

Integrierte Wärmenutzung der Stadt Baden-Baden

- Unter besonderer Berücksichtigung der KWK-Potenziale
in Kliniken, Bädern, Gastronomie und Gewerbe -



Auftraggeber Stadt Baden-Baden
Dezernat II
- Wirtschaftsförderung und
Klimaschutz -
Marktplatz 2
76530 Baden-Baden



Projektleitung Martin Lautenschlager,
Stadtverwaltung Baden-Baden
Dipl.-Ing. (DH) Martin Weißbecher,
Stadtwerke Baden-Baden

Bearbeiter Steinbeis-Transferzentrum
Energie-, Gebäude- und Solartechnik
Gropiusplatz 10
70565 Stuttgart



Autoren:
Dipl.-Ing. Jörg Baumgärtner
Dipl.-Ing. Josef Broll
Tobias Nusser, M.Sc.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



DIE BMU
KLIMASCHUTZ-
INITIATIVE

Das Klimaschutzteilkonzept wurde im Rahmen der nationalen Klimaschutzinitiative der Bundesregierung gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Förderkennzeichen 03KS5140

Stuttgart, den 30.09.2014

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Fisch . Gropiusplatz 10 . 70563 Stuttgart
Tel. +49 711 99 007-5 . Fax +49 711 99 007-99 . info@stz-egs.de . www.stz-egs.de
Deutsche Bank AG . Stuttgart Kto.-Nr. 160 7001 . BLZ 600 700 70 . UID DE190606404 . St.-Nr. 97106/00540
IBAN: DE 22 6007 0070 0160 7001 00 . BIC-Code DEUTDE33XXX

Zentrale: Steinbeis GmbH & Co. KG für Technologietransfer STC . www.stw.de
Haus der Wirtschaft . Willi-Bleicher-Straße 19 . 70174 Stuttgart . Registergericht Stuttgart . HRA 12 480
Komplementär: Steinbeis-Verwaltungs-GmbH . Registergericht Stuttgart . HRB 18 715
Geschäftsführer: Prof. Dr. Michael Auer (Vorsitz) . Dipl.-Kfm. Manfred Mattulat
Ein Unternehmen der Steinbeis-Stiftung

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	4
2. Integriertes Wärmekonzept der Stadt Baden-Baden	8
2.1. Ausgangssituation	8
2.2. Vorgehensweise	9
3. Bestandsanalyse	12
3.1. Grundlagenermittlung	12
3.1.1 Gebäudeinfrastruktur	12
3.1.2 Energieinfrastruktur	21
3.2. Gebieteingrenzungen für Nahwärmeversorgungen	27
3.3. KWK-Randbedingungen	31
3.3.1 Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung	31
3.3.2 Eignung von Betrieben und Einrichtungen	33
3.3.3 Gesetzliche und energiewirtschaftliche Rahmendbedingungen	41
4. Potenzialanalyse	50
4.1. Zentrale Wärmeversorgungspotenziale	50
4.1.1 Aktueller Energiebedarf potenzieller Nahwärmegebiete	50
4.1.2 Einfluss von Sanierungsszenarien auf die Nahwärmepotenziale	53
4.1.3 Lokale Wärmepotenziale	54
4.1.4 Gesamtpotenzial Nahwärme	61
4.2. KWK-Potenziale der Referenztypen	62
4.2.1 Referenztyp 1: Große Kliniken	63
4.2.2 Referenztyp 2: Kleine Kliniken, Bäderbetriebe und Pflegeheime	69
4.2.3 Referenztyp 4: Kleine Hotels	72
4.2.4 Referenztyp 3: Große Hotels	74
4.2.5 Referenztyp 5: Großverbraucher	76
4.2.6 Referenztyp 6: Kleinverbraucher	78
4.2.7 Referenztyp 7: Mehrfamilienhaus	79
4.2.8 Zusammenfassung der KWK-Potenzialanalyse	82
4.2.9 Berechnung der KWK-Potenziale	84
5. Maßnahmenübersicht und Umsetzungsempfehlungen	88
5.1. Nutzung der Nahwärmepotenziale	89
5.2. Nutzung der KWK-Potenziale	93
5.3. Umsetzungs- und Controllingkonzept	96



5.4.	Modelle zur KWK-Nutzung	97
5.4.1	Status Quo bzw. KWK-Vermarktungsmodell: Eigenverbrauch	99
5.4.2	KWK-Vermarktungsmodell: Direktlieferung an Mieter	99
5.4.3	KWK-Vermarktungsmodell: Direktlieferung an Dritte (allgemein)	101
5.4.4	KWK-Contracting für Gebäudebetreiber	102
6.	Akteursbeteiligung	106
	Anhang	108
	Abkürzungsverzeichnis	109
	Literaturverzeichnis	110
	Kartenmaterial	111



ZUSAMMENFASSUNG

1. Zusammenfassung

Mit der Verabschiedung der „Strategieziele Baden-Baden 2020“ und des Klimaschutzkonzeptes hat die Stadt Baden-Baden frühzeitig das Thema Klimaschutz auf die politische Agenda gesetzt. Das integrierte Klimaschutzkonzept bildet dabei die Grundlage für aktuelle und künftige Aktivitäten im Bereich des Klimaschutzes. Mit der Reduktion der CO₂-Emissionen um 37 % bis zum Jahr 2020 hat sich Baden-Baden ehrgeizige Ziele gesetzt.

Das vorliegende integrierte Wärmenutzungskonzept vertieft die Analyse der im Klimaschutzkonzept identifizierten CO₂-Reduzierungspotenziale im Bereich der Nahwärmeversorgung sowie in der Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Betrieben mit ganzjährig hohem Wärmebedarf.

Zu Beginn der Projektbearbeitung erfolgte für den Bereich **Nahwärme** eine Bestandsaufnahme der Energie- und Gebäudeinfrastruktur und den Energieverbräuchen auf dem ganzen Stadtgebiet. Auf der Basis dieser Information konnten einzelne Gebiete nach ihrer Nutzung und Siedlungstypologie klassifiziert werden. Von den zunächst 280 Gebieten in Baden-Baden verbleiben insgesamt 41 Potenzialgebiete mit genereller Nahwärmeeignung. Diese weisen neben einer hohen Wärmedichte auch eine hohe Bebauungsdichte auf und befinden sich nicht in unmittelbarer Nähe zu den bestehenden zentralen Wärmeversorgungen in Baden-Baden. Die 41 Potenzialgebiete stehen für rund zehn Prozent des Primärenergiebedarfs und neun Prozent der CO₂-Emissionen der Gesamtstadt. Bei der Umstellung von einer dezentralen hin zu einer effizienten zentralen Wärmeversorgungsstruktur können in der Regel signifikante Energie- und Treibhausgaseinsparungen erreicht werden. Für die Potenzialgebiete resultieren CO₂-Einsparungen in Höhe von 9.000 tCO₂/a und dies entspricht einem Anteil von 1,7 % der Gesamtemissionen in Baden-Baden. Lokale Wärmepotenziale wie Abwasserwärme, Geothermie, Fernwärme oder auch KWK stehen hierzu in den identifizierten Nahwärmegebieten zur Verfügung.

Die Analyse der **KWK**-Potenziale basiert zunächst auf der Identifikation der Großverbraucher aus den Bereichen Kliniken, Bäder, Gastronomie und Hotels und Verbraucher mit hohem ganzjährigem Wärmebedarf. Insgesamt 100 Einzelverbraucher wurden hierzu in sieben repräsentative Referenztypen eingeordnet, die sich durch eine charakteristische Nutzung oder Verbrauchsstruktur auszeichnen. Bezogen auf den Primärenergiebedarf der Gesamtstadt nehmen die untersuchten Betriebe einen Anteil von rund neun Prozent ein. Für die Referenztypen wurden konkrete Potenzialberechnungen an realen Objekten vorgenommen, um die Einsparpotenziale zu ermitteln. Besonders für Unternehmen mit hohem Wärmebedarf und für Betriebe, in denen eine hohe Stromeigennutzung möglich ist, resultieren durch den KWK-Einsatz signifikante energetische und wirtschaftliche Verbesserungen. Die beispielhaft berechneten Einsparpotenziale wurden anschließend im Rahmen der Gesamtanalyse auf die restlichen Verbraucher hochgerechnet. Bei den betrachteten 100 Verbrauchern kann der CO₂-Ausstoß von 44.000 tCO₂/a auf 35.000 tCO₂/a gesenkt werden. Die damit verbundene Treibhausgasreduktion entspricht einem Anteil von 1,7 % der energiebedingten Gesamtemissionen von Baden-Baden.



Speziell für die KWK-Analyse wurde mit zahlreichen Akteuren aus Baden-Baden ein Informationsaustausch gepflegt und mögliche KWK-Nutzungskonzepte den einzelnen Unternehmen im Rahmen eines Workshops präsentiert und zur Diskussion gestellt.

Das Ergebnis der integrierten Wärmestudie zeigt für die Stadt Baden-Baden ein CO₂-Einsparpotenzial in Höhe von 3,4 % bezogen auf die Gesamtemissionen aus dem Bilanzierungsjahr 2010. Die Potenziale im Bereich der Nahwärmeversorgung und der KWK-Nutzung sind somit wichtige Elemente bei der Erfüllung der kommunalen Klimaschutzziele.

Für die Stadtverwaltung Baden-Baden dient die Wärmestudie als Grundlageninformation, Leitfaden und Handlungsempfehlung. Ein Maßnahmenpaket mit konkreten Empfehlungen bildet den Abschluss der Studie und gilt als Basis für die zielgerichtete Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen. Für die erfolgreiche inhaltliche und organisatorische Umsetzung der Maßnahmen wird empfohlen, auf Ebene der Stadtverwaltung die Verantwortlichkeiten klar zu benennen und entsprechende Personalkapazitäten einzuplanen. Direkte Maßnahmen im Einflussbereich der Stadt – den kommunalen Liegenschaften – sind prioritär zu ergreifen. Weitere Maßnahmenbeschreibungen stellen Möglichkeiten zur Aktivierung der relevanten Akteure im Stadtgebiet dar, um die vorhandenen Potenziale im Bereich der Nahwärme und KWK in Baden-Baden erfolgreich zu heben.





INTEGRIERTES WÄRMENUTZUNGSKONZEPT

2. Integriertes Wärmekonzept der Stadt Baden-Baden

2.1. Ausgangssituation

Die Stadt Baden-Baden hat im Jahr 2011/12 ein im Rahmen der Klimaschutzinitiative gefördertes Integriertes Klimaschutzkonzept erstellen lassen. In diesem Konzept wurden unter anderem CO₂-Reduzierungspotenziale durch den weiteren Ausbau von zentralen Versorgungen (Nahwärme) sowie in einem Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) identifiziert.

Besonders im Hinblick auf das bestehende Fernwärmenetz stellen die beiden genannten Wärmeversorgungsvarianten Alternativen dar, deren verstärkte Nutzung in Baden-Baden die konsequente und systematische Weiterführung einer klimaschonenden Wärmeversorgung bedeutet. Denn die Stadtwerke Baden-Baden betreiben bereits ein Fernwärmenetz, mit dem große Teile der Innenstadt erschlossen sind. Eine weitere Ausdehnung dieses Netzes ist aufgrund der Begrenzung der Wärmeerzeuger derzeit nicht sinnvoll, so dass ein Ausbau klimafreundlicher Wärmeversorgungen vor allem durch den Aufbau neuer Wärmenetze oder durch die verstärkte Nutzung dezentraler KWK-Anlagen erfolgen müsste.

Wegen des zunehmend besseren energetischen Standards von Neubauten und bei Sanierungen kommen für zentrale Versorgungen fast nur noch dicht bebaute Wohngebiete mit Mehrfamilien- und Reihenhäusern oder Gewerbegebiete mit größeren Energieverbrauchern in Frage, da bei weniger dicht besiedelten Quartieren die anteiligen Netzverluste unverhältnismäßig hoch werden. Zentrale Wärmeversorgungen in dicht bebauten Gebieten besitzen den Vorteil, dass klimafreundliche Energieträger zum Teil leichter und kostengünstiger eingesetzt werden können als in Einzelgebäuden. Zudem erweisen sie sich flexibler bei einer späteren Umstellung des Energieträgers.

Mit dem Ausbau der KWK kann zudem eine klimafreundliche Versorgungsinfrastruktur aufgebaut werden, die auch auf dezentralisierter Ebene bei geeigneten Verbrauchertypen zu erheblichen energiewirtschaftlichen Vorteilen und treibhausgasmindernden Effekten führen kann. Baden-Baden verfügt als Bäder- und Kurstadt über eine ungewöhnlich hohe Dichte an Kliniken, Bädern, Hotels und Restaurants. Diese Betriebe haben fast alle einen ganzjährig konstant hohen Trinkwarmwasser- oder Prozesswärmebedarf, was eine sehr günstige Voraussetzung für den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist. Bezogen auf die Stadtgröße und die vorhandene Energie- und Verbrauchsinfrastruktur besitzt die Stadt Baden-Baden damit ein klares Alleinstellungsmerkmal, das eine vertiefende Betrachtung dieser Verbrauchertypen rechtfertigt.

In dem vorliegenden integrierten Wärmekonzept werden die vorhandenen Wärmepotenziale und die Verbrauchsschwerpunkte, vor allem dichter besiedelte Gebiete und von Großverbrauchern, identifiziert und daraus Wärmeversorgungsansätze abgeleitet. Zudem sollen mit den angestellten Untersuchungen speziell die Grundlagen für einen weiteren Ausbau der KWK gelegt werden.

2.2. Vorgehensweise

Das Ziel der Wärmekonzeptstudie ist zunächst die Identifikation von geeigneten Gebieten für eine Nahwärmeversorgung und der Erfassung möglicher Wärmeversorgungskonzepte. Aufbauend auf einer Verbraucheranalyse werden im Anschluss die Betriebe ermittelt, die einen hohen ganzjährigen Wärmeverbrauch und damit eine generelle Eignung für den Einsatz von KWK vorweisen. Für diese Verbraucher werden Potenzialberechnungen auf Basis von Beispielprojekten durchgeführt und Versorgungsvarianten verglichen.

Im Rahmen einer **Bestandsanalyse** wird anfangs eine grundlegende Untersuchung der Gebäude- und Energieinfrastruktur der Stadt Baden-Baden vorgenommen. Dazu werden strukturelle Merkmale wie die Bebauungsdichte, die Nutzungs- und die Eigentümerstruktur erfasst. Mit Hilfe von GIS-Daten der Stadt Baden-Baden, Verbrauchsdaten für leitungsgebundene Energieträger und Daten über die Energienetze der Stadtwerke Baden-Baden werden Karten erstellt, die einen grafischen Überblick über die vorhandene Energieinfrastruktur und die Energienutzung im Analysegebiet erlauben. Diese Informationen ermöglichen die Anfertigung von Energieverbrauchsdichtekarten. Aus der Berechnung der Wärmedichte der einzelnen Gebiete können dabei Rückschlüsse auf deren Nahwärmeeignung gezogen werden. Da für eine Nahwärmeversorgung eine bestimmte Wärmedichte Voraussetzung ist, werden verschiedene Sanierungsszenarien in den jeweiligen Gebieten erstellt, um auch die Eignung hinsichtlich möglicher zukünftiger Entwicklungen adäquat berücksichtigen zu können.

Um die KWK-Eignung einzelner Verbraucher zu bewerten, werden zunächst typische Randbedingungen, die für eine KWK-Nutzung sprechen, definiert. Die anschließende Identifikation und Klassifizierung einzelner Verbrauchergruppen erfolgt mit Hilfe objektbezogener Gebäudedaten. Neben der Einstufung in Nutzungskategorien auf Basis der GIS-Daten werden bestimmte Verbrauchergruppen auch anhand der Energieverbrauchsmenge kategorisiert. Für die resultierenden Referenzgruppen werden beispielhafte Berechnungen angestellt, um die Wirtschaftlichkeit zu beurteilen und die Energie- und CO₂-Einsparpotenziale mengenmäßig bestimmen zu können.

Die **Potenzialanalyse** stellt die zweite Bearbeitungsphase des integrierten Wärmekonzepts dar. Innerhalb der Potenzialanalyse werden die potenziellen Gebiete anhand der Wärmebedarfsdichte bewertet und festgestellt, ob diese für eine Nahwärmeversorgung prinzipiell geeignet sind. Für diese Gebiete werden mögliche lokal vorhandene Wärmequellen identifiziert und die Randbedingungen unter Berücksichtigung der vorhandenen leitungsgebundenen Energieträger beschrieben.

Ebenso werden in diesem Arbeitsschritt die Einsatzmöglichkeiten von KWK in den Betrieben mit hohem ganzjährigem Wärmebedarf bewertet. Beispielhafte Berechnungen verdeutlichen dabei für bestimmte Referenztypen die energetischen, klimarelevanten und wirtschaftlichen Einsparpotenziale. In Abhängigkeit von der Nutzungsart und den Eigentümerverhältnissen ergeben sich unterschiedliche KWK-Betreibermodelle die anhand der Beispiele näher beleuchtet werden.

