibermodell angenommen werden, in der alle drei Partner Mitglied sind. Zur Vereinfachung weiterer Berechnungen bzw. zur Ermöglichung der Vergleichbarkeit zwischen Einzelhausbetrachtung und Quartiersbetrachtung sollen für die Festlegung der Finanzierungsrandbedingungen die Angaben der drei Partner einfach akkumuliert werden.

Das bedeutet, der zu gründenden Energiegenossenschaft stünde ein Eigenkapital von ca. 300.000 € für alle umzusetzenden Maßnahmen zur Verfügung. Jedoch erfordern einige Maßnahmen (z.B. Aufbau eines Nahwärmenetzes) teilweise kostenintensivere Investitionen, wodurch wiederum die Aufnahme von zusätzlichen Darlehen notwendig werden kann.

Analog zu den Vorgaben der Wohnungsbaugenossenschaft (Abs. 5.1.1) und der Eigentümergemeinschaft (Abs. 5.1.3) werden wieder maximal zwei Darlehensperioden vereinbart, die jeweils maximal 8 Jahre andauern sollen. Der Zinsfuß des ersten Darlehens beträgt wieder 4%, der des Anschlussdarlehens wieder 8%. Alle Restschulden sind in diesem Zeitraum vollständig zu tilgen. Als maximale Jahresannuität werden die übermittelten Beträge der WBG und der EG (Jahresüberschüsse und Instandhaltungsrücklage) aufsummiert. Zusätzlich sicherte die Gemeinde eine Aufstockung dieser Summe auf insgesamt 100.000 € zu.

5.1.5 Preissteigerungsraten

Ein zentraler Punkt einer jeden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist das Treffen von adäquaten Annahmen zu zukünftigen Preisentwicklungen. Dies bezieht sich einerseits auf Energiepreise und andererseits auf die Teuerungsrate selbst, die das zukünftige Preisniveau für Waren und Dienstleistungen bestimmt.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass alle Arten von Kosten und Preisen auch aufgrund der wachstumsorientierten Politik weiter steigen. Die Teuerungsrate (Inflationsrate) soll in den EURO-Ländern durch die Europäische Zentralbank per Dekret auf einem Niveau um 2% pro Jahr gehalten werden. Dies soll daher auch Basis der Wirtschaftlichkeitsrechnungen und der darin verwendeten Inflationsrate werden.

Die einzelnen Energiepreise, vormals für Strom und Gas, die den Großteil des Energieverbrauchs im betrachteten Quartier ausmachen, unterliegen jedoch anderen, von der Inflation etwas abgekoppelten Steigerungsraten. Um sinnvolle Annahmen für diese Preissteigerungsraten machen zu können, sind daher zusätzliche Untersuchungen notwendig.

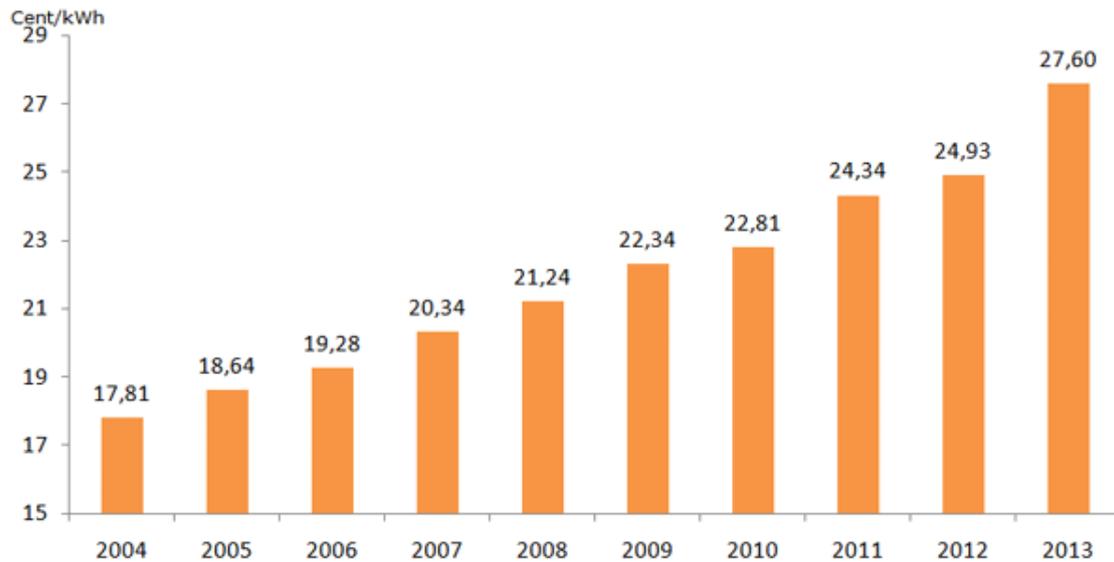
Hierfür können verschiedene Quellen genutzt werden. Abbildung 40 zeigt den durchschnittlichen Anstieg der Verbraucherpreise für Strom und Gas seit dem Jahr 2004, welches auf der Verivox-Preisvergleichsinternetplattform dargestellt wird [46].

Hierbei zeigt sich eine durchschnittliche Strompreissteigerung von ca. 6,1% pro Jahr seit dem Jahr 2004 (von 17,81 ct/kWh auf 27,60 ct/kWh). Diese verläuft auch weitestgehend kontinuierlich, wodurch der gezeigte Wert schon ein guter Gradmesser für zukünftige Entwicklungen sein sollte.

Etwas anders verhält sich das für die ebenfalls in Abbildung 40 gezeigte Entwicklung des Gaspreises seit dem Jahr 2004. Grundsätzlich ist wiederum eine Preissteigerung von ca.

Verivox Verbraucherpreisindex Strom

Durchschnittlicher Haushaltsstrompreis in Cent pro kWh (brutto) bei einem Jahresverbrauch von 4.000 kWh.



Verivox Verbraucherpreisindex Gas

Durchschnittlicher Heizgaspreis in Cent pro kWh (brutto) bei einem Jahresverbrauch von 20.000 kWh.

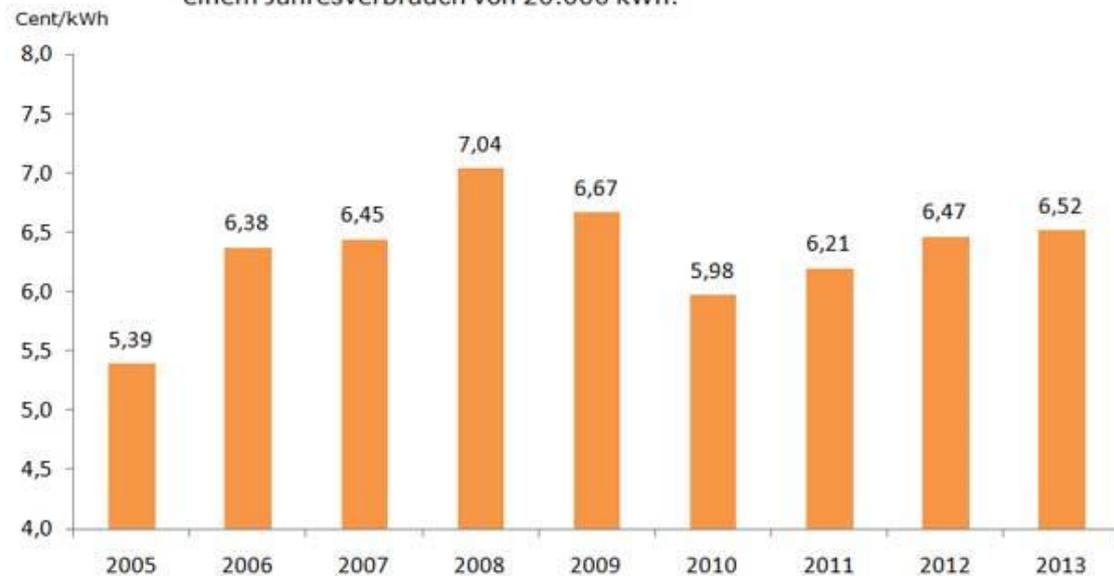


Abb. 40: Preissteigerungsraten für Strom und Gas laut Verivox-Plattform [46]

2,3% pro Jahr festzustellen (von 5,39 ct/kWh auf 6,52 ct/kWh). Diese erfolgte jedoch keineswegs kontinuierlich, wodurch eine genaue Betrachtung in Bezug auf verschiedene Ereignisse im aufgezeigten Zeitraum notwendig wird. Einerseits ist ein starker Einbruch des Gaspreises nach der Weltwirtschaftskrise in den Jahren 2008/09 festzustellen. Zusätzlich wurde im Zeitraum kurz darauf die Preisbindung von Gas an Erdöl aufgelöst, was zu einer zusätzlichen Entlastung des Gaspreises führte.

Daher sollte für Festlegung einer adäquaten Annahme zukünftiger Gaspreissteigerungen nur der Zeitraum nach 2010 (ohne Preisbindung, nach der Krise) betrachtet werden, da der wahrscheinlichste Verlauf für die nächsten Jahre skizziert ist. In diesem Zeitraum

betrug die Gaspreissteigerung durchschnittlich 3,6% pro Jahr. In den Jahren vor der Weltwirtschaftskrise lag sie noch im Bereich von ca. 10% pro Jahr.

Neben den Auskünften privater Datendienste sind des Weiteren auch teilweise hochaufgelöste Datensätze (monatlich) von öffentlichen Stellen, wie dem Statistischen Bundesamt, verfügbar [47]. Dieses unterscheidet bei seinen Untersuchungen zu Preissteigerungen einerseits wieder zwischen Gas und Strom und andererseits zwischen Privat- und Industriekunden. In Abbildung 41 und diese durch das Statistische Bundesamt aufgenommenen Werte für den verfügbaren Zeitraum von 2007 bis 2012 aufgezeigt.

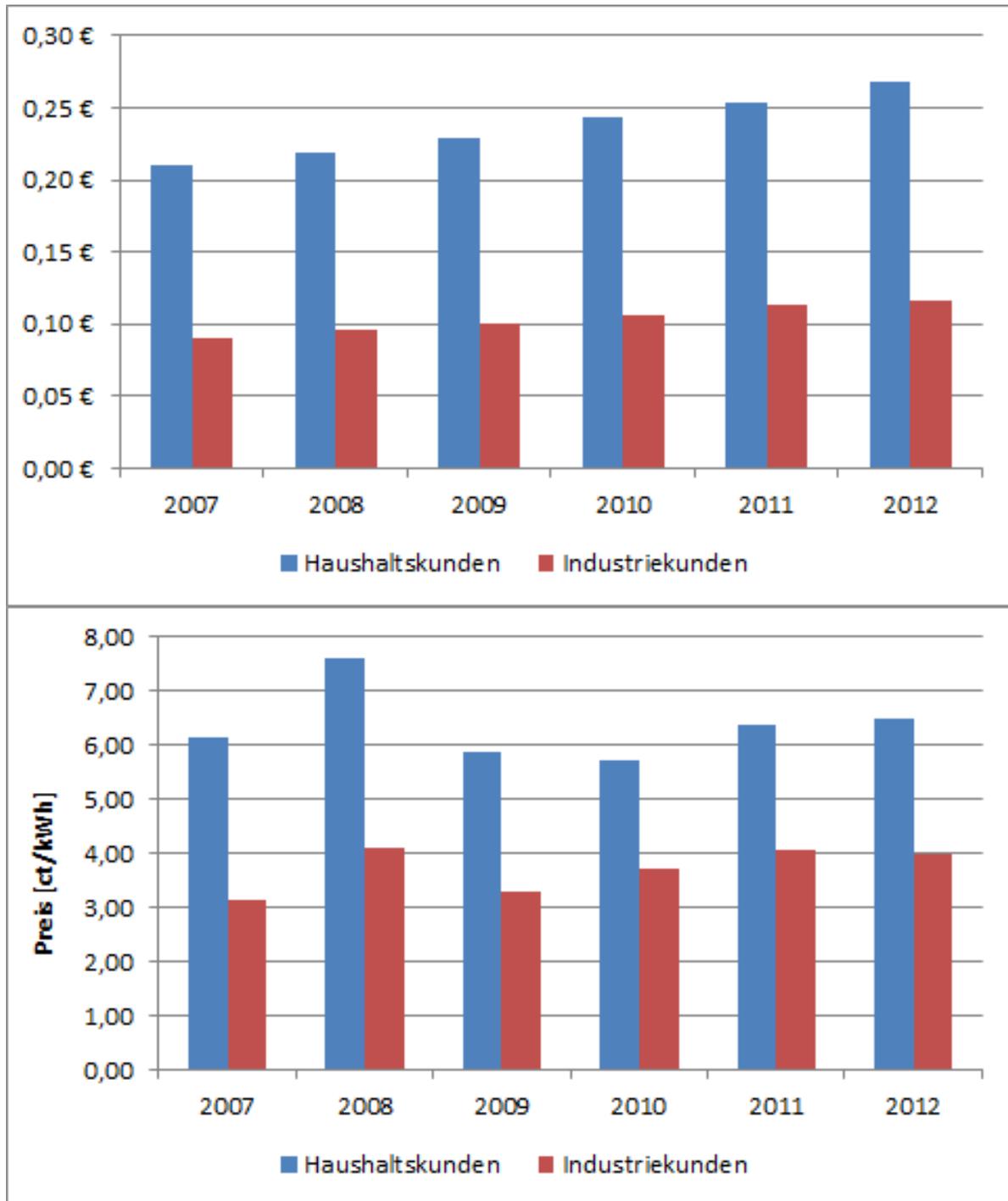


Abb. 41: Preissteigerungsraten für Strom und Gas laut Statistischem Bundesamt [47]

Wiederum zeigt sich in den in Abbildung 41 gezeigten Strompreisen eine vergleichsweise kontinuierliche Steigerung. Diese beträgt für Haushalte ca. 5,4% (von 21,05 ct/kWh auf 26,76 ct/kWh) und für Industriekunden ca. 5,9 ct/kWh pro Jahr (von 9,02 ct/kWh auf 11,69 ct/kWh). Abgesehen von den großen Preisunterschieden zwischen Haushalts- und Industriekunden sind die resultierenden Preissteigerungsraten für Strom mit den Daten der Verivox-Plattform in Abbildung 40 gut vergleichbar.

Die Untersuchung der Gaspreissteigerungsraten des statistischen Bundesamtes liefert ebenfalls sehr interessante Ergebnisse. Laut der Daten in Abbildung 41 stieg der Gaspreis für Haushalte im Zeitraum von 2007 bis 2012 nur um ca. 1,2% pro Jahr (von 6,13 ct/kWh auf 6,58 ct/kWh). Das deckt sich wiederum mit den Erkenntnissen aus Abbildung 40. Für Industriekunden war die Preissteigerung im gleichen Zeitraum ungleich höher (5,6% pro Jahr, von 3,12 ct/kWh auf 4,0 ct/kWh).

Wiederum ist der Einfluss verschiedener politischer und wirtschaftlicher Ereignisse, wie der Weltwirtschaftskrise in den Jahren 2008/09 zu erkennen. Eine getrennte Bewertung der Preissteigerung vor diesem Ereignis ist auf Grund der geringen Menge der hier gegebenen Daten nicht repräsentativ (24% Preissteigerung von 2007 bis 2008 für Haushalte). Jedoch verhält sich die Preissteigerungsrate für Haushalten nach 2009 nahezu exakt so, wie sie seitens der Verivox-Plattform [46] angegeben wird (hier: 3,4% pro Jahr). Daher kann dieser Zeitraum eher als repräsentativ angenommen werden.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die Strompreise in den letzten 10 Jahren ca. um 5-6% jährlich stiegen. Diese Entwicklung ist für die nächsten Jahre ebenfalls anzunehmen, daher soll im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen mit einer Strompreissteigerung von 3,5% bis 6,0% pro Jahr gerechnet werden.

Für die Ermittlung einer adäquaten Gaspreissteigerungsrate mussten weiterführende Überlegungen durchgeführt werden. Jedoch konnte anhand der Daten eine vergleichbar kontinuierliche Gaspreissteigerung seit dem Jahr 2009 mit ca. 3-4% pro Jahr aufgezeigt werden. Daher soll im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einer durchschnittlichen Gaspreissteigerung von 3,0% bis 5,0% pro Jahr gerechnet werden.

Es ist abzusehen, dass Veränderungen in der Weltwirtschaft (z.B. Weltwirtschaftskrise), die Nutzung neuer Gewinnungsverfahren (z.B. Fracking) sowie die Änderung wirtschaftlicher (Änderung des Erneuerbaren Energien Anteils am Strommix) oder politischer Rahmenbedingungen (Novellierung der EEG-Umlage) eine teilweise hohe Auswirkung auf die zukünftig auftretenden Preisentwicklungen haben. Da diese aber nur schwer bzw. gar nicht vorherzusehen sind, stellen die zuvor dargestellten Annahmen einen größtenteils gesicherten Kompromiss dar.

5.1.6 Kostenannahmen

Neben der Ermittlung der anzusetzenden Preissteigerungsraten sowie den Festlegungen zur Finanzierungsmöglichkeiten sind zusätzliche Annahmen zu anzusetzenden Kosten (Energie, Verwaltung, Instandsetzung, Versicherung, Wartung, Abschreibung) sowie Vergütungen und potentielle Einnahmen (z.B. aus Verkauf von Energie) zu machen. Ein weiterer großer Posten der zutreffenden Annahmen betrifft die aufzuwendenden Investitionskosten für einzelne Anlagen und Systeme.

Zu den anzusetzenden Energiekosten gehören einerseits die laufenden Kosten für Strom und Gas, welches vom existierenden Netz bezogen wird. Zusätzlich werden für diese Posten jährliche Basiskosten für deren Bereitstellung fällig.

Versicherungs- und Wartungskosten entfallen dagegen jährlich anteilig für bestehende oder neue Energiesystemkomponenten (z.B. BHKW) um deren Erhalt und Funktionsweise über einen adäquaten Zeitraum sicherstellen zu können.

Des Weiteren treten im Rahmen verschiedener Konzepte Personalkosten auf. Einerseits müssen neue oder bestehende Anlagen kontrolliert, gewartet und betrieben werden. Hierfür sind entsprechende Fachkräfte notwendig. Des Weiteren fallen für verschiedene Betreibermodelle, Einzelhaus oder Quartier, teilweise Verwaltungsarbeiten, z.B. zur Erstellung von Abrechnungen, an.

Um die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in einem umsetzbaren betriebswirtschaftlichen Kontext durchführen zu können, müssen darüber hinaus neue aufgebaute Anlagen als Investitionsgüter geführt und über die zukünftigen Betriebsjahre bezüglich Ihrer Kosten abgeschrieben werden.

Allen Kosten gegenüber stehen natürlich, vor allem im Kontext der lokalen Nutzung von erneuerbaren Energien, entsprechende Vergütungen, die auf Basis des Betriebs bestimmter Anlagen (z.B. Blockheizkraftwerke) oder Einspeisung von Energie ins öffentliche Netz (z.B. Photovoltaikstrom) geltend gemacht werden können.

Abschließende Annahmen sind bezüglich der eigentlichen Investitionskosten zu tätigen. Die einzelnen, im Rahmen verschiedener Konzepte geplanten Energiesystemkomponenten erfordern unterschiedliche Investitionsaufwendungen. Diese werden im Anhang detailliert dargestellt. Darüber hinaus können für unterschiedliche Systemkomponenten je nach Neuartigkeit und Nachhaltigkeit von verschiedenen Stellen (zumeist BAFA - Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) Investitionsvergütungen und -zulagen erhalten werden. Diese unterstehen jedoch gewissen Voraussetzungen, die ebenfalls in der Folge beleuchtet werden sollen.

Investitionskosten und Investitionsvergütungen

Alle in der Folge durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beruhen auf speziellen herstellereigenen Preislisten bzw. speziell für diverse Problemstellungen (z.B. Ausbau Nahwärmenetz) eingeholten Angeboten. Sie bieten daher eine sehr detaillierte Grundlage für eine möglichst genaue Kosten- und Investitionsrechnung.

Anhang A4 zeigt eine detaillierte Aufstellung der Kosten für die einzelnen im Rahmen der Untersuchungen betrachteten Anlagen und Systeme und Maßnahmen. Dem gegenüber stehen teilweise auch Fördergelder, die beim Verbau einzelner Systeme ausgeschöpft werden können. Diese unterliegen aktuellen gesetzlichen Grundlagen (u.a. KWK-Gesetz, EEG-Gesetz) und sollen im Folgenden noch einmal näher beleuchtet werden.

Die hierbetrachtete Investitionsförderung bezieht sich im Wesentlichen auf die seitens des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) offerierten Fördermöglichkeiten [53].

Eine mögliche Förderung bezieht sich auf Investitionen, die im Bereich der Nutzung von solarthermischen Anlagen liegen. Diese besteht aus einer Reihe von einzelnen Fördermaßnahmen [21]:

- Basisförderung im Gebäudebestand
- Kesseltauschbonus
- Kombinationsbonus
- Effizienzbonus
- Solarpumpenbonus
- Wärmenetzbonus
- Innovationsförderung

Diese gelten meistens für kombinierte Warmwasserbereitung mit Heizungsunterstützung. Aufgrund der vergleichbar hohen, benötigten Vorlauftemperaturen im Quartier kommt jedoch für die untersuchten Systemvarianten nur eine ausschließliche Warmwasserbereitung in den Sommer- und Übergangsmonaten mit solarthermischen Anlagen infrage. Die einzige Förderung, die hierfür in Anspruch genommen werden könnte, ist die Innovationsförderung mit 90 € je Quadratmeter Bruttokollektorfläche.

Diese unterliegt jedoch einigen Auflagen. So müssen z.B. für Flachkollektoren mindestens 40 l/m² und für Vakuumröhrenkollektoren mindestens 50 l/m² Pufferspeichervolumen vorgehalten werden.

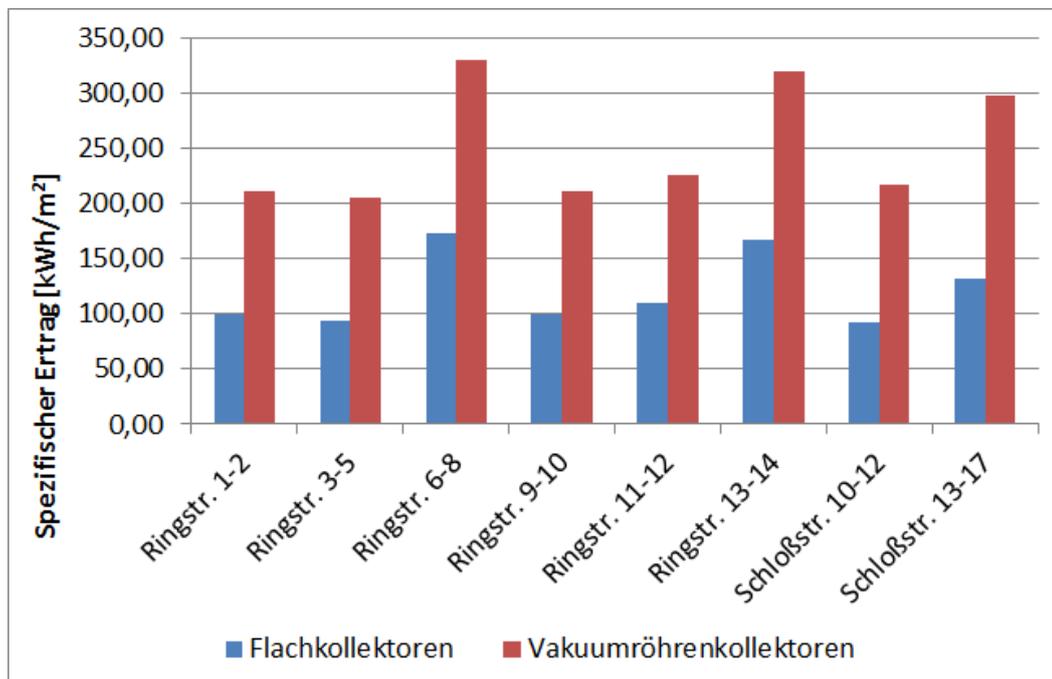


Abb. 42: Spezifischer solarer Wärmeertrag für alle Gebäude der WBG

Zusätzlich muss ein Kollektorwärmeertrag von mindestens 350 kWh/m²a simulationsgestützt sichergestellt werden [53]. Abbildung 42 zeigt die diesbezüglich erzielten Ergebnisse der Solarthermiesystems simulation für die verschiedenen Gebäude der Wohnungsbau genossenschaft. Es ist eindeutig ersichtlich, dass dieser Wert auch bei den Gebäuden mit der besten Ausrichtung und effektiv arbeitenden Anlagen (Vakuumröhrenkollektoren)

nicht erreicht werden kann. Dies liegt vor allem an den benötigten Vorlauftemperaturen für die Warmwasserbereitung in den bestehenden Gebäuden. Daher wird im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen keinerlei Investitionsförderung für solarthermische Anlagen berücksichtigt.

Darüber hinaus können Fördergelder beim Verbau neuer Wärmepumpenanlagen im Gebäudebestand in Anspruch genommen werden [54]. Im Rahmen des Energiekonzepts sollen einerseits elektrisch betriebene Wasser-Wasser-Wärmepumpen (Wärmepumpen-Nahwärmenetz) und andererseits gasbetriebene Sole-Wasser-Wärmepumpen (Alternative zu Gasbrennwertkesseln) untersucht werden. Hierfür sind in der Basisförderung folgende Investitionsvergütungen möglich [54]:

- Bis 10 kW: 2.800 € pauschal
- 10 kW – 20 kW: 2.800 € + 120 € je kW (ab 10 kW)
- 20 kW – 22 kW: 4.000 € pauschal
- 22 kW – 100 kW: 2.800 € + 100 € je kW (ab 10 kW)

Diesbezüglich werden zusätzliche Fördergelder (je 500 €) offeriert, wenn zusätzlich zur Wärmepumpe ein Wärmespeicher mit mindestens 30 l/kW verbaut wird. Für all diese Maßnahmen ist eine minimale Jahresarbeitszahl von 3,8 für elektrisch betriebene und von 1,3 für gasbetriebene Anlagen nachzuweisen.

Eine dritte, von der BAFA angebotene Fördermaßnahme bezieht sich auf die Förderung von neuen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Hierbei werden insbesondere Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis maximal 20 kW gefördert.

Für diese Form der Investitionsförderung gelten folgende Berechnungssätze [55]:

- (1) Bis 1 kW: 1.500 € pauschal
- (2) 1 kW – 4 kW: (1) + 300 € / kW (1. – 4. kW)
- (3) 4 kW – 10 kW: (2) + 100 € / kW (5. – 10. kW)
- (4) 10 kW – 20 kW: (3) + 50 € / kW (11. kW – 20. kW)

Mit einem BHKW mit 20 kW elektrischer Leistung ist also ein maximaler Fördersatz von 3.500 € zu erreichen. Dem gegenüber stehen wiederum Einschränkungen bezüglich der minimalen Größe zu verbauender Wärmespeicher. Diese müssen einen Energiegehalt von mindestens 1,6 kWh je installiertem kW thermischer Leistung besitzen. Das Minimum liegt jedoch bei 300 l. Maximal sind jedoch Wärmespeicher mit einem Energiegehalt von 1600 l zu verbauen.

Außer den aufgezeigten Investitionsförderungen wurden keinerlei weitere Fördermaßnahmen im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalysen betrachtet.

Laufende Vergütungen

Laufende Vergütungen beziehen sich im Kontext des Energiekonzepts auf staatliche Fördergelder, die hauptsächlich im Zusammenhang mit der Erzeugung und dem Verkauf von erneuerbaren oder effizient erzeugten Energien stehen.

Kraft-Wärme-Kopplung ist eine effiziente Möglichkeit im Gebäudebereich selbst Elektrizität herzustellen und die dabei erzeugte Abwärme gleichzeitig für das Heizen zu nutzen. Daher ist sie in Bund (vgl. KWK-Gesetz) und Ländern (vgl. Energie- und Klimaschutzpro-

gramm Sachsen 2012 [56]) hoch angesehen und wird entsprechend seitens der BAFA gefördert [55].

Grundsätzlich wird jede mit einem Blockheizkraftwerk erzeugte Kilowattstunde Strom mit 5,41 Cent vergütet. Dies gilt für Anlagen bis 50 kW elektrischer Leistung und für eine Dauer von 10 Jahren oder 30.000 Vollbenutzungsstunden [55].

Darüber hinaus wird eingespeister Strom nach marktüblichen Preisen (EEX), z.Z. im Bereich von 2 – 4 Cent, vergütet. Für selbstgenutzten Strom kann eine Vergütung von bis zu 0,7 Cent als Zuschlag für verminderte Netzkosten in Anspruch genommen werden [57]. Zusätzlich wird für den Betrieb derartiger Anlagen die Mineralölsteuer (für gasbetriebene Anlagen: ca. 0,55 ct/kWh) zurückerstattet [57].

Der Betrieb von Photovoltaik-Anlagen wird ebenfalls teilweise vergütet. Jedoch werden die Vergütungen in diesem Bereich nach verschiedenen Novellierungen des EEG [58] aufgrund des fortschreitenden Ausbaus von Photovoltaik-Anlagen in ganz Deutschland immer geringer. Die Eigennutzung des erzeugten Photovoltaik-Stroms wird im Wohngebäudebereich gar nicht mehr gefördert. Der Einspeisevergütungssatz liegt mittlerweile für Anlagen, die bis Anfang 2014 gebaut werden, im Bereich von ca. 11,7 ct/kWh [58]. Die Tendenz ist hier jedoch weiter fallend. Ein Betrieb zukünftiger Anlagen ist aufgrund der steigenden Stromkosten aber nur rentabel, wenn so viel wie möglich des erzeugten Stromes selbst genutzt werden.

Eine weitere Vergütung, die sich vor allem auf den Bereich der zu erarbeitenden Quartierslösungen beziehen, bezieht sich auf die Einspeisung des im Bereich der Gemeinde Lohmen erzeugten Stromes aus Wasserkraft. Hier wurde seitens der Gemeinde übermittelt, dass die aktuelle Vergütung durch den Netzbetreiber im Bereich von ca. 11,2 ct/kWh liegt.

Energiekosten

Nach dem im vorangegangenen Teil dieses Abschnittes vor allem die Themen Vergütungen und Investitionen diskutiert wurden, sollen in der Folge die im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu nutzenden Kostenstrukturen analysiert werden. Der Hauptposten bezieht sich dabei auf die Energiekosten, im Rahmen dieses Energiekonzepts ausschließlich für Strom und Gas.

Aufgrund der unterschiedlichen Abnahmemengen und teilweise Verbrauchsarten sind im Folgenden Kosten für die Einzelhausbetrachtung und die Quartiersbetrachtung getrennt aufzuzeigen.

Im Rahmen der Einzelhausbetrachtung wurden für die Energiekosten ortsübliche Preise lokaler Energieversorger analysiert und für die Berechnungen verwendet. Diese teilen sich abhängig von den Abnahmemengen in Basis- und Betriebskosten, jeweils für Strom und Gas:

- Basiskosten Strom: 92,33 €/a (ENSO Swing für Privatkunden)
- Betriebskosten Strom: 26,48 ct/kWh (Stromtarif 2013)
- Basiskosten Gas: 207,06 €/a (ENSO Erdgas-FIX)
- Betriebskosten Gas: 5,83 ct/kWh (Gastarif 2013)

Basiskosten und Betriebskosten werden im Rahmen der Berechnungen für jedes Jahr anhand der zuvor analysierten (Abschnitt 5.1.5) Preissteigerungsraten angepasst.

Im Rahmen der Quartiersbetrachtungen ist mit deutlich höheren Absatzzahlen zu rechnen, wodurch Basis- und Betriebskosten für Energie differieren können:

- Basiskosten Strom: 80,43 €/a (ENSO Strom Direkt)
- Betriebskosten Strom: 25,81 ct/kWh (Stromtarif 2013)
- Basiskosten Gas: 195,16 €/a (ENSO Erdgas-Direkt)
- Betriebskosten Gas: 6,13 ct/kWh (Gastarif 2013)

Zusätzlich soll in Rahmen der Quartiersbetrachtung auch der Nutzung von elektrisch betriebenen Wärmepumpen untersucht werden. Diesbezüglich ist die Abrechnung des bezogenen Stromes mit Hilfe spezielle Wärmepumpentarife möglich:

- Basiskosten Wärmepumpenstrom: 97,47 €/a (ENSO Strom-WÄRME)
- Betriebskosten Wärmepumpenstrom: 19,86 ct/kWh (Stromtarif 2013)

Darüber hinaus wurde seitens der Betreiber mitgeteilt, dass die für den Betrieb der Straßenbeleuchtung genutzte Energie ebenfalls einem gesonderten Tarif unterliegt, bei dem nur ca. 20 ct/kWh fällig werden.

Personalkosten

Für den Betrieb technischer Anlagen sowie verwaltungstechnische Arbeiten müssen für einzelne Systemkonzepte zusätzliche Personalkosten angesetzt werden. Dies trifft sowohl auf ausgewählte Systemkonfigurationen der Einzelhausbetrachtung jedoch vormals auf die verschiedenen Konzepte der Quartiersbetrachtung zu.

Im Rahmen der Einzelhausbetrachtung betrifft die Abrechnung notwendiger Personalkosten nur die Gebäude der Eigentümergemeinschaft. Hier ist es aufgrund nicht vorhandener steuerlicher Nachteile (vgl. Abschnitt 4.3) auch möglich gesonderte Stromlieferverträge mit den Mietern bzw. Bewohner zu treffen, über die den Bewohner anteilig lokal produzierter Strom zu vergleichbar günstigen Konditionen verkauft wird. Für den Verkauf von Strom wurde zur Schaffung eines Mehrwertes für die Bewohner ein konstanter Stromtarif von 20ct/kWh angenommen. Die daraus resultierenden Verwaltungsaufgaben müssen jedoch von einer Fachkraft durchgeführt werden. Daher wurden für diese Berechnungen eine viertel Arbeitsstelle mit 500 € monatlichen Kosten einberechnet.

Im Rahmen der Quartiersbetrachtungen sind derartige Kosten aufgrund des höheren Aufwandes weitaus höher anzusetzen. Da bereits zur Zeit das in Gemeindebesitz befindliche Wasserkraftwerk Daubemühle ständiger Wartung bedarf und diese auch unabhängig der ausgewählten Systemvariante weiter notwendig sein wird, muss der entsprechende Personalbedarf für alle Varianten mit einberechnet werden. Unterschiede ergeben sich hieraus für einzelne Varianten nur, da sich bei Eigennutzung des hier erzeugten Stromes (z.B. Betrieb von Wärmepumpen) die Einnahmen aus der Einspeisevergütung verringern. Für die notwendigen Arbeiten wurden Personalkosten von 25.000 € pro Jahr angesetzt.

Im Unterschied dazu bedingen einige Systemvarianten, speziell die Varianten des großen Nahwärmenetzes mit einer Wärmepumpenkaskade zur Heizwärmeversorgung, höhere Verwaltungsaufwände, z.B. durch Bearbeitung von Abrechnungs- und Vertragsunterla-

gen. Hierfür wurden weiterführende Personalkosten von wiederum 25.000 € pro Jahr angesetzt.

Abschreibung, Wartung und Versicherung von Anlagen

Im Rahmen des Energiekonzepts sind unterschiedlichste technische Anlagen und Systeme zu betrachten und betriebswirtschaftlich zu bewerten. Etwaig entstehende Kosten können anhand der aufzubringenden Investitionssummen ermittelt werden.

Alle neu zu installierenden technischen Anlagen verlieren über die Betriebszeit betriebswirtschaftlich an Wert. Sie sind Jahr für Jahr mit einer bestimmten Summe abzuschreiben. Auf diese Weise können auch notwendige Aufwände und Investitionen, die nach Ablauf der Anlagenbetriebszeit oder deren Verschleißes durch Neuanschaffungen entstehen, mit betrachtet werden. Nach üblichen Ansätzen werden daher im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen neue Anlagen über einen Zeitraum von 15 Jahren abgeschrieben.

Dies ist bezüglich der aufzubauenden Nahwärmenetze nicht anwendbar. Diese gelten als langfristige Investitionen, da deren Verschleiß auch nicht innerhalb der üblichen Anlagen-nutzungszeiträume stattfindet. Daher werden derartige Investitionskosten im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen über einen Zeitraum von 30 Jahren abgeschrieben.

Zusätzlich fallen neben den betriebswirtschaftlichen Abschreibungen beim Betrieb technischer Anlagen und Systeme auch ganz reale Kosten regelmäßig an. Dies betrifft im Allgemeinen Wartungs- und Versicherungskosten, die zu Gewährung der Langlebigkeit und Funktionstüchtigkeit einzelner Anlagen unumgänglich sind.

Hierzu wurden die in Tabelle 14 dargestellten, prozentualen Anteile an den jeweiligen Investitionskosten einzelner Anlagen zur Bestimmung geeigneter Werte für aufzubringende jährliche Betriebskosten verwendet.

Tab. 14: Anteil der jährlichen Wartungs- und Versicherungskosten an den aufzubringenden Investitionskosten

Anlagensystem	Wartungskosten	Versicherungskosten
Gasbrennwertkessel	3,0 %	0,0 %
Photovoltaik	0,5 %	0,5 %
Solarthermie	1,0 %	1,0 %
Blockheizkraftwerk	2,5 %	2,0 %
Wärmepumpe	1,0 %	1,0 %
Wärmespeicher	0,5 %	1,0 %

5.2 Ergebnisse der Einzelhausbetrachtung

Wie bereits beschrieben wurden im Rahmen des Energiekonzepts für den historischen Ortskern der Gemeinde Lohmen eine Vielzahl von Energiesystemvarianten simulationsgestützt untersucht und hinsichtlich energetischer und wirtschaftlicher Randbedingungen bewertet. Zunächst wurden dabei die Gebäude der einzelnen Partner individuell im Rah-

men der Einzelhausbetrachtung analysiert und geeignete Energiesystemkonzepte erarbeitet und bewertet.

5.2.1 Einzelhausbetrachtung für die Gemeinde

Im betrachteten Gebiet des historischen Ortskerns von Lohmen sind zwei Gebäude bzw. Gebäudekomplexe im öffentlichen Besitz der Gemeinde und werden auch durch diese betrieben. Dies betrifft einerseits das historische Schloß Lohmen, den Sitze der Gemeindeverwaltung und andererseits den Schulkomplex, der aus fünf Teilgebäuden besteht. Aufgrund der speziellen Charakteristiken beider Objekte wurden diese im Rahmen der Einzelhausbetrachtung separat analysiert und unterschiedliche Systemkonzepte bewertet.

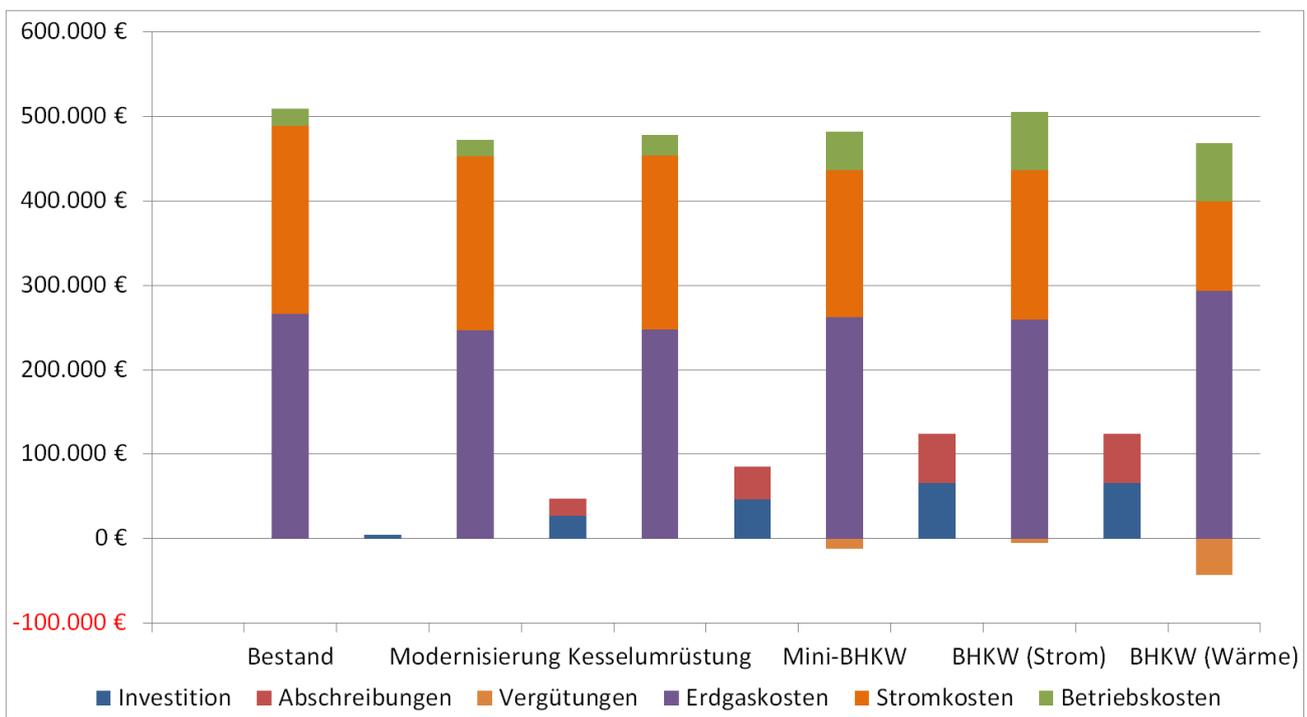


Abb. 43: Resultierende laufende Kosten (20 Jahre) für das Schloß in Abhängigkeit unterschiedlicher Energiesystemkonfigurationen

Abbildung 43 zeigt daher die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung allein für das Schloß und unterschiedliche untersuchte Energiesystemkonfigurationen. Dabei einerseits laufenden Kosten sowie Investitions- und Abschreibungskosten gegenübergestellt (vgl. Abschnitt 5.1.6).

Basis einer jeden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind die Ergebnisse der dynamischen Vorwärtssimulation der verschiedenen Energiesystemmodelle (vgl. Abschnitt 4.1). Grundsätzlich werden alle alternativ zu untersuchenden Energiesystemkonfigurationen immer den drei Varianten „Bestand“, „Modernisierung“ und „Kesselumrüstung“ gegenübergestellt. „Bestand“ zeigt dabei die fiktive Entwicklung der Kosten, sollten die bestehenden Anlagen in der aktuellen Form den betrachteten Zeitraum der folgenden 20 Jahre überstehen können. Da dies aufgrund des Alters der Anlagen eher unwahrscheinlich ist, dient der Wert vormals als theoretische Vergleichsgröße.

Ähnlich ist die Größenordnung der „Modernisierung“ zu verstehen. Sie zeigt Einsparpotentiale einfacher Modernisierungsmaßnahmen, wie Pumpentausch und Verbesserung der Regelung elektrischer Anlagen (vgl. Anhang A4). Da sie sich jedoch auch auf den Weiterbetrieb der bestehenden Anlagen bezieht, ist sie ebenfalls als theoretische Größe anzusehen.

Die Basisvariante aller nachhaltigen, zukunftsorientierten Energiesystemkonfigurationen ist die „Kesselumrüstung“. Hierbei werden die bestehenden, verschlissenen Kesselanlagen zeitnah durch neuwertige Gasbrennwertkesselanlagen ersetzt. Bei dieser Variante ist immer mit den geringsten Investitionskosten zu rechnen.

Neben dieser Basisvariante wurden für das Schloß drei weitere Energiesystemkonfigurationen untersucht, die ausschließlich Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zur gleichzeitigen Produktion von Wärme und Strom in unterschiedlichen Größenordnungen und mit verschiedenen Regelungsansätzen verwenden. Es zeigt sich dabei, dass ein großes, wärmegeführtes BHKW (hier: Senertec Dachs G 5.5) aufgrund der langen potentiellen Laufzeiten und der damit verbundenen hohen Stromproduktion die energetisch beste Alternative bietet. Betriebswirtschaftlich sind hierfür jedoch erhöhte Investitions- und Abschreibungskosten anzusetzen, die die Einsparungen gegenüber der Basisvariante Kesseltausch aufzehren. Summiert man alle entstehenden Kosten und Vergütungen auf, so liegt man hier aber nur rund 4,5% über der Basisvariante bei gleichzeitig ca. 2,5 fachen Investitions- und Abschreibungskosten. Im Rahmen der Genauigkeit getroffener Vorhersagen sowie der Berechnungen kann daher hier von einer energetisch sinnvollen, wirtschaftlich akzeptablen Alternative gesprochen werden.

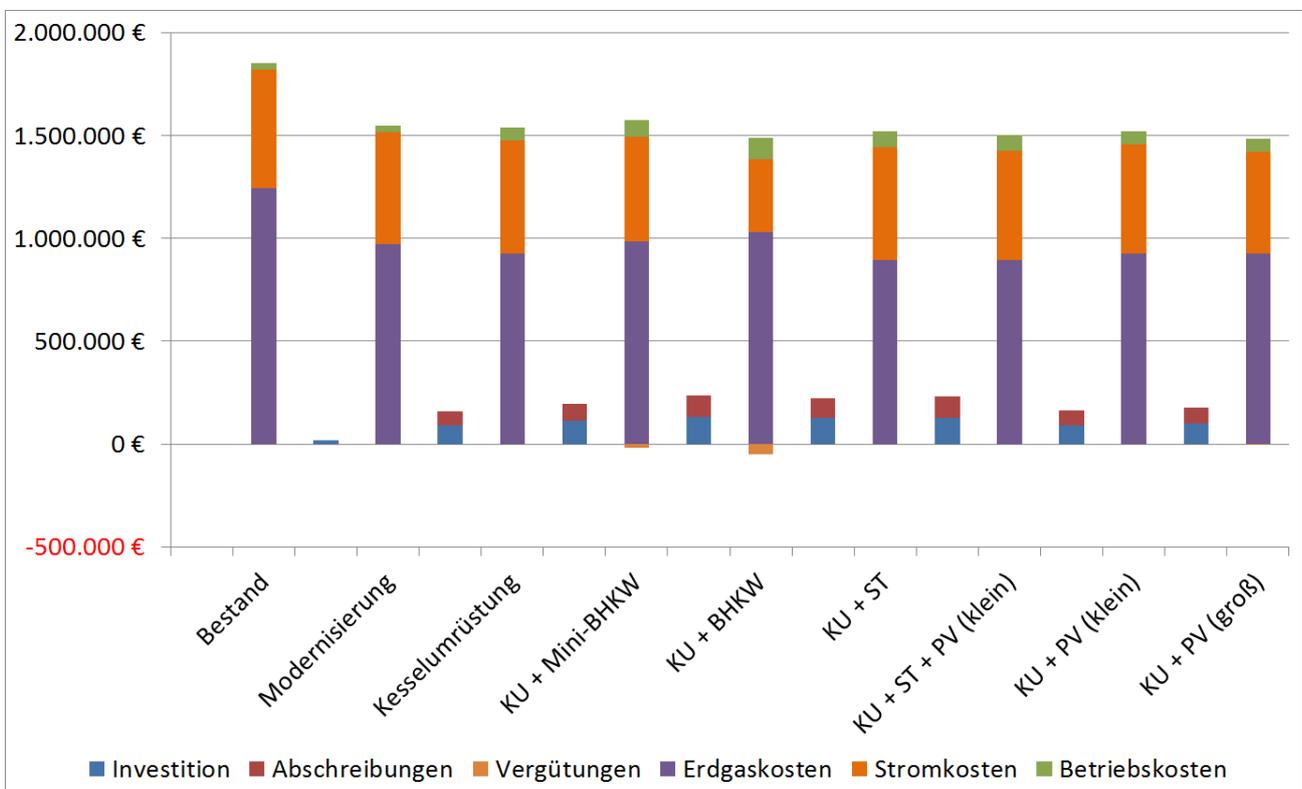


Abb. 44: Resultierende laufende Kosten (20 Jahre) für den Schulkomplex in Abhängigkeit unterschiedlicher Energiesystemkonfigurationen

Für den Schulkomplex wurde ebenfalls eine Reihe von Systemvarianten untersucht und bewertet. Abbildung 44 zeigt die im Rahmen der Einzelhausbetrachtung zusammengefassten Ergebnisse für das gesamte Areal (alle Gebäude des Schulkomplexes).

Im Gegensatz zum Schloß wurden für den Schulkomplex neben zweier Kraft-Wärmekopplungsanlagen (Mini-BHKW, wärmegeführtes BHKW) auch noch verschiedenste Kombinationen von Solarthermie und Photovoltaik betrachtet. Dies rührt daher, dass es beim Schulkomplex, anders als beim Schloß, nicht denkmalgeschützte und sinnvoll ausgerichtete Dachflächen gibt, die eine Installation derartiger Anlagen ermöglichen.

Darüber hinaus, zeigen die Ergebnisse in Abbildung 44 eine deutliche Reduktion der Verbrauchskosten bereits durch die aufzuwendenden Modernisierungsmaßnahmen. Dies rührt vor allem daher, dass notwendige bautechnische Sanierungsmaßnahmen (vgl. Abschnitt 3.5) hier bereits in allen Vergleichsvarianten mit eingerechnet wurden. Kosten für die entsprechenden bautechnischen Sanierungsmaßnahmen (z.B. für die Außenwanddämmung) wurden aufgrund dessen, dass unterschiedliche Grade der Modernisierung eine Entscheidung bezüglich zukünftiger Nutzungsszenarien erfordern, noch nicht mit einberechnet.

Es zeigt sich in den Ergebnissen in Abbildung 44, dass neben der Nutzung eines großen Blockheizkraftwerkes auch die Verwendung von großen Photovoltaikflächen (ca. 7 kWp auf dem Zwischenbau oder der Turnhalle) eine energetische sowie wirtschaftliche Alternative zur Basisversion Kesseltausch darstellen. Unter Summation aller im Betrachtungszeitraum der nächsten 20 Jahre auftretenden Kosten und Vergütungen (inkl. Investitionen und Abschreibungen) können durch die BHKW-Variante ca. 1% und durch die PV-

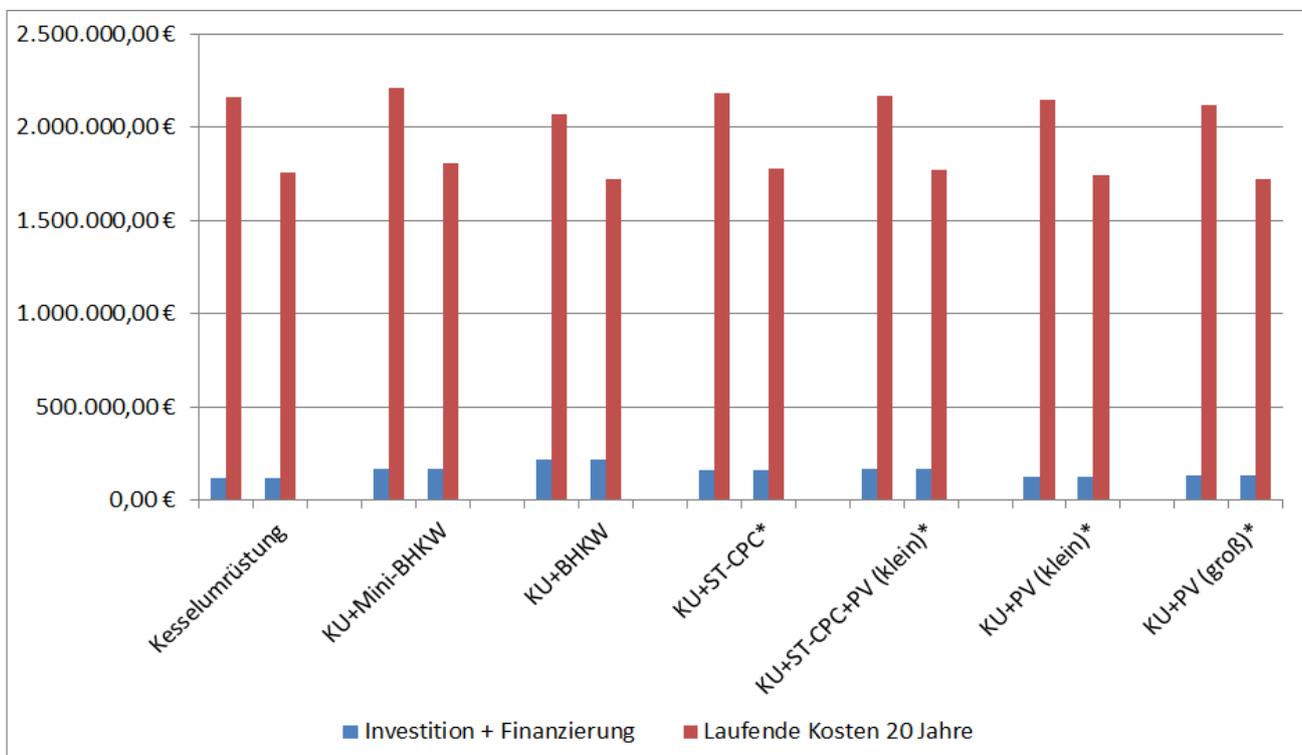


Abb. 45: Investitionskosten und laufende Kosten (hohe und niedrige Preissteigerung) über 20 Jahre für beide Gebäude(-komplexe) der Gemeinde

Variante nur ca. 2% der Kosten gegenüber dem konventionellen Kesseltausch eingespart werden. Daher stellen beide Varianten eine gute Alternative dar, die Auswahl eines geeigneten Systems verbleibt jedoch auch in Hinblick auf die darstellbaren Rechengenauigkeiten bei der Gemeinde.

Die einzelne Betrachtung einzelner Gebäude ermöglicht es einfach, kostentreibende und kostensenkende Faktoren einzelner Varianten darzustellen und zu untersuchen. Abschließend müssen jedoch beide Gebäude gemeinsam betrachtet werden, da die Gemeinde als ein Partner im Rahmen der Einzelhausbetrachtung die Finanzierung für beide Gebäude allein stemmen muss.

Hierfür wurden die Ergebnisse aus Abbildung 43 und 44 noch einmal in Abbildung 45 zusammengefasst. Aufgrund dessen, dass für die einzelnen Variantenkombinationen einzelne Investitionskosten nun bekannt sind, konnten hier nun auch die notwendigen Aufwände für die Finanzierung nach den Vorgaben in Abschnitt 5.1.2 einberechnet werden. Aufgrund dessen, dass für das Schloß keine Varianten mit Photovoltaik und Solarthermie untersucht wurden, wurden für die Summation der Kosten in Abbildung 45 bei den entsprechenden Varianten des Schulkomplexes für das Schloß die Kosten der billigsten, also der Kesseltauschvariante (* in Abbildung 45), einberechnet.

Da die beiden Varianten „Bestand“ und „Modernisierung“ keine zukunftsorientierten, nachhaltigen Systemvarianten darstellen, wurden diese beim Vergleich in Abbildung 45 ausgelassen. Gleichzeitig wurden für die laufenden Kosten zwei vergleichende Darstellungen gewählt, die sich auf das in Abschnitt 5.1.5 erörterte Spektrum möglicher zukünftiger Preissteigerungsraten beziehen. Der linke Balken zeigt jeweils die resultierenden Kosten mit hoher Preissteigerungsrate (Strom 6%/a, Gas: 5%/a) und der rechte Balken zeigt die Ergebnisse für niedrige Preissteigerungsraten (Strom: 3,5%/a, Gas: 3%/a). Im Gegensatz dazu wurden in den Abbildungen 43 und 44 mittlere Preissteigerungsraten (Strom: 5%/a, Gas: 4,5%/a) verwendet.

Variante	Mehrkosten niedrige Preissteigerung	Mehrkosten hohe Preissteigerung
Kesselumrüstung	0,00%	0,00%
KU+Mini-BHKW	5,35%	4,19%
KU+BHKW	3,00%	0,15%
KU+ST-CPC*	3,59%	2,67%
KU+ST-CPC+PV (klein)*	3,19%	2,15%
KU+PV (klein)*	-0,42%	-0,54%
KU+PV (groß)*	-1,14%	-1,51%

Abb. 46: Mehrkostenvergleich für unterschiedliche Systemkonfigurationen für die Gebäude der Gemeinde

Somit kann das Spektrum der Preisentwicklung und deren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einzelner Varianten bewertet werden. Unabhängig von der angenommenen Preissteigerungsrate zeigt sich, dass die beiden Varianten mit Nutzung von Photovoltaik auf gut ausgerichteten Dächern des Schulkomplexes die beste wirtschaftliche und energetische Alternative darstellen (Abb. 46).

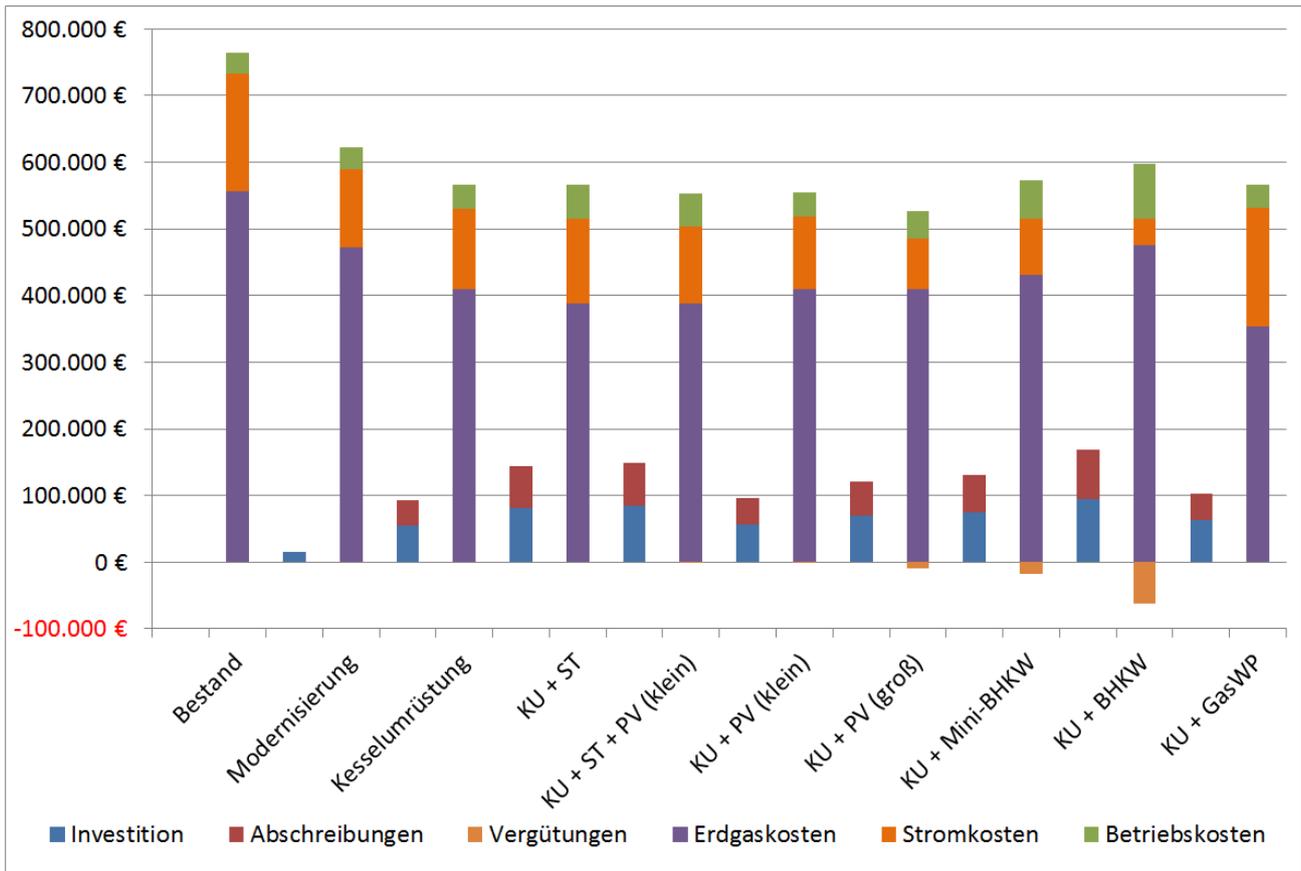


Abb. 47: Resultierende laufende Kosten (20 Jahre) für die Schloßstr. 6-9 in Abhängigkeit unterschiedlicher Energiesystemkonfigurationen

Jedoch liegen die Abweichungen der Ergebnisse einzelner Systemvarianten im Bereich von 5% um die Werte der Basisvariante Kesseltausch. Dies liegt im Bereich der Genauigkeit der getroffenen Annahmen (Abschnitt 5.1) sowie der verwendeten Modellierungs- und Berechnungsgenauigkeit (Abschnitt 4.1). Daher stellen alle verglichenen Systemvarianten eine mögliche Alternative im Rahmen der Einzelhausbetrachtung dar.

5.2.2 Einzelhausbetrachtung für die Eigentümergemeinschaft

Die Eigentümergemeinschaft ist als kleinster der drei Partner Besitzer und Betreiber der Wohngebäude Schloßstraße 1-9. Diese weisen, vor allem im Bereich der Warmwasserbereitung Unterschiede zu den anderen acht Wohngebäuden der WBG Lohmen auf. Dies und bereits erörterte verringerte steuerliche Fallstricke (vgl. Abschnitt 4.3.1) ermöglichen zusätzliche Potentiale für die Nutzung alternativer Energieversorgungskonzepte.

Abbildung 47 zeigt das gesamte Spektrum der untersuchten Energiesystemvarianten für das Gebäude der Schloßstr. 6-9. Da dieses nahezu baugleich mit dem Gebäude der Schloßstr. 1-5 ist, können die aufgezeigten Ergebnisse im gleichen Maße hierfür verwendet werden.

Neben den Basisvarianten „Bestand“, „Modernisierung“ und „Kesselumrüstung“ wurden für das Gebäude sieben weiterer Energieversorgungsvarianten untersucht. Diese beinhalten einerseits verschiedene Konfigurationen von Photovoltaikanlagen, unterschiedliche

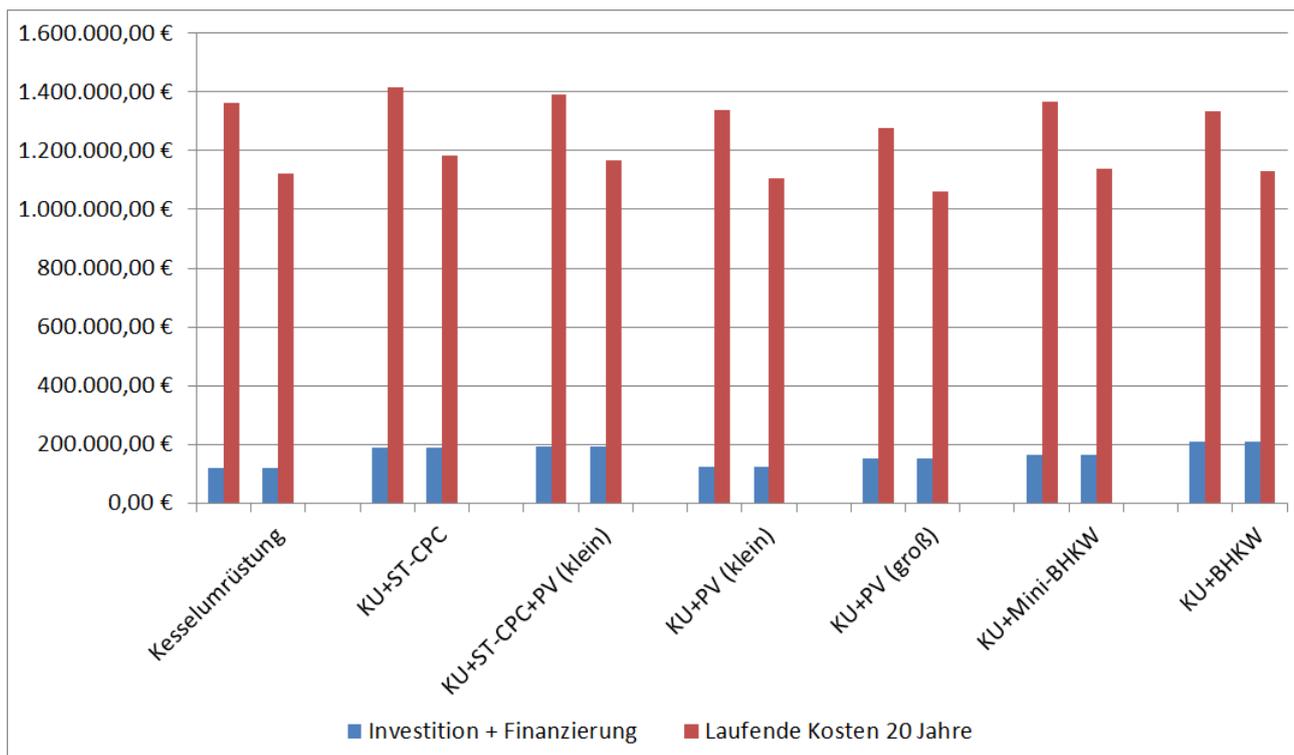


Abb. 48: Resultierende laufende Kosten (20 Jahre) für die Eigentümergeinschaft in Abhängigkeit unterschiedlicher Energiesystemkonfigurationen

Blockheizkraftwerke, den Einsatz einer gasbetriebenen Wärmepumpe sowie solarthermischer Anlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung. Letztere wurden aufgrund der Erkenntnisse aus Abschnitt 5.1.6 als Vakuumröhrenkollektoren-Anlagen konzipiert.

Wie in Abschnitt 5.2.1 gezeigt, bieten wiederum die beiden Photovoltaik-Anlagenkonfiguration gegenüber der Basisvariante „Kesselumrüstung“ das größte Einsparpotential. Hierbei können ca. 1,5% (kleine PV-Anlage) bzw. ca. 3,5% (große PV-Anlage) der Gesamtkosten inkl. Investition und Abschreibungen in Summe eingespart werden. Bis auf die Konfigurationen mit solarthermischen Anlagen sowie mit einem großen BHKW liegen auch die anderen Varianten in einem Kostenbereich um bis zu 4% über den Kosten der Basisvariante. Daher bieten auch die Nutzung einer gasbetriebenen Wärmepumpe bzw. eines Mini-BHKWs Ansatzpunkte für ein nachhaltiges und bezahlbares Einzelhausversorgungsenergiekonzept.

Abbildung 48 zeigt die kumulierten Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für beide Gebäude der Eigentümergeinschaft und alle untersuchten Systemvarianten. Wiederrum sind die Varianten „Bestand“ und „Modernisierung“ ausgelassen, da sie kein tragfähiges Konzept für die Zukunft darstellen. Im Rahmen der aufgezeigten Investitions- und Finanzierungskosten sind bereits die unter Abschnitt 5.1.3 dargestellten Finanzierungsbedingungen der Eigentümergeinschaft eingerechnet. Linker und rechter Balken der laufenden Kosten in Abbildung 48 zeigen analog zu Abschnitt 5.2.1 wiederum die Einflüsse der angenommenen hohen und niedrigen Preissteigerungsraten.

Aufgrund des vergleichbar hohen Allgemenstrombedarfs der beiden Gebäude bezüglich der hier verbauten elektrischen Begleitheizung (vgl. Abschnitt 2.4.2) sind die Varianten am wirtschaftlichsten, die eine lokale Stromproduktion (PV, BHKW) beinhalten. Aufgrund

Variante	Mehrkosten niedrige Preissteigerung	Mehrkosten hohe Preissteigerung
Kesselumrüstung	0,00%	0,00%
KU + ST-CPC	10,37%	8,31%
KU+ST-CPC+PV (klein)	9,45%	7,08%
KU+PV (klein)	-0,91%	-1,22%
KU+PV (groß)	-2,06%	-3,33%
KU+Mini-BHKW	4,74%	3,21%
KU+BHKW	7,86%	4,19%

Abb. 49: Mehrkostenvergleich für unterschiedliche Systemkonfigurationen für die Gebäude der Eigentümergemeinschaft

der vergleichbar geringfügig höheren Investitionskosten bieten hier beide PV-Varianten, wie bereits für die Schloßstr. 6-9 gezeigt Einsparpotentiale von bis zu 3,5% der berechneten Summenkosten über die nächsten 20 Jahre. Die beiden BHKW-Varianten dagegen erfordern höhere Investitionen, wodurch auch bei Minimierung des Strombedarfs die Gesamtkosten der Basisvariante Kesseltausch um bis zu 5% überschritten werden. Auch liegen die aufgezeigten Kostenunterschiede aller Varianten (bis auf die Solarthermie-Konfigurationen) in einem Bereich um die 5% der Basisvariante (Abb. 49). Dies liegt, wiederum im Bereich der Genauigkeit der getroffenen Annahmen und Berechnungsverfahren. Daher bieten all diese Systemvarianten im Rahmen der Einzelhausbetrachtung ebenfalls eine Alternative zum einfachen Kesseltausch.

Im Gegensatz zur Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen ist es der Eigentümergemeinschaft darüber hinaus möglich, auch selbst erzeugten Strom (z.B. aus Photovoltaik oder BHKWs) an die Bewohner der Gebäude über entsprechende Stromlieferverträge verkaufen (vgl. Abschnitt 4.3.1 und 5.1.6).

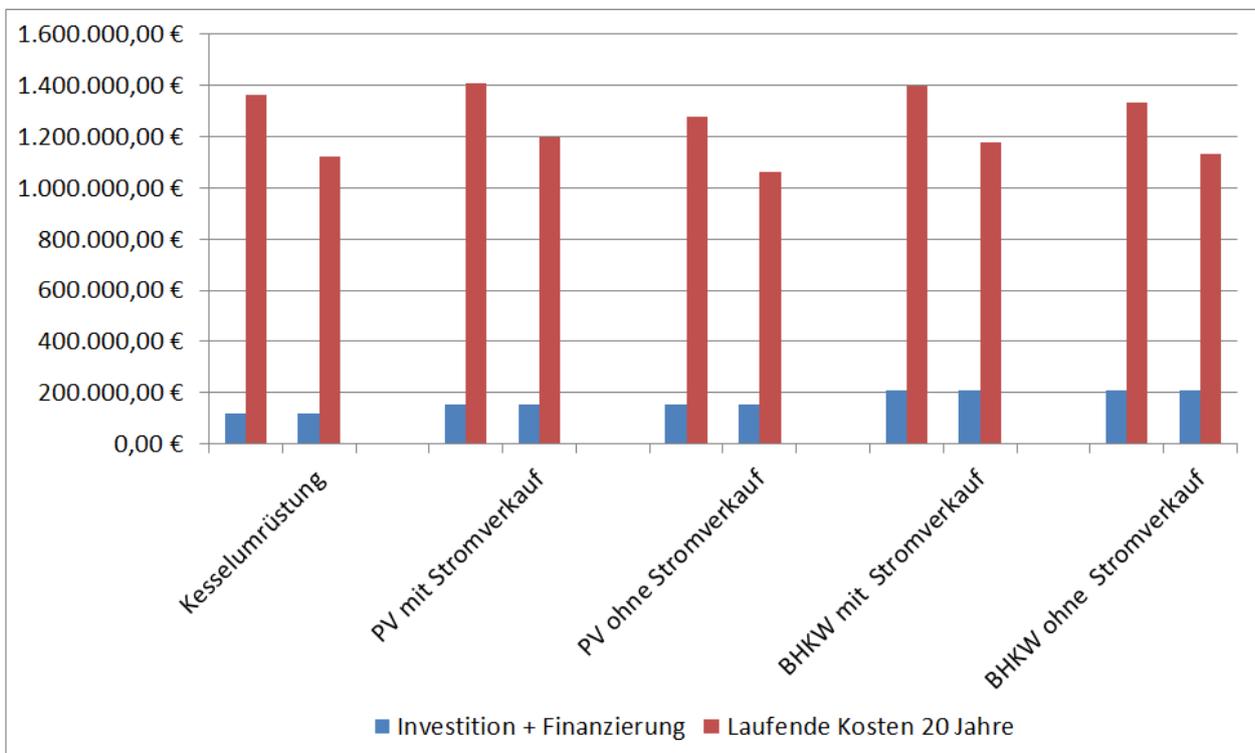


Abb. 50: Vergleich der laufenden Kosten über 20 Jahre mit und ohne Stromverkauf an die Bewohner der Schloßstr. 1-9

Abbildung 50 zeigt jedoch, dass aufgrund der dafür aufzuwendenden Verwaltungskosten und der potentiellen Menge an lieferbarer Energie, die einerseits durch ein großes Photovoltaik-System oder andererseits durch ein großes BHKW erzeugt werden, nicht kostendeckend bzw. wirtschaftlich ist.