Im Anschluss an die Potenzialanalyse werden **Maßnahmen** formuliert, die dazu beitragen sollen, den Ausbau von Nahwärme und der KWK in der Stadt Baden-Baden zu verstärken. Neben technischen Lösungen beinhaltet diese Maßnahmenübersicht auch strategische und organisatorische Aspekte. Die einzelnen Maßnahmen werden bewertet und mit Hilfe einer Prioritätenliste hierbei in konkrete Umsetzungsempfehlungen für die Stadt Baden-Baden überführt.

Parallel zu den genannten Arbeitsschritten wird im Rahmen der **Akteursbeteiligung** eine enge Zusammenarbeit mit lokalen Betrieben und Institutionen gesucht. Ständige Ansprechpartner sind hierbei die Stadtverwaltung als auch die Stadtwerke Baden-Baden, die als lokaler Netzbetreiber und Energieversorger einen großen Teil der bisher realisierten Nahwärmeversorgungen in Baden-Baden mit realisiert haben. Speziell für die Ermittlung der KWK-Potenziale konnte eine Vielzahl von Unternehmen gewonnen werden, die relevante Energieverbrauchsdaten für die Bearbeitung der Studie zur Verfügung gestellt haben.

Die Ergebnisse des vorliegenden Wärmekonzepts werden im Rahmen der **Öffentlichkeitsarbeit** auf der Homepage der Stadt Baden-Baden und in den lokalen Printmedien veröffentlicht sowie nach Projektabschluss in einer öffentlichen Abschlusspräsentation der Bevölkerung zugänglich gemacht.



BESTANDSANALYSE

3. Bestandsanalyse

3.1. Grundlagenermittlung

Der Stadtkreis Baden-Baden gliedert sich in elf verschiedene Stadtteile. Neben den zentral gelegenen und miteinander verbundenen Stadtteilen Oos, Weststadt, Innenstadt und Lichtental liegen die weiteren Stadtteile auf dem Gemarkungsgebiet verstreut. Lediglich im Rebland besteht ein weiterer zusammenhängender Siedlungsverbund mit den Stadtteilen Neuweier, Steinbach und Varnhalt. Bedingt durch diese gewachsene Siedlungsstruktur der Kernstadt Baden-Baden entlang des Oostals hat sich auch die Energieinfrastruktur entwickelt. Die für das integrierte Wärmekonzept anstehende Grundlagenermittlung konzentriert sich aufgrund den Themenschwerpunkten Nahwärme und KWK speziell auf die Gebäude- und Energieinfrastruktur. Mit den Ergebnissen aus der Grundlagenermittlung wird am Ende dieses Kapitels eine erste Gebietseingrenzung vorgenommen.

3.1.1 Gebäudeinfrastruktur

Im Rahmen der Grundlagenermittlung erfolgt zunächst die Analyse der vorhandenen Bebauungsstruktur im Untersuchungsgebiet. Die Nutzung der GIS-Software „Quantum GIS“ erlaubt dabei eine vereinfachte, grafische Darstellung der einzelnen Gebiete und die Verknüpfung relevanter Informationen in Datenbanken. Auf Basis des digitalen Liegenschaftskatasters der Stadt Baden-Baden und mit Hilfe von Luftbildern wurde der Gebäudebestand in die GIS-Software aufgenommen und in Gebietstypen eingeteilt. Die Einstufung einzelner Gebiete kann dabei anhand verschiedenster Kriterien durchgeführt werden. Um eine auf die Aufgabenstellung hin abgestimmte und zielgerichtete Kategorisierung der Gebiete zu erreichen, sind folgende Teilaspekte auf Gebäude- und Quartiersebene in der Analyse berücksichtigt:

- Gebäudeanzahl
- Gebäudegrundfläche
- Hauptnutzung
- Bebauungsdichte
- Siedlungstypologie

Im ersten Schritt wurden daher die einzelnen **Gebäude** auf dem Gemarkungsgebiet und deren **Gebäudegrundfläche** erfasst. In Baden-Baden sind dabei rund 14.500 Einzelgebäude in dem GIS-System registriert (ohne separater Erfassung von Garagen und weiteren untergeordneten Einzelbauten). Die Gebäudegrundfläche des gesamten Gebäudebestands beträgt dabei rund 2,6 Mio. m². Rund 20 % der Gebäude und 23 % der Gebäudegrundfläche befindet sich im Stadtteil Innenstadt, der damit den größten Anteil an der Gebäudeinfrastruktur in Baden-Baden besitzt. Der Stadtteil Oos weist die Besonderheit auf, dass er mit einem Anteil von 11 % an den Gebäuden gleichzeitig rund 17 % der Gebäudegrundfläche einnimmt. Bedingt ist dies durch die relativ hohe Anzahl an Gewerbebauten, die je Gebäude eine tendenziell größere Gebäudegrundfläche haben. Die örtliche Verteilung der einzelnen Gebäude und deren Grundflächenanteile auf die einzelnen Stadtteile können in der nachfolgenden Abbildung eingesehen werden.

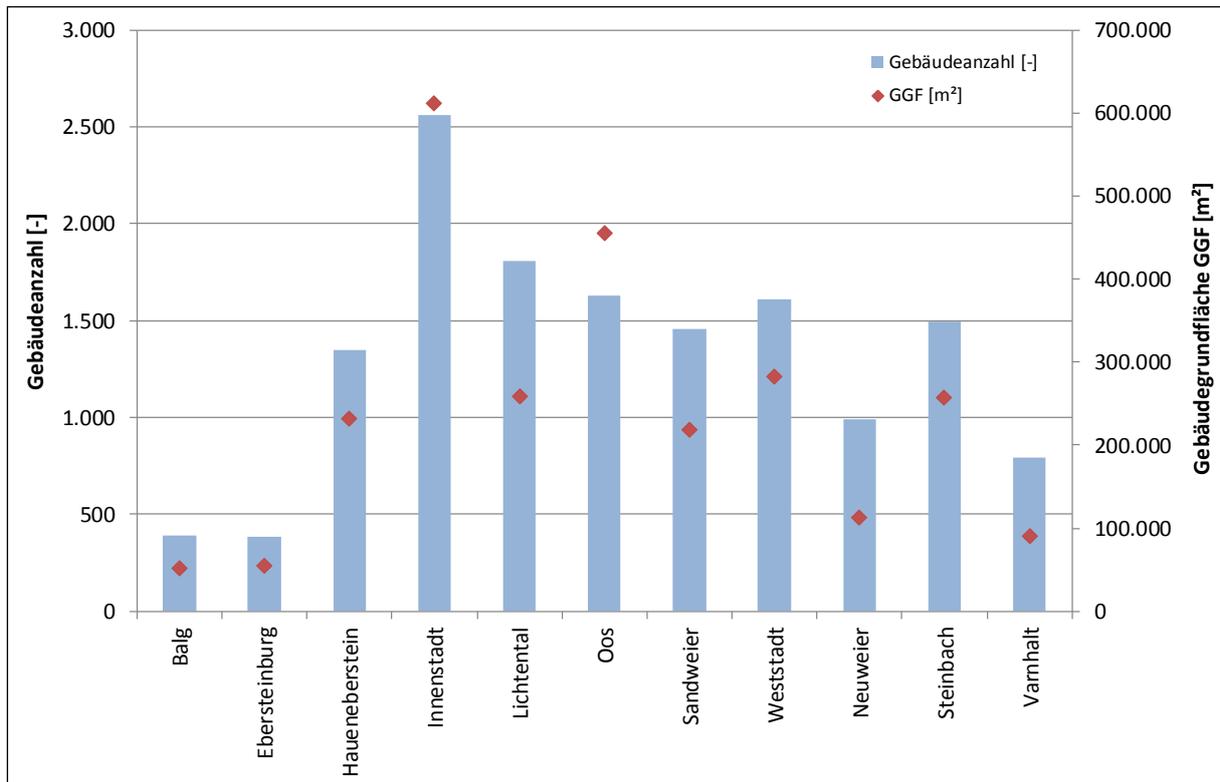


Abbildung 1: Analyse des Gebäudebestands – Stadtteile und Gebäudegrundfläche

Bei der Betrachtung von Abbildung 1 wird ersichtlich, dass eine deutliche Konzentration der Gebäudeanzahl (rund 53 %) und der Gebäudegrundfläche (61 %) auf die vier zentralen Stadtteile Oos, Weststadt, Innenstadt und Lichtental vorliegt.

In einem zweiten Schritt werden den einzelnen Gebäuden **Nutzungskategorien** zugewiesen. Die Information über die Nutzungsart eines Objekts stammt aus dem digitalen Liegenschaftskataster der Stadt Baden-Baden und erlaubt eine erste Einteilung der Einzelgebäude in Gebiete mit mehrheitlich gleichen Eigenschaften. Insgesamt neun verschiedene Hauptnutzungsarten stehen zur Einstufung der einzelnen Gebäude zur Verfügung. Die Nutzungsarten spielen eine zentrale Rolle bei der Bewertung des Energiebedarfs. Denn in Abhängigkeit von der Nutzungsart ergeben sich bereits auf dieser übergeordneten Ebene signifikante Unterschiede bei der Betrachtung der Nutzungslastprofile für die Bereiche Wärme und Strom. In Abbildung 2 sind folgende Nutzungskategorien abgebildet:

- Gesundheit und Bäderbetriebe
- Gewerbe, Handel, Dienstleistung
- Hotel
- Industrie
- Mischnutzung
- Öffentliche Verwaltung
- Sondernutzung
- Wohnnutzung
- Sonstige

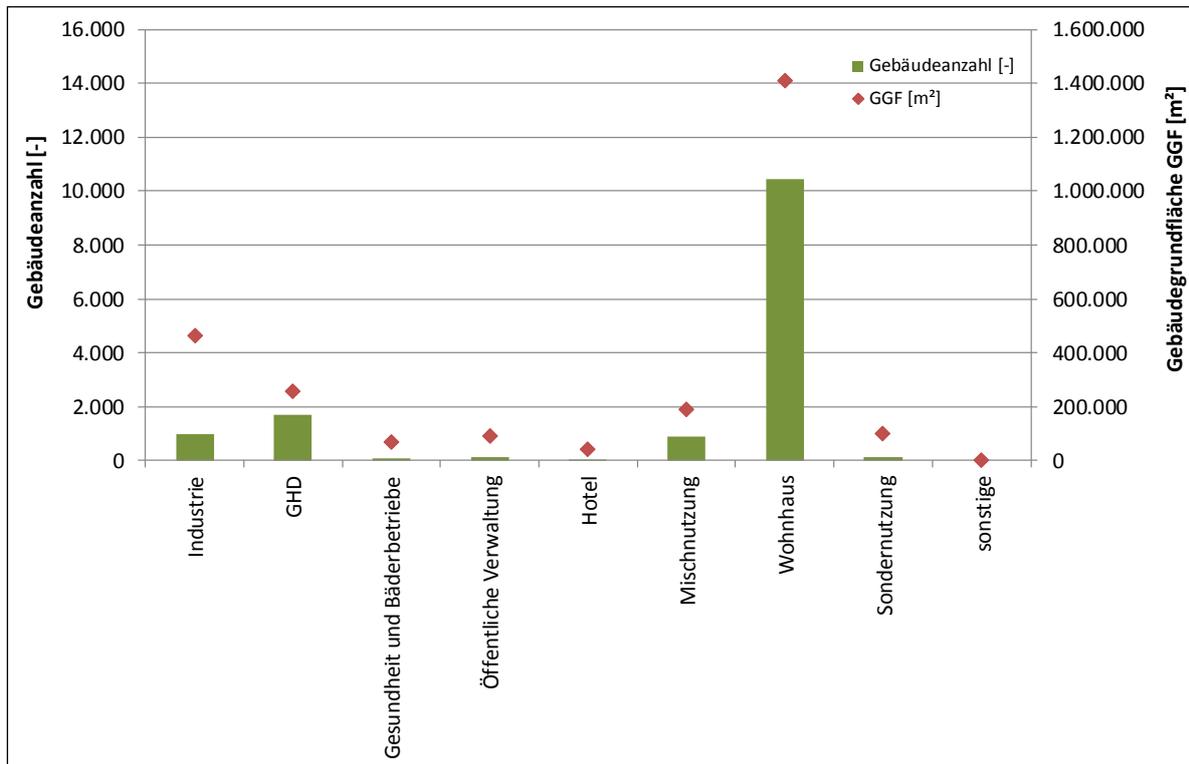


Abbildung 2: Analyse des Gebäudebestands – Stadtteile und Nutzungen

Die Analyse in Abbildung 2 verdeutlicht den Einfluss der Wohnnutzung auf dem Gebiet der Stadt Baden-Baden. Rund 70 % der Gebäude sind dabei der Kategorie Wohnen zuzuordnen. Auch bei der Betrachtung der Gebäudegrundfläche nimmt diese Kategorie mit einem Anteil von 53 % den größten Wert ein.

Mit der Übersichtskarte in Abbildung 3 kann die örtliche Verteilung der Gebäudenutzungskategorien dargestellt werden. Gemäß der gewünschten Planungswirkung eines Flächennutzungsplans werden zum Teil klare Gebietsabtrennungen ersichtlich. Die daraus abgeleiteten Gebietsabgrenzungen werden im Laufe der Projektarbeit weiter genutzt, um die einzelnen Gebiete (insgesamt 280 Stück) hinsichtlich Gebäudeinfrastruktur und Energiebedarf zu beschreiben. Ausgehend von dem Innenstadtbereich, in dem eine Mischnutzung aus Wohnen und Gewerbe vorherrscht, können in der direkten Umgebung reine Wohngebiete identifiziert werden. Ebenso liegen im Innenstadtbereich einzelne Quartiere die eindeutig dem Bereich Gesundheit und Bäderbetrieb zugeordnet werden können und als Merkmal der Bäderstadt Baden-Baden gelten. Entlang dem Oostal sind ausschließlich Gebiete mit Wohn- und Mischnutzung zu erkennen, die die Stadtteile Oos und Innenstadt miteinander verbinden. In dem Stadtteil Oos befinden sich erste Gewerbegebiete mit Großverbrauchern. Die Ansiedelung von Gewerbegebieten auf dem Stadtgebiet konzentriert sich dabei auf die Stadtteile Haueneberstein, Oos, Sandweier und das Rebland. Als reine Randgebiete schaffen die Gewerbegebiete eine klare räumliche Trennung zu den angrenzenden Wohngebieten.

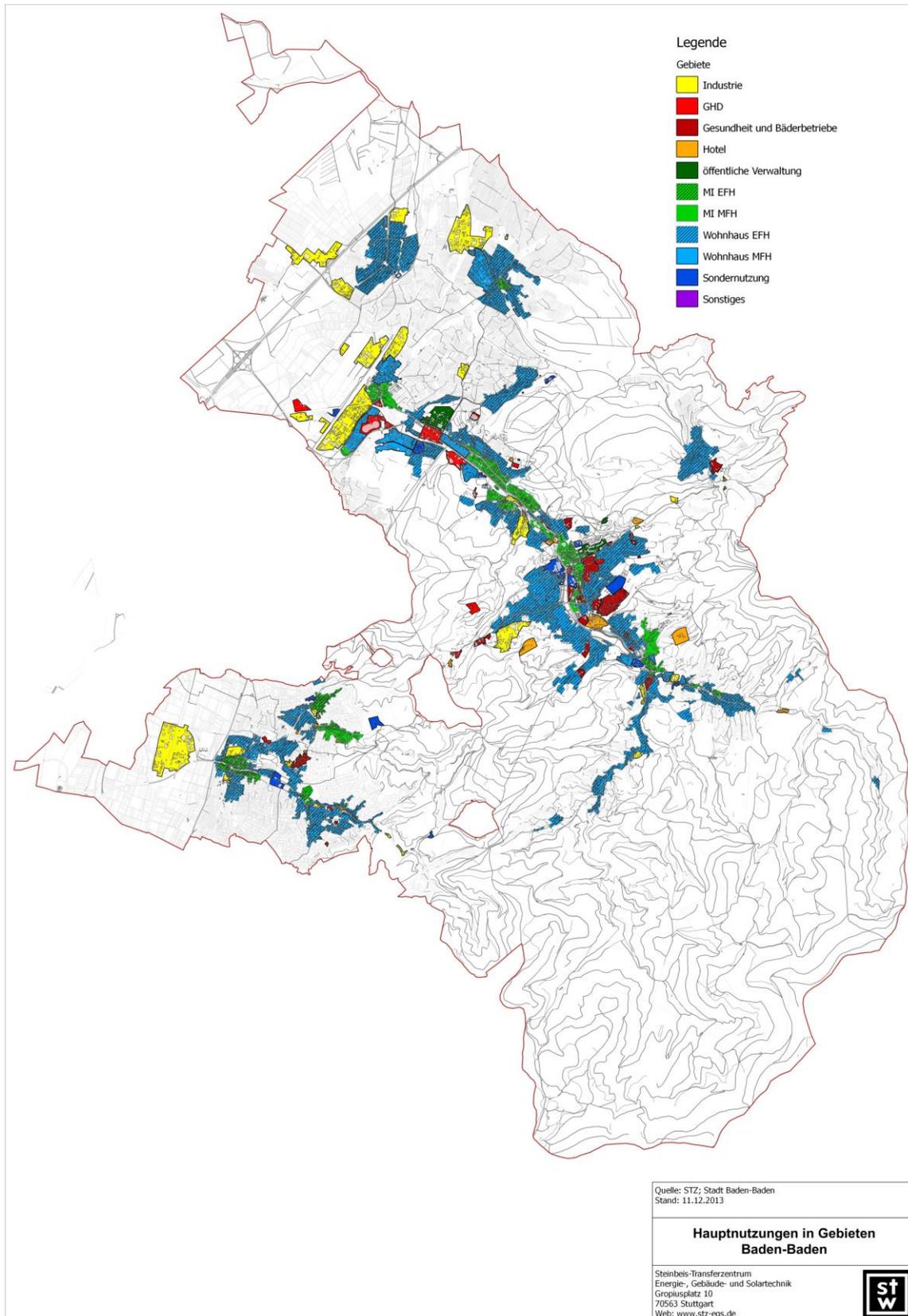


Abbildung 3: Gebäudehauptnutzungsarten in den Einzelgebieten

Im Hinblick auf die Wärmestudie hat die Gebäudenutzung eine besondere Bedeutung. Speziell die gewerblichen Großverbraucher der Nutzungskategorien Gesundheit und Bäderbetriebe, Hotel und Mehrfamilienhaus sollen dabei genauer bezüglich ihrer KWK-Eignung analysiert werden.

Eine weitere Größe zur Beschreibung der einzelnen Gebiete ist die **Bebauungsdichte**. Der hier verwendete Begriff Bebauungsdichte ist per Definition das Verhältnis von Gebäudegrundfläche und Gebietsfläche. Die Formel hierzu lautet:

$$\text{Bebauungsdichte} = \frac{\text{Gebäudegrundfläche [m}^2\text{]}}{\text{Gebietsfläche [m}^2\text{]}}$$

Die Bebauungsdichte ist damit eine Kennzahl, die beschreibt, in welchem Maße ein Gebiet überbaut ist. Eine Bebauungsdichte von 0 steht für ein unbebautes Feld. Eine Bebauungsdichte von 0,5 bedeutet, dass die Hälfte des Gebietes überbaut ist. In der Abbildung 4 sind die Bebauungsdichten der einzelnen Gebiete dargestellt. Die Grafik verdeutlicht sehr gut, dass mehrheitlich Siedlungsstrukturen mit einer geringen Bebauungsdichte unterhalb von 0,30 existieren. Lediglich im Innenstadtbereich befinden sich Gebiete mit einer deutlich höheren Bebauungsdichte im Bereich von 0,40 und höher. In der Weststadt, entlang des Oostals, sind ebenfalls Gebiete mit einer höheren Bebauungsdichte von 0,30 bis 0,40 auszumachen. Dabei handelt es sich um Grundstücke mit einer Zeilenbebauung mit Mehrfamilienhäusern. Ebenso kann in den alten Gemeindekernen von Haueneberstein und dem Rebland eine erhöhte Bebauungsdichte registriert werden. Gerade bei diesen beiden Beispielen resultiert die erhöhte Bebauungsdichte aus der gewachsenen Struktur in den städtischen Dorfkernen. In der Regel befand sich schon früh um diese Kernzentren der Siedlungen eine Randbebauung, so dass in den Dorfkernen eine ungeplante Nachverdichtung, bedingt durch die begrenzten Platzverhältnisse, erfolgen musste.

Unabhängig von der der Gebäudeart, dessen Nutzung und der Geschossigkeit kann mit der Bebauungsdichte eine erste Aussage über die mögliche Wärmedichte getroffen werden. Gebiete mit einer hohen Bebauungsdichte weisen in der Regel einen höheren absoluten Wärmebedarf auf als Gebiete mit niedriger Bebauungsdichte. Wobei zu vermerken ist, dass bei dieser Näherungsgröße keine Information über die Nutzung und die Gebäudenutzfläche enthalten ist, die sich jedoch auf den Energiebedarf im Gebäude direkt auswirkt. Um diese Aspekte in die Analyse mit aufnehmen zu können, wird aufbauend auf der Bebauungsdichte, die Siedlungstypologie in den einzelnen Gebieten näher beleuchtet.

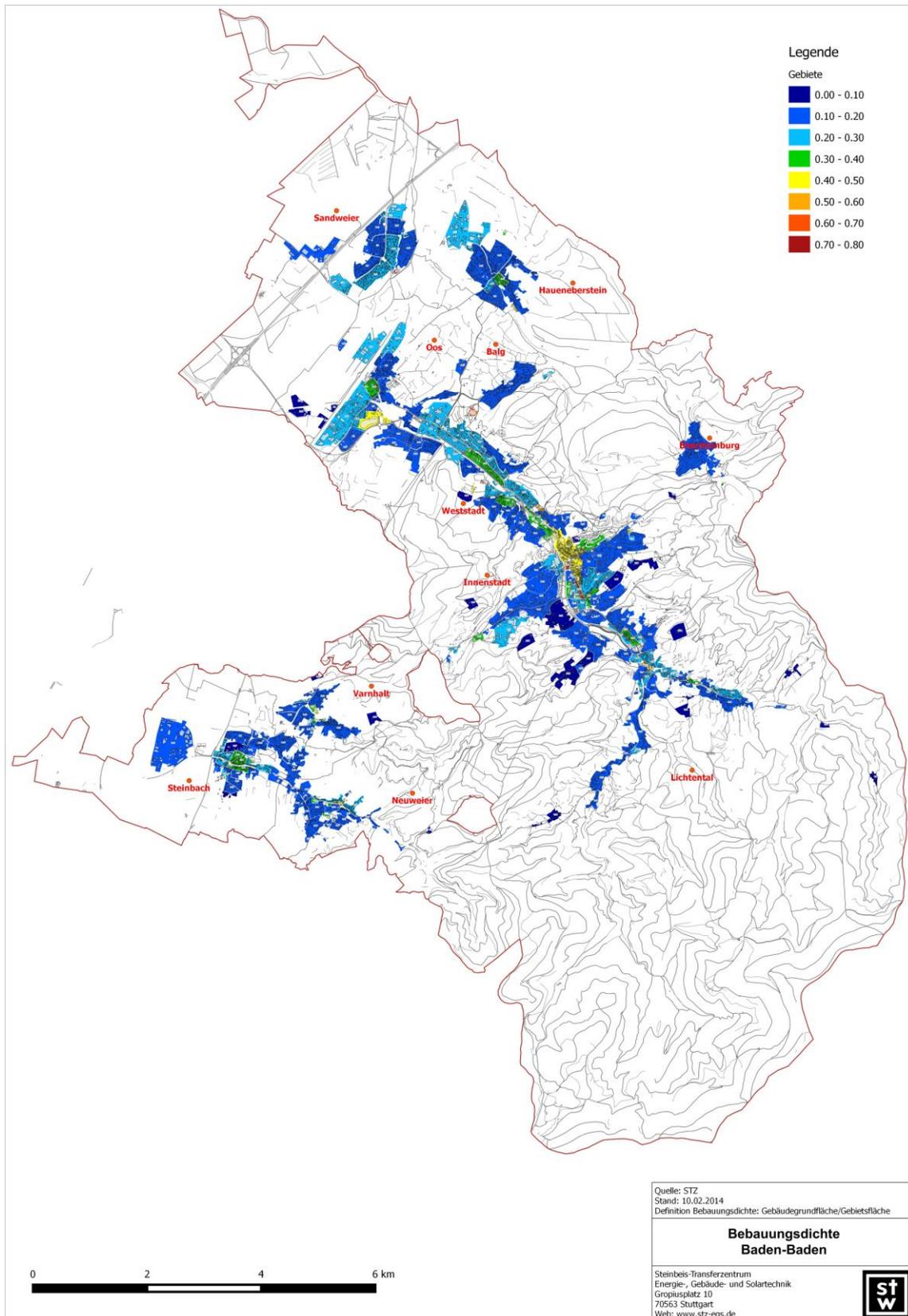


Abbildung 4: Bebauungsdichte je Einzelgebiet

Auf Basis der in Abbildung 3 vorgenommenen räumlichen Gebietseinteilung werden die Gebiete nun anhand verschiedener **Siedlungstypologien** kategorisiert. Die Abgrenzung erfolgt dabei aufgrund der jeweiligen Gebäudetypen und deren Anordnung zueinander innerhalb des Gebiets. Indirekt kann damit eine Verfeinerung beziehungsweise Konkretisierung der Bewertungsgröße „Bebauungsdichte“ erreicht werden. Indem zusätzliche Parameter wie die Gebäudetypologie und die Bebauungsdichte zusammengeführt werden, kann die prinzipielle Eignung der Gebiete für eine zentrale Wärmeversorgung konkreter bewertet werden.

Die Einstufung berücksichtigt unterschiedliche Gebäudetypen, wie z.B. Einfamilienhäuser, Reihenhäuser, Mehrfamilien- und Hochhäuser, Gewerbebauten, größere Bildungs- oder Verwaltungsgebäude und sonstige Bauten. Ebenso wird bei der Klassifizierung einzelner Siedlungstypologien die Anordnung einzelner Gebäude untereinander berücksichtigt. Denn einzelne Gebäude können in einer lockeren offenen Bebauung, in einem strukturierten Dorfkern oder einer Wohnsiedlung gewachsen sein. Daneben können Unterscheidungen wie zum Beispiel Reihenhaussiedlung, Zeilenbebauung oder Blockbebauung eine Einstufung erleichtern. Insgesamt resultieren zehn verschiedene Siedlungstypologien die eine Sortierung der einzelnen Gebiete ermöglichen. Die in diesem Konzept zugrunde liegenden Siedlungstypologien lauten:

- ST 1: Offene Bebauung
- ST 2: Einfamilienhaus (EFH)/ Doppelhaus (DH)
- ST 3b: Ländlicher Dorfkern
- ST 4: Reihenhaussiedlung
- ST 5a: Kleine Mehrfamilienhäuser (MFH)
- ST 5b: Reihenhäuser/ große Mehrfamilienhäuser
- ST 7a: Blockbebauung
- ST 8: Citybebauung
- ST 10: Gewerbe und Industrie
- ST 11: Campus

Die hier aufgeführte Definition der Siedlungstypologien ist angelehnt an [Erhorn-Kluttig, 2011] und ergänzt um die Siedlungstypen 10 und 11 für Nicht-Wohngebäude. In der folgenden grafischen Übersicht sind die Merkmale der einzelnen Siedlungstypologien abgebildet.

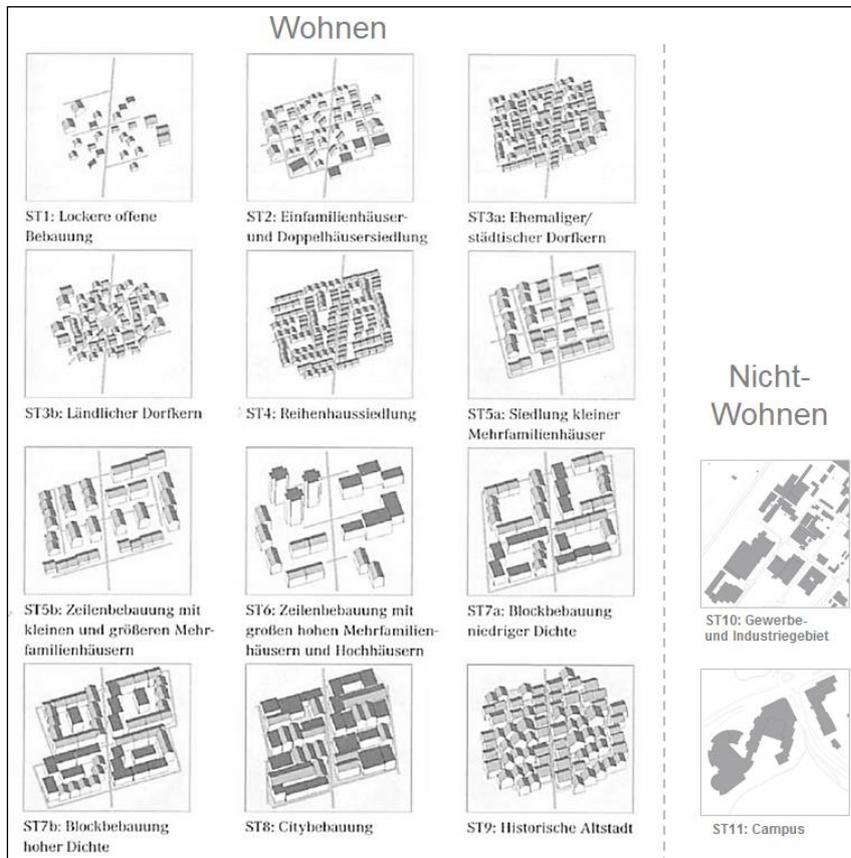


Abbildung 5: Schema der Siedlungstypologien nach [Erhorn-Kluttig, 2011]

In Abbildung 6 ist die bereits bekannte Gebietsübersicht auf dem Gemarkungsgebiet der Stadt Baden-Baden dargestellt. Die einzelnen Siedlungstypologien sind darin farblich markiert.

Ausgehend von der Innenstadt in Baden-Baden erstrecken sich südwestlich und nordöstlich mehrheitlich Gebiete mit offener Bebauung. Entlang des Tals Richtung Oos sind Siedlungsstrukturen mit größeren Gebäudeeinheiten (Mehrfamilienhäuser, Reihenhäuser) vorhanden. Wie bereits bei der Bewertung der Bebauungsdichte heben sich zusätzlich die Gewerbegebiete in Oos, Sandweier, Haueneberstein und im Rebland auch hinsichtlich der Siedlungsstruktur von den angrenzenden Wohngebieten ab.

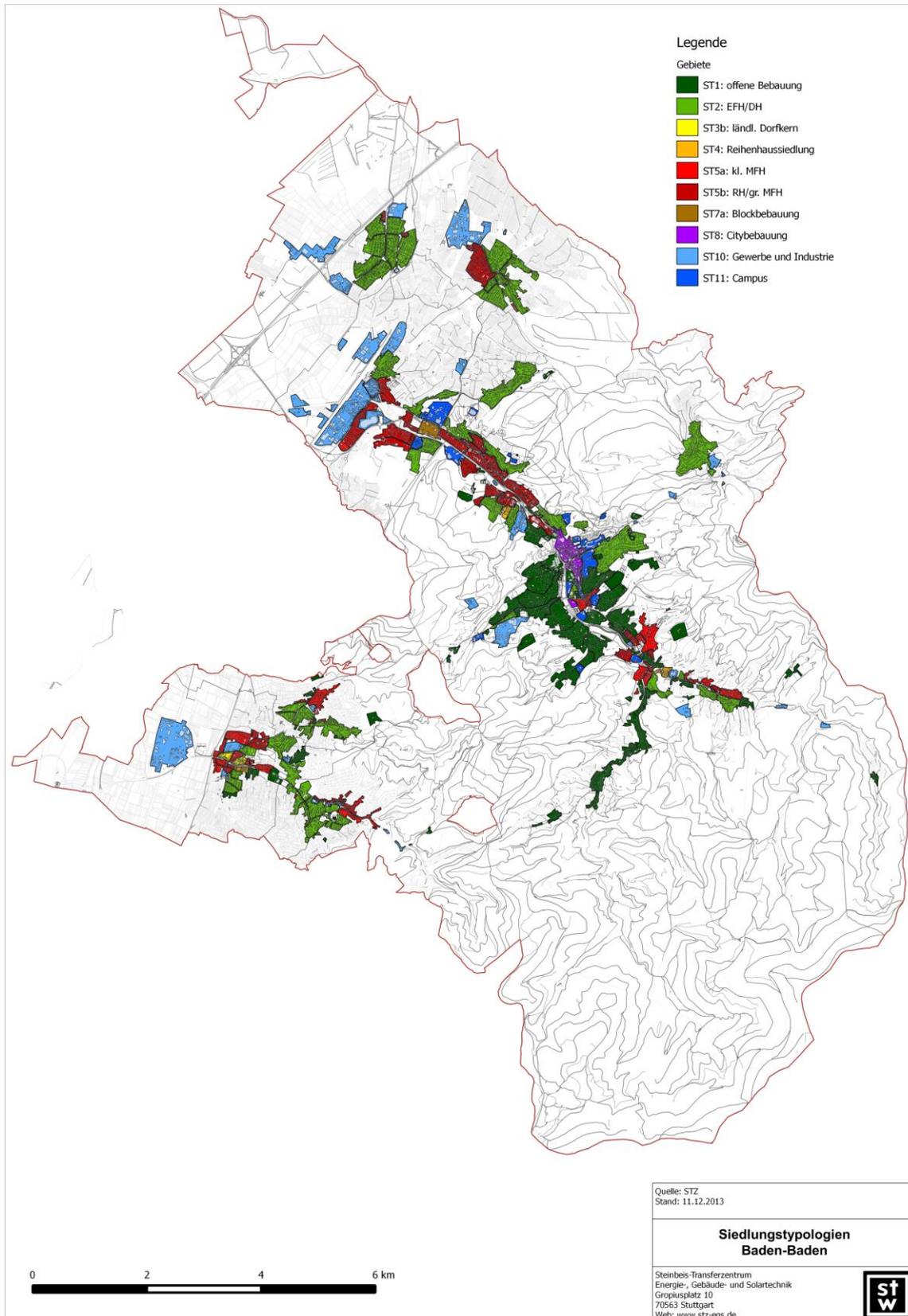


Abbildung 6: Siedlungstypologien in den Einzelgebieten

Die Bestandsanalyse der Gebäudeinfrastruktur bildet den ersten Grundstein bei der Bearbeitung des integrierten Wärmekonzepts. Auf Basis der erarbeiteten Ergebnisse werden in Kapitel 3.3 die bisherigen neutral präsentierten Bewertungsgrößen interpretiert. Indem die einzelnen Gebietseinstufungen nach der Gebäudenutzung, der Bebauungsdichte als auch der Siedlungstypologie ganzheitlich analysiert werden, können erste grundlegende Tendenzen hinsichtlich der Eignung für eine zentrale Wärmeversorgung abgeleitet werden.