5.2.3 Einzelhausbetrachtung für die Wohnungsbaugenossenschaft

Im Gegensatz zur Eigentümergemeinschaft besitzt und betreibt die Wohnungsbaugenossenschaft Lohmen acht Wohngebäude im historischen Ortskern der Gemeinde Lohmen. Diese besitzen jedoch einen ähnlichen baulichen Zustand wie die der Eigentümergemeinschaft entsprechen somit bautechnisch ebenfalls aktuellen Standards.

Wie bereits in Abschnitt 4.3.1 beschrieben unterliegt der Betrieb der Gebäude durch eine Wohnungsgenossenschaft stärkeren steuerlichen Einschränkungen. So darf die WBG zur Wahrung ihres Status keinerlei Erlöse aus dem Verkauf von Energie ziehen, sei es an die Mieter oder an den Netzbetreiber. Daher fallen einige interessante Systemvarianten, die im Rahmen von Abschnitt 5.2.2 betrachtet wurden, für deren Gebäude weg.

Dem könnten Anlagen Abhilfe verschaffen, die derart regelbar sind, dass sie das Einspeisen von selbst erzeugter Energie in Phasen niedrigen Eigenbedarfs verhindern. Stromgeführten Blockheizkraftwerke könnten daher trotz aller Einschränkungen eine Alternative zu konventionellen Gasbrennwertkesseln sein. Jedoch ist der bereits in Abbildung 39 gezeigte Allgemeinstrombedarf in den meisten Gebäuden der WBG so gering, dass etwaige Anlagen nur sehr selten betrieben werden könnten und somit niemals wirtschaftliche Einsatzzeiten erreichen würden.

Abbildung 51 zeigt exemplarisch für das Gebäude der Ringstr. 3-5 die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung in Abhängigkeit der untersuchten Energiesystemkonfigurationen

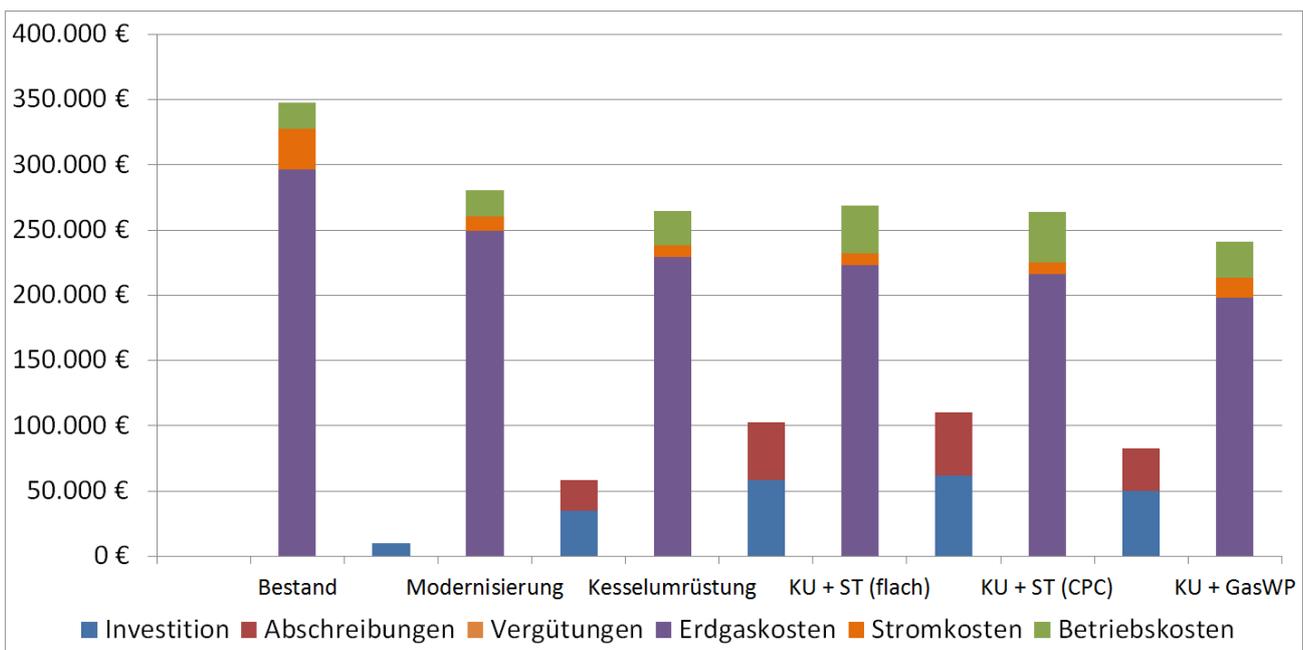


Abb. 51: Resultierende laufende Kosten (20 Jahre) für die Ringstr. 3-5 in Abhängigkeit unterschiedlicher Energiesystemkonfigurationen

rationen. Diese Varianten wurden hinsichtlich der bestehenden Einschränkungen ausgewählt (vgl. Abschnitt 4.3.2) und wurden analog für alle Gebäude der WBG (Ausnahme: Gaswärmepumpe) untersucht. Aufgrund dessen, dass der Wärmeverkauf an die Mieter nicht steuerschädlich für die WBG ist, lag der Fokus der Bewertung regenerativer Energiesysteme auf unterschiedlichen Typen von solarthermischen Kollektoren, die die Warmwasserbereitung im Sommer und in der Übergangszeit unterstützen. Hierfür wurden zwei Kollektortypen untersucht, Flachkollektoren (ST flach) und Vakuumröhrenkollektoren (ST CPC). Die Ergebnisse für die einzelnen Gebäude (vgl. Abb. 42) wurden darüber hinaus auch bei der Kollektorauswahl für die Gebäude der Gemeinde und der Eigentümergemeinschaft genutzt (Abschnitt 5.2.1. und 5.2.2).

Neben den Modernisierungsmaßnahmen in der Heizungstechnik und Einsparungen beim Hauslicht können Solarthermie-Anlagen weitere Energiekosteneinsparungen gegenüber der Basisvariante Kesseltausch ermöglichen (vgl. Abb. 51). Aufgrund der hohen notwendigen Investitionen sowie höheren Betriebskosten aufgrund notwendiger Wartungen gehen diese Einsparungen jedoch schnell verloren, so dass unabhängig vom Kollektortyp für die Ringstr. 3-5 Mehrkosten von ca. 15% über die betrachteten 20 Jahre inklusive Investitionen und Abschreibungen gegenüber der Basisvariante entstehen würden. Gleichwohl der spezifische Ertrag der Vakuumröhrenkollektoren signifikant höher ist als der von Flachkollektoren (vgl. Abb. 42), können für dieses Gebäude die Mehrinvestition in die notwendige Anlagentechnik nicht kompensiert werden.

Das Gebäude der Ringstr. 3-5 besitzt vormals Dachflächen in West-Ost-Ausrichtung. Daher ist das Gebäude sowieso nicht für die Nutzung solarer Energie prädestiniert. Anders sieht es da bei den Gebäuden der Ringstr. 6-8, Ringstr. 13-14 und Schloßstr. 13-17 aus, die ebenfalls im Besitz der WBG sind. Diese besitzen eine weitaus günstigere Südausrichtung. Die daraus resultierende Verringerung der diskutierten Mehrkosten für Solarthermie sollen in der Folge ebenfalls thematisiert werden.

Der Einsatz von gasbetriebenen Wärmepumpen als zentrales Heizsystem ermöglicht dagegen höhere Einsparungen an Energiekosten, so dass entstehende Mehrkosten in der Investition vollständig abgefangen werden können. Eine solche Systemkonfiguration wurde exemplarisch für das Gebäude der Ringstr. 3-5 untersucht. Aufgrund der ähnlichen Bauart und der nahezu gleichen Nutzung aller Gebäude der Wohnungsbaugenossenschaft können diese Ergebnisse jedoch ebenfalls für die anderen Gebäude als zutreffend angesehen werden.

Das Gebäude der Schloßstr. 13-17 stellt hinsichtlich des Allgemeinstrombedarfs unter allen Gebäuden der WBG eine Ausnahme dar. Aufgrund der hier im Dach installierten Satellitenanlage ist der Strombedarf signifikant höher (vgl. Abschnitt 4.3.2). Daher wurde für dieses Gebäude neben den bereits erwähnten Systemvarianten (vgl. Abb. 51) auch noch der Einsatz eines stromgeführten Mini-BHKWs untersucht. Damit ist es möglich einen Großteil des Allgemeinstrombedarfs im Zuge der Wärmeproduktion zu decken ohne Energie an den Netzbetreiber verkaufen zu müssen.

Abbildung 52 zeigt analog zur Ringstr. 3-5 die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Schloßstr. 13-17 inkl. notwendiger Investitionen und Abschreibungen für eine mittlere angenommene Preissteigerungsrate (Strom: 5%/a, Gas: 4,5%/a).

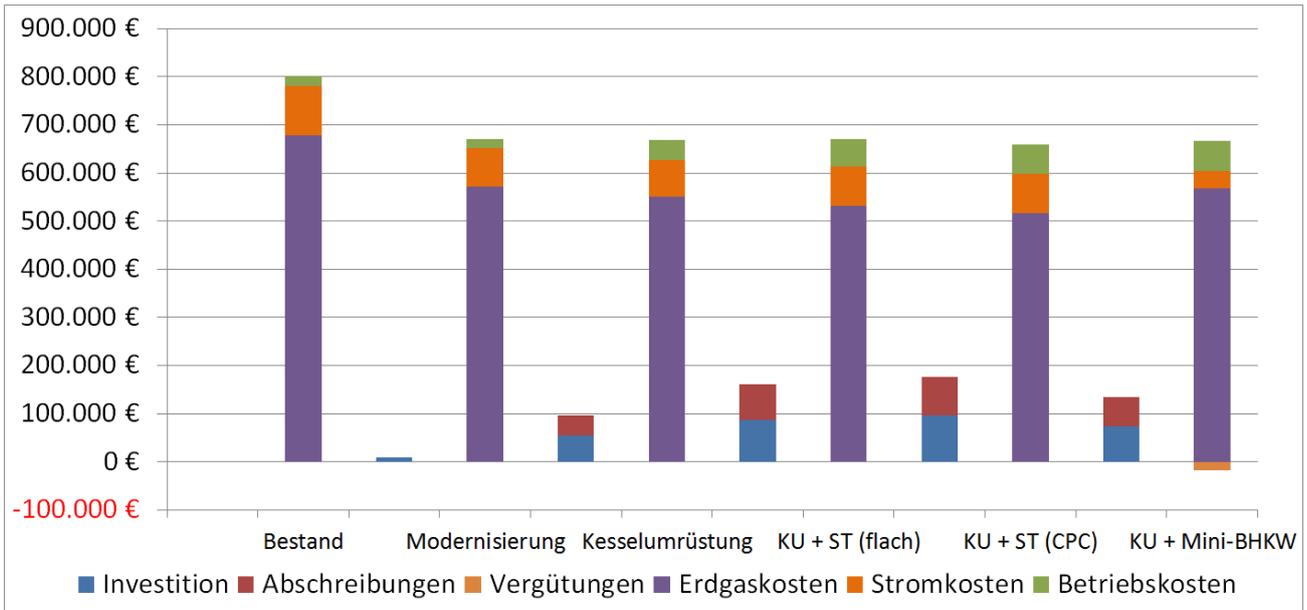


Abb. 52: Resultierende laufende Kosten (20 Jahre) für die Schloßstr. 13-17 in Abhängigkeit unterschiedlicher Energiesystemkonfigurationen

Es zeigt sich darin einerseits, dass aufgrund der Südausrichtung des Gebäudes die Ausnutzung solarthermischer Anlagen signifikant besser ist. So sinkt für dieses Gebäude der bereits diskutierte Mehrkostenaufwand von ca. 15% in der Ringstr. 3-5 auf ca. 9%. Trotz alledem ist der Einsatz von solarthermischen Anlagen für die Wohngebäude der WBG analog zu denen der Eigentümergemeinschaft voraussichtlich nicht wirtschaftlich.

Demgegenüber steht die Untersuchung zum Einsatz des stromgeführten Mini-BHKWs (1kW elektrische Leistung). Unter Einbeziehung aller Investitionskosten und Abschreibungen ist ein derartiges System nur ca. 2,5% über die betrachteten 20 Jahre teurer als die Basisvariante Kesseltausch. Dieser Wert liegt wiederum im Bereich der Genauigkeit

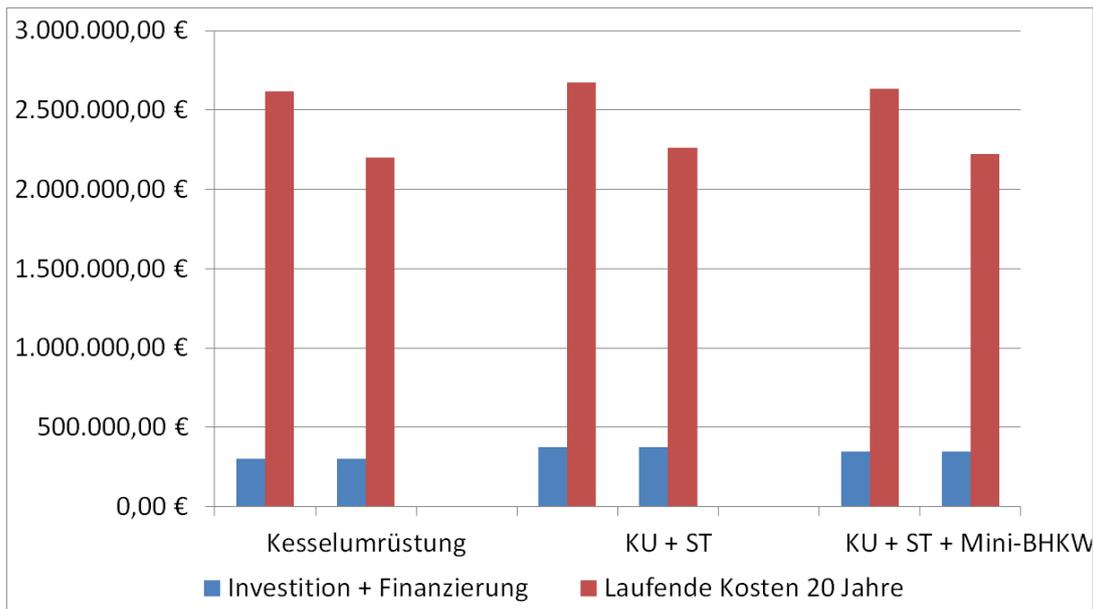


Abb. 53: Resultierende laufende Kosten (20 Jahre) für die Wohnungsbaugenossenschaft in Abhängigkeit unterschiedlicher Energiesystemkonfigurationen

der verwendeten Berechnungsannahmen und Modellierungsansätze. So kann unter Umständen im Rahmen der Einzelhausbetrachtung des Einsatzes eines solchen Systems in der Schloßstr. 13-17 wirtschaftlich und energetisch sinnvoll sein.

Nachdem zwei Gebäude der Wohnungsbaugenossenschaft exemplarisch im Detail diskutiert wurden, ist es zusätzlich notwendig alle acht Gebäude gemeinsam zu betrachten den notwendigen Finanzierungsrahmen bezüglich der bestehenden Energieeinsparpotentiale unter Anwendung der in Abschnitt 5.1.1 beschriebenen Randbedingungen bewerten zu können.

Die Gebäude der WBG sind größtenteils sehr unterschiedlich angeordnet (West-Ost-Ausrichtung, Südausrichtung). Demzufolge ergeben sich, wie bereits beschrieben, unterschiedlichste Ausnutzungsgrade solarer Energie, die im Rahmen der Einzelhausbetrachtung für die WBG aufgrund der gegebenen Einschränkungen im Fokus der Untersuchung stand.

Aufgrund der Einzelergebnisse konnten für die Gesamtbetrachtung daher drei Energiesystemkonfigurationen gefunden werden, deren Wirtschaftlichkeitsbetrachtung alle Gebäude einschließlich in Abbildung 53 aufgezeigt ist. Die erste, nachhaltige Variante bezieht sich auf die Basisvariante des einfachen Kesseltauschs in allen Gebäuden. Die zweite Variante (KU + ST) schließt den Kesseltausch in allen Gebäuden sowie die Nutzung von solarthermischen Vakuumröhrenkollektoren auf den südlich ausgerichteten Gebäuden der WBG (Ringstr. 6-8, Ringstr. 13-14, Schloßstr. 13-17) ein. Die dritte Variante hat beinhaltet

Variante	☑ Mehrkosten niedrige Preissteigerung	☑ Mehrkosten hohe Preissteigerung
Kesselumrüstung	0,00%	0,00%
KU + ST	5,51%	4,47%
KU + ST + Mini-BHKW	3,11%	2,35%

Abb. 54: Mehrkostenvergleich für unterschiedliche Systemkonfigurationen für die Gebäude der Wohnungsbaugenossenschaft

neben dem Kesseltausch, die Nutzung derartiger Solarthermiekollektoren auf den Gebäuden der Ringstr. 6-8 und 13-14 sowie den Verbau eines stromgeführten Mini-BHKWs in der Schloßstr. 13-17.

Abbildung 54 zeigt, dass auch wenn solar Energie zur Unterstützung der Warmwasserbereitung in den entsprechend optimal ausgerichteten Gebäuden der WBG genutzt, als auch der Allgemeinstrombedarf der Satellitenanlage in der Schloßstr. 13-17 durch ein BHKW gedeckt wird, sind vergleichsweise geringe Mehrkosten unter Einbeziehung aller Investitions- und Abschreibungskosten zu erwarten. Diese bewegen sich für die betrachteten folgenden 20 Jahre jedoch im Bereich unter 5% unabhängig von der angenommenen Preissteigerungsrate, was wiederum auch im Bereich der Genauigkeit der getroffenen Annahmen und der verwendeten Modellierungsgenauigkeit liegt. Daher können punktuell eingesetzte Systeme, wie z.B. das Blockheizkraftwerk in der Schloßstr. 13-17, im Rahmen der Einzelhausbetrachtung auch etwaige Vorteile generieren.

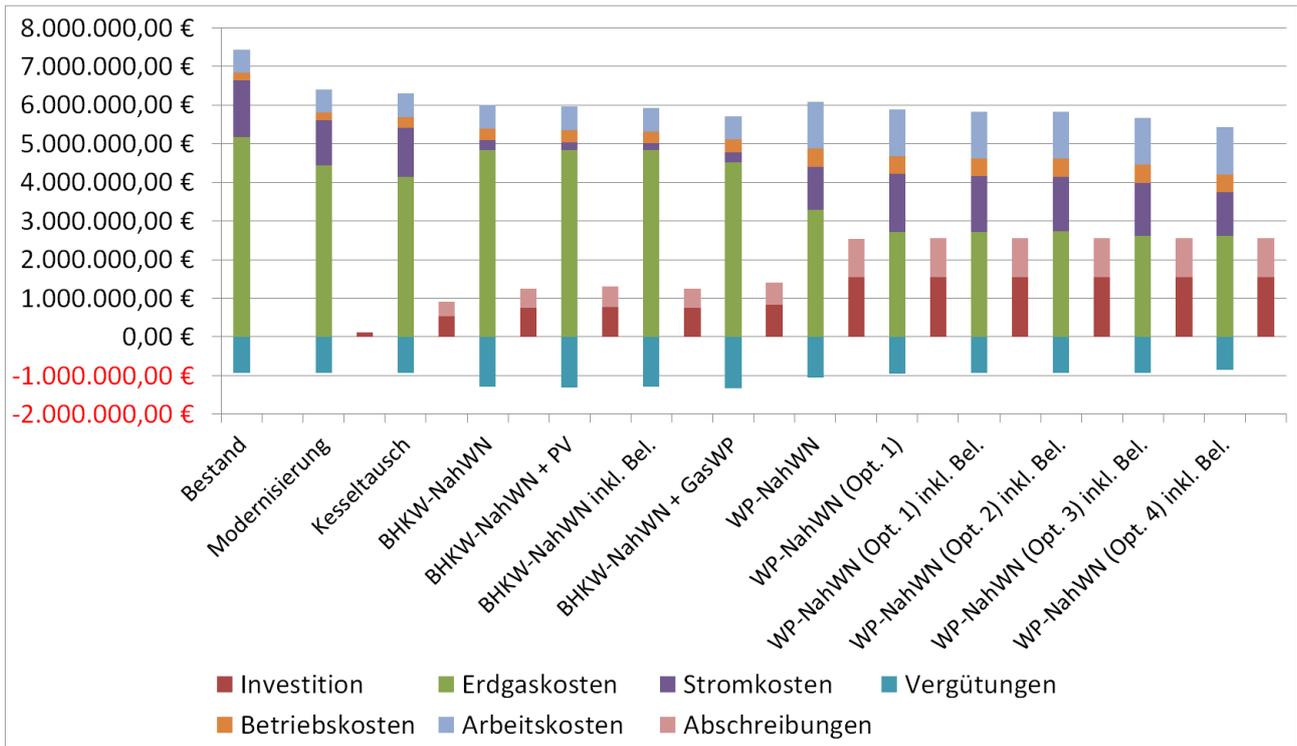


Abb. 54: Resultierende laufende Kosten (20 Jahre) für das gesamte Quartier in Abhängigkeit unterschiedlicher Energiesystemkonfigurationen

5.3 Ergebnisse der Quartiersbetrachtung

Im Gegensatz zur Einzelhausbetrachtung bietet die Einbeziehung aller zu untersuchenden Gebäude sowie zusätzlicher Verbraucher (z.B. Straßenbeleuchtung) die Möglichkeit zusätzliche Synergieeffekte sowie großtechnisch nutzbare regenerative Energien wirtschaftlich für die Energieversorgung des betrachteten Quartiers zu nutzen.

Wie bereits in Abschnitt 4.3.2 beschrieben, wurden im Rahmen der Quartiersbetrachtung zwei verschiedene Nahwärmenetzvarianten mit den kumulierten Ergebnissen der Basisvarianten „Bestand“, „Modernisierung“ und „Kesseltausch“ verglichen. Dabei stellt die Variante „Kesseltausch“, also der Austausch der Kessel in den einzelnen Gebäuden durch moderne Gasbrennwertkessel, grundsätzlich die einfachste und kostengünstigste (Investition) sowie erste zukunftssträchtige Variante für ein Quartiersenergiekonzept dar.

Dem gegenüber steht ein BHKW-Nahwärmenetz (BHKW-NahWN – Abb. 54). Darin wird ein zentrales Blockheizkraftwerk zur ganzjährigen Warmwasserbereitung in den Wohngebäuden und im Schulkomplex genutzt. Die zweite eigentliche Quartiersvariante (WP-NahWN – Abb. 54) beinhaltet neben einem zentralen BHKW zur Warmwasserbereitung eine Wärmepumpenkaskade zur Bereitstellung der benötigten Heizenergie im Quartier, die den Fluss Wesenitz als Wärme- und das Wasserkraftwerk Daubemühle als Stromquelle nutzt (vgl. Abschnitt 4.3.2 sowie Anhang A6 und A7).

Zusätzlich wurden im Rahmen der Quartiersbetrachtung weitere geringfügig abgewandelte Versionen der beiden Nahwärmenetzvarianten untersucht. Neben der gleichzeitigen Versorgung der Straßenbeleuchtung mit im Quartier erzeugtem Strom (vormals BHKW-

Strom) wurden für das BHKW-Nahwärmenetzsystem auch noch die Einflüsse einer kleinen Flächen-PV-Anlage mit 14,5 kWp zur weiteren Deckung des Allgemeinstrombedarfs im Quartier sowie die Ersetzung einzelner Gasbrennwertkessel durch gasbetriebene Wärmepumpen analysiert.

Für das Wärmepumpennahwärmenetz dagegen wurden hauptsächlich unterschiedliche Anlagenregelungskonzepte und Optimierungstufen untersucht (vgl. Abb. 54 Opt. 1 - 4).

Die erste Optimierungstufe 1 beinhaltet die Umstellung der BHKW-Nutzung in den Wintermonaten. Da in diesem Zeitraum der Wärmebedarf des Schulkomplexes selbst hoch genug ist, um mit dem BHKW konstant Strom zu produzieren, kann diese Wärme gleich im Schulkomplex genutzt werden. Auf diese Weise werden die Wärmeverluste durch die Wärmeverteilung verringert. Zusätzlich wurde hier eine Bivalenzpunktabschaltung der Spitzenlastkessel eingeführt, so dass diese nur zu Zeiten niedriger Außentemperaturen, wenn sie für die Heizwärmeerzeugung benötigt werden, aktiviert sind. Mit dieser Maßnahme konnten die Standby-Verluste der Kessel deutlich reduziert werden.

Im Rahmen einer zweiten Optimierungstufe wurde die Wärmepumpenkaskade in den Sommermonaten, wenn keine Heizenergie in den Wohngebäuden benötigt wird, vollständig abgesenkt, was wiederum Standby-Verluste verringerte. In der Optimierungstufe 3 wurden die Soll-Vorlauftemperaturen für die Heizenergieversorgung um 5 K verringert, wodurch sowohl die Wärmepumpenkaskade als auch die Spitzenlastgasbrennwertkessel mit einer höheren Effizienz betrieben werden konnten.

Optimierungsstufe 4 verbesserte darüber hinaus die Regelung der Wärmepumpenkaskade bezüglich des Lastmanagements. Hierzu wurde eine asynchrone Betriebsweise der einzelnen Wärmepumpen der Kaskade implementiert, so dass die einzelnen Wärmepum-

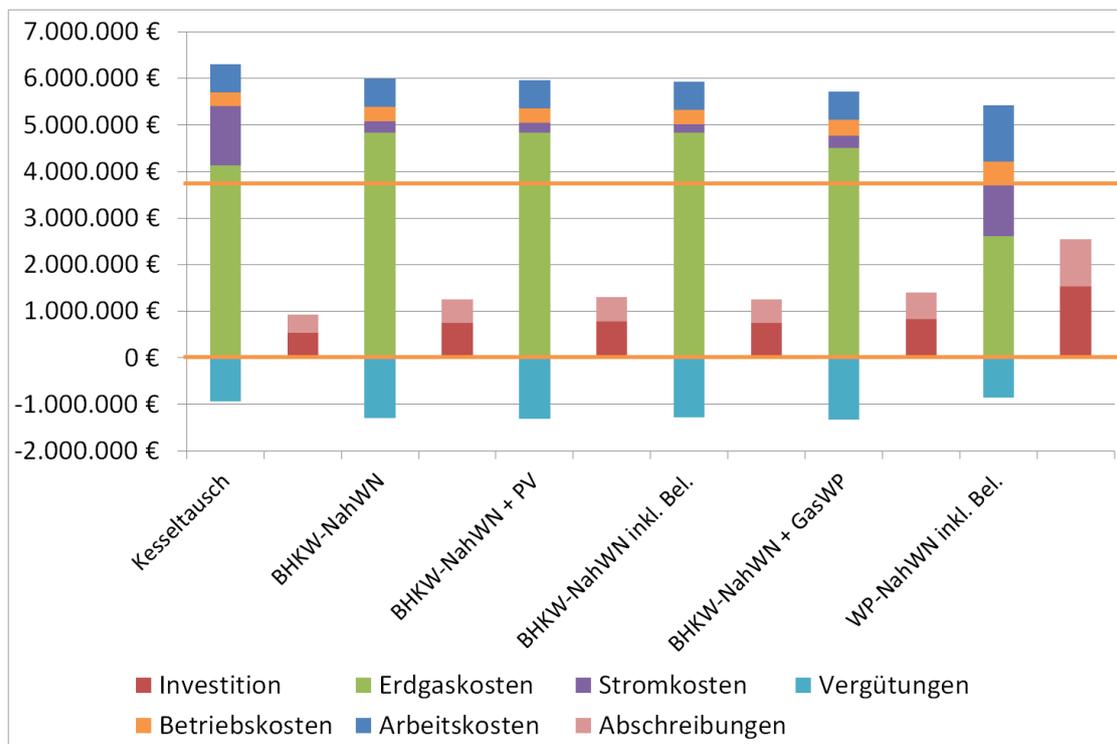


Abb. 55: Vergleich der laufenden Kosten relevanter Quartiersenergieversorgungsvarianten

pen möglichst nicht zur gleichen Zeit betrieben werden. Dadurch verringern sich einerseits Lastspitzen, die aus dem Netz gezogen werden müssen. Andererseits kann dadurch der Anteil des regenerativen Stromes beim Wärmepumpenbetrieb (z.B. aus dem Wasserkraftwerk) erhöht werden.

Abbildung 54 zeigt neben den Basisvarianten alle Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die untersuchten Systemvarianten. Hierin kann abgelesen werden, dass allein die Optimierung der Regelung des Wärmepumpen-Nahwärmenetzes Kosteneinsparungen von ca. 15%, d.h. ca. 700.000 € innerhalb von 20 Jahren Betriebszeit erbrachte.

In Abbildung 55 sind dagegen nur die Ergebnisse für die Varianten aufgezeigt, die letzten Endes für das Quartierskonzept relevant sind, d.h. die nicht zukunftssträchtigen Varianten „Bestand“ und „Modernisierung“ sowie die nicht optimalen Varianten des Wärmepumpen-

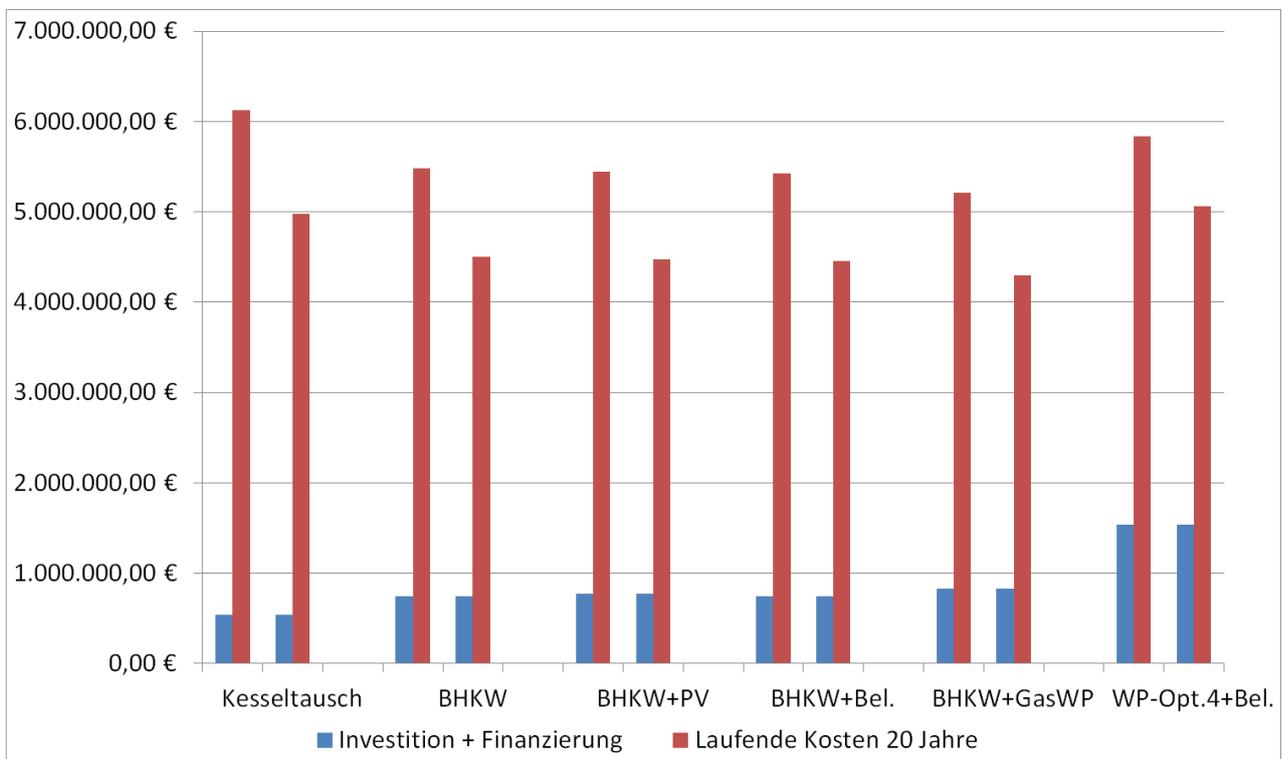


Abb. 56: Vergleich laufender Kosten sowie notwendiger Investitions- und Finanzierungskosten relevanter Systemkonfigurationen

Nahwärmenetzes werden hier nicht mehr betrachtet. Es zeigt sich, dass die große Nahwärmenetzvariante mit der Wärmepumpenkaskade mit Abstand die geringsten Energiekosten über die betrachteten 20 Jahre verursacht. Hier sind Kosteneinsparungen von über 30% (ca. 1.665.000 €) ohne weiteres möglich. Mit diesem System könnte damit die wirtschaftlich höchstmögliche Unabhängigkeit von sich verändernden Energiekosten erreicht werden. Dem gegenüber stehen jedoch erhöhte Investitionskosten sowie damit verbundene Abschreibungskosten (ca. Faktor 3 gegenüber Basisvarianten Kesseltausch). Auch sind hierfür erhöhte Arbeitskosten durch anstehende Verwaltungs- und Instandhaltungsaufgaben mit einzuberechnen.

Diese Tatsache ist in Abbildung 56 noch einmal deutlicher dargestellt. Hier werden einerseits alle in den betrachteten 20 Jahren aufkommenden laufenden Kosten (inkl. Ab-

schreibungen) für die untersuchten relevanten Energiesystemkonfigurationen sowie hohe und niedrige Preissteigerungsraten (Abschnitt 5.1.5) aufgezeigt. Hier zeigt sich, dass durch den minimierten Energieverbrauch im Wärmepumpen-Nahwärmenetz die entstehenden Mehrkosten für Abschreibungen und Betrieb gegenüber der Basisvariante Kesseltausch kompensiert werden können. Eine Auswahl dieser Varianten untersteht aber den Vorbehalten der hohen Investitionskosten, die durch zusätzliche Fördermöglichkeiten wirtschaftlich ausgeglichen werden können.

Darüber hinaus wird in Abbildung 56 gezeigt, dass die verschiedenen Varianten des kleineren BHKW-Nahwärmenetzes durchaus eine wirtschaftliche Alternative zur konventionellen Variante Kesseltausch auch unter Einbeziehung der notwendigen Investitionskosten bieten. Dies liegt vor allem an der hohen Reduktion des Allgemeinstrombedarfes im Quartier durch den selbst erzeugten Strom des BHKWs.