Prinzipiell gilt, dass für eine zentrale Wärmeversorgung eine bestimmte Mindestwärmedichte vorliegen sollte. Denn unabhängig von der Wärmemenge, die von den Letztverbrauchern abgenommen wird, weist eine zentrale Wärmeversorgung kontinuierliche Wärmeverluste über die Verteilleitungen auf. Bei einer hohen Wärmedichte liegen diese Wärmeverteilverluste auf einem relativ niedrigen Niveau und werden daher im Betrieb mit in Kauf genommen. Bei einer niedrigen Wärmedichte, die dann auftreten kann, wenn eine geringe Bebauungsdichte vorliegt oder die einzelnen Gebäude einen niedrigen Energiebedarf haben (z.B. EFH haben per se einen geringeren Energiebedarf als MFH), nehmen die Wärmeverteilverluste einen relativ hohen Anteil ein und dann ist eine Wärmeversorgung besser dezentral zu realisieren.

Die Analyse der Gebäudeinfrastruktur kann somit Anhaltspunkte liefern, muss jedoch im Rahmen eines integrierten Wärmekonzepts durch eine Analyse der Energieinfrastruktur und des Energiebedarfs ergänzt werden. Aus diesem Grund erfolgt im nächsten Kapitel die Analyse des gebäuderelevanten Energiesektors in der Stadt Baden-Baden.

3.1.2 Energieinfrastruktur

Parallel zur vorhergehenden Analyse der Gebäudeinfrastruktur wird im folgenden Kapitel die Energieinfrastruktur in Baden-Baden näher betrachtet. Das Ziel des Wärmekonzepts besteht unter anderem darin, potenzielle Gebiete für eine Nahwärmeversorgung zu identifizieren und die KWK-Nutzung für bestimmte Betriebe zu bewerten. Aus diesem Grund wird zunächst der Status Quo der Energieversorgung erfasst. Denn abhängig von der bisherigen Ausgangssituation und den lokalen Verhältnissen steht und fällt sowohl die technische als auch die wirtschaftliche Umsetzbarkeit von zusätzlichen zentralen Wärmeversorgungssystemen oder von KWK-Konzepten in Betrieben.

Für eine ganzheitliche Analyse wird daher als nächstes die Verfügbarkeit der leitungsgebundenen Energieträger wie Erdgas, Fernwärme und Strom in dem Stadtgebiet untersucht. Aufbauend auf der Analyse der Energienetze wird im Anschluss die aktuelle Versorgungssituation der einzelnen Gebäude betrachtet. Denn das Vorhandensein von Energienetzen bedingt nicht zwangsläufig die Versorgung mit einem leitungsgebundenen Energieträger. Bei der anstehenden Erfassung der KWK-Potenziale werden ebenfalls vorab die bereits vorhandenen KWK-Anlagen in Baden-Baden registriert und einer statistischen Analyse unterzogen. Folgende Bereiche werden nun sukzessive beleuchtet:

- Energienetze (Gas, Fernwärme, Strom)
- Energieversorgung der Gebäude
- BHKW-Nutzung

Energienetze und -versorgung

Die Stadtwerke Baden-Baden betreiben auf dem Stadtgebiet die Gas-, Fernwärme- und Stromnetze. Die zentrale Netzleitstelle der Stadtwerke steuert und überwacht dabei mit modernster Technik rund um die Uhr das gesamte Versorgungsnetz sowie die technischen Versorgungsanlagen. Mit den Stadtwerken als Projektpartner bei der Erarbeitung des integralen Wärmekonzepts konnte daher auf eine breite Datenbasis und Informationen über die Energienetze zurückgegriffen werden.

Lediglich im Rebland sind die Stadtwerke nicht Betreiber des Gasnetzes. Die erforderlichen Daten werden hierbei durch die badenova AG bereitgestellt.

Die relevanten Daten über das Gas-, Fernwärme- und Stromnetz liegen bei den Stadtwerken in Form von GIS-Daten vor. Damit können die Netzdaten einfach grafisch aufbereitet und bei Bedarf auch Datenbankinformationen für Detailauskünfte herangezogen werden.

Auf dem Gemarkungsgebiet der Stadt Baden-Baden befindet sich ein **Gasleitungsnetz** mit einer Gesamtlänge von ca. 340 km. An den Ferngasübernahmestationen Klärwerk und Sandweier wird durch eine Erdgasentspannungsanlage der Druck des Erdgases vom Vorlieferanten auf unseren Netzdruck (Hochdruck) reduziert und zu den einzelnen Reglerstationen verteilt [Gas, 2014]. Das Stadtgebiet ist flächendeckend mit Gas versorgt. Dennoch kommt es vor, dass vereinzelte Gebäude oder Quartiere in peripherer Lage keinen Gasanschluss haben.

Über zwei **Fernwärmezentralen** beliefern die Stadtwerke Baden-Baden etliche Gebäude mit Wärme. Das größere Fernwärmenetz ist an die Heizzentrale im Rotenbachtal angeschlossen und versorgt rund 60 Liegenschaften in der Innenstadt von Baden-Baden. Im Rotenbachtalnetz wird die Fernwärme durch einen Holzhackschnitzelkessel und ein BHKW bereitgestellt. Als Redundanz stehen drei weitere Öl- und Gaskessel für die Wärmeerzeugung zur Verfügung. In dem kleineren Fernwärmenetz Briegelackerstraße erfolgt die Wärmeerzeugung über einen Holzkessel und mehrere Gaskessel. Über das Wärmenetz der Briegelackerstraße, mit einer Gesamtlänge von 500 m, werden mehrere Wohn-, Verwaltungs-, Sozial- und Bürogebäude in der Briegelackerstraße und der näheren Umgebung mit Wärme beliefert [Fernwärme, 2014].

Das **Stromnetz** in Baden-Baden ist flächendeckend vorhanden. Über zwei 110 kV-Umspannstationen und einer 20 kV-Übergabestation wird der Strom von zwei vorgelagerten Netzbetreibern übernommen und über 110.000 Volt-, 20.000 Volt- und 400 Volt-Leitungen zu den Letztverbrauchern geliefert [Strom, 2014]. Damit können alle Endkunden und Gebäude über das öffentliche Netz mit Strom versorgt werden.

In Abbildung 7 ist der Gas-Versorgungsgrad der einzelnen Gebäude auf dem gesamten Stadtgebiet aufgezeigt.

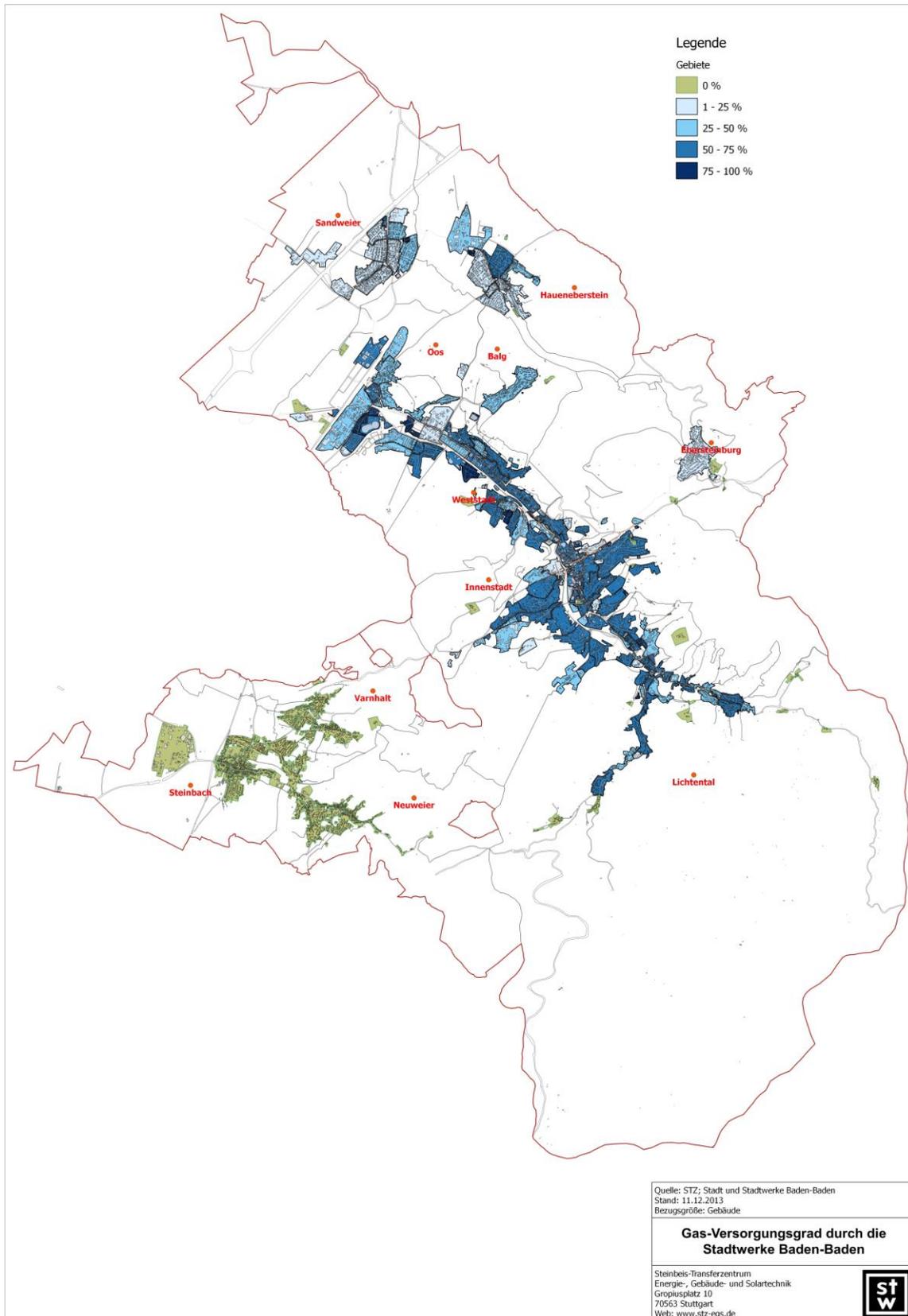


Abbildung 7: Gas-Versorgungsgrad durch die SW Baden-Baden

Bei der Analyse des Gas-Versorgungsgrads in den einzelnen Gebieten wird deutlich, dass speziell im Innenstadtbereich und entlang der Hauptachse im Oostal ein relativ hoher Versorgungsgrad von 50 – 75 % der Gebäude existiert.

Der Gas-Versorgungsgrad berechnet sich hierbei indem die Anzahl der Gebäude mit Gasverbrauch durch die Gesamtzahl der Gebäude innerhalb eines vordefinierten Gebiets dividiert wird. Die zugrundeliegende Formel zur Berechnung des Gas-Versorgungsgrads lautet dabei:

$$\text{Gas – Versorgungsgrad} = \frac{\text{Anzahl der Gebäude mit Gasverbrauch [-]}}{\text{Gesamtzahl der Hauptgebäude [-]}}$$

In den Ortsteilen Sandweier, Haueneberstein und Ebersteinburg liegt der Gasversorgungsgrad teilweise flächig unter 25 % in den Wohngebieten. Die Wärmeversorgung erfolgt in diesen Stadtteilen mehrheitlich über andere, nicht leitungsgebunden Energieträger obwohl das Gasnetz auch in diesen Bereichen flächendeckend vorhanden ist. Die Tatsache, dass sich der Gasversorgungsgrad bisher auf diesem niedrigen Niveau befindet, kann daran liegen, dass die Erschließung dieser Stadtteile mit Erdgas erst relativ spät geschehen ist. Aus diesem Grund befinden sich vermutlich noch viele Heizungsanlagen aus der Zeit vor der Erschließung mit Gas in Betrieb. Diese Heizungsanlagen werden in der Regel mit Heizöl betrieben. Im Zuge einer Heizungserneuerung wird jedoch zukünftig sukzessive der Anteil von gasbetriebenen Heizungsanlagen in diesen Gebieten steigen.

In Abbildung 7 ist das gesamte Rebland mit einem Gasversorgungsgrad von null Prozent gekennzeichnet. Der Grund hierfür liegt an der fehlenden detaillierten Datengrundlage für das Gasnetz. Für das Wärmekonzept wurde für die einzelnen Gebiete der kumulierte Gasverbrauch durch die badenova AG bereitgestellt. Jedoch benötigt man für die Berechnung des hier verwendeten Gasversorgungsgrads die gebäudescharfe Angabe zu den einzelnen Gasverbrauchsstellen.

BHKW-Nutzung

Innerhalb des Wärmekonzepts sollen in der Potenzialanalyse weitere geeignete Verbraucher für den Einsatz von KWK gefunden werden. Zunächst sind daher die bisherigen KWK-Anlagen zu identifizieren. Insgesamt befinden sich auf dem Gemarkungsgebiet der Stadt Baden-Baden im Jahr 2014 59 KWK-Anlagen in Betrieb. Von diesen Anlagen werden zwei Stück mit Biogas betrieben und die restlichen verwenden den Brennstoff Erdgas. Bei der Betrachtung der Anlagenzahl in Leistungsklassen wird ersichtlich, dass 67 % der Anlagen als Mini-KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung kleiner 10 kW_{el} betrieben werden. Die größte KWK-Anlage mit einer elektrischen Leistung von 1.200 kW_{el} befindet sich in der Heizzentrale des Fernwärmenetzes im Rotenbachtal.

Wird nun die gesamte installierte Leistung der KWK-Anlagen in Leistungsklassen eingeordnet, ergibt sich ein anderes Bild. Kleinanlagen unter 10 kW_{el} nehmen nur noch einen Anteil von 6 % der Gesamtleistung ein. Den zweitgrößten Anteil mit 14 % weisen die Anlagen mit einer Leistung von 50 – 100 kW_{el} auf (neun Anlagen). Den größten Beitrag an der Gesamtleistung leisten sechs Anlagen mit einer Gesamtleistung von 2.600 kW_{el}. In Abbildung 8 sind die BHKW-Daten grafisch aufbereitet.

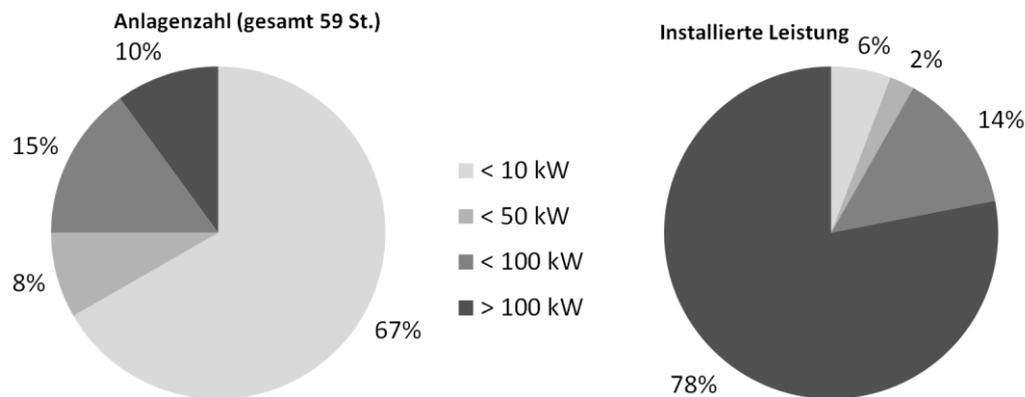


Abbildung 8: BHKW-Anlagenauswertung

Die örtliche Verteilung der KWK-Anlagen, die sich bisher im Betrieb befinden, kann in Abbildung 9 eingesehen werden. Auf der Karte ist eine weitestgehend gleichmäßige Verteilung der KWK-Anlagen auf die einzelnen Stadtteile erkennbar. Lediglich in dem Stadtteil Ebersteinburg existiert noch keine KWK-Anlage.