Aufgrund des vergleichbar geringen Allgemeinstrombedarfes im Quartier ist eine zusätzliche Flächen-PV-Anlage wirtschaftlich nicht sinnvoll. Aufgrund der geringen Stromabnah-

Variante	Mehrkosten niedrige Preissteigerung	Mehrkosten hohe Preissteigerung
Kesseltausch	0,00%	0,00%
BHKW	-9,61%	-10,47%
BHKW+PV	-10,10%	-11,05%
BHKW+Bel.	-10,57%	-11,47%
BHKW+GasWP	-13,69%	-14,85%
WP-Opt. 4 + Bel.	1,68%	-4,70%

Abb. 57: Mehrkostenvergleich für die entstehenden laufenden Kosten im Quartier

me zu Zeiten starker PV-Produktion (am Tag im Sommer – keine Pumpenlast, Hauslicht, Straßenbeleuchtung) wird in dieser Variante der Hauptteil des produzierten Stromes zu geringen Konditionen (vgl. Abschnitt 5.1.6) ins Energieversorgungsnetz eingespeist.

Dagegen ist die Versorgung der Straßenbeleuchtung (Bel.) mit selbst erzeugten KWK-Strom sehr gut wirtschaftlich darstellbar. Ähnlich verhält sich das für die Ersetzung einiger Gasbrennwertkessel im Quartier durch zentrale Gaswärmepumpen. Trotz höherer Investitionskosten und vor allem aufzuwendenden Kosten für entsprechend benötigte Bohrungen (3 Sonden mit 80m Tiefe je Anlage) für Sonden kann eine solche Variante aufgrund der hohen Anlageneffizienz diese Mehrkosten kompensieren.

Abbildung 57 fasst die in Abbildung 56 gezeigten Ergebnisse der ermittelten laufenden Kosten für die untersuchten Quartiersvarianten noch einmal bezüglich der entstehenden Mehrkosten zur Basisvariante Kesseltausch zusammen. Es zeigt sich daraus, dass die betrachteten Nahwärmenetzvarianten bezüglich der laufenden Kosten gegenüber dem einfachen Kesseltausch wirtschaftlich sind. Für die Wärmepumpen-Nahwärmenetzvarianten gilt diese Aussage jedoch unter Vorbehalt möglicher Förderungen zu aufzubringenden Investitionskosten. Jedoch bietet gerade diese Variante gegenüber den anderen Systemkonfigurationen die Möglichkeit, als Prototypen- oder Schaulösung förderpolitisch Beachtung zu finden.

5.4 CO₂-Bilanzierung

Hauptziel der Erstellung des integrativen Energiekonzepts für den historischen Ortskern der Gemeinde Lohmen ist die nachhaltige und bezahlbare Sicherung der Energieversorgung für das betrachtete Gebiet. Daher steht die in Abschnitt 5.2 und 5.3 diskutierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auch im Zentrum der Bewertung unterschiedlicher Systeme.

Ein zweites, nicht minder wichtiges Ziel betrifft darüber hinaus die Verringerung der jährlich ausgestoßenen CO₂-Emissionen. Auf diese Weise wollen die beteiligten Partner ihren Anteil am Klimaschutz auf dem Gebiet des Freistaates Sachsen liefern.

Ausgehend von den Voruntersuchungen in Kapitel 3, in denen mögliche CO₂-Emissionseinsparungen bezüglich einzelner energetischer Maßnahmen diskutiert wurden, wurde seitens der Partner eine ein Einsparungsziel von 30% der CO₂-Emissionen des ak-

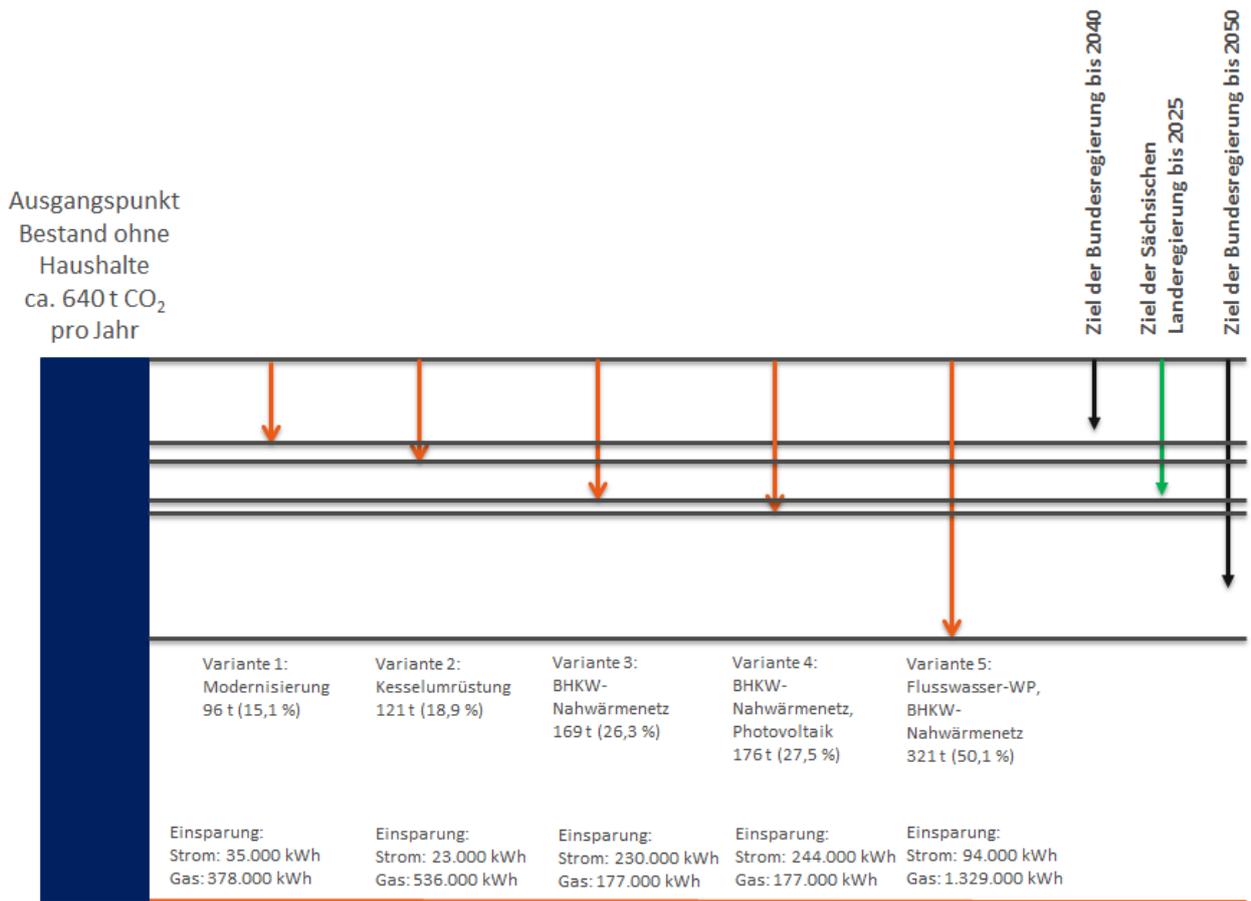


Abb. 58: CO₂-Emissionseinsparungen der einzelnen Systemvarianten im Vergleich zu den klimapolitischen Zielen von Bundesregierung und sächsischer Landesregierung

tuellen Bestandes bis 2025 unter Vorbehalt der Finanzierung vereinbart, um so den Zielen der Landesregierung des Freistaates Sachsen zu folgen und diese zu übertreffen.

Nach den Untersuchungen nach wirtschaftlichen, rechtlichen und technischen Randbedingungen (Abschnitt 4.3) wurde bereits festgelegt, dass ein Verkauf von selbst erzeugtem, regenerativem Strom an die Bewohner des Quartiers weder eine wirtschaftliche Alternative noch ein umsetzbares Geschäftsmodell herausstellt. Aufgrund dessen und der Tatsa-

che, dass der Haushaltsstromverbrauch somit bilanziell nicht zu Lasten der beteiligten Partner fallen darf, wurden die in Abschnitt 3.4.8 gezeigten Ergebnisse zu den aktuellen Emissionszahlen des Quartiers diesbezüglich überarbeitet und unter Nutzung der unter [9] gegebenen Faktoren neu bewertet.

Ohne Einberechnung des Haushaltsstromverbrauchs sinken die jährlichen CO₂-Emissionen des Quartiers im Bestand auf ca. 640 Tonnen (vgl. Abschnitt 3.4.8).

Abbildung 58 zeigt die Berechnungsergebnisse für die erzielbaren CO₂-Einsparungen verschiedener Systemvarianten der Quartiersanalyse (vgl. u.a. Abschnitt 5.3). Diese sind gleichzeitig mit den Zielen der Landesregierung des Freistaates Sachsen sowie der Bundesregierung korreliert. Die Ziele des Freistaates Sachsen beziehen sich hierbei auf das Jahr 2010 (also Bestand im Quartier). Die Bundesregierung setzt sich für ihre Ziele dagegen das Jahr 1990 als Referenz. Da dieses Referenzjahr vor den ersten Sanierungsarbeiten im Quartier lag, wurden die entsprechenden Vergleichswerte mit Hilfe der CO₂-Studie des Verbandes Sächsischer Wohnungsgenossenschaften VSWG) ermittelt [59].

Gleichzeitig sind die für die CO₂-Emissionsreduktion verantwortlichen Energieeinsparungen für Strom und Gas dargestellt. Die hier verglichenen Systemvarianten beziehen sich ausschließlich auf Ergebnisse der optimalen Systemkonfigurationsvarianten der Quartiersuntersuchungen in Abschnitt 5.3. Dabei werden einerseits Auswirkungen der Basisvarianten „Modernisierung“ und „Kesseltausch“ vorgestellt. Es zeigt sich, dass diese Basislösungen maximal Emissionseinsparungen bis ca. 20% bezüglich des Bestandes ermöglichen. Derartige Varianten könnten die gesetzten Ziele nicht erfüllen.

Weiterhin sind die Potentiale der optimalen Nahwärmenetzvarianten (vgl. Abschnitt 5.3 – BHKW-NahWN, BHKW-NahWN + PV, WP-NahWN) in Abbildung 58 aufgezeigt. Diese ermöglichen alle, die Zielstellungen der Partner zu erfüllen.

Die im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gezeigte BHKW-Nahwärmenetzvariante, die auch unter Einberechnung der Finanzierung eine wirtschaftliche Alternative darstellt, erzielt die vergleichbar hohen Einsparungen hauptsächlich durch die hohen Einsparungen im Betriebsstromverbrauch aufgrund der hohen Eigenstromerzeugung durch das BHKW-System. Dem gegenüber steht jedoch ein höherer Gasverbrauch bezüglich des konventionellen Kesseltausches.

Die höchsten CO₂-Einsparungen ermöglicht die Umsetzung der großen Nahwärmenetzvariante mit BHKW-System zur Warmwasserbereitung und Wärmepumpenkaskade zur Heizenergieversorgung. Hierbei können mit einem optimierten Betriebsregime über 50% der jährlichen CO₂-Emissionen eingespart werden. Durch die potentielle Reduktion des Gasverbrauchs um mehr als 1.300.000 kWh pro Jahr ist einerseits eine immense Kostenersparnis bei den Energiekosten und andererseits im Vergleich zu allen anderen untersuchten Varianten die größte Unabhängigkeit von steigenden Energiepreisen zu erzielen.

Jedoch verursachen betriebswirtschaftliche Mehrkosten (vor allem Abschreibungen) sowie entstehende Mehraufwände (vor allem Verwaltung) im Vergleich zur kleinen Nahwärmenetzvariante etwas höhere laufende Kosten (vgl. Abschnitt 5.3). Daher steht die Umsetzung dieser Variante unter Vorbehalten bezüglich Unterhaltung und Finanzierung.

Es wurde darüber hinaus eine Vielzahl an Maßnahmen zur Verbesserung der Energieversorgung der einzelnen Gebäude (vgl. Einzelhausbetrachtung in Abschnitt 5.2) durchgeführt. Die daraus erzielbaren Energie- und damit Emissionseinsparungen sind bezüglich der Basisvariante „Kesseltausch“ jedoch vergleichbar gering und wurden daher in diesem Abschnitt nicht nochmal gesondert aufgezeigt.

5.5 Fazit und Variantenauswahl

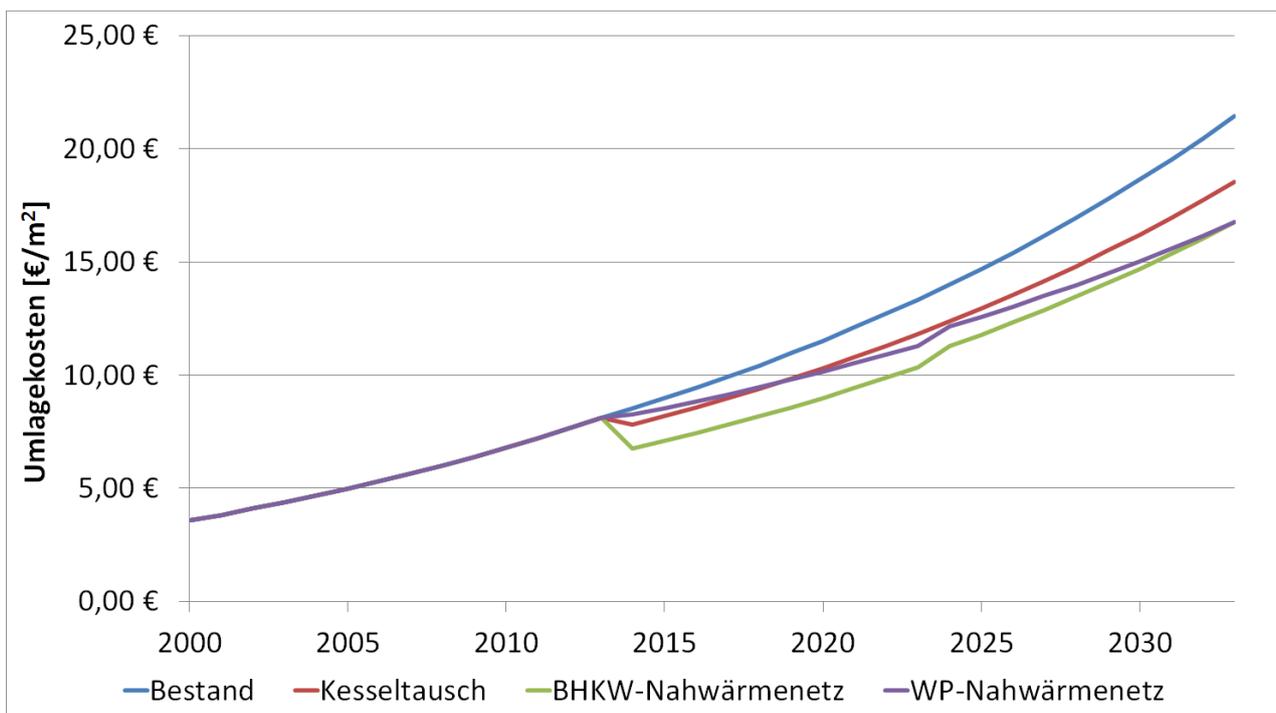


Abb. 59: Entwicklung der Umlagekosten für verschiedene Energieversorgungsvarianten

Die Entwicklung eines bezahlbaren und nachhaltigen Konzepts für die Energieversorgung des Quartiers Schloß- und Ringstraße in Lohmen, welches darüber hinaus einen signifikanten Beitrag zum Klimaschutz liefert, war der Fokus des diesem Berichts zugrunde liegenden Projekts. Ein solches Vorhaben basiert auf der Ausnutzung zur Verfügung stehender regenerativer Energie, dem Identifizieren von Synergieeffekten und nicht zuletzt dem Ausnutzen vorhandener Energieeinsparpotentiale.

Hierfür wurde im Rahmen des Projekts eine Vielzahl von Konzepten zur Energieversorgung der einzelnen Gebäude sowie für das gesamte Quartier als Ganzes erarbeitet. Die in den Abschnitten 5.2 bis 5.4 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass nur ganzheitliche Quartierslösungen signifikante Kosten- und Emissionseinsparungen gegenüber einem konventionellen Tausch aller Kessel durch moderne Gasbrennwertkessel erlauben.

Basis aller gestellten Zielstellungen ist, die Gemeinde Lohmen als attraktiven Wohnstandort zu bewahren und diesen Status ggf. noch zu verbessern. Hierzu muss eine Lösung auf die sich abzeichnende Entwicklung der Energiepreise gefunden werden, die alle Bürger durch ihre Nebenkosten und Steuern mit bezahlen.

Abbildung 59 zeigt diesbezüglich die Entwicklung der Umlagekosten bezogen auf die Nutzfläche des betrachteten Quartiers in Abhängigkeit verschiedener erarbeiteter Ener-

gieversorgungssystemvarianten im Vergleich zum Bestand. Umlagekosten bezeichnen in diesem Fall zusätzlich zu den in der Wohnungswirtschaft verwendeten Nebenkosten (Energiekosten, Betriebskosten, etc.) die aufzubringenden Abschreibungen für Investitionsmaßnahmen sowie erzielte Vergütungen durch regenerative Energienutzung.

Die Entwicklung der Umlagekosten für die Bestandsanlagen (vorbehaltlich deren Verschleißes in naher Zukunft) sowie der konventionellen Energieversorgungslösung (Gasbrennwertkessel) stellt noch einmal die Motivation und Notwendigkeit zur Findung besserer Lösungen heraus. Wohnen und Energie muss bezahlbar bleiben!

Abbildung 59 zeigt, dass die entwickelten Varianten für eine Nahwärmenetzversorgung auch über das Jahr 2030 hinaus am ehesten gerecht werden können. Die dafür aufzuwendenden Investitionsmaßnahmen sind zwar anfällig höher, rechnen sich jedoch mit der Zeit. Des Weiteren ist in allen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu diesen Varianten (Abschnitt 5.3) zu beachten, dass die vergleichsweise hohen Kosten des Baus der Nahwärmenetze in einem Zeitraum von 30 Jahren betriebswirtschaftlich abgeschrieben werden (vgl. Abschnitt 5.1), jedoch lang nicht in diesem Zeitraum verschleißten. Sie stehen darüber hinaus unter Aufwendung geringster Wartungsmaßnahmen noch lang zur Verfügung.

Dies bezieht sich vor allem auf die große Nahwärmenetzvariante, die deutlich über das Jahr 2030 hinaus die geringsten Umlagekosten verursacht (siehe Abb. 59) und darüber hinaus die größte Unabhängigkeit von kommenden Energiekostenentwicklungen ermöglicht. Aufgrund der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen steht diese jedoch unter dem Vorbehalt der Finanzierung und bereitstehenden Fördermöglichkeiten.

Lohmen verschreibt sich mit diesem Energiekonzept dem Klimaschutz. Eine Umsetzung ist jedoch in Verantwortung gegenüber den Bürgern sowie den Mitgliedern der Wohnungsbaugenossenschaft der Eigentümergemeinschaft nur im Rahmen einer darstellbaren Wirtschaftlichkeit möglich.

6 Weitere Untersuchungen

Nach der Analyse des Ist-Zustandes der bestehenden energietechnischen Anlagen im historischen Ortskern der Gemeinde Lohmen sowie der Erstellung und simulationsgestützten Bewertung bzw. Optimierung verschiedener nachhaltiger Energieversorgungskonzepte für das skizzierte Areal, sind im Rahmen des Abschlussberichts bzw. der Vollendung des Energiekonzepts weitere abschließende Untersuchungen durchzuführen:

1. Untersuchungen zu Maßnahmen für den Einsatz von Elektromobilität
2. Entwurf eines Monitoringkonzepts
3. Analyse begünstigender und hemmender Faktoren
4. Erstellung eines Maßnahmenplans

Die Ergebnisse dieser vier abschließenden Arbeitspakete werden im Rahmen der folgenden Abschnitte näher erläutert.

6.1 Elektromobilität

Die zunehmende Abdeckung des Mobilitätsbedarfs der Menschen in Deutschland mit elektrischen oder elektrifizierten Fahrzeugen wird auch in kleineren Gemeinden und im ländlichen Raum auf absehbare Zeit Einzug halten. Diese Entwicklung wird auch seitens der Bundesregierung durch den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität [60] gestützt, der bis 2020 vorsieht, eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen zu bringen.

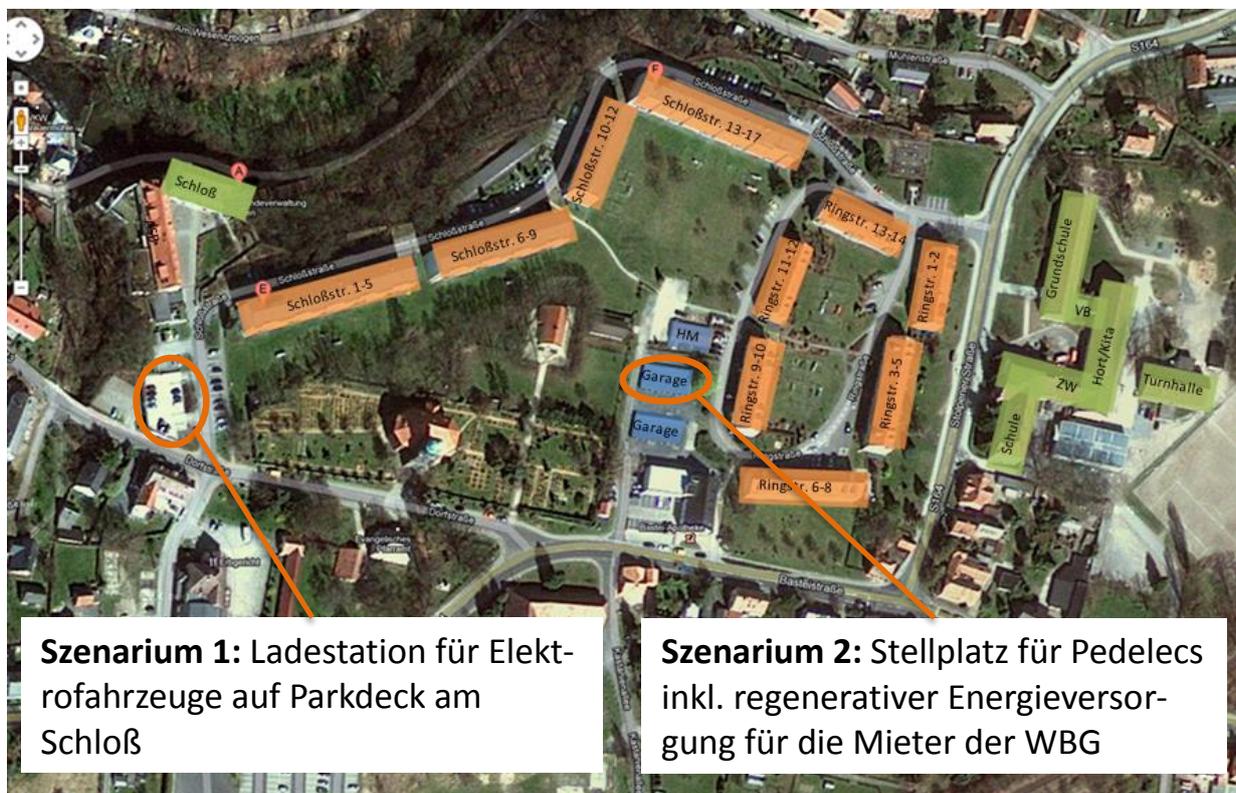


Abb. 60: Szenarien für den Einsatz von Elektromobilität in Lohmen

Daher soll im Rahmen dieses Arbeitspaketes einerseits untersucht werden, wie dieser Entwicklung durch die handelnden Partner in der Gemeinde Lohmen Rechnung getragen werden kann. Andererseits gilt es für die Umsetzung derartiger Maßnahmen ein nachhaltiges und bezahlbares Konzept zu finden.

Diesbezüglich wurden mit den handelnden Partnern in Lohmen zwei Szenarien erörtert, die im Rahmen des Energiekonzepts genauer untersucht werden sollten:

1. Ladestation für Elektrofahrzeuge auf dem Parkdeck am Schloß
2. Stellplatz für Pedelecs in den Garagen der WBG Lohmen

Ziel der Untersuchungen soll die Findung eines nachhaltigen und bezahlbaren Systems aus regenerativer Energieerzeugung, -speicherung und -verbrauch sein.

6.1.1 Regenerative Ladestation am Schloß

Elektrofahrzeuge und Hybridfahrzeuge mit externer Ladeschnittstelle besitzen die Möglichkeit am elektrischen Verbundenergienetz nachgeladen zu werden. Um dies tun zu können, wird jedoch eine Ladeinfrastruktur benötigt, die verschiedenste Funktionen hinsichtlich unterschiedlicher Anforderungen (siehe Auswahl unten) erfüllt:

- Kommunikation mit Fahrzeug (Freischaltung, Verriegelung)
- Authentifizierung der Nutzer (Abrechnung)
- Steuerung und Vermessung des Ladestromes
- V2G – Applikationen (Nutzung von Elektrofahrzeugen als Schwarm Speicher)
- Einbindung lokaler regenerativ erzeugter Energie und stationärer Speicher

Hierzu bieten unterschiedliche Hersteller verschiedenste Systeme an, die die genannten Problematiken und Funktionen in unterschiedlicher Form adressieren bzw. erfüllen (u.a. [61]). Weitere Diskussionen zu den aufgezeigten einzelnen Punkten sollen im Rahmen des Konzepts jedoch nicht weiter geführt werden, da hier teilweise tiefgreifende wirtschaftlich-rechtliche sowie politische Randbedingungen mitbetrachtet werden müssen.

Im Rahmen des Energiekonzepts soll lediglich untersucht werden, welchen energetischen Einfluss die Nutzung derartiger Ladestationen sowie die Verwendung von Elektro- und Hybridfahrzeugen für die handelnden Partner haben und wie ein mögliches System optimal dimensioniert werden könnte.

Für das erste, im Rahmen dieses Arbeitspaketes zu untersuchende Szenarium gilt es zunächst, dessen Randbedingungen näher zu formulieren. Ein guter Standort für eine Ladesäule im historischen Ortskern der Gemeinde Lohmen wäre das zentral gelegene Parkdeck am Schloß, welches bis zu 20 Stellmöglichkeiten für Fahrzeuge bietet. Es kann sowohl durch Besucherfahrzeuge als auch durch die Fahrzeuge der Gemeindeverwaltung genutzt werden. Aufgrund dessen, dass nähere Informationen zu Besucherströmen in Lohmen nicht bekannt sind, sollen im Rahmen des skizzierten Szenariums ausschließlich die Fahrzeuge der Gemeindeverwaltung betrachtet werden.

Die Gemeindeverwaltung besitzt zwölf Fahrzeuge (Abschnitt 2.5), die jedoch teilweise am Bauhof sowie anderen dezentralen Standorten zum Einsatz kommen. Im Rahmen des Energiekonzepts soll daher untersucht werden, welchen energetischen Einfluss eine Um-

stellung der zwei durch die Gemeindeverwaltung genutzten Fahrzeuge (Renault Kangoo, Renault Twingo) auf PHEVs (PlugIn-Hybridfahrzeuge) besitzen würde. Diese Fahrzeuge sollen im Rahmen des Szenariums dauerhaft auf dem Parkdeck an einer Ladestation geladen werden, wenn sie hier anwesend sind. Die Gesamtwegstrecke der beiden Fahrzeuge pro Jahr beträgt ca. 16.800 km, wobei als weiteste, zu fahrende Strecken die Entfernung Dresden-Lohmen und zurück mit ca. 100km festgelegt wird.

Für die detaillierten Vergleichsrechnungen wurden folgende Werte für die beiden Fahrzeuge genutzt:

- Renault Kangoo: ca. 10.500 km/a, 6,4 l/100km, 145 g/km CO₂-Emissionen)
- Renault Twingo: ca. 6.300 km/a, 6,6 l/100km, 119 g/km CO₂-Emissionen)

Die beiden Fahrzeuge werden nur während der Arbeitszeit, wochentags zwischen 09.00 und 17.00 Uhr eingesetzt. In der Ferienzeit werden die Fahrzeuge jedoch aufgrund von vermehrtem Mitarbeiterurlaub lediglich nur halb so viel genutzt. Daraus ergaben sich für das Beispieljahr 2011 192 Voll- und 68 Halbnutzungstage. Die Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt während der Nutzung ca. 35 km/h, was das Ergebnis der Simulation des Fahrzeugverhaltens für einen genormten Stadtfahrzyklus mit erhöhtem Überlandanteil ist (vgl. ftp 75-Fahrzyklus [62]).

Zentraler Aspekt der Auslegung eines nachhaltigen Systems zur regenerativen Energieversorgung von elektrifizierten Fahrzeugen ist die Verfügbarkeit der Fahrzeuge an der Ladestation im Vergleich zur Verfügbarkeit regenerativer Energie (vgl. Stromproduktion durch PV-Anlagen am Tag und in Sommermonaten). Um ein statistisch abgesichertes Nutzungsszenarium für beide Fahrzeuge definieren zu können, wurden folgende weiterführenden Festlegungen zur wochentäglichen Nutzung getroffen:

- Renault Kangoo: ca. 46 km (80 min) / vollem Nutzungstag (Varianz 100%)
- Renault Twingo: ca. 28 km (48 min) / vollem Nutzungstag (Varianz 100%)

Unter Nutzung dieser Festlegungen wurde ein Algorithmus entworfen, der verschiedene, statistisch abgesicherte Nutzungsszenarien für beide Fahrzeuge für ein Testreferenzjahr erzeugt.

Neben den verwendeten Nutzungsszenarien ist es darüber hinaus wichtig, den mittleren Energiebedarf für den als Referenz angesetzten Fahrzyklus zu definieren. Dieser liegt bei modernen PlugIn-Hybridfahrzeugen bei ca. 4,6 kW elektrischer Leistung bzw. 11,1 kW Kraftstoffleistung im Falle einer vollständig entladenen Batterie. Dem gegenüber steht eine deutlich erhöhte Kraftstoffleistung der aktuell eingesetzten konventionell angetriebenen Fahrzeugen der Gemeindeverwaltung (vgl. Renault Kangoo: ca. 21,6 kW).

Abbildung 61 zeigt die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung. Dabei wurden folgende Szenarien hinsichtlich des resultierenden Gesamtenergiebedarfs verglichen:

1. Nutzung der beiden aktuellen Fahrzeuge der Flotte (Renault Kangoo, Twingo)
2. Ersetzung der Bestandsfahrzeuge durch PlugIn-Hybridfahrzeuge
3. PlugIn-Hybridfahrzeuge und Ladestation mit angeschlossener 1 kWp-PV-Anlage
4. PlugIn-Hybridfahrzeuge, Ladestation mit angeschlossener 1 kWp-PV-Anlage sowie 6 kWh Lithium-Ionen-Pufferbatterie

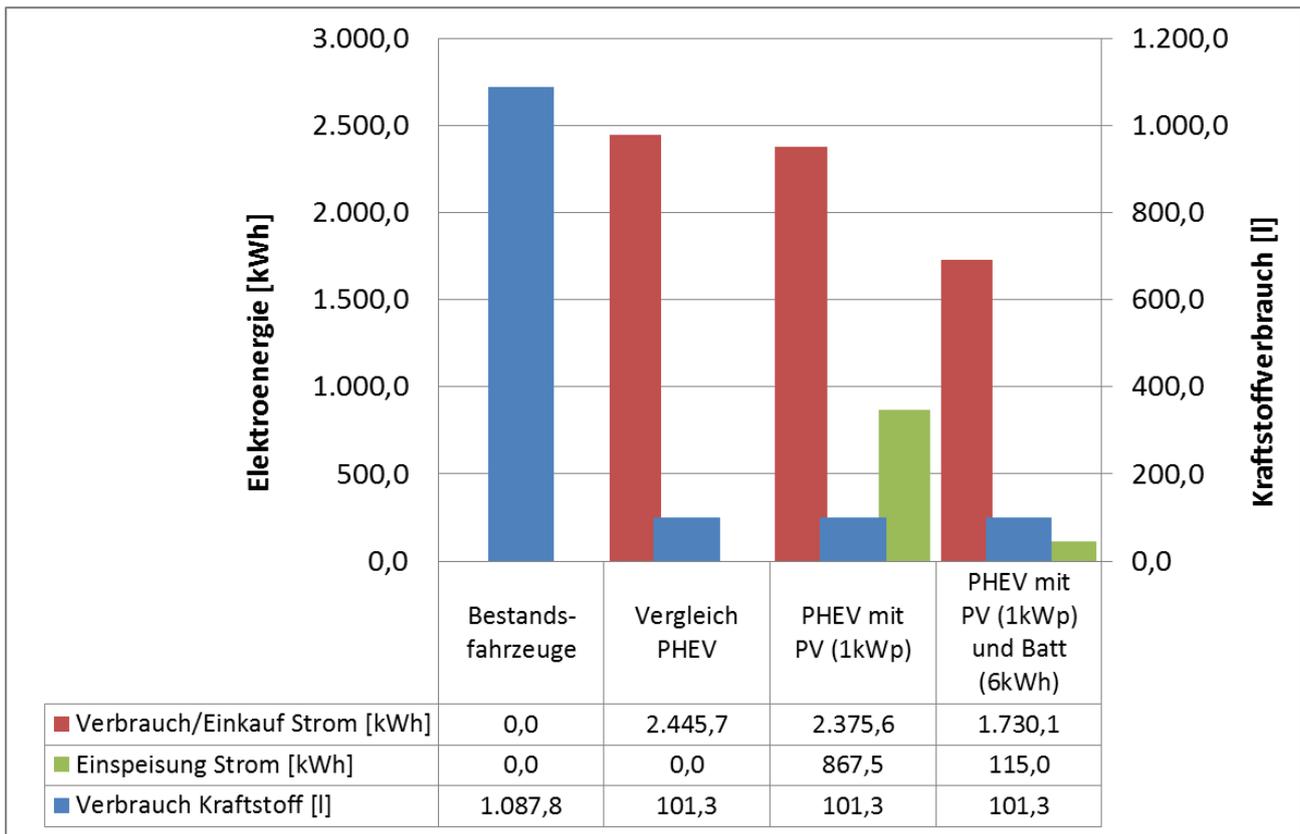


Abb. 61: Jährlicher Elektroenergie- und Kraftstoffbedarf für 2 Fahrzeuge und unterschiedliche Versorgungskonzepte

Der Einsatz von PlugIn-Hybridfahrzeugen für die skizzierten Nutzungsszenarien würde für die Gemeindeverwaltung Lohmen zu einer massiven Reduktion des jährlichen Kraftstoffverbrauchs bzw. der Kraftstoffkosten führen. Dem gegenüber steht natürlich ein erhöhter Bedarf an Elektroenergie (ca. 1/6 des Gesamtstrombedarfs der Straßenbeleuchtung – vgl. Abschnitt 2.4.4). Ein zusätzlicher Einsatz einer kleinen PV-Anlage (1 kWp) würde diesen Elektroenergiebedarf per se noch nicht signifikant senken. Aufgrund der überwiegenden tagsüber Nutzung der Fahrzeuge stehen diese nur selten zu Zeiten der PV-Stromerzeugung zum Nachladen zur Verfügung. Daher wird der regenerativ erzeugte Strom hier größtenteils nur ins Verbundenergienetz eingespeist. Eine derartig ausgestattete Ladestation mit zusätzlicher regenerativer Energieerzeugung ist daher nur in Verbindung mit einem stationären Speicher sinnvoll. Abbildung 61 zeigt dazu, dass bereits ein 6 kWh Batteriespeicher den Netzbedarf an Elektroenergie deutlich senken und die Menge eingespeister Energie deutlich reduzieren kann.