Bei der Analyse der Eigentümer- und Betreiberstruktur kann auf Einspeisedaten der Stadtwerke Baden-Baden zurückgegriffen werden. Dabei ist eine große Bandbreite zu erkennen. Mini- und Klein-KWK-Anlagen sind mehrheitlich in Wohnhäusern bei Privatpersonen oder Wohnungseigentümergeinschaften in Betrieb. Größere KWK-Anlagen werden in kommunalen Liegenschaften, Gewerbeeinheiten, Bäderbetrieben, Kliniken oder in den Heizzentralen für die Fernwärmebereitstellung eingesetzt.

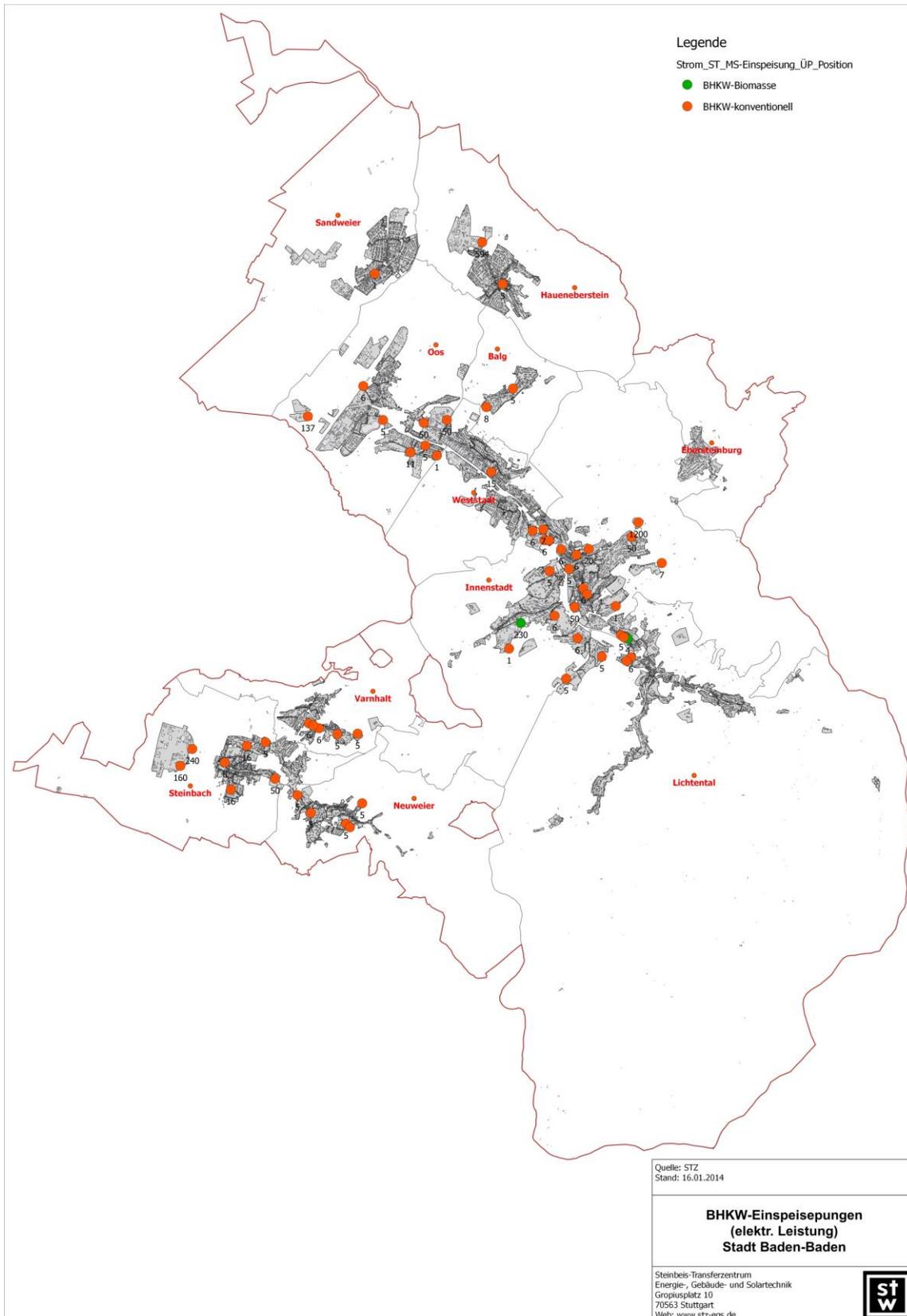


Abbildung 9: BHKW-Nutzung in Baden-Baden

3.2. Gebietseingrenzungen für Nahwärmeversorgungen

Für die Identifikation geeigneter Nahwärmegebiete wird in diesem Projekt eine selektive Vorgehensweise gewählt. Die in der Grundlagenermittlung gewonnenen Ergebnisse werden dazu genutzt, um eine Vorauswahl von dicht bebauten Gebieten zu treffen, welche grundsätzlich geeignet wären. Hierzu werden im Folgenden für die Kategorien Nutzung und Siedlungstypologie Ausschlusskriterien definiert, die dabei helfen, die Auswahl einzugrenzen.

In Kapitel 3.1.1 wurden die Gebäude in Gebiete mit gleicher Hauptnutzungsart zusammengefasst. Diese Gebietseinteilung stellt die Grundlage für die gesamte Projektbearbeitung dar. Die 280 Einzelgebiete werden nun anhand der Ausschlusskriterien vorgefiltert, um grundsätzlich nicht geeignete Gebiete in der weiteren Bearbeitung auszuschließen und damit das Datenaufkommen auf einem handhabbaren Niveau zu halten.

Bei der Beurteilung der Nahwärmeeignung einzelner Gebiete wird davon ausgegangen, dass lediglich Gebiete mit Gebäuden die eine hohe Energiedichte (bezogen auf die Gebäudegrundfläche) aufweisen, auch für eine potenzielle zentrale Wärmeversorgung in Frage kommen. Der Hintergrund ist dabei, dass eine Versorgung einzelner Gebäude mit niedrigem Energiebedarf einen unverhältnismäßig hohen Anteil an Verteilverlusten über das Wärmenetz mit sich bringt. Aus diesem Grund werden zur ersten Eingrenzung der Gebiete auf Basis der Kategorie Hauptnutzung folgende Nutzungsarten ausgeschlossen:

- Gebiete mit Mischnutzung mit überwiegend EFH (MI EFH)
- Reine Wohngebiete mit überwiegend EFH (Wohnhaus EFH)
- Sonstige Gebiete die keiner anderen Nutzungskategorie zugeordnet werden können. (Sonstige)

In einem zweiten Schritt erfolgt eine weitere Vorauswahl der nun bereits gefilterten Gebiete. Die Kategorie Siedlungstypologie wird herangezogen, um eine weitere Eingrenzung zu erreichen. Für die Bewertung der Siedlungstypologie wird neben der Gebäudenutzung auch die Anordnung der Gebäude untereinander in den Gebieten betrachtet. Ziel einer zentralen Wärmeversorgung ist es, bei möglichst kleinen Netzlängen die angebotenen Verbraucher versorgen zu können, um die Verteilverluste im Wärmenetz gering zu halten. Dies kann in dicht bebauten Siedlungsgebieten leichter erreicht werden. Zur weiteren Eingrenzung der prinzipiell geeigneten Gebiete werden folgende Siedlungstypologien von der vertiefenden Betrachtung vorab herausgefiltert:

- Gebiete mit einer offenen Bebauung (ST 1)
- Gebiete mit mehrheitlich EFH und DH (ST 2)

Nach der Gebietseingrenzung auf Basis der genannten objektiven Ausschlusskriterien wird im Folgenden eine Bewertung der verbliebenen Gebiete mit Hilfe eines subjektiven Filters ergänzt. Der subjektive Filter sieht eine Analyse der verbliebenen Gebiete anhand von Luftbildern vor. Mit dieser Methode kann erreicht werden, dass Gebiete, die bisher durch die Ausschlusskriterien nicht automatisch herausgefiltert wurden, nochmals manuell einer Überprüfung unterzogen werden. Durch die manuelle Prüfung werden dann auch einzelne

Gebiete erfasst, auf die zwar die Ausschlusskriterien nicht zutreffen, aber zum Beispiel aufgrund Ihrer räumlichen Lage oder der Tatsache, dass es sich um Einzelobjekte handelt, dennoch keine Nahwärmeeignung besitzen. Die verwendeten Luftaufnahmen stammen von den Online-Kartendiensten Google-Maps oder Bing und bieten hochauflösendes Bildmaterial für das Stadtgebiet Baden-Baden.

Das Ergebnis der ersten Eingrenzungsstufe unter Berücksichtigung der objektiven Filter (Nutzung und Siedlungstypologie) führt zu einer Reduktion der geeigneten Gebiete von ursprünglich 280 auf 97 Stück. Durch die Anwendung des subjektiven Filters kann erneut die Gebietszahl von 97 auf 67 Stück reduziert werden. In Tabelle 1 ist die Verteilung der einzelnen Gebiete, sowohl vor als auch nach der Vorauswahl durch die Filter, auf die einzelnen Stadtteile abgebildet. Von den 67 übrig gebliebenen Gebieten nach der Eingrenzungsstufe 1 konzentrieren sich diese auf die Innenstadt, Oos und die Weststadt. Damit liegt der Hauptteil der Gebiete auf dem primären Besiedlungsgebiet zwischen der Kernstadt Baden-Baden und der entlang des Oostals gewachsenen Siedlungsstruktur bis nach Oos.

Tabelle 1: Gebietsübersicht nach der Eingrenzungsstufe 1

	kein Filter	Siedlung/ Nutzung	+ Subj. Filter
Bald	4	0	0
Ebersteinburg	4	3	3
Haueneberstein	12	5	3
Innenstadt	63	21	18
Lichtental	53	10	7
Oos	26	22	17
Sandweier	13	6	4
Weststadt	26	16	12
Neuweier	30	7	0
Steinbach	29	6	3
Varnhalt	20	1	0
Gesamt	280	97	67

Als vorbereitende Analyse für die Potenzialermittlung werden zusätzlich zu der Eingrenzungsstufe 1 noch die Gebiete gekennzeichnet, in denen bereits eine zentrale Wärmeversorgung vorliegt. Das Ziel der Potenzialanalyse und des Wärmekonzepts besteht unter anderem darin, weitere Gebiete mit Nahwärmeeignung zu finden. Gebiete mit bestehender zentraler Wärmeversorgung tragen zu dem weiteren Potenzial auf dem Stadtgebiet nicht bei. Werden diese Gebiete zusätzlich herausgefiltert, so verbleiben **insgesamt 60 Gebiete** für die vertiefende Betrachtung im Rahmen der Potenzialanalyse übrig.

In der Abbildung 10 ist die örtliche Verteilung der möglichen Gebiete dargestellt, die in der Potenzialanalyse detailliert hinsichtlich der Wärmedichte untersucht werden. Die rot markierten Felder stehen für die grundsätzlich geeigneten Gebiete. Gelb hinterlegt sind die Gebiete, die aufgrund der Eingrenzungsstufe 1 ausgeschlossen wurden. Die grauen Bereiche repräsentieren die Gebiete mit bestehenden zentralen Wärmeversorgungssystemen. Darunter fallen unter anderen das Fernwärmenetz Rotenbachtal sowie die Nahwärmeversorgungen in der Briegelackerstraße und beim SWR am Fremersberg.

Neben einzelnen kleineren Gebieten im Innenstadtbereich und in Lichtental kann vor allem ein örtlicher Schwerpunkt in der Weststadt und in Oos identifiziert werden. Die zuvor ermittelte Eignung der Gebiete in der Innenstadt wird mit der Abbildung 10 wieder relativiert, da diese Gebiete bereits an die Fernwärmeversorgung der Heizzentrale im Rotenbachtal angeschlossen sind. Des Weiteren verdeutlicht die Kartendarstellung, dass eine Vielzahl der geeigneten Gebiete sich in Gewerbegebieten befindet.

Die Abbildung 10 bildet den Abschluss der Grundlagenermittlung für die Bewertung der grundsätzlichen Nahwärmeeignung von einzelnen Siedlungsgebieten auf dem Gemarkungsgebiet der Stadt Baden-Baden. Aufbauend auf den bisher gewonnenen Erkenntnissen wird in Kapitel 4 die Wärmedichte für die verbliebenen Gebiete ermittelt. In Abhängigkeit von der jetzigen Situation und einem Sanierungsszenario kann dabei die Aussage bezüglich der Nahwärmeeignung präzisiert werden. Für die potenziellen Nahwärmegebiete werden anschließend die örtlichen Randbedingungen, wie zum Beispiel die Verfügbarkeit von Energieträgern oder andere Wärmepotenziale, beleuchtet.

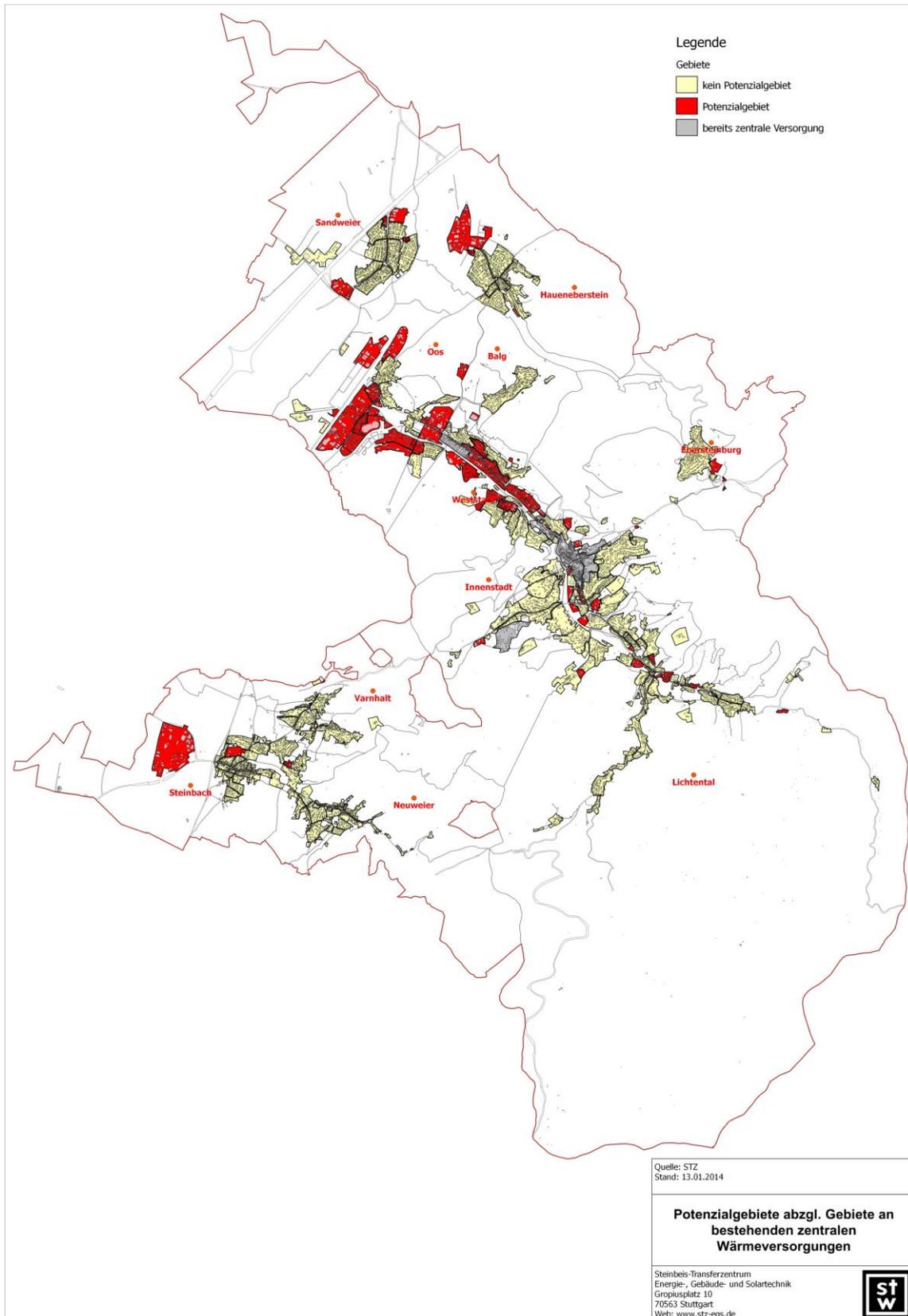


Abbildung 10: Örtliche Verteilung der 60 Potenzialgebiete nach der Eingrenzungsstufe 1

3.3. KWK-Randbedingungen

Im Rahmen der Grundlagenermittlung werden neben den zentralen Wärmeversorgungen auch die Rahmenbedingungen zur KWK-Nutzung in Baden-Baden untersucht. Zunächst erfolgt eine kurze Einführung in das Thema KWK. Es werden dabei die verschiedenen Technikvarianten und die generelle Vorteilhaftigkeit der KWK gegenüber einer getrennten konventionellen Erzeugung aufgezeigt. Die anschließende Analyse der grundsätzlich für eine KWK-Nutzung geeigneten Verbrauchergruppen konzentriert sich auf Betriebe und Einrichtungen mit hohem ganzjährigem Wärmeverbrauch. Die entsprechenden Verbrauchergruppen werden identifiziert und deren Verbrauchsprofile detailliert aufgearbeitet. Das folgende Kapitel beleuchtet die gesetzlichen und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Es wird darin aufgezeigt, welche Voraussetzungen erforderlich sind, um einen wirtschaftlichen Betrieb von KWK-Anlagen realisieren zu können.

3.3.1 Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung

Das Prinzip der KWK basiert auf der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme in einem Gerät. Gegenüber einer getrennten, konventionellen Erzeugung von Strom und Wärme ergeben sich dadurch in der Regel klare Effizienzvorteile und geringere Treibhausgasemissionen. In Abbildung 11 ist der Vergleich von KWK und einer getrennten Erzeugung am Beispiel einer Gebäudeenergieversorgung dargestellt. Das Objekt soll sowohl mit Wärme als auch mit Strom versorgt werden. In dem BHKW wird der Brennstoffenergiegehalt von 100 kWh in die benötigten Produkte Strom (35 kWh) und Wärme (55 kWh) umgewandelt. Die anfallenden Energieverluste in Höhe von 10 % sind dabei relativ niedrig. Wird die gleiche Menge an Strom und Wärme in dem Objekt durch eine konventionelle, getrennte Erzeugung bereitgestellt, so ist ein deutlich höherer Brennstoffbedarf (149 kWh) notwendig. Denn besonders die konventionelle Stromerzeugung in einem Kraftwerk ohne Wärmenutzung verursacht dabei hohe Energieverluste.

Neben dem positiven Aspekt der effizienteren Energienutzung gegenüber der getrennten Erzeugung spielt vor allem der dezentrale Erzeugungsgedanke bei kleineren KWK-Anlagen eine wichtige Rolle. Indem der Ort der Erzeugung und des Verbrauchs zusammengebracht werden, können weitere Verteilverluste über öffentliche Versorgungsleitungen durch den Einsatz dezentraler KWK-Anlagen vermieden werden.

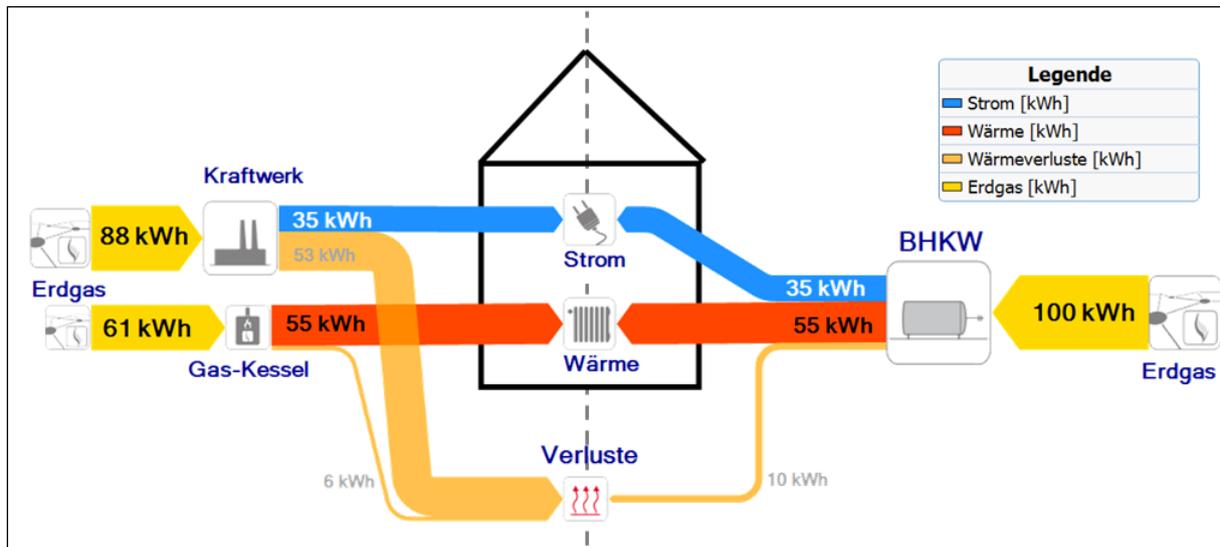


Abbildung 11: Technikvergleich konventionelle Erzeugung und KWK

Die KWK dient als Oberbegriff für den Einsatz verschiedenster Technologien zur gleichzeitigen Strom- und Wärmeerzeugung. Ein KWK-Aggregat kann dabei verschiedenste Bauformen, Brennstoffe und Leistungsklassen vorweisen. Lediglich die nutzbaren Koppelprodukte Strom und Wärme sind bei allen Varianten gleich. Damit einher geht ein breites Anwendungsfeld für die KWK-Technologie. Die in Abbildung 12 aufgeführten vier Technologieansätze spiegeln die hauptsächlich genutzten Technologien wider. Diese sind:

- Motor/Generator-Konzepte
- Gasturbine/Generator-Konzepte
- Dampfturbine/Generator-Konzepte
- Brennstoffzellen

In der vorliegenden Studie liegt der Fokus jedoch auf den „Motor/Generator“-Technologien und den dort einzuordnenden BHKW's. Denn diese werden bevorzugt zur direkten Objektversorgung oder zur Wärmebelieferung von mehreren Gebäuden über ein Nahwärmenetz eingesetzt. Bei diesem Technologiekonzept wird in einem Verbrennungsmotor ein Kraftstoff verbrannt und die freiwerdende thermische Energie zum Antrieb eines Motors verwendet. Dieser setzt wiederum einen Generator zur Stromerzeugung in Gang. Der im Folgenden verwendete Begriff der KWK bezieht sich daher in der Regel auf den Einsatz von BHKW's.

Abbildung 12 zeigt zusätzlich die Vielfalt bei der Wahl der Brennstoffe auf. BHKW-Anlagen können sowohl mit flüssigen als auch mit gasförmigen Energieträgern betrieben werden. Sie sind damit für den Einsatz in erschlossenen Gebieten geeignet als auch für Objekte die noch keine Anbindung an leitungsgebundene Energieträger wie Erdgas vorweisen können.

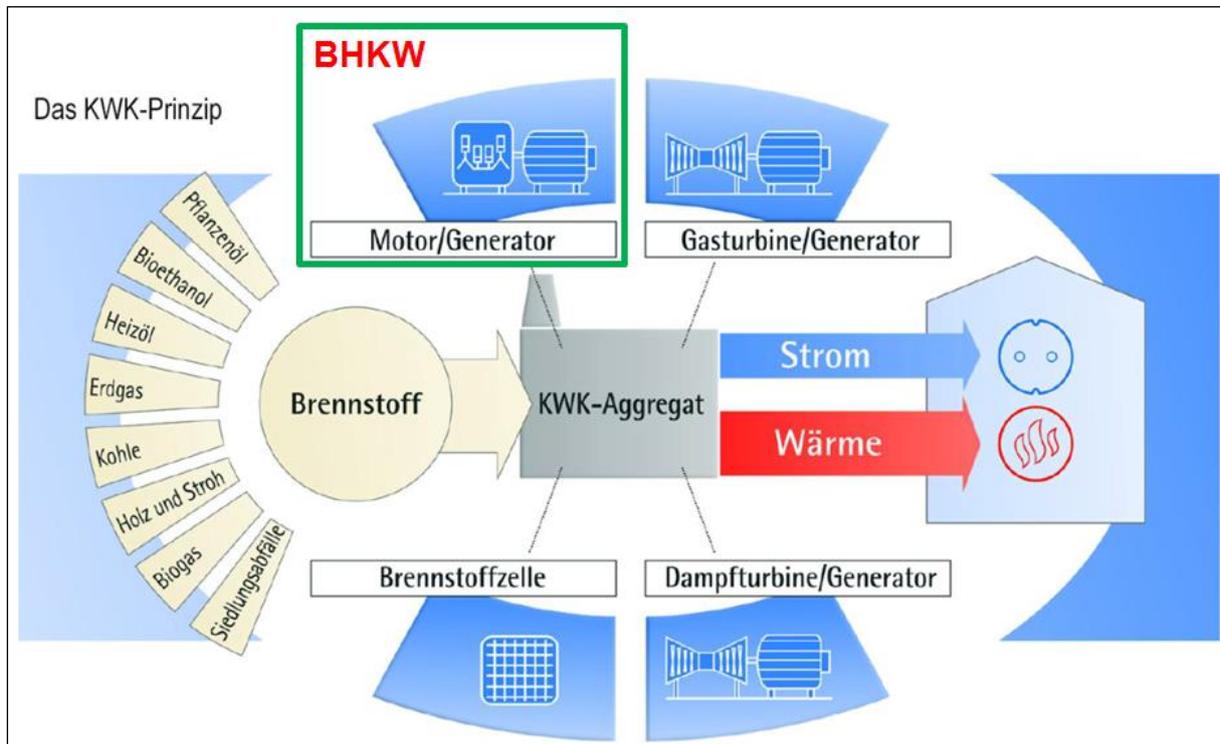


Abbildung 12: Übersicht Kraft-Wärme-Kopplung
 [Bildquelle: Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V.]

3.3.2 Eignung von Betrieben und Einrichtungen

Baden-Baden verfügt als Bäder- und Kurstadt über eine ungewöhnlich hohe Dichte an Betrieben, die einen ganzjährig konstant hohen Trinkwarmwasser- oder Prozesswärmebedarf besitzen, was eine sehr günstige Voraussetzung für den Einsatz von KWK ist. Dies trifft insbesondere auf Kliniken, Bäder, Hotels und Gastronomiebetriebe zu. Die Grundlagenermittlung bezüglich der technischen KWK-Eignung konzentriert sich damit auf diese Branchen.

Ausgehend von den Verbrauchsdaten der Stadtwerke Baden-Baden kann mit Hilfe der GIS-Software eine Klassifizierung der Energieverbräuche dieser Betriebe vorgenommen werden. Bei der weiteren Verwendung der klassifizierten Energieverbräuche wird davon ausgegangen, dass für Endverbraucher mit gleicher Nutzung und ähnlichen Energieverbrauchsmengen übertragbare Potenzialberechnungen angestellt werden können. Aufgrund der hohen Anzahl potenzieller Betriebe kommt eine Einzelbetrachtung aller Unternehmen im Rahmen des integrierten Wärmekonzepts nicht in Frage. Das angestrebte Ziel besteht darin, für bestimmte repräsentative Betriebe konkrete Potenzialanalysen durchzuführen und die Ergebnisse auf ähnliche Betriebe zu übertragen.

Vorab wird die Zahl der zu analysierenden Betriebe eingegrenzt, indem eine Mindestmenge des Wärmebedarfs in Höhe von 100 MWh/a bei allen Betrieben vorausgesetzt wird. Damit

konzentriert sich die Bestandsaufnahme der geeigneten Betriebe auf größere Verbraucher. Diese Vorgehensweise wird unter anderem damit begründet, dass die Betriebe innerhalb der zuvor genannten Tätigkeitsfelder in der Regel auch einen höheren Wärmebedarf aufweisen. Zusätzlich soll die große Anzahl möglicher Betriebe handhabbar bleiben und diese damit von Seiten des Auftraggebers nach Projektabschluss auch sinnvoll kontaktiert werden können. Dennoch besitzen auch kleine Verbraucher generell die technische Möglichkeit zur Nutzung von KWK, dies stellt jedoch nicht der Untersuchungsschwerpunkt des vorliegenden Wärmekonzepts dar.

Für die Klassifizierung der einzelnen Betriebe aus den zuvor genannten Branchen wird im Folgenden der Begriff Referenztyp eingeführt. Ein Referenztyp ist per Definition ein Verbraucher mit einer bestimmten Hauptnutzung und einem Energieverbrauch, der sich innerhalb einer bestimmten Spanne bewegt. Insgesamt werden für die Bewertung der KWK-Eignung sieben Referenztypen definiert. Anhand realer Verbrauchswerte (Wärme, Strom) und den Hauptnutzungen ergeben sich folgende Referenztypen:

- **Gesundheit und Bäderbetriebe**
 - Referenztyp 1: Große Kliniken
 - Referenztyp 2: Kleine Kliniken, Bäderbetriebe und Pflegeheime
- **Hotels**
 - Referenztyp 3: Große Hotels
 - Referenztyp 4: Kleine Hotels
- **Gewerbe**
 - Referenztyp 5: Großverbraucher
 - Referenztyp 6: Kleinverbraucher
- **Wohngebäude**
 - Referenztyp 7: Mehrfamilienhaus

Die Zuordnung der einzelnen Betriebe zu den einzelnen Referenztypen erfolgt anhand zweier Kriterien. Zunächst werden die relevanten Verbraucher mit dem Mindestwärmebedarf nach der Nutzung sortiert und geordnet nach dem Wärmebedarf aufgelistet. Damit resultiert eine Übersicht über die relevanten Betriebe innerhalb einer Nutzung und es kann eine Einordnung von Untergruppen anhand der Wärme- und Strombedarfsmenge vorgenommen werden. Für die zuvor genannten sieben Referenztypen wird die Vorgehensweise im Folgenden erläutert.

Gesundheit und Bäderbetriebe

In die Kategorie Gesundheit und Bäderbetriebe fallen insgesamt 17 Betriebe. Darunter sind Kliniken mit Bäderbetrieb, Pflegeheime und Seniorenwohnanlagen. Der Wärmebedarf dieser Betriebe liegt zwischen 400 und 8.000 MWh/a und weist damit eine breite Spanne auf. Ebenso variiert der Strombedarf von 100 bis 6.000 MWh/a. In Abbildung 13 ist der Wärme-

und Strombedarf der Betriebe dargestellt. Darin wird deutlich, dass einige Betriebe einen deutlich höheren Wärmebedarf aufweisen. Für diese Betriebe mit einem Wärmebedarf größer 2.000 MWh/a wird der „Referenztyp 1: Große Kliniken“ eingeführt. Bei diesem Referenztyp beträgt der Strombedarf 800 bis 6.000 MWh/a. Die Betriebe mit diesem hohen Energiebedarf haben aufgrund der hohen Bezugsmengen in der Regel gute Energiebezugskonditionen. Ebenfalls ist für Einrichtungen in dieser Größenordnung repräsentativ, dass ein Kältebedarf in den Objekten vorhanden ist.

Der „Referenztyp 2: Kleine Kliniken & Seniorenheime“ steht für Betriebe mit einem Wärmebedarf zwischen 400 und 2.000 MWh/a. Die Höhe des Wärmebedarfs liegt dabei stets über dem des Strombedarfs. Der Strombedarf befindet sich zwischen 100 und 1.000 MWh/a. Insgesamt zwölf Einrichtungen gehören dem Referenztyp 2 an.

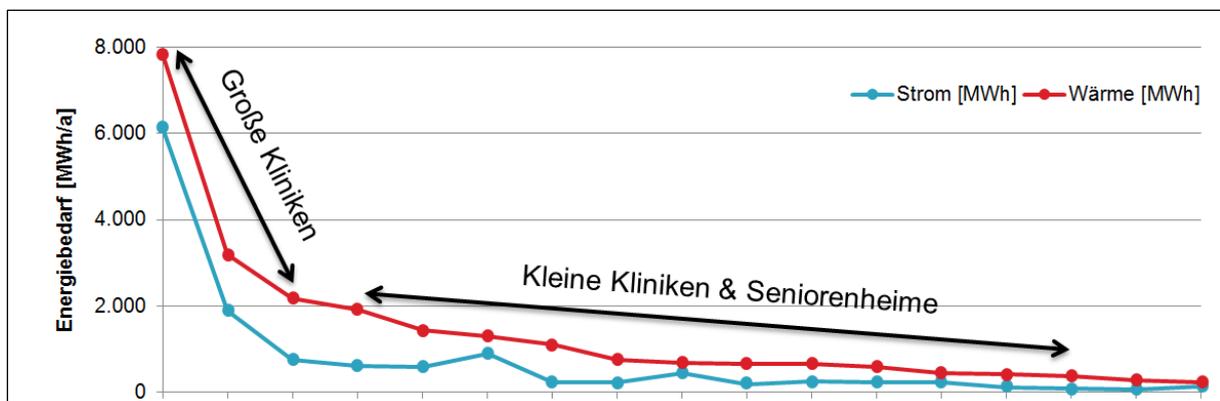


Abbildung 13: Objektübersicht – Referenztyp Gesundheit und Bäderbetriebe

Für die Referenztypen 1 und 2 gilt, dass sie einen ganzjährigen signifikanten Wärme- und Strombedarf haben. Hervorzuheben ist die relativ hohe Wärmegrundlast in Höhe von 10 bis 20 % des Spitzenlastbedarfs. Mit dem ganzjährig vorhandenen Wärmebedarf geht in der Regel ein gleichzeitiger hoher Strombedarf einher, der die Möglichkeit zur Eigennutzung des KWK-Stroms verbessert. In Abbildung 14 sind die geordneten Jahresdauerlinien aus dem Bereich Wärme und Strom von ausgewählten Betrieben der Referenztypen 1 und 2 dargestellt.