Alles in allem ermöglichen der Einsatz hybridisierter Fahrzeuge sowie deren Nachladung an einer regenerativ betriebenen Ladestation vergleichbar hohe jährliche Einsparungen an laufenden Kosten und CO₂-Emissionen. Ausgangspunkt hierfür sind folgende Werte für die beiden betrachteten konventionellen Fahrzeuge:

- Laufende Kosten: ca. 1.630 € pro Jahr (Kraftstoffkosten für 2 Fahrzeuge – 1,50 €/l)
- Emissionen: ca. 2.650 kg CO₂ pro Jahr (Emissionen 2 Fahrzeuge nach Nutzung)

Die verschiedenen in Abbildung 61 aufgezeigten Maßnahmen der Ersetzung der konventionellen Fahrzeuge durch Hybridfahrzeuge und deren Nachladung einer regenerativen Ladestationen ermöglichen folgende Einsparpotentiale:

- | | | |
|--------------------|------------------------|---------|
| • Hybridfahrzeuge: | Einsparung Kosten: | ca. 54% |
| | Einsparung Emissionen: | ca. 37% |
| • PV-Anlage: | Einsparung Kosten: | ca. 60% |
| | Einsparung Emissionen: | ca. 58% |
| • PV + Batterie: | Einsparung Kosten: | ca. 65% |
| | Einsparung Emissionen: | ca. 56% |

Den hier aufgezeigten Einsparungspotentialen stehen natürlich erhöhte Kosten gegenüber, die jedoch aufgrund der aktuellen förderpolitischen Randbedingungen (vgl. u.a. [60]) ganz oder teilweise aus bestehenden oder zukünftigen Fördermaßnahmen refinanziert werden könnten:

- Ladestation für 2 Fahrzeuge inkl. Aufstellung: ca. 10.000 €
- PV-Anlage: 1 kWp: ca. 1.700 €
- Batterie inkl. Umrichter und Anschluss: ca. 10.000 €

Zusätzlich zu den skizzierten Mehraufwänden für die Infrastruktur müssen natürlich auch noch die erhöhten Kosten für die Fahrzeuganschaffung genannt werden.

6.1.2 Regenerativer Stellplatz für Pedelecs

Pedelecs (Pedal Electric Cycle) sind Fahrräder, die den Fahrer durch einen zusätzlichen Elektroantrieb beim Fahren unterstützen. Im Gegensatz zu Elektrorollern oder anderen elektrifizierten Zweirädern erfordern Pedelecs keinerlei zusätzliche Qualifikationen oder Führerscheinklassen und können so durch alle Nutzergruppen verwendet werden.

Mit ihrer maximalen Unterstützung von 250 W bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von 25 km/h sind sie darüber hinaus zulassungsfrei und erzeugen daher keine weiteren verwaltungstechnischen Kosten.

Die WBG Lohmen besitzt bereits einen Stellplatz für Fahrräder in der eigenen Garagenanlage (siehe Abb. 60). Bezüglich eines nachhaltigen Konzepts zur Einführung der Elektromobilität für die Bürger des historischen Ortskerns in Lohmen wäre ein Ausbau dieses Standortes als Stellplatz für Pedelecs inkl. Ladeinfrastruktur sinnvoll. Aufgrund der geringeren Energie- und Leistungsbedarfe eines derartigen Systems ist hier ebenfalls mit geringeren Aufwandskosten zu rechnen, wie sie bei Aufbau einer Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge (siehe Abschnitt 6.1.1) entstehen würden.

Gerade für ältere Menschen sind Pedelecs eine gute Möglichkeit mobil zu bleiben. Die Bewohner bzw. Mitglieder der WBG besitzen durchschnittlich ein eher höheres Alter (ca. 55 Jahre). Darüber hinaus ist das Lohmener Umland relativ hügelig, so dass das Zurücklegen von Wegstrecken mit einem Fahrrad unter Umständen sehr anstrengend sein kann. Auf Grund der Unterstützung des Antriebs würde daher die Zurverfügungstellung von Pedelecs für die Bewohner einen deutlichen Komfortgewinn erzeugen und daher ein Alleinstellungsmerkmal für die zukünftige Vermietung der Wohnungen der WBG darstellen.

Im Rahmen des Energiekonzepts soll daher die Nutzung von bis zu sechs Pedelcs durch die Bewohner der WBG als Bike-Sharing-Konzept näher untersucht werden. Dabei steht die regenerative Energieversorgung durch Photovoltaik-Anlagen auf dem Garagendach (siehe Abb. 60) und die Zwischenspeicherung der Energie in einem stationären Batteriespeicher im Mittelpunkt.

Wie bereits in Abschnitt 6.1.1 beschrieben, stellt die Identifikation geeigneter Nutzungs- und damit Energieverbrauchsszenarien bei der Auslegung eines regenerativen Energiesystems in Verbindung mit Elektromobilität eine Herausforderung dar.

Für das hier skizzierte zweite Elektromobilitätsszenarium für die Gemeinde Lohmen wurden daher nachfolgende Randbedingungen erarbeitet. Die WBG Lohmen besitzt z.Z. ca. 300 Mieter. Das Durchschnittsalter der Bewohner liegt bei ca. 55 Jahren. Studien zur Nutzung von elektrifizierten Fahrrädern (d.h. Pedelcs) zeigen, dass ca. 10% aller Senioren derartige Fortbewegungsmittel nutzen bzw. bei Verfügbarkeit nutzen würden [63]. Für die Bewohner der WBG hieße das, dass ca. 30 Bewohner am beschriebenen Bike-

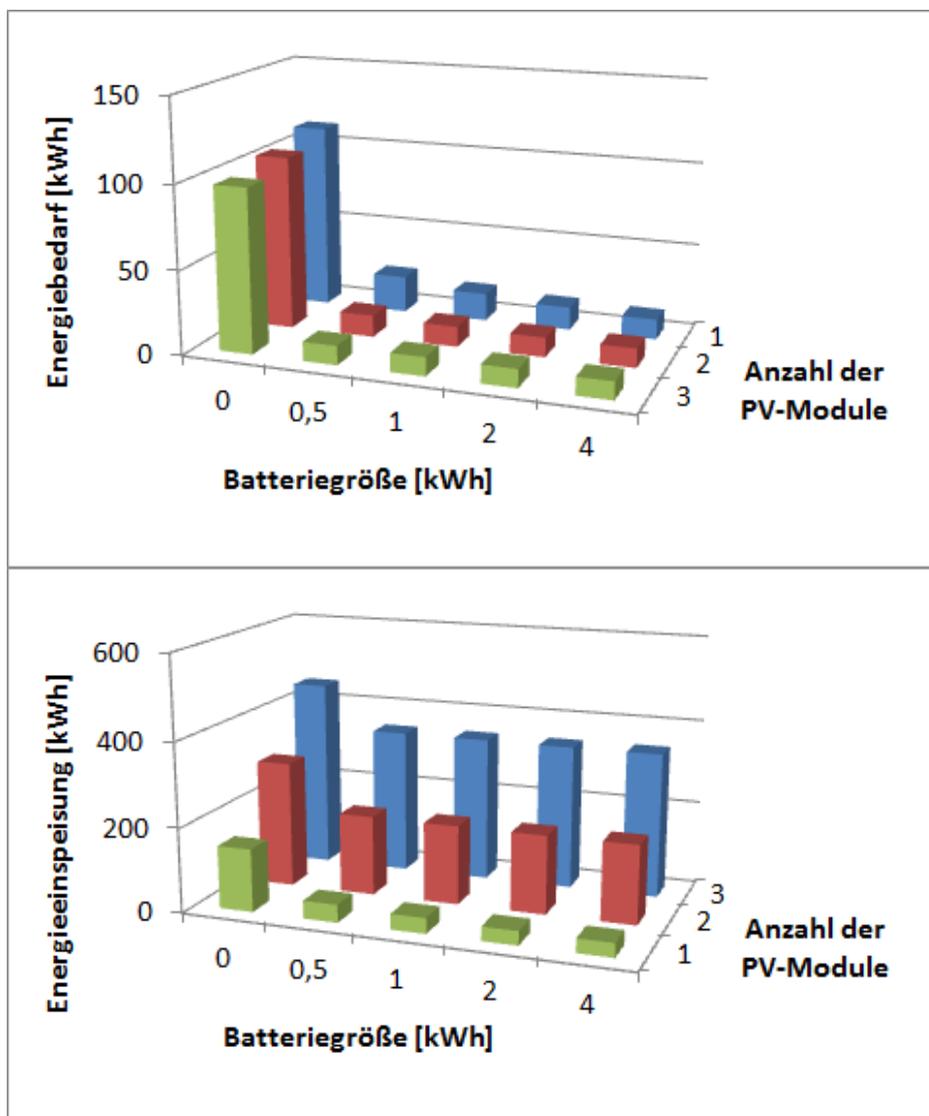


Abb. 62: Elektroenergiebedarf und -einspeisung für geringen Energieverbrauch (0,5 kWh pro 100 km) und unterschiedliche PV- und Batteriegrößen

Sharing-Modell teilnehmen würden.

Für die durchschnittliche Fahrradnutzung in Deutschland werden darüber hinaus Mittelwerte für Studien aus anderen Ländern der Europäischen Union angenommen [64]. Dadurch wird in der Folge von einer durchschnittlichen Nutzung von ca. 500 km pro Jahr und Person ausgegangen. Für die sechs zu untersuchenden Pedelecs und die angenommenen 30 Nutzer ergibt sich daraus eine Gesamtfahrstrecke von ca. 15.000 km pro Jahr, d.h. ca. 2.500 km pro Jahr und Pedelec.

Weiterhin wird aufgrund des höheren Durchschnittsalters der Bewohner von einem maximalen täglichen Nutzungszeitraum von 09.00 – 17.00 Uhr ausgegangen. Darüber hinaus zeigen weitere Studien, dass 50% aller gefahrenen Strecken unter 6 km lang sind [65]. Bei einer durchschnittlichen, angenommenen Geschwindigkeit von 20 km/h sowie 2 gefahrenen Wegen pro Tag [65] ergeben sich für die Pedelecs 250 Nutzungstage pro Jahr, die sich vormals im Frühling und Sommer befinden [66].

Ein Pedelec selbst besitzt einen Energiespeicher von ca. 800 Wh im Bereich von 24 – 48V, der dadurch auch durch Laien getauscht werden darf (Schutzkleinspannung) [64]. Es verbraucht ca. 0,5 – 2 kWh pro 100 km und stellt damit einen äußerst niedrigen Elektroenergieverbrauch dar [67]. Für weitere Untersuchungen wird einerseits ein niedriger Verbrauch mit 0,5 kWh/100 km und ein höherer Verbrauch mit 1,25 kWh/100 km angenommen. Noch höhere Verbräuche sind aufgrund der angestrebten Nutzergruppe in Lohmen nicht zu erwarten.

Hauptaufgabe für das Elektromobilitätsszenariums zur Bereitstellung elektrifizierter Fahrräder für die Bewohner der WBG Lohmen war die Auslegung eines regenerativen Energiesystems aus Photovoltaik-Anlagen und einer stationären Batterie.

Für den geringen angenommenen Verbrauch der Pedelecs von 0,5 kWh pro 100 km konnte für das erarbeitete Nutzungsszenarium ein Gesamtverbrauch von ca. 122 kWh pro Jahr errechnet werden. Als Spitzenleistung für die Ladung ergab sich bei Beschränkung auf einphasiges Laden eine Leistung von ca. 2,7 kW.

Darüber hinaus wurde die Energieversorgungsinfrastruktur hinsichtlich der PV-Größe (1-3 Module mit je 165 Wp) und der Batteriegröße (0 – 4 kWh) variiert. Da die Pedelecs vormals im Sommer genutzt werden, wurde für alle Varianten eine standortspezifisch optimale südliche Ausrichtung mit 35° Anstellwinkel genutzt.

Abbildung 62 zeigt die Ergebnisse der Untersuchung bezüglich des resultierenden Netzenergiebedarfs und der erzeugten Netzenergieeinspeisung durch überschüssige PV-Stromproduktion. Diese könnte gleichwohl durch entsprechende Regler auf 0 reduziert werden. Sie zeigt jedoch die Menge an nicht selbst genutzter Energie, wenn ein System zu groß dimensioniert ist.

Grundsätzlich erscheint ein Einsatz von PV-Modulen ohne angeschlossenes Pufferbatteriesystem aufgrund der überwiegenden Tagnutzung der Pedelecs als nicht sinnvoll, da so nur ein geringer Teil des Energiebedarfs regenerativ gedeckt werden kann. Für angenommenen geringen Verbrauch der Pedelecs ergibt sich für bereits die kleinste untersuchte Ausbaustufe des PV-Batteriesystems (1 PV-Module, 0,5 kWh Batterie) eine signifikante Reduktion des Netzstrombedarfs für die Nachladung der Pedelecs (Reduktion auf

ca. 18%). Eine Vergrößerung beider Systemkomponenten führt lediglich zu Mehreinspeisung und damit zu einer Potentialverminderung.

Für höheren Energieverbrauch der Pedelecs (1,25 kWh/100km) erhöht sich der Gesamtenergiebedarf zum Nachladen signifikant auf ca. 301 kWh pro Jahr. Die Auswirkung auf die Ausnutzung unterschiedlicher Anlagengrößen zeigt hierfür die Abbildung 63.

Auch hier ist eine alleinige Nutzung einer PV-Anlage als regenerativer Stromerzeuger eher unrentabel. Jedoch ermöglicht der Einsatz der kleinsten untersuchten Systemkonfiguration nur eine Verminderung des Netzbezugs auf ca. 60%. Die hier gleichzeitig aufgezeigte minimale Einspeisung zeigt, dass in diesem Fall das System zu klein dimensioniert wäre. Es wird aber eindeutig ersichtlich, dass bereits eine kleine Pufferbatterie die Ausnutzung selbsterzeugten PV-Stromes signifikant erhöht.

Zusammenfassend bleibt für dieses untersuchte Elektromobilitätsszenarium zu sagen, dass die Bereitstellung elektrifizierter Fahrräder (Pedelecs) gerade im ländlichen Raum und für zunehmendes Alter der Mieter den Komfort und die Bewegungsfreiheit der Be-

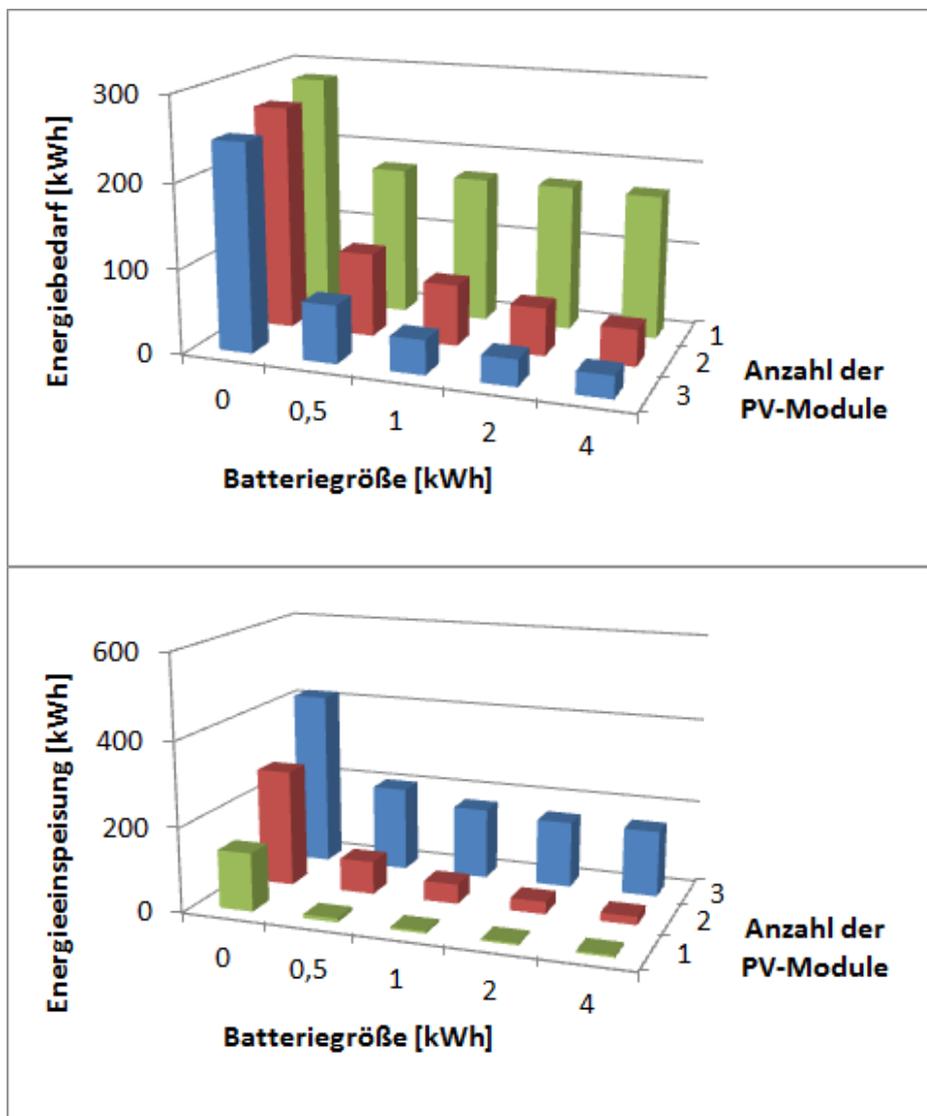


Abb. 63: Elektroenergiebedarf und -einspeisung für hohen Energieverbrauch (1,25 kWh pro 100 km) und unterschiedliche PV- und Batteriegrößen

wohner deutlich verbessert. Darüber hinaus bietet die Installation selbst einer minimalen regenerativen Ladeinfrastruktur die Möglichkeit signifikante Energieeinsparungen bezogen auf den Gesamtenergiebedarf der Fahrräder zu erzielen.

Wenn man davon ausgeht, dass bei einem mittleren Energiebedarf der Pedelecs von 1,25 kWh pro 100 km der gesamte Energiebedarf aus dem Netz bereitgestellt werden würde, ergäbe das laufenden Kosten von ca. 75 € pro Jahr bzw. 175 kg CO₂-Emissionen durch die Pedelec-Nutzung. Das Einsparpotential liegt hier selbst bei sehr kleinen Systemkonfigurationen für eine regenerative Ladeinfrastruktur bei ca. 80% der laufenden Kosten und ca. 93% der jährlichen Emissionen. Dem gegenüber läge jedoch ein Kostenaufwand von ca. 560 € für die benötigten PV-Module und ca. 900 € für die benötigte Pufferbatterie inklusive Umrichter und Anschluss.

Auf diese Weise kann auf dem Gebiet des historischen Ortskerns der Gemeinde Lohmen ein signifikanter Beitrag zu Emissions- und Energieeinsparungen geleistet werden. Der Mehrwert einer derartigen Maßnahme liegt aber vor allem im Komfortgewinn für die Mieter der WBG. Auch die Landesregierung des Freistaates Sachsen bekennt sich mit ihrer Radverkehrskonzeption aus dem Jahr 2013 [68] zum Ziel der steigenden Nutzung von Fahrrädern und Pedelecs durch Bewohner und Touristen. Ein Bezug auf dieses Programm eröffnet für die skizzierten Maßnahmen u.U. weitere Fördermöglichkeiten.

6.2 Monitoringkonzept

Im Rahmen des Energiekonzepts wurden für den historischen Ortskern der Gemeinde Lohmen eine Vielzahl von Energiesystemvarianten zur nachhaltigen und bezahlbaren Energieversorgung des Areals erarbeitet. Dabei wurden sowohl vergleichbar einfache Versorgungssysteme für die einzelnen Gebäude als auch komplexe Arealnetzsysteme entworfen.

Die Steuerung komplexer Anlagensysteme erfordert per se die Vermessung verschiedenster Kenngrößen wie Arbeit und Leistung (Elektroenergie und Wärme) sowie verschiedener Temperaturen und Durchflüsse an bestimmten signifikanten Punkten des verteilten Energiesystems. Diese Messergebnisse müssen elektronisch durch fernauslesbare Zähler gemessen, die entstehenden Daten aufbereitet und an ein zentrales Leitsystem übertragen werden. Hierfür bietet sich die Verwendung bestehender Datenkommunikationsstrukturen (siehe Telekommunikationsleitungsplan in Anhang A1) an. Daher ist die Erarbeitung eines geeigneten, webbasierten Monitoringsystems (z.B. über Internet-Server) für die Umsetzung möglicher komplexer Energieversorgungssysteme (z.B. Nahwärmenetz) im betrachteten Areal unerlässlich. Diese ermöglichen Servicetechnikern die Fernwartung des Systems bzw. das Fernwirken am System.

Im Rahmen der Förderung von Nachhaltigkeit und Energieeffizienz gewähren Bund und Länder im Rahmen verschiedenster Initiativen und Maßnahmen zum Teil Zuschüsse und Förderungen für die Umsetzung neuer energieeffizienter und nachhaltiger Energieversorgungssysteme. Die Inanspruchnahme solcher Fördergelder ist jedoch ebenfalls an die Notwendigkeit geknüpft, dass aufgebaute System messtechnisch zu überwachen und die resultierende Energieeffizienz durch ein zentrales Monitoringsystem zu bewerten und nachzuweisen (siehe EnOB-Richtlinie [69]). Darüber hinaus hat anhand der gesammelten

Messdaten eine Optimierung des Betriebsverhaltens durch den Anlagenbetreiber stattzufinden.

Die Akzeptanz der Bürger spielt bei der Umsetzung aufwendiger Energieversorgungssysteme ebenfalls eine große Rolle. Über das skizzierte Monitoringsystem sollte mit einem Visualisierungssystem gekoppelt werden. Informationssystem kann aus einer Internetseite sowie Anzeigeeinheiten im Quartier bestehen. So können die Anwohner über regenerative Energieerträge, hausweise Verbräuche oder z.B. über die Belegung von Ladestationen (z.B. für eigene EKfz oder Pedelecs) benachrichtigt werden. Eine mögliche Darstellung wird in Abbildung 64 gezeigt.

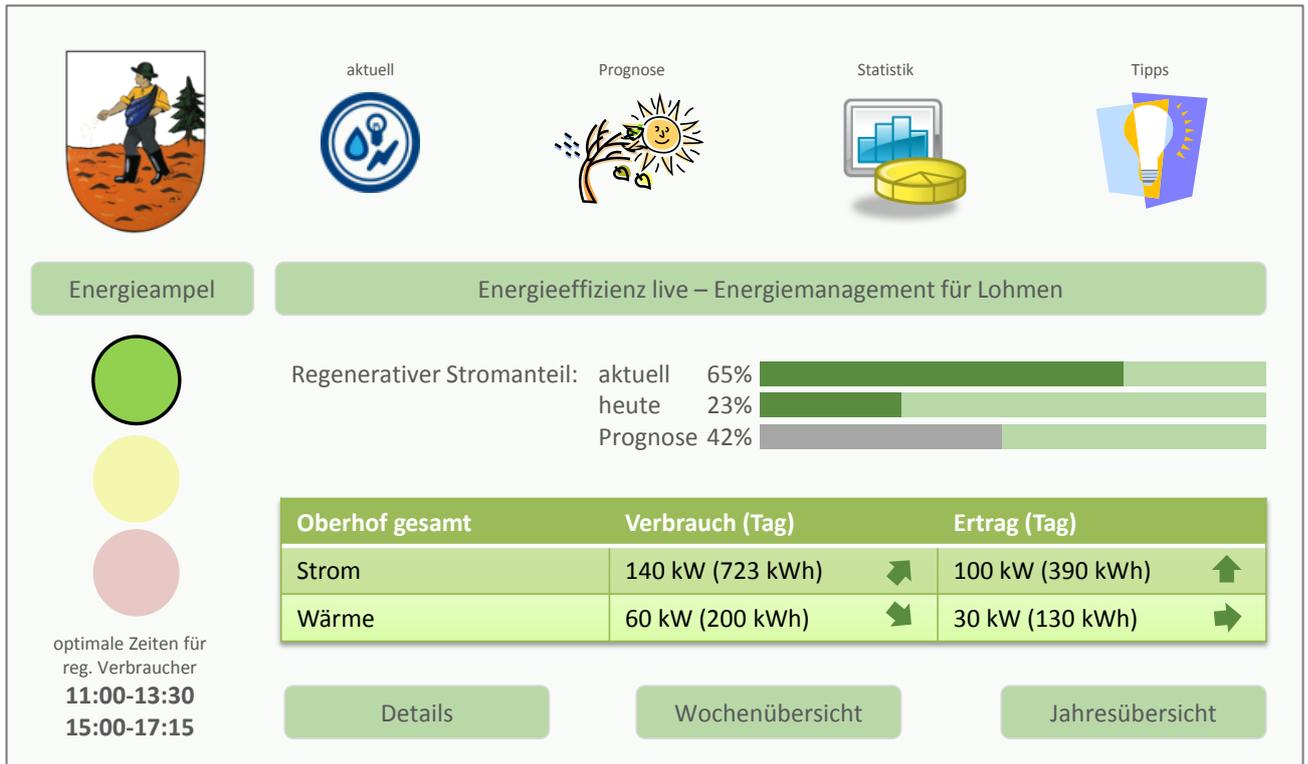


Abb. 64: Beispiel für Liveanzeige von Verbrauchwerten und Prognose regenerativer Energie in einer Quartierswebseite

Ein weiterer großer Vorteil solcher Systeme ist die mögliche technische Assistenz für ältere Menschen von einer Servicezentrale aus. Darüber hinaus kann die WBG oder die Gemeindeverwaltung zentral und schnell auf die Zählerwerte und den Betriebszustand der technischen Anlagen zugreifen und diese für interne Zwecke (z.B. Abrechnung) verwenden.

Abbildung 65 zeigt ein mögliches Konzept zur Darstellung von Verbrauchs- und Ertragswerten auf einer entsprechenden Monitoring-Webseite, die durch Bürger bzw. Verwaltungsmitarbeiter der Gemeinde oder der WBG zur Beschaffung von aktuellen Informationen über das System genutzt werden kann. Eine solche Webseite kann einfach durch Funktionen für Service-Anfragen oder technische Assistenz erweitert werden.

Die Aufnahme von geeigneten Messdaten erfolgt nach dem Monitoring-Leitfaden der Forschung für energieoptimiertes Bauen (EnOB) [69]. Hauptaufgabe des Monitorings nach

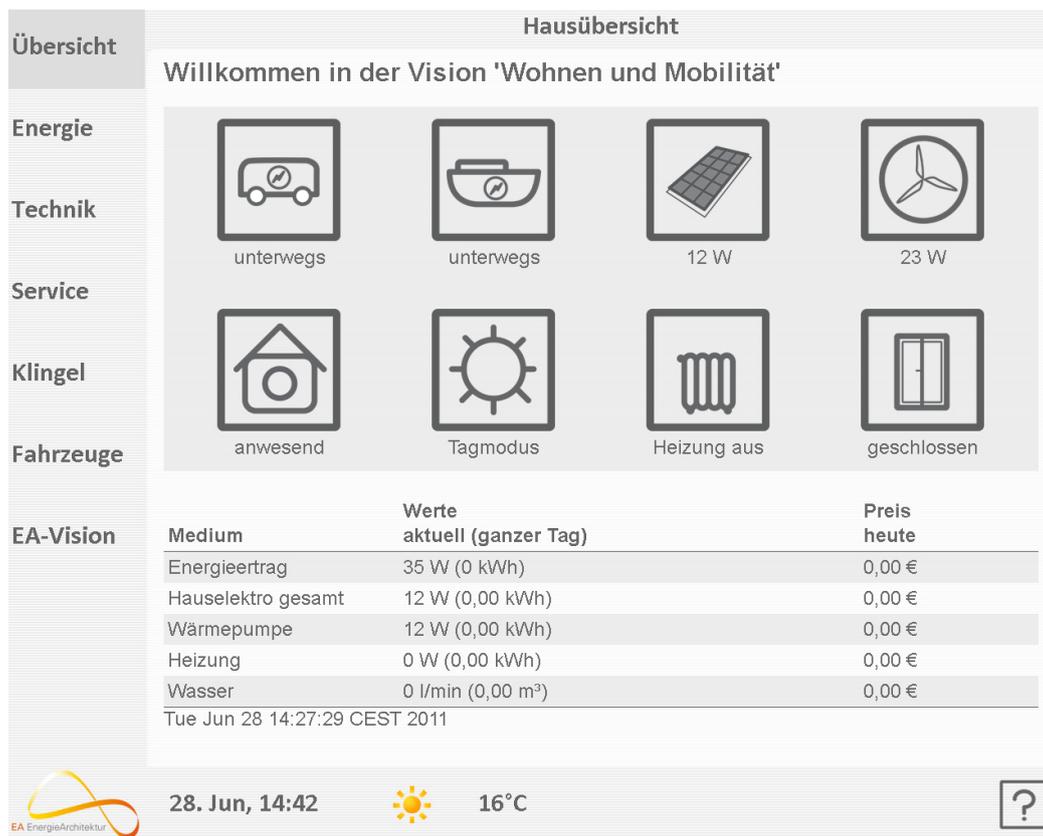


Abb. 65: Konzept zur webbasierten Darstellung von Energieverbrauchs- und Ertragswerten

Durchführung aller Sanierungs- und Baumaßnahmen ist es, mit Hilfe geeigneter Messwerte die geplanten Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen bezüglich der nach DIN V 18599 [70] vorgeschriebenen Bewertungskriterien (Endenergiebedarf, CO₂-Bilanz, etc.) zu validieren bzw. Optimierungen am Anlagensystem durchzuführen.

Für den Verbau geeigneter Zähler werden dabei folgende Richtlinien vorgegeben [69]:

- Eindeutige Zuordnung der eingesetzten Energieträger zu erbrachten Energiedienstleistungen (z.B. Gasverbrauch für Warmwassererwärmung)
- Aufteilung des Gesamtenergieverbrauchs auf einzelne Energiedienstleistungen, Messgeräte/Unterzähler an „Abzweigungen“ von Energieströmen
- Gesonderte Betrachtung von Langzeitspeichern (Energiezufuhr, -entnahme)
- Erfassung der bereitgestellten Energieströme für Erzeugersysteme
- Summarische Bilanzierung von Verbrauchs- und Erzeugungsdaten (Bestimmung des Eigenverbrauchsanteils) bei regenerativen Energiequellen

Anhand dieser Vorgaben wird eine konsistente Messtechnik-Infrastruktur aufgebaut. Für die zu betrachtenden Systemkonfigurationen sind folgende Zählerarten zu verwenden:

- Gasversorgungszähler
- Elektroenergiezähler
- Wärmemengenzähler
- Wetterstation

Beim Verbau von Gasversorgungszählern ist darauf zu achten, dass jede einzelne angeschlossene Anlage separat erfasst wird. Zusätzliche Gasverbraucher, wie z.B. die Schul-

küche sind ebenfalls gesondert zu vermessen. Elektroenergiezähler müssen ebenfalls direkt vor einzelnen Erzeugungsanlagen (z.B. BHKW) sowie größeren Verbrauchergruppen (z.B. Haustechnik Ringstr. 1-2) verbaut werden. Dabei ist auf die Stromrichtung zu achten. An gekoppelten Ein- und Ausspeisepunkten sind bidirektionale Zähler zu verwenden. Hilfsenergie für Erzeugeranlagen sowie Pumpenströme sind ebenfalls zu erfassen um im Nachgang auch die Gesamteffizienz beurteilen zu können.

Wärmemengenzähler müssen analog nach jedem einzelnen Erzeuger (z.B. Wärmepumpe) sowie größeren Verbrauchern (z.B. Warmwasserversorgung Ringstr. 1-2) verbaut werden. Es ist darauf zu achten, dass zusätzlich vor- und nach Abzweigungen Zähler verbaut werden. Dies gilt ebenfalls für eventuell eingesetzte Langzeitspeicher.

Für die Bewertung und Optimierung des komplexen Anlagenverhaltens ist das Vorhandensein geeigneter Wetterdaten obligatorisch. Zurzeit sind Wetterdaten für die Gemeinde Lohmen seitens der einschlägigen Anbieter (z.B. DWD) nur als Mittelwerte (Interpolation) von Wetterstationen im Umkreis verfügbar. Zur Erhöhung der Bewertungsgenauigkeit sowie zur Verminderung der Beschaffungskosten für Daten während des Monitorings ist zusätzlich eine Wetterstation zu verbauen. Diese sollte mindestens in Viertelstundengenaue Auflösung Messwerte für Außentemperatur, solare Einstrahlung, Niederschlag und Luftfeuchte sowie Windgeschwindigkeit und -richtung aufzeichnen.

Bei der Auswahl der Zähler ist darauf zusätzlich zu achten, dass die Messwertauflösung den Ansprüchen an die Genauigkeit und Bewertungstoleranzen genügt. Zu hohe Auflösungen sollten aufgrund der aufkommenden Datenmenge sowie entstehender Zählerkosten vermieden werden. Es wird daher eine Auflösung in 5 Minuten Intervallen vorgeschlagen.

Neben der Auflösung spielt die Messgenauigkeit bei der Auswahl geeigneter Zähler eine wichtige Rolle. Die Auflösung der Leistungsmessung (Wärme wie Strom) sollte 0,1 kW betragen. Energiemessungen sollten mit einer Auflösung von 0,1 kWh erfolgen. Für Temperaturmessungen genügt eine Messgenauigkeit von 0,1 K. Auch für dieses Kriterium gilt, zu hohe Genauigkeiten der Zähler erhöhen unnötig die Kosten, zu geringe Auflösung vermindern signifikant die Durchführung einer geeigneten Bewertung oder einer Systemoptimierung.

Weiterhin wird vorgeschlagen zur Übertragung der Daten der dezentralen Zähler das M-Bus-Protokoll zu verwenden. Dieses Übertragungsprotokoll wird im Bereich des Energiemonitorings oft verwendet und wird von vielen Zählerherstellern wie auch Anbietern von Leittechnik unterstützt. Darüber hinaus erlauben dezentrale Gateways das Auslesen mehrerer Zähler über dieses Protokoll. Sie wandeln die aufkommenden Daten in TCP/IP-übertragbare Daten so dass diese über die bestehende Internetinfrastruktur im Areal übertragen werden können.

6.3 Maßnahmenplan

Nach der Auswahl einer geeigneten Energiesystemvariante durch die beteiligten Partner sind bestimmte Maßnahmen zu treffen, die für eine reale Umsetzung des gewählten Systems unerlässlich sind. Dieser Abschnitt skizziert für die vorgestellten Energiesystemvari-

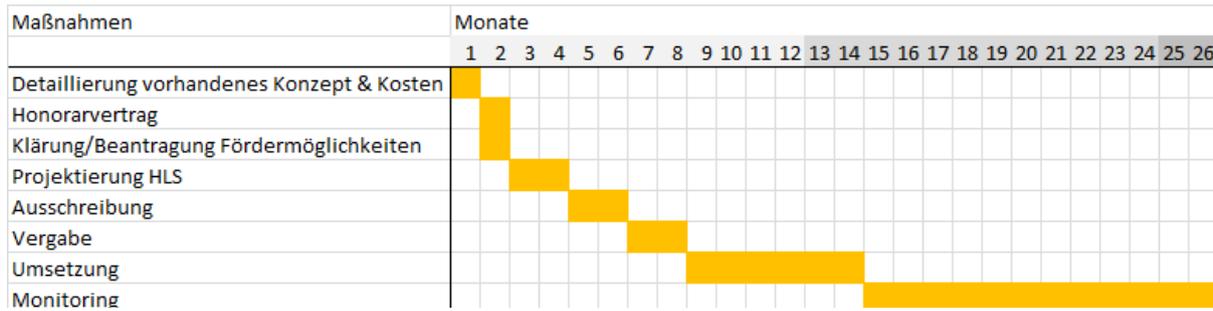


Abb. 66: Maßnahmenplan für Einzelhaussanierung Wohngebäude (EG und WBG)

anten je nach Aufwand und Systemkomplexität die notwendigen Maßnahmen. Dabei wird die Reihenfolge durchzuführender Tätigkeiten erörtert und eine erste Planung für notwendige Zeiträume und eine konkrete Reihenfolge einzelner Schritte diskutiert.

Abbildung 66 zeigt den Maßnahmenplan für die Einzelhaussanierung einzelner Gebäude (Wohngebäude) der Wohnungsbaugenossenschaft bzw. der Eigentümergemeinschaft. Da hierbei keinerlei bautechnische Sanierungsmaßnahmen durchzuführen sind, ist die Umsetzungszeitraum inkl. Planungszeit vergleichbar kurz.

Bei Auswahl dieses vereinfachten Konzepts ist zunächst für jedes Gebäude einzeln die beste (wirtschaftlichste) Energieversorgungsvariante auszuwählen und zu detaillieren (für alle ausgewählten Gebäude parallel). Nach Abschluss des Honorarvertrages und der Klärung und Beantragung etwaiger Fördermaßnahmen, kann sofort die Projektierung der umzusetzenden Maßnahmen angeschlossen werden. Nach der Ausschreibung und Vergabe erfolgt die Umsetzung einzelner Maßnahmen. Bei Inanspruchnahme von Fördermitteln bzw. bei Umsetzung komplexer Konzepte ist ein 1-jähriges Monitoring anzuschließen.

Aufgrund notwendiger Bautechnischer Sanierungsmaßnahmen im Schulkomplex ist der Maßnahmenplan für die Umsetzung von Einzelhaussanierungsmaßnahmen für den Schulkomplex (Gemeinde) deutlich umfangreicher (Abb. 67). Neben den notwendigen Beratungen und Beschlussfassungen im Gemeinderat sind die benötigten Mittel, teilweise unter Inanspruchnahme von Fördermöglichkeiten zu beschaffen. Darüber hinaus müssen Planungs-, Projektierungs- und Umsetzungsphasen einerseits für die neu zu verbauende Gebäudetechnik als auch für die durchzuführenden bautechnischen Sanierungsmaßnahmen eingeplant werden.

Für die Umsetzung der beiden Quartierslösungen sind grundsätzlich längere Zeiträume aufzuplanen. Neben den schon beschriebenen Maßnahmen hinsichtlich Mittel- und Fördergeldbeschaffung sowie Planung und Projektierung bautechnischer und energetischer Maßnahmen steht am Anfang stets die Errichtung einer Betreibergesellschaft. Darüber hinaus ist während der Umsetzung einzelner bautechnischer Maßnahmen (z.B. Nahwärmenetzaufbau) genau zu koordinieren, wann welche Maßnahme durchgeführt wird, um einen stetigen Fortschritt der Bautätigkeiten zu ermöglichen. Hier im Besonderen steht wiederum das nachgelagerte Monitoring im Vordergrund, da dieses für die Inbetriebnahme derart komplexer Systeme unerlässlich ist.

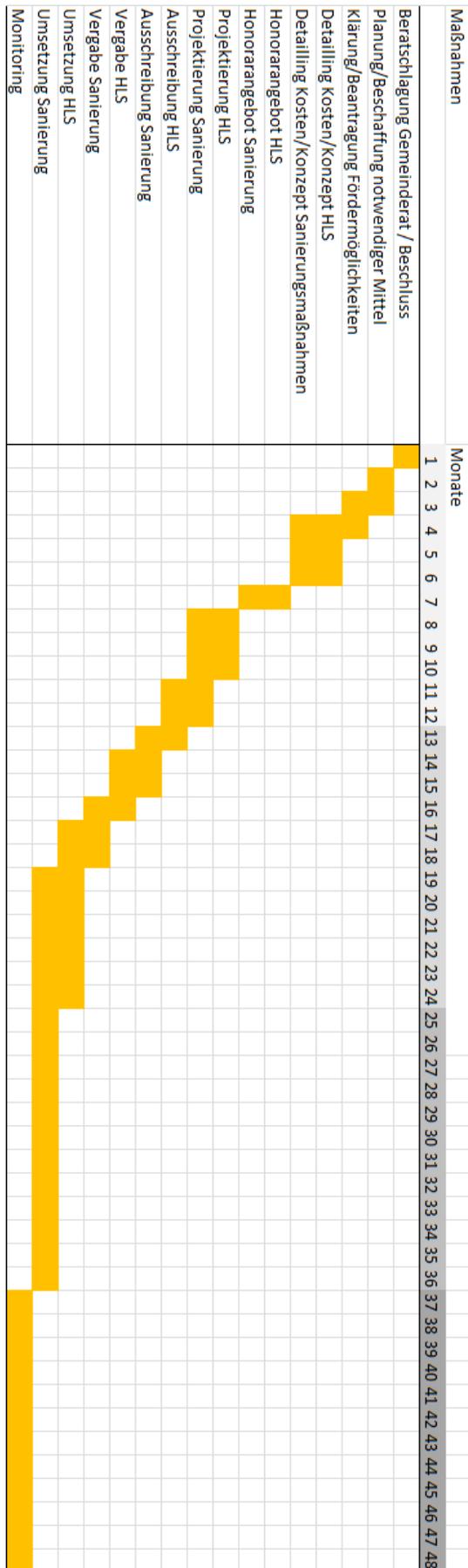


Abb. 67: Maßnahmenplan für Einzelhaussanierung Schloß/Schulkomplex (Gemeinde)

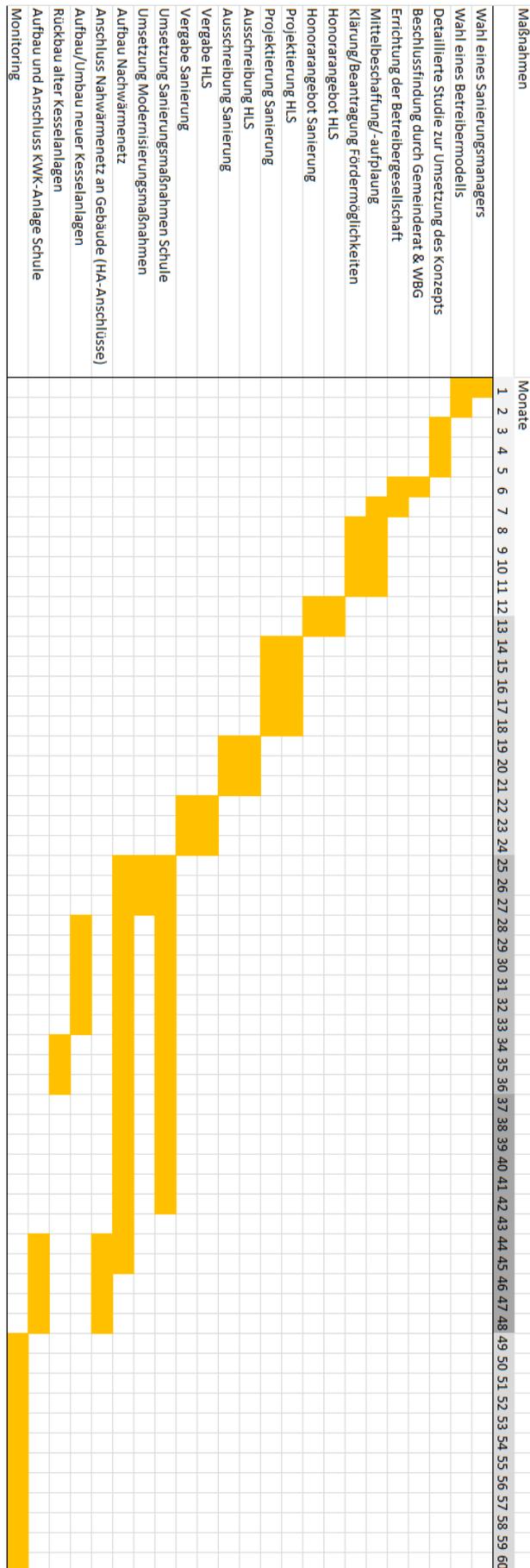


Abb. 68: Maßnahmenplan für BHKW-Nahwärmernetz-Lösung

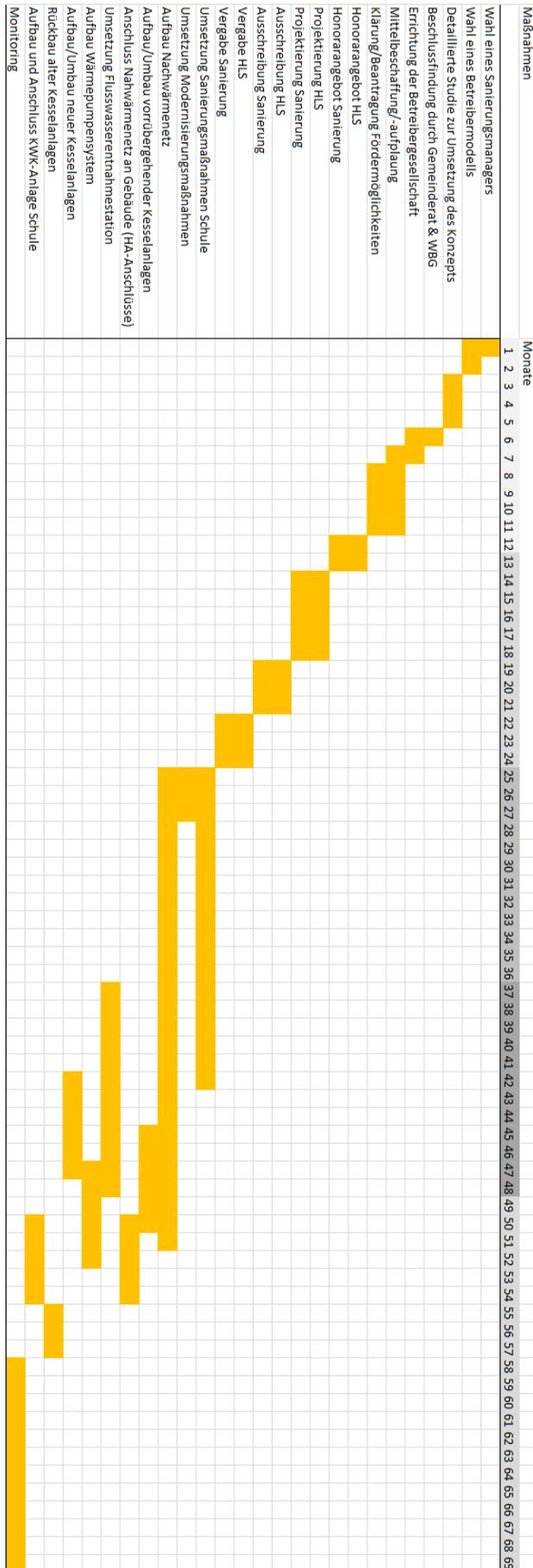


Abb. 69: Maßnahmenplan für Wärmepumpen-Nahwärmenetz-Lösung

6.4 Analyse begünstigender und hemmender Faktoren

Im folgenden Abschnitt sollen noch einmal alle vier entworfenen Maßnahmenpläne hinsichtlich begünstigender und hemmender Faktoren für die Umsetzung der einzelnen Konzepte analysiert werden. Dabei werden sowohl wirtschaftlich-technische als auch lokale Randbedingungen näher untersucht.

Tab. 15: Pro- und Contra-Aspekte für die Umsetzung der Einzelhauskonzepte bei Wohngebäuden

Pro	Contra
Preiswert	Nicht zukunftsfähig (gleiche Abhängigkeiten vom Energieversorger)
Keine zu klärenden Betreiberfragen	Eingeschränkte wirtschaftliche Nutzung erneuerbarer Energie
Kurzfristig realisierbar	Keine/geringe Nutzung von energetischen Synergien
Beibehaltung vorhandener Abrechnungsprozesse	Erschließung lokaler erneuerbarer Energien zu kostenaufwändig
Keine verketteten Prozesse zwischen Gebäuden	Keine Erweiterungsfähigkeit (Anschluss anderer Gebäude)
	KWK-Nutzung nur begrenzt wirtschaftlich
	Geringere Aussichten auf Förderung
	Erhöhter Wartungsaufwand (mehr Anlagen)

Tabelle 15 zeigt die Auflistung der wichtigsten Pro- und Contra-Aspekte für die Umsetzung der einfachsten Maßnahmenkette (siehe Abschnitt 6.3) zur energetischen Sanierung der einzelnen Wohngebäude. Neben einigen positiven Argumenten bezüglich entstehende Kosten sowie Realisierbarkeit und verringertem Verwaltungsaufwand überwiegen die Gegenargumente, die vor allem auf die Zukunftsfähigkeit eines solchen Systems abzielen.

Besonders zu erörtern bleiben die Gegenargumente, die sich auf die Erschließung erneuerbarer Energien und energetische Synergien beziehen. Die geringe Nutzung energetischer Synergien bezieht sich vor allem auf die Ausnutzung der Lage unterschiedlicher Gebäude. Hier z.B. könnte solare Energie eines optimal ausgerichteten Daches für mehrere Gebäude genutzt werden. Darüber hinaus ist, wie anhand der Untersuchungen in Kapitel 5 nachgewiesen, die Nutzung erneuerbarer Energien (z.B. Solarthermie auf WBG-Dächern) wirtschaftlich nur eingeschränkt realisierbar. Das Hauptgegenargument bezüglich der erneuerbaren Energienutzung bezieht sich auf die Nutzung speziell lokal am Standort Lohmen zur Verfügung stehender regenerativer Energie. Dies meint im Besonderen den nahe gelegenen Fluss Wesenitz. Dieser könnte zwar analog zu den untersuchten Nahwärmenetzvarianten zur Wärmeentnahme genutzt werden. Dies für jedes Gebäude einzeln umzusetzen ist jedoch ebenfalls viel zu kostenaufwendig

Tab. 16: Pro- und Contra-Aspekte für die Umsetzung der Einzelhauskonzepte bei den Gebäuden der Gemeinde (Schloß/Schulkomplex)

Pro	Contra
Preiswert	Bedingte Zukunftsfähigkeit
Keine zu klärenden Betreiberfragen	Eingeschränkte wirtschaftliche Nutzung erneuerbarer Energien
Mittelfristig realisierbar	Geringe Nutzung von energetischen Synergien
Wirtschaftliche Nutzung von KWK	Erschließung lokaler erneuerbarer Energien zu kostenaufwändig
Abnahme der Abhängigkeit vom Energieversorger	Keine Erweiterungsfähigkeit (Anschluss weiterer Gebäude)
Beibehaltung vorhandener Abrechnungsprozesse	Erhöhter Wartungsaufwand (komplexere Anlagen)
Keine verketteten Prozesse zwischen Gebäude	
Aussicht auf moderate Förderung	

Tabelle 16 zeigt die Auflistung der wichtigsten Pro- und Contra-Aspekte für die Umsetzung der Maßnahmenkette (siehe Abschnitt 6.3) zur energetischen Sanierung der Gebäude der Gemeinde, d.h. Schloß und Schulkomplex. Dabei wird der Schulkomplex als ein Gebäude betrachtet, so dass die Erweiterungsfähigkeit des Systems wiederum sehr gering ist. Darüber hinaus beziehen sich alle Betrachtungen nur auf energetische Sanierungsmaßnahmen, d.h. Ersetzung oder Modernisierung der Anlagentechnik. Bautechnische Sanierungsmaßnahmen werden in der Liste nicht näher betrachtet, da sie Voraussetzung für die Umsetzung des Energiekonzepts sind.

Per se stellt eine Umsetzung der Maßnahmen für die Umsetzung der Einzelhauskonzepte für Schloß und Schulkomplex keine Alternative zu den Maßnahmen für die Wohngebäude dar. De facto müssen bei einer Entscheidung für die Umsetzung zur Einzelhaussanierung der Wohngebäude auch die Maßnahmen zur Einzelgebäudesanierung für Schloß und Schulkomplex umgesetzt werden. Jedoch stellen die beiden Gebäude(-komplexe) aufgrund des öffentlichen Betreibers und darüber hinaus aufgrund der nutzungsbedingt abweichenden Möglichkeit zum Einsatz von regenerativer oder alternativer Energieversorgungssysteme (siehe PV- und KWK-Nutzung in Kapitel 5) einen deutlichen Unterschied zu den Wohngebäuden dar, aufgrund dessen sie gesondert betrachtet werden müssen.

Die Erläuterungen zu einzelnen in Tabelle 15 aufgeführten Punkten, vor allem zur lokalen regenerativen Energienutzung, behalten auch für die Argumente in Tabelle 16 ihre Gültigkeit. Jedoch ist eindeutig ersichtlich, dass aufgrund der wirtschaftlichen KWK-Nutzung und der Aussicht auf moderate Förderung die positiven Argumente leicht überwiegen.

Tab. 17: Pro- und Contra-Aspekte für die Umsetzung des Quartierskonzepts mit einem Nahwärmenetz zur Warmwasserbereitung über ein zentrales BHKW

Pro	Contra
Zukunftsfähiges Konzept	Kostenintensiv
Nutzung von energetischen Synergien	Zu klärende Betreiberfragen
Abnahme der Abhängigkeit vom Energieversorger	Keine Erschließung lokaler erneuerbarer Energien
Wirtschaftliche Nutzung von KWK	Neue Abrechnungsprozesse notwendig
Erweiterungsfähigkeit (Anschluss weiterer Gebäude)	Verkettete Prozesse zwischen Gebäuden
Aussicht auf Förderung	Langfristig realisierbar
Geringer Wartungsaufwand	

Tabelle 17 zeigt die Auflistung der wichtigsten Pro- und Contra-Aspekte für die Umsetzung der Maßnahmenkette (siehe Abschnitt 6.3) zur Umsetzung eines Nahwärmenetzes, welches die Warmwasserbereitung in den einzelnen Gebäuden über ein zentrales BHKW sicherstellt. Bei diesem, als erste Alternative zu den Einzelhausmaßnahmen konzipierten System drehen sich augenscheinlich viele der genannten Argumente hinsichtlich ihrer Zugehörigkeit zu Pro oder Contra um.

Aufgrund der Neuartigkeit des Systems ist vor allem damit zu rechnen, dass höhere staatliche Fördermittel für die Umsetzung in Anspruch genommen werden können. Aufgrund der intensiven KWK-Nutzung, die einerseits im vergleichbar hohen Maße vergütet wird, erfolgt andererseits aufgrund der lokalen Stromproduktion auch eine deutliche Abnahme der Abhängigkeit vom Energieversorger.

Nachteilig sind im Gegensatz natürlich die höheren Kosten sowie zu überwindende verwaltungstechnische Hürden, wie die Erarbeitung eines neuen Abrechnungssystems und die Gründung einer Betreibergesellschaft zu nennen.

Tabelle 18 zeigt darüber hinaus die Auflistung der wichtigsten Pro- und Contra-Aspekte für die Umsetzung der Maßnahmenkette (siehe Abschnitt 6.3) zur Umsetzung eines Nahwärmenetzes, welches einerseits im Sommer die Warmwasserbereitung in den einzelnen Gebäuden über ein zentrales BHKW sicherstellt und andererseits den Hauptteil der im Areal benötigten Heizwärme über eine Wasser-Wasser-Wärmepumpenkaskade erzeugt, die als Umweltenergiequelle den Fluss Wesenitz nutzen.

Neben ähnlichen Argumenten, die das Für und Wider bezüglich der ersten Nahwärmenetzvariante (siehe Tab. 17) diskutieren, kann für die zweite Nahwärmenetzvariante als positiv vermerkt werden, dass hier aufgrund der Flusswärmenutzung lokal zur Verfügung stehende regenerative Energie genutzt wird. Bei dieser Variante sind auch die Abnahme der Abhängigkeit vom Energieversorger und damit die Zukunftsfähigkeit des Konzepts am besten.

Tab. 18: Pro- und Contra-Aspekte für die Umsetzung des Quartierskonzepts mit einem Nahwärmenetz zur Warmwasserbereitung über ein zentrales BHKW und Heizenergiebereitung durch eine WP-Kaskade

Pro	Contra
Zukunftsfähiges Konzept	Kostenintensiv
Nutzung von energetischen Synergien	Zu klärende Betreiberfragen
Abnahme der Abhängigkeit vom Energieversorger	Neue Abrechnungsprozesse notwendig
Erschließung lokaler erneuerbarer Energien	Verkettete Prozesse zwischen Gebäuden
Erweiterungsfähigkeit (Anschluss weiterer Gebäude)	Langfristig realisierbar
Nutzung von KWK wirtschaftlich	Hoher Betreiberaufwand
Aussicht auf Förderung	
Geringerer Wartungsaufwand	

Neben den schon beschriebenen verwaltungstechnischen Mehraufwänden bleibt für diese Variante als negatives Argument zu erwähnen, dass aufgrund der Komplexität des Systems natürlich ein höherer Betreiberaufwand aufgerufen werden muss.

A Anhang

A.1 Medienpläne der einzelnen Medienträger

Die folgenden Seiten enthalten die im Rahmen der Energiekonzepterstellung seitens der einzelnen Medienträger übermittelten Unterlagen. Dies sind im Einzelnen:

- Erdgas (ENSO Energie Sachsen Ost AG)
- Strom (ENSO Energie Sachsen Ost AG)
- Telekommunikation (Deutsche Telekom AG)
- Trinkwasser (Trinkwasserzweckverband „Bastei“)
- Abwasser (Gemeinde Lohmen)

Diese Pläne dienen als Grundlage für die Erarbeitung der Strom-, Wasser-, Erdgas- und Nahwärmeversorgung des betrachtenden Areals Ringstraße/Schloßstraße in Lohmen.



Abb. 72: Telekommunikationsleitungsplan im Areal Ringstraße/Schloßstraße in Lohmen [32]



Abb. 73: Plan der Trinkwasserleitungen im Areal Ringstraße/Schloßstraße in Lohmen [33]

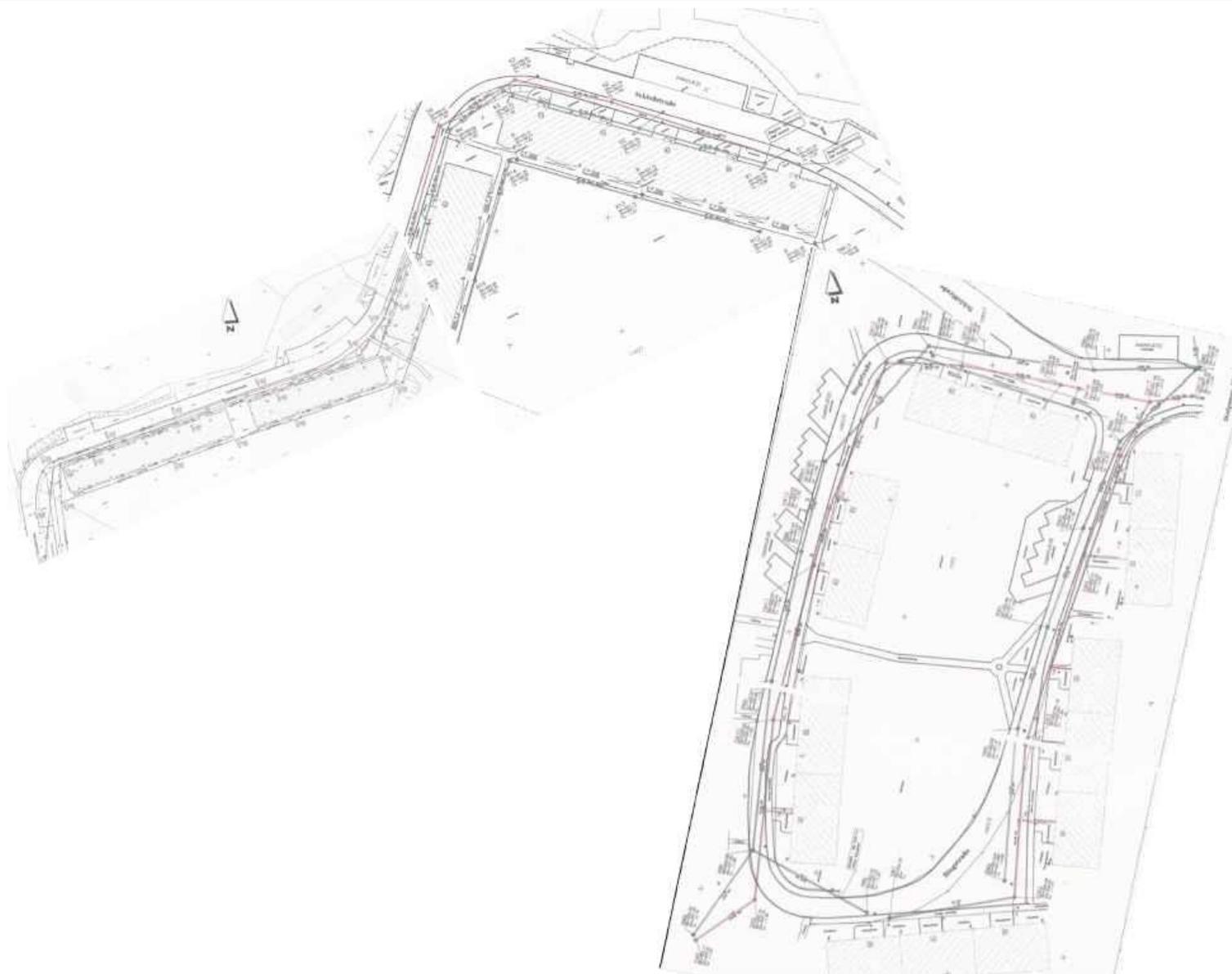


Abb. 74: Plan der Abwasser- bzw. Regenwasserleitungen im Areal Ringstraße/Schloßstraße in Lohmen [34]

A.2 Aufnahme gebäudespezifischer Daten

In diesem Abschnitt sind die aufgenommenen gebäudespezifischen Daten für die einzelnen zu betrachtenden Gebäude hinterlegt, die für die Modellierung und Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens benötigt werden. Diese sogenannten U-Werte beschreiben den Wärmeübergang durch ein bestimmtes Bauteil eines Gebäudes (z.B. Außenwände).

Für folgende Gebäude/Gebäudegruppen wurden die Wärmeübergangskoeffizient im Detail bestimmt:

- Grundschule
- Kita/Hort
- Ringstraße (WBG Lohmen)
- Schulkomplex – Zwischenbau
- Schloß Lohmen
- Schloßstraße 10-17 (WBG Lohmen)
- Schloßstraße 1-9 (Eigentümergeinschaft)

Alle Gebäude, die einer Gruppe angehören, weisen auch das gleiche thermische Verhalten auf, so dass speziell die Wohngebäude nach Baustandard und Eigentumsverhältnissen gruppiert werden konnten.

Für das historische Schulgebäude aus dem Jahre 1906 werden aus [35] folgende U-Werte für die Berechnungen verwendet:

- Dach (unbeheizt): 2,6 W/m²K
- Oberste Geschossdecke: 1,0 W/m²K
- Wand gegen Außenluft: 1,7 W/m²K
- Wand gegen Erdreich: 1,7 W/m²K
- Boden gegen Erdreich: 1,2 W/m²K

Für die historische Turnhalle aus dem Jahre 1930 werden aus [35] folgende U-Werte für die Berechnungen verwendet:

- Dach (unbeheizt): 1,4 W/m²K
- Oberste Geschossdecke: 0,8 W/m²K
- Wand gegen Außenluft: 1,7 W/m²K
- Wand gegen Erdreich: 1,7 W/m²K
- Boden gegen Erdreich: 1,2 W/m²K

Wand gegen Erdreich

AW-ER5	Wand gegen Erdreich	U-Wert: 1,06 W/m ² K	
	U-Wert = 1,06 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	2,00	1,000
	2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m ³)	41,00	0,580
	3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	3,00	1,000
	4 Bitumen als Stoff (DIN 12524)	1,00	0,170
Gesamtdicke : 47,00 cm			

Boden gegen Erdreich

FB-KG5	Boden gegen Erdreich-KG	U-Wert: 0,52 W/m ² K	
	U-Wert = 0,52 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	1 Linoleum (DIN 12524)	1,00	0,170
	2 Zement-Estrich	5,00	1,400
	3 Polystyrol PS -Partikelschaum (WLG 040 - > 20 kg/m ³)	6,00	0,040
	4 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m ³)	20,00	1,350
Gesamtdicke : 32,00 cm			

Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)

OG-5-1	Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)	U-Wert: 0,28 W/m ² K	
	U-Wert = 0,28 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	A Nichtsparrenbereich 80,0%		
	1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	2,00	1,000
	2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m ³)	2,00	0,130
	3 Bims Kies (lose Schüttung, abgedeckt)	10,00	0,190
	4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m ³)	2,00	0,130
	5 ruhende Luftschicht (vertikal) bis 300mm Dicke	5,00	0,160
	6 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m ³)	2,00	0,130
	7 Polystyrol PS -Partikelschaum (WLG 040 - > 15 kg/m ³)	8,00	0,040
	8 OSB-Platten (DIN 12524)	2,00	0,130
	B Sparrenbereich 20,0%		
	1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	2,00	1,000
	2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m ³)	21,00	0,130
	3 Polystyrol PS -Partikelschaum (WLG 040 - > 20 kg/m ³)	8,00	0,040
	4 OSB-Platten (DIN 12524)	2,00	0,130
Gesamtdicke : 33,00 cm			

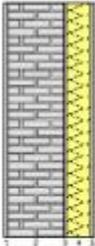
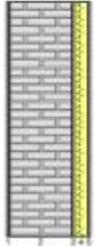
Wand gegen Außenluft

AW-EG5	Wand gegen Außenluft	U-Wert: 0,21 W/m ² K	
	U-Wert = 0,21 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	2,00	1,000
	2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m ³)	40,00	0,580
	3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	2,00	1,000
	4 Polystyrol PS -Extruderschaum (WLG 040)	15,00	0,040
5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	2,00	1,000	
Gesamtdicke : 61,00 cm			

AW-KG5	Wand gegen Außenluft - Sockel	U-Wert: 0,24 W/m ² K	
	U-Wert = 0,24 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	2,00	1,000
	2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m ³)	41,00	0,580
	3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	2,00	1,000
	4 Polystyrol PS -Extruderschaum (WLG 040)	13,00	0,040
5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	2,00	1,000	
Gesamtdicke : 60,00 cm			

Abb. 75: U-Werte für das Grundschulgebäude [36]

Wand gegen Außenluft

AW-EG4	Wand gegen Außenluft	U-Wert: 0,18 W/m ² K												
	U-Wert = 0,18 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m ³) 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 4 Polystyrol PS -Extruderschäum (WLG 040) 5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,00</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>42,00</td><td>0,580</td></tr> <tr><td>2,00</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>18,00</td><td>0,040</td></tr> <tr><td>2,00</td><td>1,000</td></tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	2,00	1,000	42,00	0,580	2,00	1,000	18,00	0,040	2,00	1,000
	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)												
	2,00	1,000												
	42,00	0,580												
	2,00	1,000												
	18,00	0,040												
2,00	1,000													
Gesamtdicke : 66,00 cm														
AW-KG4	Wand gegen Außenluft - Sockel	U-Wert: 0,31 W/m ² K												
	U-Wert = 0,31 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m ³) 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 4 Polystyrol PS -Extruderschäum (WLG 040) 5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,00</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>42,00</td><td>0,580</td></tr> <tr><td>2,00</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>9,00</td><td>0,040</td></tr> <tr><td>2,00</td><td>1,000</td></tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	2,00	1,000	42,00	0,580	2,00	1,000	9,00	0,040	2,00	1,000
	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)												
	2,00	1,000												
	42,00	0,580												
	2,00	1,000												
	9,00	0,040												
2,00	1,000													
Gesamtdicke : 57,00 cm														

Wand gegen Erdreich

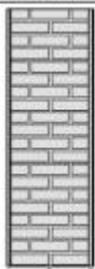
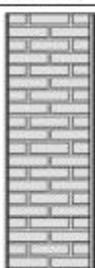
AW-ER4	Wand gegen Erdreich	U-Wert: 1,04 W/m ² K										
	U-Wert = 1,04 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m ³) 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 4 Bitumen als Stoff (DIN 12524)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,00</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>42,00</td><td>0,580</td></tr> <tr><td>3,00</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>1,00</td><td>0,170</td></tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	2,00	1,000	42,00	0,580	3,00	1,000	1,00	0,170
	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)										
	2,00	1,000										
	42,00	0,580										
	3,00	1,000										
	1,00	0,170										
Gesamtdicke : 48,00 cm												
AW-ER4-1	Wand gegen Erdreich - 53 cm	U-Wert: 0,87 W/m ² K										
	U-Wert = 0,87 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m ³) 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 4 Bitumen als Stoff (DIN 12524)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,00</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>53,00</td><td>0,580</td></tr> <tr><td>3,00</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>1,00</td><td>0,170</td></tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	2,00	1,000	53,00	0,580	3,00	1,000	1,00	0,170
	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)										
	2,00	1,000										
	53,00	0,580										
	3,00	1,000										
	1,00	0,170										
Gesamtdicke : 59,00 cm												
AW-ER4-2	Wand gegen Erdreich - 70 cm	U-Wert: 0,69 W/m ² K										
	U-Wert = 0,69 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m ³) 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 4 Bitumen als Stoff (DIN 12524)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,00</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>70,00</td><td>0,580</td></tr> <tr><td>3,00</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>1,00</td><td>0,170</td></tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	2,00	1,000	70,00	0,580	3,00	1,000	1,00	0,170
	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)										
	2,00	1,000										
	70,00	0,580										
	3,00	1,000										
	1,00	0,170										
Gesamtdicke : 76,00 cm												

Abb. 76: U-Werte (Außenwände) für das Hort/Kita-Gebäude [36]

Boden gegen Erdreich

FB-KG4	Boden gegen Erdreich-KG	U-Wert: 0,52 W/m ² K												
	<p>U-Wert = 0,52 W/m²K</p> <p>Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen</p> <p>1 Linoleum (DIN 12524)</p> <p>2 Zement-Estrich</p> <p>3 Polystyrol PS -Partikelschaum (WLG 040 - > 20 kg/m³)</p> <p>4 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m³)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,00</td> <td>0,170</td> </tr> <tr> <td>5,00</td> <td>1,400</td> </tr> <tr> <td>6,00</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>20,00</td> <td>1,350</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 32,00 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	1,00	0,170	5,00	1,400	6,00	0,040	20,00	1,350	Gesamtdicke : 32,00 cm	
Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)													
1,00	0,170													
5,00	1,400													
6,00	0,040													
20,00	1,350													
Gesamtdicke : 32,00 cm														
FB-KG4	Boden gegen Erdreich - EG	U-Wert: 0,41 W/m ² K												
	<p>U-Wert = 0,41 W/m²K</p> <p>Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen</p> <p>1 Linoleum (DIN 12524)</p> <p>2 Zement-Estrich</p> <p>3 Polystyrol PS -Partikelschaum (WLG 040 - > 20 kg/m³)</p> <p>4 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m³)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,00</td> <td>0,170</td> </tr> <tr> <td>5,00</td> <td>1,400</td> </tr> <tr> <td>8,00</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>20,00</td> <td>1,350</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 34,00 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	1,00	0,170	5,00	1,400	8,00	0,040	20,00	1,350	Gesamtdicke : 34,00 cm	
Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)													
1,00	0,170													
5,00	1,400													
8,00	0,040													
20,00	1,350													
Gesamtdicke : 34,00 cm														

Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)