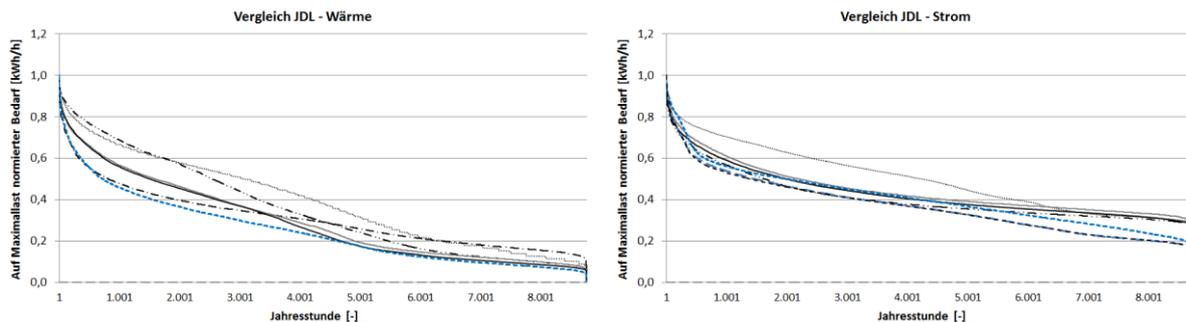


Abbildung 14: Geordnete Jahresdauerlinie – Referenztyp 1 und 2

Die Betriebe des Referenztyps 1 und 2 benötigen die Wärme sowohl für Heizzwecke als auch zur zentralen Bereitstellung von Brauchwarmwasser oder Prozesswärme. In der Regel wird die Wärme dabei über zentrale Heizanlagen und ein entsprechendes gebäudeinternes Wärmeverteilnetz bereitgestellt. Die hierfür erforderlichen Temperaturniveaus können durch eine KWK-Anlage beziehungsweise ein BHKW bereitgestellt werden.

Hotels

Die Kategorie Hotels umfasst in Baden-Baden 21 Objekte mit einem Wärmebedarf größer 100 MWh/a. Analog zur bisherigen Vorgehensweise wird die Gesamtzahl der Objekte hinsichtlich des Energiebedarfs weiter unterteilt. In Abbildung 15 sind die einzelnen Betriebe und deren Wärme- und Strombedarf aufgeführt. Der Wärmebedarf variiert dabei zwischen 100 und 2.200 MWh/a und der Strombedarf beläuft sich auf bis zu 2.000 MWh/a. In Abhängigkeit von der Ausstattung der Hotels und der Kälteanlagen kann dabei das Verhältnis von Wärme- und Strombedarf sich stark ändern. In der Regel ist den Hotels ein Restaurant oder Gastronomiebereich angeschlossen, mit denen ein erhöhter ganzjähriger Warmwasserbedarf einhergeht. Für die Kategorie Hotels kann daher ein durchgehender Wärme- und Strombedarf über das Jahr festgehalten werden.

Im „**Referenztyp 3: Große Hotels**“ befinden sich sieben Objekte. Bei großen Hotels liegt der Wärmebedarf bei 700 – 2.200 MWh/a. Der Strombedarf schwankt dabei zwischen 200 und 2.000 MWh/a. Diese sieben Hotels haben einen deutlich höheren Wärme- und Strombedarf als der restliche Bestand und werden daher gesondert in diesem Referenztyp zusammengefasst.

Der „**Referenztyp 4: Kleine Hotels**“ beinhaltet insgesamt zehn Objekte. Die Spannweite des Wärmebedarfs reicht von 100 bis 250 MWh/a und des Strombedarfs von 30 bis 170 MWh/a.

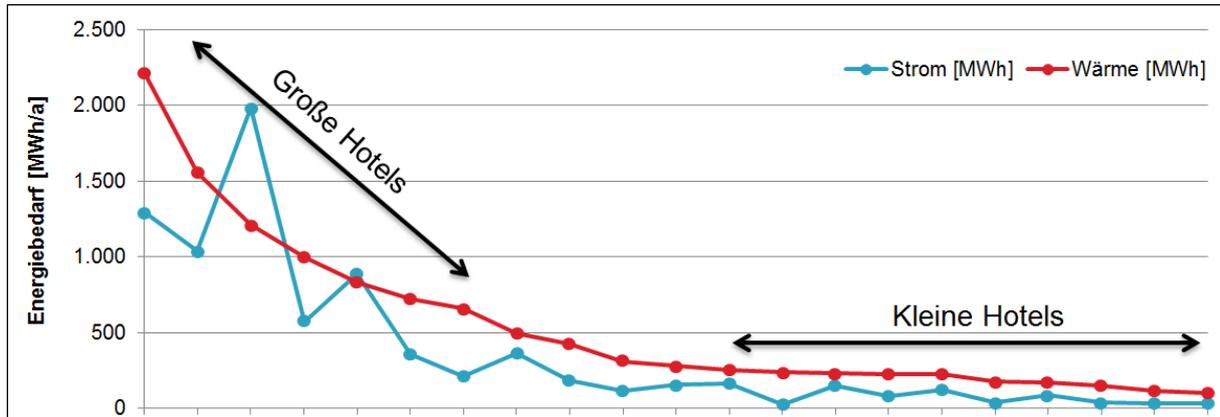


Abbildung 15: Objektübersicht – Referenztyp Hotels

Der Referenztyp Hotel weist einen ganzjährigen Wärme- und Strombedarf auf. Die relativ hohe Wärmegrundlast liegt dabei bei einem Wert von 15 bis 20 % der Spitzenlast. In Abbildung 16 sind typische geordnete Jahresdauerlinien für die Kategorie Hotel dargestellt. Die Wärmebereitstellung erfolgt für die Trinkwarmwassererwärmung auf hohem Niveau. Das Temperaturniveau für die Heizwärmebereitstellung variiert dabei in Abhängigkeit von dem Heizungsübergabesystem. Liegen Flächenheizungen vor, können auch niedrige Vorlauftemperaturen genutzt werden. Die benötigten Temperaturen können durch KWK-Anlagen sinnvoll bereitgestellt werden.

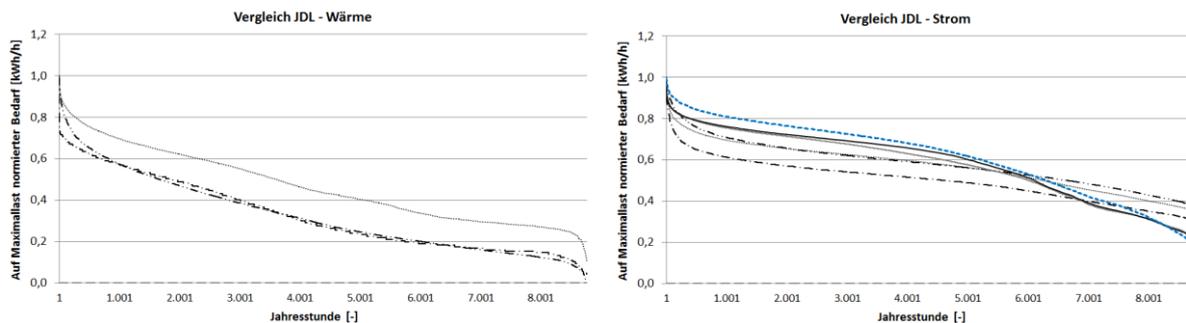


Abbildung 16: Geordnete Jahresdauerlinie – Referenztyp 3 und 4

Gewerbe

In der Kategorie Gewerbe befinden sich insgesamt 27 Betriebe. Die Branchen der einzelnen Unternehmen sind dabei vielfältig. Produzierendes Gewerbe, Dienstleistungen, Medien, Handel und Vertriebsunternehmen zeigen nur einen Ausschnitt der Branchen. So unterschiedlich die Tätigkeitsfelder und Betriebsgrößen der einzelnen Unternehmen sind, so stark variiert auch der Energiebedarf. Der nach der Höhe geordnete Wärmebedarf der einzelnen Betriebe ist in Abbildung 17 dargestellt. Er beläuft sich auf einen Wert von 150 bis

10.500 MWh/a. Der Strombedarf schwankt zwischen 20 und 7.000 MWh/a. Die Abbildung 17 verdeutlicht, dass der Verlauf des Strombedarfs nicht zwingend mit dem Wärmebedarf korreliert.

Der „Referenztyp 5: Großverbraucher“ umfasst acht Objekte in Baden-Baden. Der Wärmebedarf dieser Objekte liegt zwischen 600 und 7.000 MWh/a. Die große Bandbreite basiert in diesen Fällen auf dem Unterschied, dass in manchen Betrieben zusätzlich zur Heizwärme- und Warmwasserbereitung auch Prozesswärme benötigt wird. Der Strombedarf von 200 bis 7.000 MWh/a schwankt ebenfalls in Abhängigkeit von den jeweiligen Prozessanwendungen in den Betrieben.

In dem „Referenztyp 6: Kleinverbraucher“ befinden sich insgesamt 10 Verbraucher. Für diese Unternehmensgruppe liegt ein relativ homogener Energiebedarf (bezüglich der absoluten Höhe) vor. Der Wärmebedarf beläuft sich auf 150 bis 400 MWh/a und der Strombedarf auf 100 bis 300 MWh/a. Die Bereiche Handel, Dienstleistung und Vertrieb stellen mehrheitlich die Betriebe in diesem Referenztyp. Unternehmen des produzierenden Gewerbes befinden sich nicht innerhalb des Referenztyps 6.

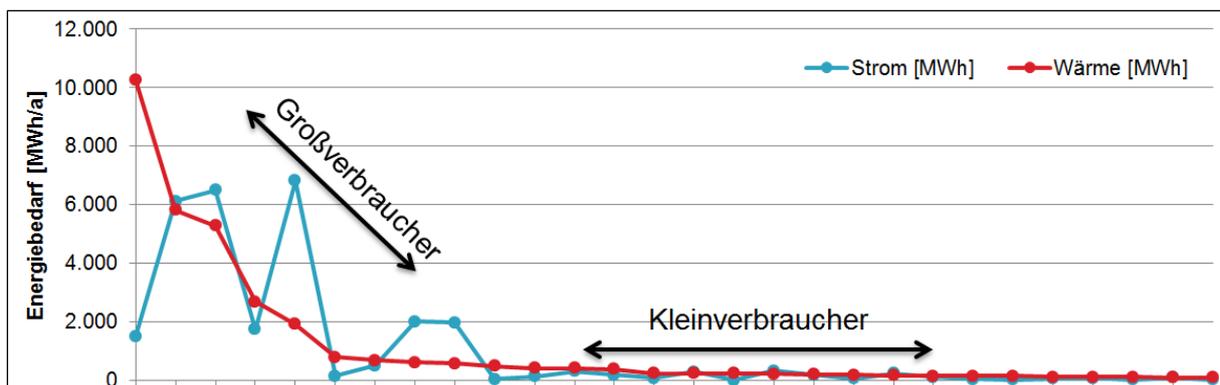


Abbildung 17: Objektübersicht – Referenztyp Gewerbe

Für alle Betriebe in den Referenztypen 5 und 6 gilt, dass in der Regel ein ganzjährig vorhandener Strombedarf existiert. Bedingt ist dies entweder durch bestimmte kontinuierliche Produktionsprozesse oder für Beleuchtung und Kühlung. Besonders im Handel und zum Teil auch in Bürogebäuden führt der Kühlbedarf in den Sommermonaten zu einem erhöhten Strombedarf. Aufgrund der Vielfältigkeit der Nutzungen kann jedoch keine Pauschalisierung der Aussagen getroffen werden. Der Wärmebedarf variiert stark, je nachdem, ob neben der Heizwärme auch Warmwasser oder Prozesswärme bereitgestellt werden muss. In Abbildung 18 sind für verschiedene Nutzungstypen die geordneten Jahresdauerlinien im Bereich Wärme und Strom dargestellt. Darin sind die Unterschiede der einzelnen Nutzungstypen gut zu erkennen.

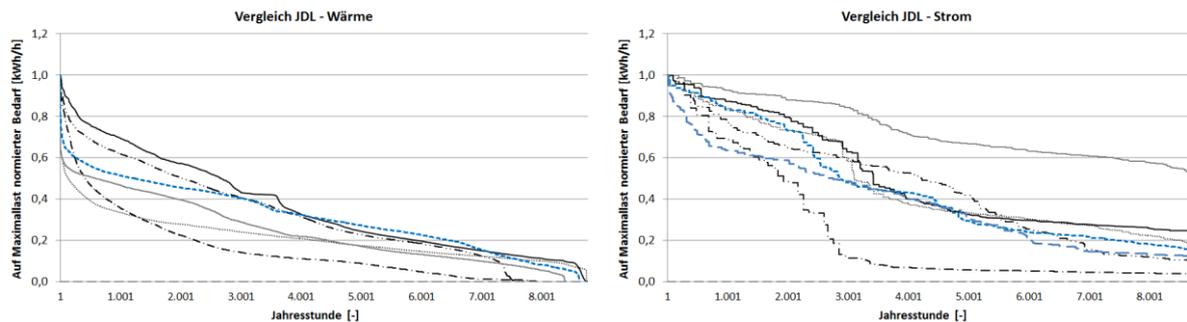


Abbildung 18: Geordnete Jahresdauerlinie – Referenztyp 5 und 6

Bezüglich der Bewertung einer KWK-Nutzung ist aufgrund der Heterogenität keine Verallgemeinerung möglich. Sowohl die Rückschlüsse aus den typisierenden Lastprofilen als auch die unterschiedlichen Prozesswärmeanforderungen erlauben kein pauschales Urteil. Da KWK-Anlagen in der Regel auch relativ hohe Temperaturen für Wärmeanwendungen bereitstellen können, sind sie in der Kategorie Gewerbe mindestens für die Bereiche Heizwärme und Warmwasser als Wärmeerzeuger geeignet.

Wohngebäude

Die größte Anzahl an Einzelverbrauchern befindet sich in der Kategorie Wohngebäude. Mit über 300 Objekten dieser Nutzung und einem Wärmebedarf größer 100 MWh/a repräsentiert diese Nutzungskategorie zahlenmäßig die größte Gruppe. Der Wärmebedarf schwankt bei den Objekten zwischen 100 und 2.000 MWh/a. In den Wohngebäuden wird lediglich Wärme für die Gebäudebeheizung und Warmwasser benötigt. Damit einher geht ein erhöhter Wärmebedarf in den Wintermonaten. In den Sommermonaten, außerhalb der Heizperiode, besteht in dieser Kategorie nur noch Bedarf an Warmwasser. Der Strombedarf variiert zwischen 5 und 800 MWh/a. Der Allgemeinstrom in Mehrfamilienhäusern ist in der Regel nicht besonders hoch. Den Hauptanteil des Strombedarfs in Wohngebäuden verursachen die Nutzer in den Wohnungen. Dabei haben die einzelnen Bewohner in der Regel jeweils einen Stromliefervertrag mit einem frei wählbaren Energieversorger geschlossen.

Der „Referenztyp 7: Mehrfamilienhaus“ bildet einen Ausschnitt aus allen erfassten Wohngebäuden ab. Rund 50 Objekte befinden sich in dem Referenztyp. Der Wärmebedarf liegt zwischen 200 und 400 MWh/a und der Strombedarf zwischen 5 und 200 MWh/a. Die darin enthaltenen Wohngebäude sind in der Regel kleine Mehrfamilienhäuser. Mit dieser Eingrenzung richtet sich der Fokus der Analyse auf die Objekte, die durch Ihre Nutzungsstruktur auch einen signifikanten Wärmebedarf außerhalb der Heizperiode vorweisen können. Dies wird als Grundvoraussetzung für den Betrieb einer KWK-Anlage in dieser Nutzungskategorie angenommen.