OG-4-1	Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)	U-Wert: 0,13 W/m ² K																		
	<p>U-Wert = 0,13 W/m²K</p> <p>Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen</p> <p>A Nichtsparrenbereich 80,0%</p> <p>1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk</p> <p>2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)</p> <p>3 Bimskies (lose Schüttung, abgedeckt)</p> <p>4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)</p> <p>5 ruhende Luftschicht (vertikal) bis 300mm Dicke</p> <p>6 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)</p> <p>7 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 040)</p> <p>B Sparrenbereich 20,0%</p> <p>1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk</p> <p>2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)</p> <p>3 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 040)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,00</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>0,130</td> </tr> <tr> <td>10,00</td> <td>0,190</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>0,130</td> </tr> <tr> <td>5,00</td> <td>0,160</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>0,130</td> </tr> <tr> <td>25,00</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 48,00 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	2,00	1,000	2,00	0,130	10,00	0,190	2,00	0,130	5,00	0,160	2,00	0,130	25,00	0,040	Gesamtdicke : 48,00 cm	
Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)																			
2,00	1,000																			
2,00	0,130																			
10,00	0,190																			
2,00	0,130																			
5,00	0,160																			
2,00	0,130																			
25,00	0,040																			
Gesamtdicke : 48,00 cm																				
OG-4-2	Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)-ungedämmt	U-Wert: 0,70 W/m ² K																		
	<p>U-Wert = 0,70 W/m²K</p> <p>Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen</p> <p>A Nichtsparrenbereich 80,0%</p> <p>1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk</p> <p>2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)</p> <p>3 Bimskies (lose Schüttung, abgedeckt)</p> <p>4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)</p> <p>5 ruhende Luftschicht (vertikal) bis 300mm Dicke</p> <p>6 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)</p> <p>B Sparrenbereich 20,0%</p> <p>1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk</p> <p>2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,00</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>0,130</td> </tr> <tr> <td>10,00</td> <td>0,190</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>0,130</td> </tr> <tr> <td>5,00</td> <td>0,160</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>0,130</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 23,00 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	2,00	1,000	2,00	0,130	10,00	0,190	2,00	0,130	5,00	0,160	2,00	0,130	Gesamtdicke : 23,00 cm			
Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)																			
2,00	1,000																			
2,00	0,130																			
10,00	0,190																			
2,00	0,130																			
5,00	0,160																			
2,00	0,130																			
Gesamtdicke : 23,00 cm																				

Abb. 77: U-Werte (Boden und Decke) für das Hort/Kita-Gebäude [36]

Wand gegen Außenluft

AW-EG6	Wand gegen Außenluft	U-Wert: 0,17 W/m²K	
	U-Wert = 0,17 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m³) 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 4 Polystyrol PS -Extruderschäum (WLG 040) 5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
		2,00	1,000
		42,00	0,580
		2,00	1,000
		20,00	0,040
		2,00	1,000
	Gesamtdicke : 68,00 cm		
AW-KG6	Wand gegen Außenluft - Sockel	U-Wert: 1,07 W/m²K	
	U-Wert = 1,07 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m³) 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
		2,00	1,000
		42,00	0,580
		2,00	1,000
	Gesamtdicke : 46,00 cm		

Wand gegen Erdreich

AW-ER6	Wand gegen Erdreich	U-Wert: 1,04 W/m²K	
	U-Wert = 1,04 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m³) 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 4 Bitumen als Stoff (DIN 12524)	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
		2,00	1,000
		42,00	0,580
		3,00	1,000
		1,00	0,170
	Gesamtdicke : 48,00 cm		
AW-ER6-1	Wand gegen Erdreich - 53 cm	U-Wert: 0,87 W/m²K	
	U-Wert = 0,87 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m³) 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 4 Bitumen als Stoff (DIN 12524)	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
		2,00	1,000
		53,00	0,580
		3,00	1,000
		1,00	0,170
	Gesamtdicke : 59,00 cm		

Boden gegen Erdreich

FB-KG6	Boden gegen Erdreich-KG	U-Wert: 0,52 W/m²K	
	U-Wert = 0,52 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Linoleum (DIN 12524) 2 Zement-Estrich 3 Polystyrol PS -Partikelschäum (WLG 040 - > 20 kg/m³) 4 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m³)	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
		1,00	0,170
		5,00	1,400
		6,00	0,040
		20,00	1,350
	Gesamtdicke : 32,00 cm		

Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)

OG-6-2	Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)-ungedämmt	U-Wert: 0,70 W/m²K		
	U-Wert = 0,70 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen A Nichtsparrenbereich 80,0% 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³) 3 Bims Kies (lose Schüttung, abgedeckt) 4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³) 5 ruhende Luftschicht (vertikal) bis 300mm Dicke 6 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³) B Sparrenbereich 20,0% 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m³)	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)	
		2,00	1,000	
		2,00	0,130	
		10,00	0,190	
		2,00	0,130	
		5,00	0,160	
		2,00	0,130	
		2,00	1,000	
		21,00	0,130	
		Gesamtdicke : 23,00 cm		

Abb. 78: U-Werte für den Zwischenbau des Schulkomplexes [36]

Wand gegen Außenluft

AW-8	Wand gegen Außenluft Fahrstuhlschacht	U-Wert: 0,42 W/m ² K										
	<p>U-Wert = 0,42 W/m²K</p> <p>Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m³) 2 Polystyrol PS-Partikelschaum (WLG 040 -> 20 kg/m³) 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25,00</td> <td>1,350</td> </tr> <tr> <td>8,00</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 35,00 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	25,00	1,350	8,00	0,040	2,00	1,000	Gesamtdicke : 35,00 cm	
Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)											
25,00	1,350											
8,00	0,040											
2,00	1,000											
Gesamtdicke : 35,00 cm												
AW-8-1	Wand gegen Außenluft 60 cm	U-Wert: 1,36 W/m ² K										
	<p>U-Wert = 1,36 W/m²K</p> <p>Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Kristalliner Naturstein (DIN 12524) 3 Wärmedämmputz (DIN 18550-3 - WLG 080) 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,00</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>60,00</td> <td>3,500</td> </tr> <tr> <td>3,00</td> <td>0,080</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 65,00 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	2,00	1,000	60,00	3,500	3,00	0,080	Gesamtdicke : 65,00 cm	
Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)											
2,00	1,000											
60,00	3,500											
3,00	0,080											
Gesamtdicke : 65,00 cm												
AW-8-2	Wand gegen Außenluft 100 cm	U-Wert: 1,18 W/m ² K										
	<p>U-Wert = 1,18 W/m²K</p> <p>Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Kristalliner Naturstein (DIN 12524) 3 Wärmedämmputz (DIN 18550-3 - WLG 080) 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,00</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>100,00</td> <td>3,500</td> </tr> <tr> <td>3,00</td> <td>0,080</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 105,00 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	2,00	1,000	100,00	3,500	3,00	0,080	Gesamtdicke : 105,00 cm	
Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)											
2,00	1,000											
100,00	3,500											
3,00	0,080											
Gesamtdicke : 105,00 cm												
AW-8-3	Wand gegen Außenluft 50 cm	U-Wert: 1,41 W/m ² K										
	<p>U-Wert = 1,41 W/m²K</p> <p>Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Kristalliner Naturstein (DIN 12524) 3 Wärmedämmputz (DIN 18550-3 - WLG 080) 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,00</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>50,00</td> <td>3,500</td> </tr> <tr> <td>3,00</td> <td>0,080</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 55,00 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	2,00	1,000	50,00	3,500	3,00	0,080	Gesamtdicke : 55,00 cm	
Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)											
2,00	1,000											
50,00	3,500											
3,00	0,080											
Gesamtdicke : 55,00 cm												
AW-8-4	Wand gegen Außenluft 75 cm	U-Wert: 1,28 W/m ² K										
	<p>U-Wert = 1,28 W/m²K</p> <p>Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Kristalliner Naturstein (DIN 12524) 3 Wärmedämmputz (DIN 18550-3 - WLG 080) 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schichtdicke s (cm)</th> <th>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,00</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>75,00</td> <td>3,500</td> </tr> <tr> <td>3,00</td> <td>0,080</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 80,00 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	2,00	1,000	75,00	3,500	3,00	0,080	Gesamtdicke : 80,00 cm	
Schichtdicke s (cm)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)											
2,00	1,000											
75,00	3,500											
3,00	0,080											
Gesamtdicke : 80,00 cm												

Abb. 79: U-Werte (Wände) für das Schloß Lohmen [36]

Dach

DA - 8	Dachneubau	U-Wert: 0,43 W/m ² K	
	U-Wert = 0,43 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	A Dämmung 80,0%		
	1 Gipskartonplatten (DIN 18180)	1,25	0,250
	2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m ³)	22,00	0,130
	3 ruhende Luftschicht (horizontal) bis 300mm Dicke	4,00	0,160
	4 Dachziegelsteine aus Ton nach DIN 12524	2,00	1,000
	B Balken 20,0%		
	1 Gipskartonplatten (DIN 18180)	1,25	0,250
	2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m ³)	2,00	0,130
3 Mineral- und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 040)	20,00	0,040	
4 ruhende Luftschicht (horizontal) bis 300mm Dicke	4,00	0,160	
5 Dachziegelsteine aus Ton nach DIN 12524	2,00	1,000	
	Gesamtdicke :	29,25 cm	

Dachgaube

DG - 8	Dachgaube	U-Wert: 0,44 W/m ² K	
	U-Wert = 0,44 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	A Sparren 25,0%		
	1 Gipskartonplatten (DIN 18180)	1,25	0,250
	2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m ³)	15,00	0,130
	3 Dachziegelsteine aus Ton nach DIN 12524	3,00	1,000
	B Dämmung-1 75,0%		
	1 Gipskartonplatten (DIN 18180)	1,25	0,250
	2 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m ³)	2,00	0,130
	3 Mineral- und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 040)	10,00	0,040
4 Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m ³)	3,00	0,130	
5 Dachziegelsteine aus Ton nach DIN 12524	3,00	1,000	
	Gesamtdicke :	19,25 cm	

Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)

OG - 8	Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)	U-Wert: 0,27 W/m ² K	
	U-Wert = 0,27 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	1 Gipskartonplatten (DIN 18180)	1,25	0,250
	2 Mineral- und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 040)	14,00	0,040
		Gesamtdicke :	15,25 cm

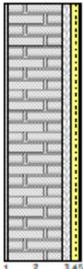
Boden gegen Erdreich

FB-8-KG	Boden gegen Erdreich	U-Wert: 0,43 W/m ² K	
	U-Wert = 0,43 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	1 Keramik- / Porzellan-Platten (DIN 12524)	1,00	1,300
	2 Zement-Estrich	6,00	1,400
	3 Polystyrol PS -Extruderschäum (nicht Abdichtung/Dachhaut) (WLG 040)	8,00	0,040
4 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m ³)	15,00	1,350	
	Gesamtdicke :	30,00 cm	

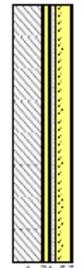
FB-8-EG	Boden gegen Erdreich - EG	U-Wert: 0,62 W/m ² K	
	U-Wert = 0,62 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	1 Keramik- / Porzellan-Platten (DIN 12524)	1,00	1,300
	2 Zement-Estrich	6,00	1,400
	3 Polystyrol PS -Extruderschäum (nicht Abdichtung/Dachhaut) (WLG 040)	5,00	0,040
4 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m ³)	20,00	1,350	
	Gesamtdicke :	32,00 cm	

Abb. 80: U-Werte (Dach und Boden) für das Schloß Lohmen [36]

Wand gegen Außenluft

AW3	Wand gegen Außenluft	U-Wert: 0,42 W/m ² K														
	U-Wert = 0,42 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 2 Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel (1400 kg/m ³) 3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk 4 Polystyrol PS -Extruderschaum (WLG 040) 5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht- dicke s (cm)</th> <th>Wärme- leitzahl λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3,00</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>36,00</td> <td>0,580</td> </tr> <tr> <td>5,00</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>6,00</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 52,00 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)	3,00	1,000	36,00	0,580	5,00	1,000	6,00	0,040	2,00	1,000	Gesamtdicke : 52,00 cm	
	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)														
	3,00	1,000														
	36,00	0,580														
	5,00	1,000														
	6,00	0,040														
	2,00	1,000														
Gesamtdicke : 52,00 cm																

Obere Geschosdecke (zum unbeheizten Dach)

OG3	Obere Geschosdecke (zum unbeheizten Dach)	U-Wert: 0,25 W/m ² K																		
	U-Wert = 0,25 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m ³) 2 Blahperlit (lose Schüttung, abgedeckt) 3 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 050) 4 Bituminiertes Papier 0,1 mm (DIN 12524) 5 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2200 kg/m ³) 6 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 040) 7 OSB-Platten (DIN 12524)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht- dicke s (cm)</th> <th>Wärme- leitzahl λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19,00</td> <td>1,350</td> </tr> <tr> <td>1,50</td> <td>0,060</td> </tr> <tr> <td>3,50</td> <td>0,050</td> </tr> <tr> <td>0,01</td> <td>0,230</td> </tr> <tr> <td>3,50</td> <td>1,650</td> </tr> <tr> <td>10,00</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>0,130</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 39,51 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)	19,00	1,350	1,50	0,060	3,50	0,050	0,01	0,230	3,50	1,650	10,00	0,040	2,00	0,130	Gesamtdicke : 39,51 cm	
	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)																		
	19,00	1,350																		
	1,50	0,060																		
	3,50	0,050																		
	0,01	0,230																		
	3,50	1,650																		
	10,00	0,040																		
2,00	0,130																			
Gesamtdicke : 39,51 cm																				

Boden gegen Keller/unbeheizten Raum

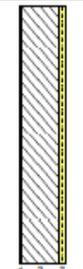
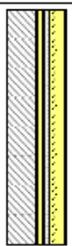
OK3	Boden gegen Keller/unbeheizten Raum	U-Wert: 0,55 W/m ² K										
	U-Wert = 0,55 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen 1 Linoleum (DIN 12524) 2 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m ³) 3 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 040)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht- dicke s (cm)</th> <th>Wärme- leitzahl λ (W/mK)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,00</td> <td>0,170</td> </tr> <tr> <td>24,50</td> <td>1,350</td> </tr> <tr> <td>5,00</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtdicke : 30,50 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)	1,00	0,170	24,50	1,350	5,00	0,040	Gesamtdicke : 30,50 cm	
	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)										
	1,00	0,170										
	24,50	1,350										
5,00	0,040											
Gesamtdicke : 30,50 cm												

Abb. 81: U-Werte für Wohngebäude der Ringstraße [36]

Wand gegen Außenluft

AW1	Wand gegen Außenluft	U-Wert: 0,46 W/m ² K	
	U-Wert = 0,46 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	3,00	1,000
	2 Leichtbeton / Stahlleichtbeton (1300 kg/m ³)	29,00	0,700
	3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	5,00	1,000
	4 Polystyrol PS -Extruderschaum (WLG 040)	6,00	0,040
	5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	2,00	1,000
	Gesamtdicke :	45,00 cm	

Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)

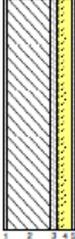
OG1	Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)	U-Wert: 0,25 W/m ² K	
	U-Wert = 0,25 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	1 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m ³)	19,00	1,350
	2 Bläherlit (lose Schüttung, abgedeckt)	1,50	0,060
	3 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 050)	3,50	0,060
	4 Bituminiertes Papier 0,1 mm (DIN 12524)	0,01	0,230
	5 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2200 kg/m ³)	3,50	1,650
	6 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 040)	10,00	0,040
	7 OSB-Platten (DIN 12524)	2,00	0,130
Gesamtdicke :	39,51 cm		

Boden gegen Keller/unbeheizten Raum

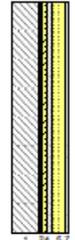
OK1	Boden gegen Keller/unbeheizten Raum	U-Wert: 0,59 W/m ² K	
	U-Wert = 0,59 W/m²K Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	1 Linoleum (DIN 12524)	1,00	0,170
	2 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m ³)	7,50	1,350
	3 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 040)	5,00	0,040
Gesamtdicke :	13,50 cm		

Abb. 82: U-Werte für Wohngebäude der Schloßstraße 10-17 [36]

Wand gegen Außenluft

AW2	Wand gegen Außenluft	U-Wert: 0,31 W/m²K	
	U-Wert = 0,31 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	3,00	1,000
	2 Leichtbeton / Stahlleichtbeton (1300 kg/m³)	29,00	0,700
	3 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	5,00	1,000
	4 Polystyrol PS -Extruderschaum (WLG 040)	10,00	0,040
	5 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	2,00	1,000
Gesamtdicke :	49,00 cm		

Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)

OG2	Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)	U-Wert: 0,27 W/m²K	
	U-Wert = 0,27 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	1 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m³)	19,00	1,350
	2 Blähperlit (lose Schüttung, abgedeckt)	1,50	0,060
	3 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 050)	3,50	0,050
	4 Bituminierendes Papier 0,1 mm (DIN 12524)	0,01	0,230
	5 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2200 kg/m³)	3,50	1,650
	6 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 040)	9,00	0,040
7 OSB-Platten (DIN 12524)	2,00	0,130	
Gesamtdicke :	38,51 cm		

Boden gegen Keller/unbeheizten Raum

OK2	Boden gegen Keller/unbeheizten Raum	U-Wert: 0,59 W/m²K	
	U-Wert = 0,59 W/m²K	Schicht- dicke s (cm)	Wärme- leitzahl λ (W/mK)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	1 Linoleum (DIN 12524)	1,00	0,170
	2 Beton mittlere Rohdichte (DIN 12524 - 2000 kg/m³)	7,50	1,350
	3 Mineral. und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 040)	5,00	0,040
Gesamtdicke :	13,50 cm		

Abb. 83: U-Werte für Wohngebäude der Schloßstraße 1-9 [36]

A.3 Wasserkraftwerke auf dem Gebiet der Gemeinde Lohmen

Die Gemeinde Lohmen besitzt bezüglich der Nutzung regenerativer Energiequellen einen geostrategischen Vorteil gegenüber anderen, vergleichbaren Orten. Sie liegt an der Wesenitz, einem Gewässer 1. Ordnung, welches ganzjährig wasserführend ist. Daher ist es möglich sowohl Wärme als auch Strom mit Hilfe des Flusses umweltfreundlich und kosteneffizient zu erzeugen.

Für die Stromerzeugung bestehen auf dem Gebiet der Gemeinde Lohmen bereits drei funktionstüchtige Wasserkraftwerke:

- Wasserkraftwerk Niezelgrund
- Wasserkraftwerk Wauermühle
- Wasserkraftwerk Daubemühle

Das leistungsstärkste Kraftwerk ist das Wasserkraftwerk Niezelgrund. Es befindet sich z.Z. im Privatbesitz und wird seitens des Betreibers nur zur Einspeisung von Strom in das Energieverbundnetz der ENSO Sachsen Ost GmbH genutzt. Mit einer Fallhöhe des Wehres von ca. 10,80 m kann ein Asynchrongenerator mit 226 kW Nennleistung an einem Mittelspannungstransformator betrieben werden. Auf Grund von Eisschäden aus den Vorjahren ist der Wasserstand am Wehr jedoch z.Z. geringer, so dass nur ca. 170 kW Nennleistung erreicht werden können, was zu einem Jahresenergieertrag von ca. 950.000 kWh führt.

Das kleinste Kraftwerk ist das ebenfalls im Privatbesitz befindliche Wasserkraftwerk Wauermühle. Mit einer Fallhöhe des Wehres von nur ca. 1 m wird ein Generator mit 35 kW Nennleistung betrieben. Die hierüber über das Jahr durchschnittlich erzeugte Elektroenergie (180.000 kWh) wird größtenteils vom Eigentümer selbst verbraucht. Da der Eigenverbrauch hierbei größtenteils gedeckt werden kann, wird die Anlage auch nur mit gedrosselter Leistung (ca. 20 kW) betrieben, wodurch bereits mögliche Potentiale ersichtlich werden.

Beide Kraftwerke bieten das Potential mehr Elektroenergie zu liefern als sie das aktuell tun. Da sie jedoch im Privatbesitz sind soll im Rahmen dieses Energiekonzepts nur am Rande auf derartige Möglichkeiten eingegangen werden.

Das Wasserkraftwerk Daubemühle jedoch befindet sich im Gemeindebesitz und produziert mit seinen beiden 90 kW Francis-Durchströmturbinen ca. 400.000 kWh Strom pro Jahr, welcher auf Vergütungsbasis ins Verbundenergienetz eingespeist wird. Das Wehr (5,36 m Fallhöhe) und das Turbinenhaus wurden in den 1990er Jahre generalsaniert, so dass die Anlage als voll funktionstüchtig im Rahmen des Energiekonzepts betrachtet werden kann. Wie bereits im Abschnitt 3.4 beschrieben, wurde mit der Betrachtung der Einsetzbarkeit dieser Anlage bereits im Rahmen der ersten Schritte der Energiesystemkonzeption begonnen. Genauere Berechnungen und Systemuntersuchungen erfolgen im Rahmen der detaillierten Simulationsuntersuchungen.

A.4 Kostenstruktur für die Wirtschaftlichkeitsrechnung

Im Rahmen der Variantenauswahl und ersten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Abschnitt 3.4 sowie den detaillierten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in Kapitel 5 wurden für die einzelnen, notwendigen Investitionen im Folgenden genannte Kosten und Preise verwendet.

Dabei wurden dezidierte Preise für einzelne Sanierungsmaßnahmen zur Modernisierung und Instandsetzung der Heizungstechnik in den einzelnen Gebäuden gemacht:

- Schloß:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (je 1.000 €)
 - Summe: 4.000 €
- Schulkomplex:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (insgesamt: 8.100 €)
 - Ersetzung/Instandsetzung der Isolierung und der freien Heizkreise (insgesamt 4.000 €)
 - Gaszähler für Kesselanlagen und Küchenbetrieb (2.000 €)
 - Summe: 14.100 €
- Schloßstraße 1-5:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (insgesamt: 4.500 €)
 - Ersetzung/Instandsetzung der Isolierung (insgesamt: 2.500 €)
 - Strangregulierung (2.000 €)
 - Summe: 9.000 €
- Schloßstraße 6-9:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (insgesamt: 4.500 €)
 - Ersetzung/Instandsetzung der Isolierung (insgesamt: 2.000 €)
 - Strangregulierung (1.500 €)
 - Instandsetzung Warmwasserbereiter (1.000 €)
 - Summe: 9.000 €
- Schloßstraße 10-12:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (insgesamt: 2.800 €)
 - Ersetzung/Instandsetzung der Isolierung (insgesamt: 1.500 €)
 - Dämmung der Armaturen (insgesamt: 500 €)
 - Summe: 4.800 €
- Schloßstraße 13-17:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (insgesamt: 1.000 €)
 - Ersetzung/Instandsetzung der Isolierung (insgesamt: 1.500 €)
 - Dämmung der Armaturen (insgesamt: 500 €)
 - Summe: 3.000 €

-
- Ringstraße 1-2:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (insgesamt: 2.500 €)
 - Ersetzung/Instandsetzung der Isolierung (insgesamt: 1.500 €)
 - Strangregulierung und Einbau Strangregulierventile (2.000 €)
 - Dämmung der Armaturen (500 €)
 - Summe: 6.500 €
 - Ringstraße 3-5:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (insgesamt: 2.800 €)
 - Ersetzung/Instandsetzung der Isolierung (insgesamt: 1.500 €)
 - Strangregulierung und Einbau Strangregulierventile (2.000 €)
 - Dämmung der Armaturen (500 €)
 - Summe: 6.800 €
 - Ringstraße 6-8:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (insgesamt: 2.800 €)
 - Ersetzung/Instandsetzung der Isolierung (insgesamt: 1.500 €)
 - Strangregulierung und Einbau Strangregulierventile (2.000 €)
 - Dämmung der Armaturen (500 €)
 - Summe: 6.800 €
 - Ringstraße 9-10:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (insgesamt: 1.500 €)
 - Ersetzung/Instandsetzung der Isolierung (insgesamt: 1.500 €)
 - Strangregulierung und Einbau Strangregulierventile (2.000 €)
 - Dämmung der Armaturen (500 €)
 - Regelung des Kessels einstellen (500 €)
 - Summe: 6.000 €
 - Ringstraße 11-12:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (insgesamt: 2.500 €)
 - Ersetzung/Instandsetzung der Isolierung (insgesamt: 1.500 €)
 - Strangregulierung und Einbau Strangregulierventile (2.000 €)
 - Dämmung der Armaturen (500 €)
 - Summe: 6.500 €
 - Ringstraße 13-14:
 - Austausch der Umwälzpumpen der Heizkreise durch Hocheffizienzpumpen (insgesamt: 2.500 €)
 - Ersetzung/Instandsetzung der Isolierung (insgesamt: 1.500 €)
 - Strangregulierung und Einbau Strangregulierventile (2.000 €)
 - Dämmung der Armaturen (500 €)
 - Summe: 6.500 €

Im Abschnitt 3.4 wurden weiterhin 4 Energiesystemvarianten entworfen, die höhere Investitionskosten erfordern. Grundlage dieser Investitionsrechnungen sind die nachfolgenden dargestellten Kostenstrukturen. Diese wurden nachfolgend in Kapitel 5 durch weitere Erkenntnisse ergänzt und durch darüber hinaus benötigte Anlagensysteme erweitert.

Wärmepumpen:

- Fluss-Wärmepumpe [37] (Abschnitt 3.4):
 - 4x Wärmepumpe WWP1100X (je 107 kW): 106.981,00 €
 - Containeranlage für Aufstellung: 53.550,00 €
 - 6x Pufferspeicher TPS 2000: 24.040,38 €
 - Verteilung im Container: 23.800,00 €
 - Leitung Fluss – Ringstraße: 33.320,00 €
 - Flussentnahme + Pumpe + Filter: 29.750,00 €
 - ELT-Leistung zur Wärmepumpe: 11.900,00 €
 - Insgesamt: 283.341,38 €
- Wärmepumpenkaskade [38] (Kapitel 5):
 - 4x Viessmann VitoCal-350-G (je 132 kW): 125.000,00 €
 - Containeranlage für Aufstellung: 53.000,00 €
 - 6x Pufferspeicher TPS 2000: 24.000,00 €
 - Verteilung im Container: 23.000,00 €
 - 4x Umwälzpumpen WP: 8.000,00 €
 - Flusswasserwärmetauscher: 30.000,00 €
 - 2x Tauchpumpen: 10.000,00 €
 - Leitung Fluss – Ringstraße: 87.000,00 €
 - Flussentnahme + Pumpe + Filter: 25.000,00 €
 - ELT-Leistung zur Wärmepumpe: 12.000,00 €
 - Mess-/Steuer-/Regelungstechnik: 10.000,00 €
 - Insgesamt: 422.000,00 €
- Gaswärmepumpe [48]:
 - GAHP GS HT Gaswärmepumpensystem: 15.000,00 €
 - Bohrung: Erdwärmesonden je m: 45,00 €

Gasbrennwertkessel:

- Brennwertkessel 60 kW Keller [38]:
 - Kesselanlage Vitodens 200 (17-60 kW): 5.186,02 €
 - Schornsteinanlage: 4.165,00 €
 - Anschlussset: 927,01 €
 - Hydraulische Weiche: 598,57 €
 - Pumpe + Mischer Divicon 1": 1060,29 €
 - Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l): 4.624,34 €
 - Anpassungsarbeiten: 2.082,50 €
 - Kondensatpumpe + Neutralisation: 476,00 €
 - Zubehör Regelung: 1071,00 €
 - Anschluss Warmwasserbereiter: 1.190,00 €
 - Insgesamt: 21.380,73 €

-
- **Brennwertkessel 60 kW [38]:**
 - Kesselanlage Vitodens 200 (17-60 kW): 5.186,02 €
 - Schornsteinanlage: 1.785,00 €
 - Anschlussset: 927,01 €
 - Hydraulische Weiche: 598,57 €
 - Pumpe + Mischer Divicon 1": 1060,29 €
 - Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l): 4.624,34 €
 - Anpassungsarbeiten: 2.082,50 €
 - Kondensatpumpe + Neutralisation: 476,00 €
 - Zubehör Regelung: 1071,00 €
 - Anschluss Warmwasserbereiter: 1.190,00 €
 - Insgesamt: 19.000,73 €
 - **Brennwertkessel 80 kW [38]:**
 - Kesselanlage Vitodens 200 (30-80 kW): 6.841,31 €
 - Schornsteinanlage: 1.785,00 €
 - Anschlussset: 1.254,26 €
 - Hydraulische Weiche: 598,57 €
 - Pumpe + Mischer Divicon 1": 1.150,73 €
 - Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l): 4.624,34 €
 - Anpassungsarbeiten: 2.380,00 €
 - Kondensatpumpe + Neutralisation: 535,50 €
 - Zubehör Regelung: 1071,00 €
 - Anschluss Warmwasserbereiter: 1.190,00 €
 - Insgesamt: 21.430,71 €
 - **Brennwertkessel 80 kW Keller [38]:**
 - Kesselanlage Vitodens 200 (30-80 kW): 6.841,31 €
 - Schornsteinanlage: 5.355,00 €
 - Anschlussset: 1.254,26 €
 - Hydraulische Weiche: 598,57 €
 - Pumpe + Mischer Divicon 1 1/4": 1.150,73 €
 - Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l): 4.624,34 €
 - Anpassungsarbeiten: 2.380,00 €
 - Kondensatpumpe + Neutralisation: 535,50 €
 - Zubehör Regelung: 1.071,00 €
 - Anschluss Warmwasserbereiter: 1.190,00 €
 - Insgesamt: 25.000,71 €
 - **Brennwertkessel 100 kW Keller [38]:**
 - Kesselanlage Vitodens 200 (30-100 kW): 8.672,72 €
 - Schornsteinanlage: 5.355,00 €
 - Anschlussset: 1.254,26 €
 - Hydraulische Weiche: 598,57 €
 - Pumpe + Mischer Divicon 1 1/4": 1.150,73 €
 - Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l): 4.624,34 €
 - Anpassungsarbeiten: 2.380,00 €
 - Kondensatpumpe + Neutralisation: 535,50 €
-

○ Zubehör Regelung:	1.071,00 €
○ Anschluss Warmwasserbereiter:	1.190,00 €
○ Insgesamt:	26.832,12 €
• Brennwertkessel 100 kW [38]:	
○ Kesselanlage Vitodens 200 (30-100 kW):	8.672,72 €
○ Schornsteinanlage:	1.785,00 €
○ Anschlusset:	1.254,26 €
○ Hydraulische Weiche:	598,57 €
○ Pumpe + Mischer Divicon 1 1/4":	1.150,73 €
○ Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l):	4.624,34 €
○ Anpassungsarbeiten:	2.380,00 €
○ Kondensatpumpe + Neutralisation:	535,50 €
○ Zubehör Regelung:	1.071,00 €
○ Anschluss Warmwasserbereiter:	1.190,00 €
○ Insgesamt:	23.262,12 €
• Brennwertkessel-Kaskade 300 kW Keller [38]:	
○ Kesselanlage 3x 100 kW (30-300 kW):	32.231,15 €
○ Schornsteinanlage:	9.520,00 €
○ Anschlusset:	1.254,26 €
○ Hydraulische Weiche:	2.009,91 €
○ Pumpe + Mischer Divicon 1 1/4":	2.301,46 €
○ Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l):	6.936,51 €
○ Anpassungsarbeiten:	2.380,00 €
○ Kondensatpumpe + Neutralisation:	535,50 €
○ Zubehör Regelung:	2.856,00 €
○ Anschluss Warmwasserbereiter:	1.190,00 €
○ Insgesamt:	61.214,79 €
• Brennwertkessel-Kaskade 300 kW [38]:	
○ Kesselanlage 3x 100 kW (30-300 kW):	32.231,15 €
○ Schornsteinanlage:	3.570,00 €
○ Anschlusset:	1.254,26 €
○ Hydraulische Weiche:	2.009,91 €
○ Pumpe + Mischer Divicon 1 1/4":	2.301,46 €
○ Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l):	6.936,51 €
○ Anpassungsarbeiten:	2.380,00 €
○ Kondensatpumpe + Neutralisation:	535,50 €
○ Zubehör Regelung:	2.856,00 €
○ Anschluss Warmwasserbereiter:	1.190,00 €
○ Insgesamt:	55.264,79 €
• Brennwertkessel-Kaskade 2x 80 kW Keller [38]:	
○ Kesselanlage Vitodens 200 (30-80 kW):	18.276,02 €
○ Schornsteinanlage:	8.330,00 €
○ Anschlusset:	1.254,26 €
○ Hydraulische Weiche:	2.009,91 €
○ Pumpe + Mischer Divicon 1 1/4":	2.301,46 €

○ Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l):	6.936,51 €
○ Anpassungsarbeiten:	2.380,00 €
○ Kondensatpumpe + Neutralisation:	535,50 €
○ Zubehör Regelung:	2.856,00 €
○ Anschluss Warmwasserbereiter:	1.190,00 €
○ Insgesamt:	45.540,11 €
• Brennwertkessel-Kaskade 2x 80 kW [38]:	
○ Kesselanlage Vitodens 200 (30-80 kW):	18.276,02 €
○ Schornsteinanlage:	2.975,00 €
○ Anschlusset:	1.254,26 €
○ Hydraulische Weiche:	2.009,91 €
○ Pumpe + Mischer Divicon 1 1/4":	2.301,46 €
○ Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l):	6.936,51 €
○ Anpassungsarbeiten:	2.380,00 €
○ Kondensatpumpe + Neutralisation:	535,50 €
○ Zubehör Regelung:	2.856,00 €
○ Anschluss Warmwasserbereiter:	1.190,00 €
○ Insgesamt:	40.185,11 €
• Brennwertkessel 125 kW [38]:	
○ Kesselanlage Vitodens 200 (32-125 kW):	11.888,10 €
○ Schornsteinanlage:	8.330,00 €
○ Anschlusset:	1.254,26 €
○ Hydraulische Weiche:	598,57 €
○ Pumpe + Mischer Divicon 1 1/4":	2.301,46 €
○ Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l):	6.936,51 €
○ Anpassungsarbeiten:	2.380,00 €
○ Kondensatpumpe + Neutralisation:	535,50 €
○ Zubehör Regelung:	2.856,00 €
○ Anschluss Warmwasserbereiter:	1.190,00 €
○ Insgesamt:	38.270,40 €
• Zusätzlicher Warmwasserbereiter [38]:	
○ Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l):	2.312,17 €
○ Zubehör Regelung:	476,00 €
○ Anschluss Warmwasserbereiter:	595,00 €
○ Insgesamt:	3.383,17 €
• Zusätzlicher Pufferspeicher [38]:	
○ Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l):	2.340,73 €
○ Zubehör Regelung:	357,00 €
○ Anschluss Warmwasserbereiter:	595,00 €
○ Insgesamt:	3.292,73 €
• Brennwertkessel-Kaskade 2x 60 kW Keller [38]:	
○ Kesselanlage Vitodens 200 (17-60 kW):	14.444,22 €
○ Schornsteinanlage:	8.330,00 €
○ Anschlusset:	1.254,26 €
○ Hydraulische Weiche:	1.480,36 €

○ Pumpe + Mischer Divicon 1 1/4":	2.301,46 €
○ Warmwasserbereiter Vitocell 100-B (500 l):	6.936,51 €
○ Anpassungsarbeiten:	2.380,00 €
○ Kondensatpumpe + Neutralisation:	535,50 €
○ Zubehör Regelung:	2.856,00 €
○ Anschluss Warmwasserbereiter:	1.190,00 €
○ Insgesamt:	41.708,31 €

Blockheizkraftwerke:

• Viessmann VitoWin 300-W + VitoCell 100-E [38]:	19.500,00 €
• Senertec Dachs G 5.5 [50]:	40.000,00 €
• EC-Power XRGI 15 [49]:	50.000,00 €

Photovoltaik:

• Pauschale für Anlagenkosten inkl. Umrichter je kWp:	1.700,00 €
---	------------

Solarthermie:

• Viessmann VitoSol 300-F (Flachkollektor) [38]:	861,24 €
• Viessmann VitoSol 300-T (CPC-Kollektor) [38]:	1.063,46€
• Solarpumpe Wilo Star Z 25/6 [52]:	375,00 €
• Solarspeicher VitoCell 140-E 750 l [38]:	1.850,00 €
• Solarspeicher VitoCell 140-E 750 l [38]:	2.376,55 €

Nahwärmenetzausbau:

• Nahwärmenetz zur Warmwasserbereitung mit BHKW [51]:	175.159,75 €
• Nahwärmenetz mit Heizwärmeversorgung durch WP [51]:	401.937,80 €

Übergabestationen Nahwärmenetz:

• Übergabestation für Warmwasserbereitung:	3.000,00 €
• Übergabestation für Heizwärme:	5.000,00 €

Umwälzpumpen:

• WILO DP-E 32/160 -1,1/2 (BHKW-Nahwärmenetz) [52]:	4.850,00 €
• WILO DL-E 100/250-7,5/4 (WP-Nahwärmenetz) [52]:	8.385,00 €
• WILO DL-E 100/165-22/2-R1 (WP-Primärkreis) [52]:	21.381,00 €
• WILO DL-E 100/150-15/2 (WP-Sekundärkreis) [52]:	7.356,00 €
• WILO Statos PARA 30/1-4 (Speicherladepumpe) [52]:	1.250,00 €

A.5 U-Wert-Ermittlung für bautechnische Sanierungsmaßnahmen

Außenwand:

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]	Tauwasser [Gew%]
				min	max		
	Wärmeübergangswiderstand		0,130	17,8	20,0		
1	1,5 cm Kalkputz	0,870	0,017	17,6	17,8	21,0	0,0
2	70 cm Vollziegel	0,960	0,729	5,5	17,6	1400,0	0,0
3	5 cm Hagatherm	0,056	0,893	-9,3	5,5	11,0	0,0
	Wärmeübergangswiderstand		0,040	-10,0	-9,3		
	76,5 cm Gesamtes Bauteil		1,809			1432,0	

Oberste Geschossdecke:

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]	Tauwasser [Gew%]
				min	max		
	Wärmeübergangswiderstand		0,130	19,3	20,0		
1	10,8 cm Fichte	0,130	0,831	14,7	19,3	48,6	0,0
2	15 cm Hartschaum, EPS 035	0,035	4,286	-8,9	14,7	4,5	2,0
3	2 cm Fichte	0,130	0,154	-9,8	-8,9	9,0	1,0
	Wärmeübergangswiderstand		0,040	-10,0	-9,8		
	27,8 cm Gesamtes Bauteil		5,441			62,1	

Kellersockel - Luft:

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]	Tauwasser [Gew%]
				min	max		
	Wärmeübergangswiderstand		0,130	18,5	20,0		
1	1,5 cm Kalkputz	0,870	0,017	18,3	18,5	21,0	0,0
2	100 cm Sandstein	2,300	0,435	13,3	18,3	2600,0	0,0
3	6 cm Hartschaum, PUR (unbeschichtet)	0,030	2,000	-9,5	13,3	1,8	0,0
	Wärmeübergangswiderstand		0,040	-10,0	-9,5		
	107,5 cm Gesamtes Bauteil		2,622			2622,8	

Kellersockel - Erde:

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]	Tauwasser [Gew%]
				min	max		
	Wärmeübergangswiderstand		0,130	19,0	20,0		
1	1,5 cm Kalkputz	0,870	0,017	18,9	19,0	21,0	0,0
2	100 cm Sandstein	2,300	0,435	15,5	18,9	2600,0	0,0
3	6 cm Hartschaum, PUR (unbeschichtet)	0,030	2,000	0,0	15,5	1,8	0,0
	Wärmeübergangswiderstand		0,000	0,0	0,0		
4	10,75 cm Erdreich			0,0	0,0	0,0	
	107,5 cm Gesamtes Bauteil		2,583			2622,8	

Abb. 84: U-Wert-Ermittlung bautechnischer Maßnahmen am historischen Schulgebäude [36]

Außenwand:

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]	Tauwasser [Gew%]
				min	max		
	Wärmeübergangswiderstand		0,130	19,1	20,0		
1	1,5 cm Kalkputz	0,870	0,017	19,0	19,1	21,0	0,0
2	40 cm Vollziegel	0,960	0,417	16,1	19,0	800,0	0,0
3	13 cm Hartschaum, EPS 035	0,035	3,714	-9,6	16,1	3,9	0,0
4	2 cm Kalkputz	0,870	0,023	-9,7	-9,6	28,0	0,0
	Wärmeübergangswiderstand		0,040	-10,0	-9,7		
	56,5 cm Gesamtes Bauteil		4,340			852,9	

Oberste Geschossdecke:

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]	Tauwasser [Gew%]
				min	max		
	Wärmeübergangswiderstand		0,130	18,9	20,0		
1	2 cm Kalkputz	0,870	0,023	18,8	18,9	28,0	0,0
2	12 cm Fichte	0,130	0,923	11,3	18,8	54,0	0,0
3	10 cm Hartschaum, EPS	0,040	2,500	-8,9	11,3	2,0	0,0
	Wärmeübergangswiderstand		0,130	-10,0	-8,9		
	24 cm Gesamtes Bauteil		3,706			84,0	

Kellersockel - Erde:

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]	Tauwasser [Gew%]
				min	max		
	Wärmeübergangswiderstand		0,130	19,2	20,0		
1	2 cm Kalkputz	0,870	0,023	19,1	19,2	28,0	0,0
2	40 cm Vollziegel	0,960	0,417	16,7	19,1	800,0	0,0
3	10 cm Hartschaum, EPS 035	0,035	2,857	0,1	16,7	3,0	3,2
4	2 cm Kalkputz	0,870	0,023	0,0	0,1	28,0	0,3
	Wärmeübergangswiderstand		0,000	0,0	0,0		
5	5,4 cm Erdreich			0,0	0,0	0,0	
	54 cm Gesamtes Bauteil		3,451			859,0	

Abb. 85: U-Wert-Ermittlung bautechnischer Maßnahmen an der alten Turnhalle [36]

Außenwand:

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]	Tauwasser [Gew%]
				min	max		
	Wärmeübergangswiderstand		0,130	19,1	20,0		
1	1,5 cm Gipsputz	0,350	0,043	18,8	19,1	15,0	0,0
2	36 cm Vollziegel	0,960	0,375	16,2	18,8	720,0	0,0
3	13 cm Hartschaum, EPS 035	0,035	3,714	-9,6	16,2	3,9	0,0
4	2 cm Kalkputz	0,870	0,023	-9,7	-9,6	28,0	0,0
	Wärmeübergangswiderstand		0,040	-10,0	-9,7		
	52,5 cm Gesamtes Bauteil		4,325			766,9	

Decke:

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]	Tauwasser [Gew%]
				min	max		
	Wärmeübergangswiderstand		0,100	19,5	20,0		
1	1,5 cm Kalkputz	0,870	0,017	19,4	19,5	21,0	0,0
2	15 cm Fichte	0,130	1,154	14,0	19,4	67,5	0,0
3	20 cm Gutex Thermofibre	0,040	5,000	-9,5	14,0	7,0	0,0
	Wärmeübergangswiderstand		0,100	-10,0	-9,5		
	36,5 cm Gesamtes Bauteil		6,369			95,5	

Boden:

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]	Tauwasser [Gew%]
				min	max		
	Wärmeübergangswiderstand		0,170	19,1	20,0		
1	1,5 cm Fliesen (keramisch)	1,200	0,013	19,0	19,1	30,0	0,0
2	6 cm Zementestrich	1,400	0,043	18,8	19,0	120,0	0,0
3	6 cm Hartschaum, EPS 035	0,035	1,714	9,5	18,8	1,8	0,0
4	20 cm Beton	2,000	0,100	9,0	9,5	480,0	0,0
5	5 cm Hartschaum, PUR (unbeschichtet)	0,030	1,667	0,0	9,0	1,5	0,0
	Wärmeübergangswiderstand		0,000	0,0	0,0		
6	3,85 cm Erdreich			0,0	0,0	0,0	
	38,5 cm Gesamtes Bauteil		3,708			633,3	

Abb. 86: U-Wert-Ermittlung bautechnischer Maßnahmen am Verbindungsbau [36]

A.6 Modellbildung Nahwärmenetz – BHKW-Nahwärmenetz

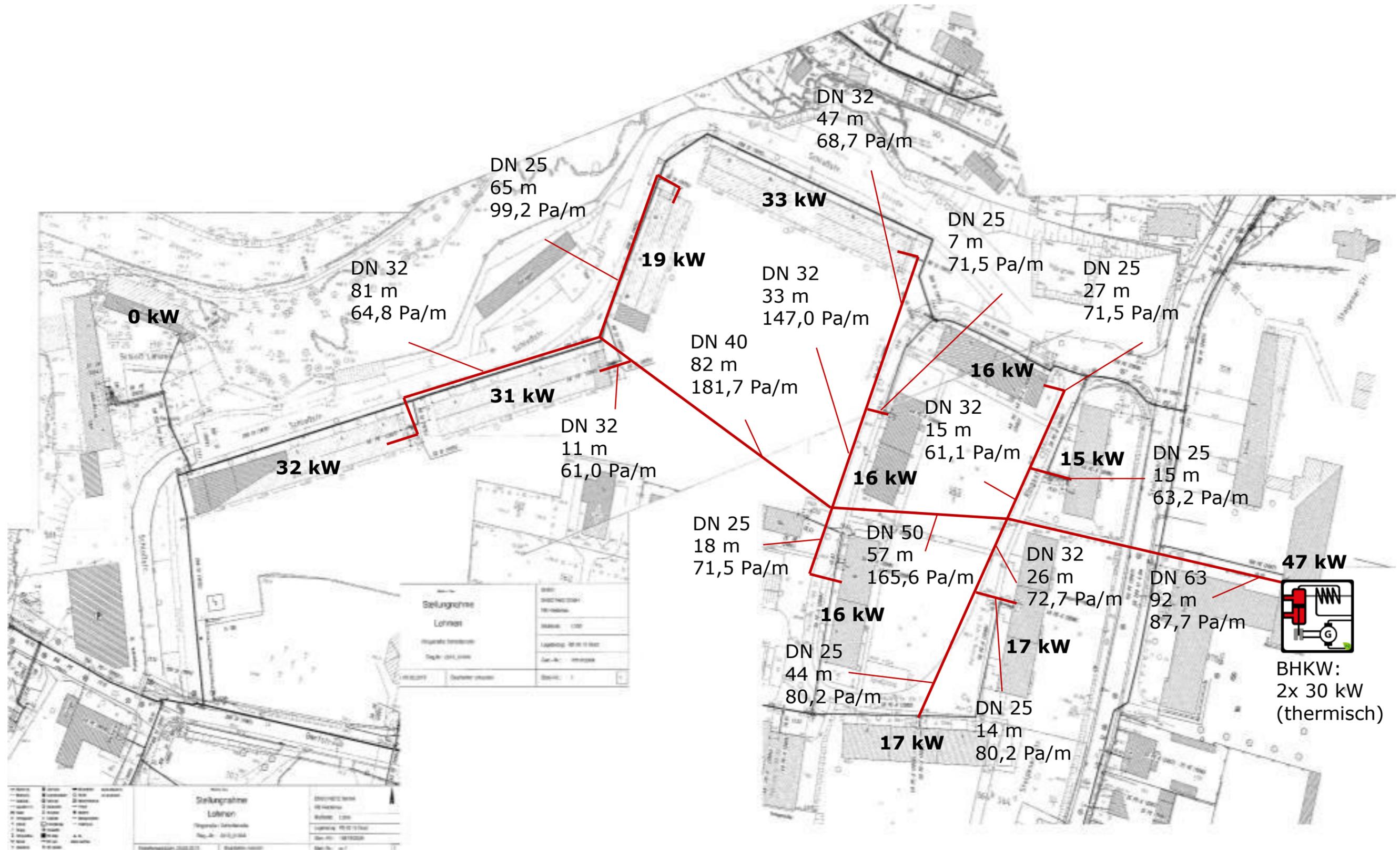


Abb. 87: Ermittlung notwendiger Modellparameter für die Nahwärmenetzsimulation – BHKW-Nahwärmenetz [30, 45]

A.7 Modellbildung Nahwärmenetz – Wärmepumpen Nahwärmenetz

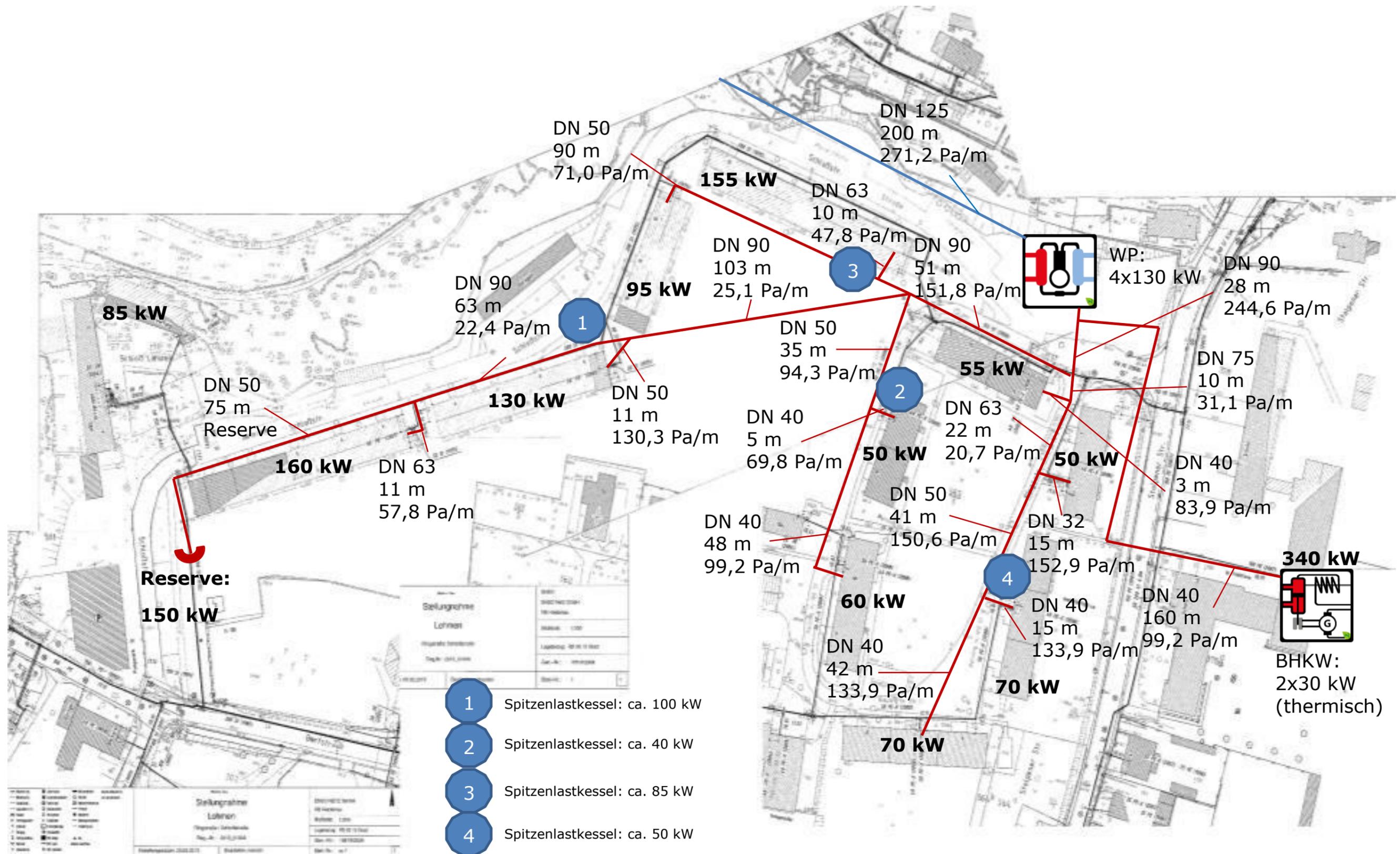


Abb. 88: Ermittlung notwendiger Modellparameter für die Nahwärmenetzsimulation – Wärmepumpen-Nahwärmenetz [30,45]

A.8 Austausch bestehender Umwälzpumpen

Im Rahmen einfacher, erster Modernisierungsmaßnahmen ist es notwendig die bestehenden Umwälzpumpen hinsichtlich ihrer Energieeffizienz zu prüfen und ggf. durch moderne Hocheffizienzpumpen zu ersetzen.

Tab. 19: Austausch von Umwälzpumpen

Gebäude	Alte Pumpe	Neue Pumpe
Ringstr. 1-2	WILO TOP E 40/1-4	WILO Stratos 40/1-4
	WILO TOP S 30/10	WILO Stratos 30/1-12
	WILO Star Z 20/1	WILO Star Z 20/1
Ringstr. 3-5	WILO TOP E 50/1-7	WILO Stratos 50/1-9
	WILO RS 30/100r	WILO 30/1-12
	WILO Star Z 25/2	WILO Stratos ECO Z 25/1-5
Ringstr. 6-8	WILO TOP 50/1-6	WILO Stratos 50/1-8
	Grundfos UPS 32-80	WILO Stratos 30/1-10
	WILO Star Z 25/2	WILO Stratos ECO Z 25/1-5
Ringstr. 9-10	WILO TOP E 40/1-4 *	WILO Stratos 40/1-4 *
	WILO Stratos 30/1-8	WILO Stratos 30/1-8
	WILO Star Z 25/6	WILO Stratos ECO Z 25/1-5
Ringstr. 11-12	WILO TOP E 40/1-4	WILO Stratos 40/1-4
	WILO RS 30/100r	WILO Stratos 30/1-12
	WILO Star Z 20/1	WILO Star Z 20/1
Ringstr. 13-14	WILO TOP E 40/1-4 *	WILO Stratos 40/1-4 *
	WILO RS 25/100r	WILO Stratos 30/1-12
	WILO Star Z 20/1	WILO Star Z 20/1
Schloßstr. 10-12	WILO TOP E 50/1-7	WILO Stratos 50/1-9
	WILO S 50/80r *	WILO Stratos 50/1-6 *
	WILO Star Z 25/2	WILO Stratos ECO Z 25/1-5
Schloßstr. 13-17	WILO Stratos 65/1-12	WILO Stratos 65/1-12
	WILO S 50/140r	WILO Stratos 50/1-16
	WILO TOP Z 30/7	WILO Stratos Z 30/1-8

Schloßstr. 1-5	Grundfos Magna 65-60F	WILO Stratos 65/1-9
	Grundfos UPS 50-60F	WILO Stratos 65/1-9
Schloßstr. 6-9	Grundfos Magna 65-60F	WILO Stratos 65/1-9
	Grundfos UPS 50-60F	WILO Stratos 65/1-9
Schloß	Grundfos Alpha 32-40	WILO Stratos PICO 30/1-4
	Grundfos Alpha 25-40	WILO Stratos ECO Z 25/1-5
	Grundfos Alpha 25-60	WILO Stratos ECO Z 25/1-5
	Grundfos UPS 25-60	WILO Stratos 25/1-6
Schulkomplex	WILO TOP E 40/1-4	WILO Stratos 40/1-4
	WILO TOP E 50/1-7	WILO Stratos 50/1-9
	WILO Stratos 30/1-4	WILO Stratos 30/1-4
	WILO TOP E 50/1-7	WILO Stratos 50/1-9
	WILO TOP E 50/1-7	WILO Stratos 50/1-9
	WILO TOP E 50/1-7	WILO Stratos 50/1-9
	WILO Star Z 25/6	WILO Stratos ECO Z 25/1-5

Die in Tabelle 19 aufgezeigte Liste der verbauten (alten) Umwälzpumpen wurde zu Beginn der Bearbeitung des Energiekonzepts aufgenommen. Hierin rot gekennzeichnete Pumpen entsprachen bereits zum Zeitpunkt der Datenaufnahme dem Stand der Technik (Hocheffizienzpumpen). Der nichtnotwendige Austausch dieser Pumpen wurde bereits im Rahmen der Simulations- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen beachtet.

Aufgrund von Verschleiß und Ausfall kam es während der Abarbeitung des Energiekonzepts zum Austausch/zur Ersetzung weiterer Umwälzpumpen. Der Einbau dieser mit einem „*“ in Tabelle 19 gekennzeichneten Pumpen konnte jedoch im Rahmen der Analysen nicht mehr beachtet werden.

A.9 Notwendige Kessel-/Brennerleistungen

In Abschnitt 2.3.3 wurde beschrieben, dass die bestehenden Kesselanlagen aufgrund diverser, erörterter Gründe zu groß dimensioniert sind, bzw. die Brennerleistungen zu hoch eingestellt sind. Die Einstellung der optimalen Brennerleistung ist jedoch wichtig, um einen energieeffizienten Betrieb des Systems zu ermöglichen. Nachfolgende soll daher für das Bestandssystem sowie für den sanierten bzw. optimierten Zustand der Heizungsanlagen die optimale Brennerleistung inkl. 10% Sicherheit aufgezeigt werden.

Tab. 20: Optimale Brennereinstellung für Bestand und sanierten Zustand

Gebäude	Bestand [kW]	Sanierung/Optimierung [kW]
Ringstr. 1-2	56	48
Ringstr. 3-5	82	66
Ringstr. 6-8	75	67
Ringstr. 9-10	62	57
Ringstr. 11-12	51	44
Ringstr. 13-14	65	54
Schloßstr. 10-12	98	91
Schloßstr. 13-17	187	151
Schloßstr. 1-5	180	157
Schloßstr. 6-9	155	125
Schloß	91	84
Schulkomplex *	332	239

* Um die Heizenergieversorgung einer möglichen neuen Turnhalle vorhalten zu können, ist im sanierten Zustand im Schulkomplex eine Brennerleistung von 359 kW einzustellen.

A.10 Installierte elektrische Leistung des Hauslichts

Der Austausch des Hauslichts durch moderne LED-Beleuchtung ist Bestand des Konzepts zur Modernisierung der bestehenden Anlagen und zur Energieeinsparung (vgl. Abschnitt 2.4.1). Im gesamten Quartier wurde rechnerisch eine installierte Hauslichtleistung von 6.35 kW ermittelt. Diese verteilt sich auf die einzelnen Wohngebäude wie folgt:

Tab. 21: Installierte Hauslichtleistung

Gebäude	Hauslicht [W]
Ringstr. 1-2	300
Ringstr. 3-5	450
Ringstr. 6-8	450
Ringstr. 9-10	300
Ringstr. 11-12	300
Ringstr. 13-14	300
Schloßstr. 10-12	750
Schloßstr. 13-17	1.250
Schloßstr. 1-5	1.250
Schloßstr. 6-9	1.000

A.11 Heizlastberechnung Ringstr. 8

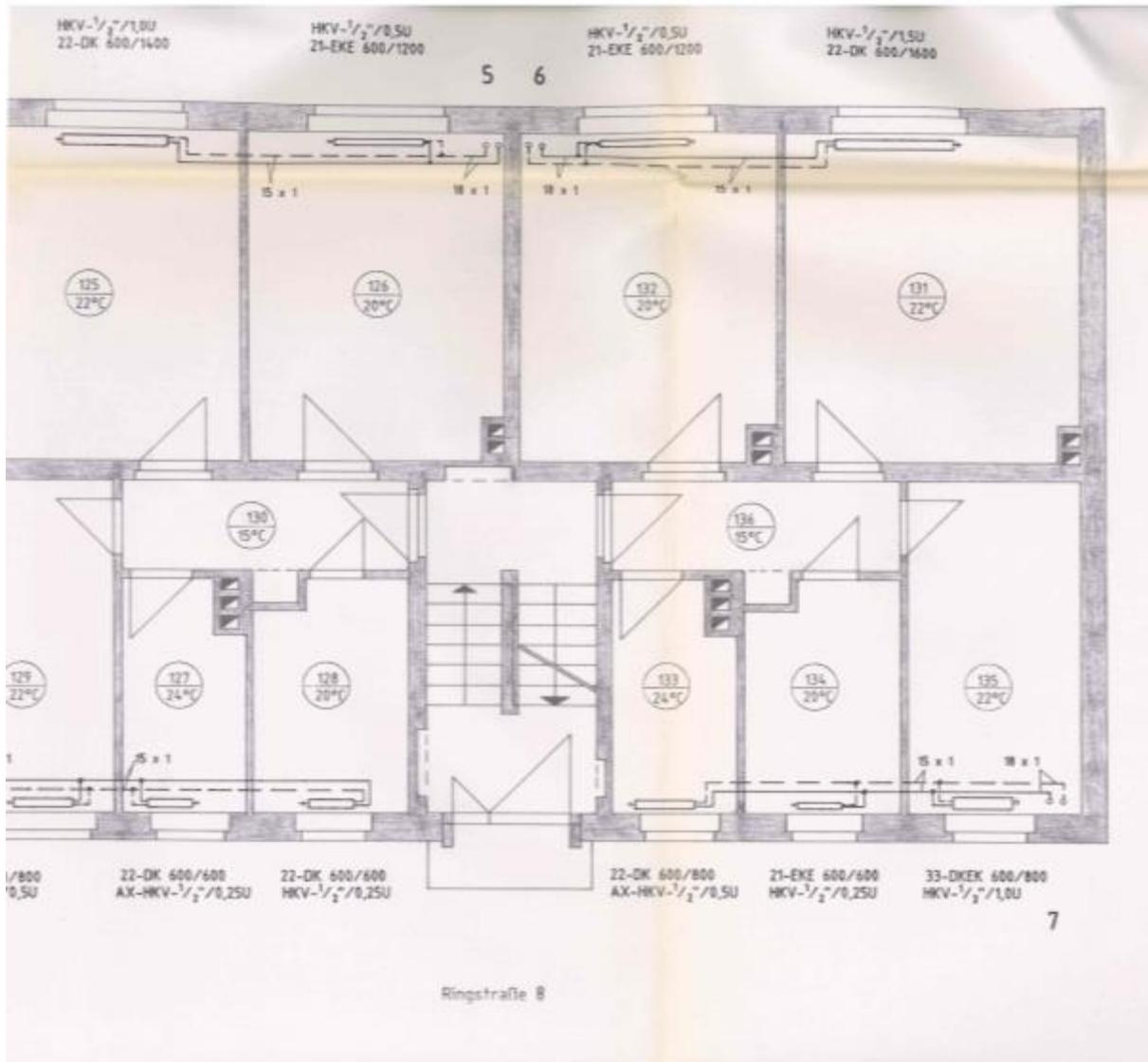


Abb. 89: Grundriss Erdgeschoss Ringstr. 8

Quellenverzeichnis

- [1] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV), Ausfertigungsdatum: 24.07.2007.
- [2] Europäische Kommission: Europa in Zahlen 2010 – Eurostat Jahrbuch 2010. 2010.
- [3] Gemeindeverwaltung Lohmen: Alters- und Bewohnerstruktur der Gemeinde Lohmen und des Quartiers Schloß-/Ringstraße. Lohmen, April 2013.
- [4] Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten, Ausfertigungsdatum: 02.12.2008.
- [5] Deutscher Wetterdienst (DWD) – Wetterdaten und –statistiken express (WESTE): Monatliche Gradtagszahlen – Jahresauswertung nach VDI 2067 für 2008-2011, Messstation: Lichtenhain-Mittelndorf, 2013.
- [6] Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU): Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden. Forschungsbericht BMVBS, 2005.
- [7] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Erdgas in der Gastronomie. 2008.
- [8] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): Primärenergiefaktoren von biogenen Energieträgern, Abwärmequellen und Müllverbrennungsanlagen. BMVBS-Online-Publikation, Nr. 12/2012, 2012.
- [9] Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien (IINAS): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.8. 2013.
- [10] Google-Maps: Satellitenbildansicht Lohmen, Quartier Schloß- und Ringstraße Lohmen, Stand April 2013.
- [11] Arbeitsgruppe Straßenbeleuchtung: Straßenbeleuchtung – kommunales Handlungsfeld mit Potential. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), 2009.
- [12] Stadtwerke Werl GmbH – Infothek: Regenerative Energieträger. Stand April 2013.
- [13] Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG): Gewässerkundliche Monatsberichte 2011-2012.
- [14] Gemeindeamt Lohmen: Wasserkraftwerk Daubemühle in der Gemeinde Lohmen. Touristeninformation, 2013.

-
- [15] R. Rölle: Klärschlamm und biogene Reststoffe als Energieträger. Fachtagung Energie, Neuhausen a.d.F., 2008
 - [16] DIN V 4701-12: Energetische Bewertung heiz- und raumlufthechnischer Anlagen im Bestand – Teil 12: Wärmeerzeuger und Trinkwassererwärmung. Deutsches Institut für Normung e.V., 2004.
 - [17] DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumlufthechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Deutsches Institut für Normung e.V., 2004.
 - [18] WILO: Vereinfachte Berechnung zur Auswahl der richtigen Brauchwasserpumpe nach DIN 1988 und W551 bis W553. 2013
 - [19] WILO: Standard-Pumpen. 2013
 - [20] Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE – AEE: Thermische Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser. Gleisdorf, 1999.
 - [21] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Solar - Basis-, Bonus- und Innovationsförderung. Stand 2012.
 - [22] P. Kaufmann: Aarewassertemperatur und Wetter im Mittelland. Schweiz.
 - [23] Wetter.com: Wetternetzwerk-Station 01847 Lohmen, 2008 – 2012.
 - [24] K.-H. Dahlem, H. Heinrich: Einfluss des Grundwassers auf den Wärmeverlust beheizter Keller. Universität Kaiserslautern, 1999.
 - [25] H. Mauz: Abwasser-Wärme-Nutzungsanlagen – Wärmepotential der Zukunft. Graz, 2007.
 - [26] EC Power: Technisches Datenblatt XRGI 15G. Produktspezifikation, 2011.
 - [27] Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG): Geothermisches Kartenwerk. 2009.
 - [28] Umweltbundesamt: Klimaschutzziele in den deutschen Bundesländern. Dessau-Roßlau, 2011.
 - [29] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2012. Dresden, 2013.
 - [30] ENSO Netz GmbH: Stellungnahme Gas, ENSO-Reg.-Nr. 01004-13, Quartier Ringstraße/Schloßstraße in 01847 Lohmen. Heidenau, 2013.
 - [31] ENSO Netz GmbH: Stellungnahme Strom, ENSO-Reg.-Nr. 1004-13, Quartier Ringstraße/Schloßstraße in 01847 Lohmen. Heidenau, 2013.
 - [32] Deutsche Telekom GmbH: Medienpläne für die Telekommunikation im Quartier Ringstraße/Schloßstraße in 01847 Lohmen. Dresden, 2013.

- [33] Trinkwasserzweckverband „Bastei“: Zusendung Bestandspläne für Quartier Ringstraße/Schloßstraße in 01847 Lohmen. Lohmen, 2013.
- [34] Gemeindeverwaltung Lohmen: Flurpläne Abwasser/Abwasserverwaltung im Quartier Ringstraße/Schloßstraße in 01847 Lohmen. Lohmen, 2013.
- [35] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung in Nichtwohngebäudebestand. Berlin, 2009.
- [36] u-wert.net: U-Wert-Rechner. Stand: Mai 2013.
- [37] Alpha Innotec: Preisliste. 2013.
- [38] Viessmann: Preisliste. 2013.
- [39] Ebert-Ingenieure: Hans-Edelmann-Schule, integriertes Energiekonzept. Bericht, 2009.
- [40] K. Schild, H. Brück: Energie-Effizienzbewertung von Gebäuden - Anforderungen und Nachweisverfahren gemäß EnEV 2009. VIEWEG+TEUBNER-Verlag, Wiesbaden, 2010.
- [41] H. Recknagel, E. Sprenger, E.-R. Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Oldenbourg Verlag, 2008.
- [42] FH Aachen: Typischer Sommer- und Winterlastgang eines 4-Personen-Haushalts. 2011.
- [43] BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft: Erdgas in der Gastronomie. 2008.
- [44] G. Tleunkenova: Optimierung der Energieversorgung in der Stadt Ust-Kamenogorsk. Dissertation, TU Braunschweig, 2009.
- [45] Isoplus Fernwärme Vertriebsgesellschaft: Isoplus Planungshandbuch, Hersteller Handbuch, 2011.
- [46] Verivox: Verbraucherpreisindex Gas und Strom. Internet-Seite: <http://www.verivox.de>, 2013.
- [47] Statistisches Bundesamt: destatis Verbraucherpreisindizes. Internet-Seite: <https://www.destatis.de>, 2013.
- [48] Robur: Preisliste – Wasser führendes Heiz- und Kühlsystem mit Wärmepumpen, Absorptionskühlern und Absorptions-Kalt-/Warmwassererzeugern. Datenblatt, 2009.
- [49] EC-Power: Preisliste. 2011.
- [50] Senertec: Preisliste. 2011.

- [51] ZWR Ingenieurgesellschaft: Angebot zur Erschließung des Gebiets Ring- und Schloßstraße in Lohmen mit einem Nahwärmenetz – Variante 1 und 2. ZWR Ingenieurgesellschaft, RBG Rohrsysteme-Beratungs-GmbH, 2013.
- [52] WILO: Wilo-Preisliste 2011/2012.
- [53] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Internet-Seite: www.bafa.de, 2013.
- [54] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Wärmepumpe - Basis- und Bonusförderung. Stand 2012.
- [55] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Kraft-Wärme-Kopplung – Hocheffiziente Technik zur kombinierten Erzeugung von Strom und Wärme. Stand 2013.
- [56] SMWA, SMUL: Energie- und Klimaschutzprogramm Sachsen 2012, Regierungsprogramm des Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr bzw. Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden, 12. März 2013.
- [57] Bundesministerium für Justiz: Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz). 2002.
- [58] Bundesministerium für Justiz: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz). 2012.
- [59] C. Lerche, VSWG: CO₂-Studie der sächsischen Wohnungsgenossenschaften. Verband Sächsischer Wohnungsgenossenschaften e.V., Studie, 2012.
- [60] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität. url: <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/27976/publicationFile/103/nationaler-entwicklungsplan-elektromobilitaet.pdf> (Stand: 07. 10. 2012).
- [61] EA EnergieArchitektur GmbH: Intelligente Ladeinfrastruktur – Ladestation nach Wunsch, Produktbeschreibung und Datenblatt des Herstellers, 2013.
- [62] G. Schweinle, A. Graf: Interaktion von Testverfahren und Fahrzyklen bei PKW-Abgasmessungen. 3. Internationales Forum Abgas- und Partikelemissionen, 2009.
- [63] Niederländischer Fietsberaad (www.fietsberaad.nl) / Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (www.kim.nl) am 05.11.2013.
- [64] Forschungsgesellschaft Mobilität – FGM: Mobilitäts- & Marketingkonzept für den Pedelec Einsatz in der Energieregion Weiz-Gleisdorf. Weiz (Österreich), 2009.
- [65] ELTIS – The Urban Mobility Portal: Case Study - Senioren testen Pedelecs in Graz (Österreich). Graz (Österreich), 2010.

- [66] B. Girod: Analyse des Fahrradverkehrs aufgrund des Mikrozensus 2000 und Thurgau 2003 Verkehrsbefragungen. Semesterarbeit, ETH Zürich, 2005.
- [67] T. Lewis: Infos zu Pedelecs für Kommunalverantwortliche. energieautark consulting GmbH, Studie, 2012.
- [68] Landesamt für Straßenbau und Verkehr des Freistaates Sachsen: Radfahrkonzeption für den Freistaat Sachsen 2013. Konzeptentwurf, 15.08.2013.
- [69] EnOB Forschung für Energieoptimiertes Bauen: Leitfaden für das Monitoring der Demonstrationsbauten im Förderkonzept EnBau und EnSan,. 2012.
- [70] Deutsches Institut für Normung (DIN): DIN V 18599 - Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. 2005.