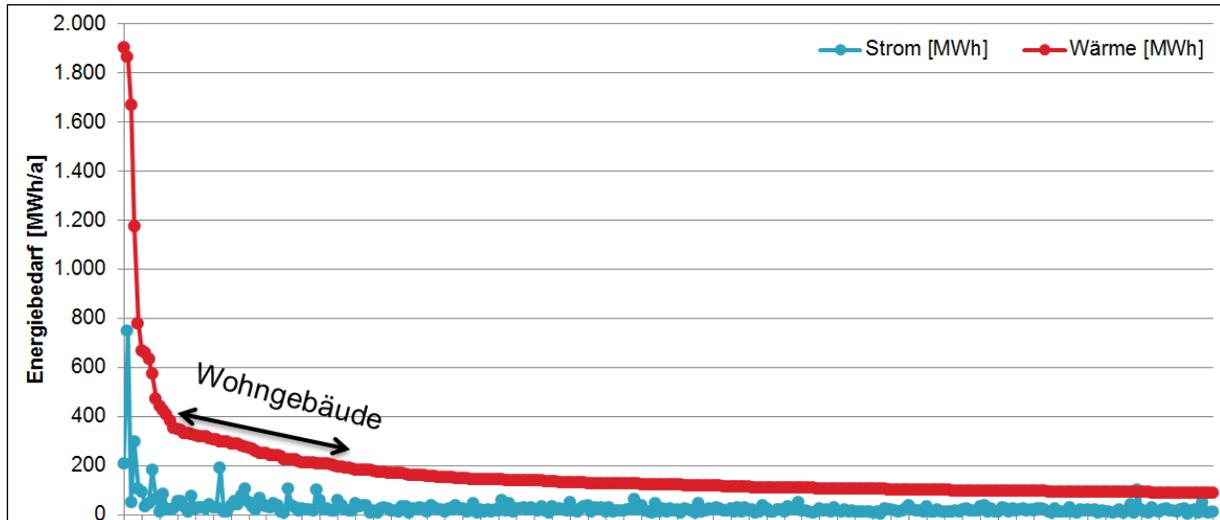


Abbildung 19: Objektübersicht – Referenztyp Mehrfamilienhaus

Die Abbildung 20 zeigt typische geordnete Jahresdauerlinien für Wärme- und Stromversorgungen in Mehrfamilienhäusern auf. In der linken Abbildung ist der Einfluss eines guten Wärmeschutzes zu erkennen. So verläuft die Jahresdauerlinie eines Passivhauses generell flacher und die Grundlast nimmt relativ zur Spitzenlast einen hohen Wert ein. Bedingt ist dies durch die niedrigere Heizlast. Bei entsprechend hohem Wärmebedarf können Grundlasterzeuger, wie zum Beispiel KWK-Anlagen, einen relativ hohen Wärmedeckungsanteil erreichen. Die geordnete Jahresdauerlinie im Bereich Strom bildet in diesem Fall lediglich den Haushaltsstrom in den Wohnungen ab.

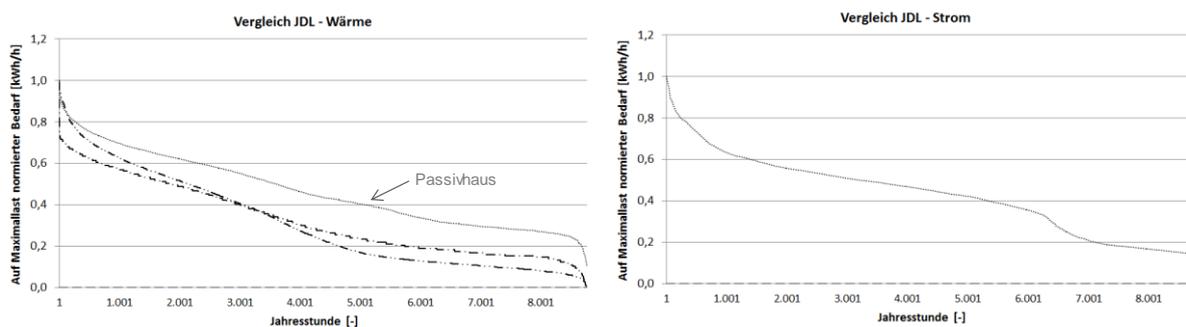


Abbildung 20: Geordnete Jahresdauerlinie – Referenztyp 5 und 6

Die erforderlichen Temperaturen zur Warmwasser- und Heizwärmebereitstellung können durch eine KWK-Anlage erzeugt werden. Liegen entsprechende Räumlichkeiten vor, kann eine KWK-Anlage in der Regel als Ergänzung in eine bestehende Heizungsanlage eingebunden werden.

3.3.3 Gesetzliche und energiewirtschaftliche Rahmendbedingungen

Im Vorfeld der Potenzialanalyse für die KWK-Nutzung werden die gesetzlichen und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen erläutert. Sie dienen als Grundlage für den Betrieb von KWK-Anlagen und beeinflussen sowohl die technische Betriebsführung als auch den wirtschaftlichen Erfolg.

In Deutschland existieren primär vier verschiedene Gesetze die direkten und indirekten Einfluss auf den Betrieb von KWK-Anlagen nehmen. Dies sind:

- Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)
- Energiesteuergesetz (EStG)
- Stromsteuergesetz (StromStG)
- Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)

Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz

Das **KWKG** ist das zentrale Gesetz, das den Betrieb von KWK-Anlagen regelt. „Zweck des Gesetzes ist es, im Interesse der Energieeinsparung, des Umweltschutzes und der Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung einen Beitrag zur Erhöhung der Stromerzeugung aus KWK...“¹ zu leisten. Es regelt dabei die Abnahme und Vergütung von KWK-Strom. Die Stromnetzbetreiber sind darin verpflichtet, KWK-Anlagen vorrangig an ihr Netz anzuschließen und den Strom vorrangig abzunehmen. Das Gesetz beinhaltet zudem verschiedene finanzielle Anreizinstrumente, die den Ausbau der KWK unterstützen sollen.

Unter anderem wird ein **KWK-Zuschlag** gezahlt. Dieser orientiert sich an der Art der Anlage und deren elektrischen Leistung und variiert dabei bezüglich der Höhe und Zahlungsdauer des Zuschlags. In Abbildung 21 sind die einzelnen Zuschlagskategorien und –höhen aufgeführt.

¹ § 1 Abs. 1 S. 2 KWKG

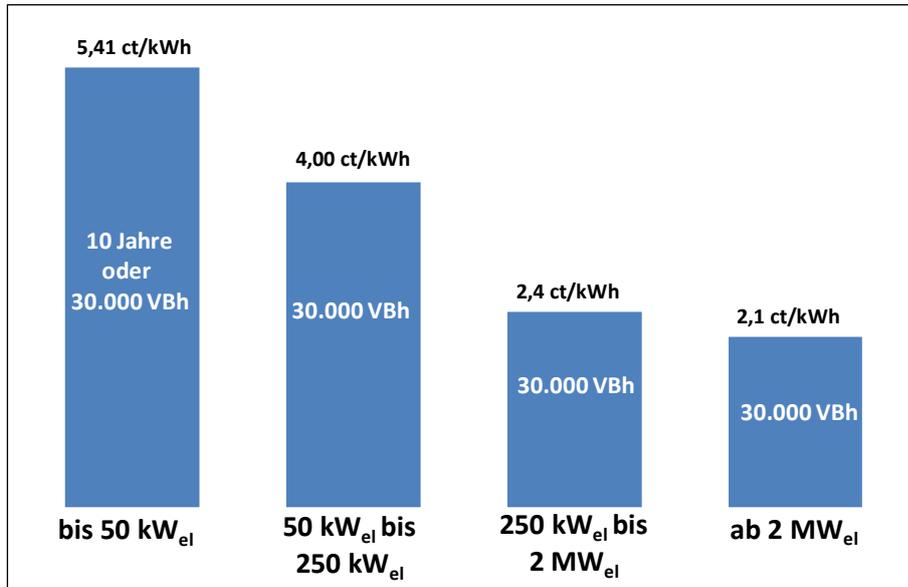


Abbildung 21: KWK-Zuschlag nach KWKG

Mit dem KWK-Zuschlag ist ein Fördermechanismus etabliert, der unabhängig von der jeweiligen Stromnutzung, die Stromerzeugung in einer KWK-Anlage finanziert. Denn er wird für jede erzeugte Kilowattstunde gezahlt, unabhängig davon, ob der Strom im Objekt selbst genutzt oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird.

Des Weiteren garantiert das KWKG zusätzliche Zahlungen für KWK-Strom der in das öffentliche Stromnetz geleitet wird. Für den eingespeisten Strom können der Anlagenbetreiber und der Netzbetreiber einen Abnahmepreis vereinbaren. Kommt eine Vereinbarung nicht zustande, so steht dem Anlagenbetreiber ein **garantierter Abnahmepreis** in Höhe des durchschnittlichen Preises für Grundlaststrom an der Strombörse EEX in Leipzig zu. Dieser Börsenpreis wird vierteljährlich ermittelt und basiert auf dem Durchschnitt des jeweils vorangegangenen Quartals. In Abbildung 22 ist der Verlauf dieses Mittelwerts dargestellt. Die Grafik zeigt dabei für die letzten Jahre eine tendenzielle Abnahme des mittleren Börsenstrompreises auf. Bedingt ist dieser Sachverhalt durch den verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland, der aufgrund der angewendeten Strompreisbildung an der Börse, vor allem die mittäglichen Preisspitzen reduziert. Bei gleichbleibendem Marktdesign an der Strombörse wird sich diese Tendenz prinzipiell fortsetzen beziehungsweise keinen Anstieg des Grundlaststrompreises erwarten lassen. Für das aktuelle Quartal beträgt der garantierte Abnahmepreis nach § 3 Abs. 3 S. 2 rund 3,1 ct/kWh.

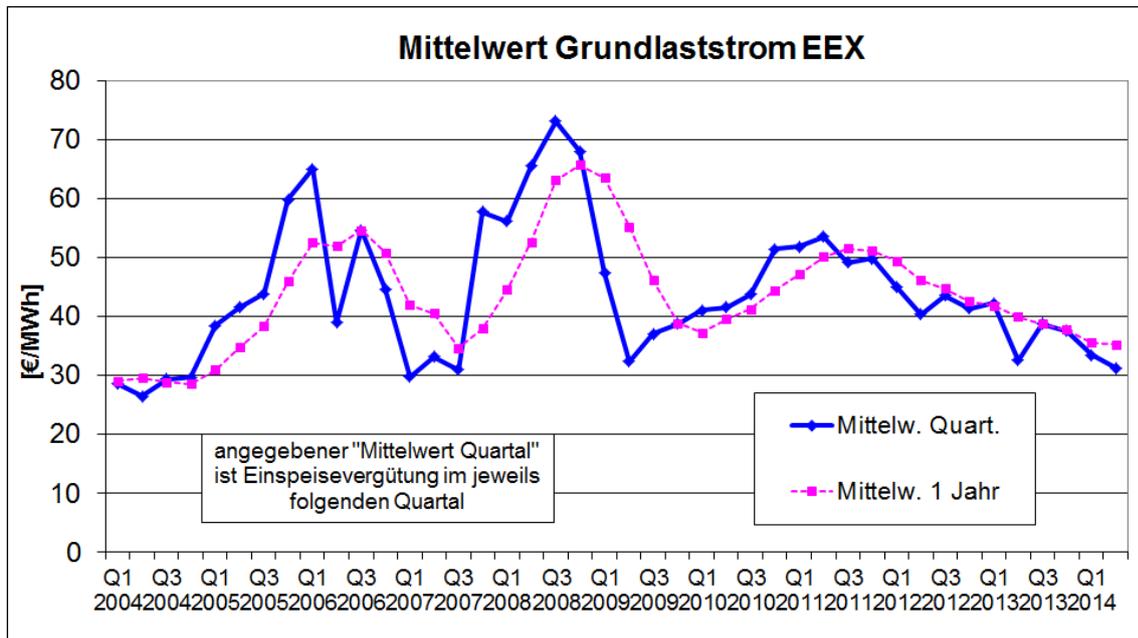


Abbildung 22: Mittelwert Grundlaststrom EEX

Zusätzlich zu dieser Garantie steht dem Betreiber einer KWK-Anlage für den eingespeisten Strom ein Zuschlag in Höhe der lokalen **Netznutzungsentgelte** zu. Die Netznutzungsentgelte können dabei je Netzverbund und Netzbetreiber variieren. Begründet wird die zusätzliche Zahlung der Netznutzungsentgelte damit, dass KWK-Anlagen dezentral und verbrauchsnahe den Strom für Letztverbraucher erzeugen. Dem Netzbetreiber entstehen dadurch nur relativ geringfügige Aufwendungen gegenüber zentralen Großkraftwerken, deren Strom über verschiedene Spannungsebenen in das Niederspannungsnetz der Endverbraucher geleitet werden muss.

Insgesamt beinhaltet das KWKG damit drei Zuschlagskategorien (KWK-Zuschlag, garantierter Abnahmepreis und Zuschlag in Höhe der Netznutzungsentgelte), die finanzielle Anreize für den Ausbau der KWK schaffen.

Energiesteuergesetz

Die Regelungen des EStG wirken sich indirekt auf die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen aus. Energieerzeugnisse unterliegen in Deutschland der Energiesteuer. Diese ist eine Verbrauchssteuer und wird in § 2 EStG für bestimmte Energieerzeugnisse definiert. Gemäß § 49 Abs. 2a EStG kann eine Steuerentlastung auf Antrag gewährt werden, wenn Energieerzeugnisse zum Antrieb von Verbrennungsmotoren in begünstigten Anlagen werden. Unter den Begriff „begünstigte Anlage“ fallen Anlagen, die ausschließlich der gekoppelten Erzeugung von Kraft und Wärme dienen. Für KWK-Anlagen kann für den eingesetzten Brennstoff eine Steuerentlastung beantragt und dieser Betrag kostenmindernd

in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt werden. Nach aktuellem Gesetzesstand beträgt der Steuertarif für

- Gasöle (leichtes Heizöl nach DIN), Schmieröl und andere Öle: 61,35 Euro/m³,
- Heizöle (schweres Heizöl nach DIN): 25,00 Euro/t,
- Flüssiggas: 60,60 Euro/t,
- Erdgas: 5,50 Euro/MWh und
- Strom: 20,50 Euro/MWh.

Stromsteuergesetz

Ergänzend zum Energiesteuergesetz wirkt das Stromsteuergesetz positiv auf den Betrieb einer KWK-Anlage. Denn verbrauchter Strom unterliegt generell der Energiesteuer. Per Definition „... entsteht die Steuer [...] mit der Entnahme von Strom zum Selbstverbrauch ...“². Für Betreiber von KWK-Anlagen die Strom erzeugen und diesen selbst verbrauchen fällt jedoch die Steuer nicht an. Gemäß § 9 Abs.1 Nr. 3 liegt eine Steuerbefreiung vor, wenn Strom zum Selbstverbrauch folgende Anforderungen erfüllt:

1. Stromerzeugungsanlage mit einer elektrischen Leistung kleiner 2 MW
2. Selbstverbrauch oder Belieferung von Letztverbrauchern in unmittelbarem räumlichen Zusammenhang der Anlage

Damit wird indirekt auch der Betrieb von KWK-Anlagen begünstigt indem die Eigennutzung und die Direktbelieferung von Letztverbrauchern stromsteuerbefreit sind.

Erneuerbare Energien Gesetz

Das EEG verfolgt das Ziel, den „... Anteil des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms am Bruttostromverbrauch ...“³ zu erhöhen. In § 8 Abs. 1 ist hierbei der vorrangige Anschluss von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien geregelt. Das eigentliche Förderinstrument des EEG besteht darin, dass für den eingespeisten Strom eine feste Vergütung über einen bestimmten Zahlungszeitraum gezahlt wird. Die EEG-Vergütung richtet sich dabei nach der Anlagengröße, -art und der Verwendung des erneuerbaren Energieträgers.

Generell gilt jedoch, dass KWK-Anlagen entweder eine Förderung gemäß KWKG oder EEG erhalten können. Eine gleichzeitige Inanspruchnahme beider Fördermittel ist nicht erlaubt.

KWK-Anlagen die mit erneuerbaren Brennstoffen betrieben werden, können damit in die Anwendungsbereiche des EEG fallen. BHKW's können zum Beispiel mit flüssigen Pflanzenölen, Biogas, Biomethan, Deponiegas, Klärgas oder Grubengas betrieben werden.

² § 5 Abs. 1 S. 2 StromStG

³ § 1 Abs. 2 EEG

Der Anlagenbetreiber erhält dann vom Netzbetreiber eine Vergütung für den eingespeisten Strom.

Des Weiteren regelt das EEG die Handhabung von eigenverbrauchtem Strom hinsichtlich der Zahlung der EEG-Umlage an den Übertragungsnetzbetreiber. Allgemein gilt, dass jeder Letztverbraucher für eine gelieferte Kilowattstunde Strom die jeweils aktuell gültige EEG-Umlage in Höhe von 6,24 ct/kWh an das Elektrizitätsversorgungsunternehmen abgeben muss. Betreiber von Stromerzeugungsanlagen, die lokal erzeugten Strom für die Eigenversorgung verwenden, müssen mit der EEG-Novelle 2014 ebenfalls einen Anteil der EEG-Umlage für den eigenverbrauchten Strom zahlen.

Beispiel EEG-Umlage bei Eigenverbrauch

Als Beispiel kann der Betrieb einer KWK-Anlage in einem Mehrfamilienhaus angeführt werden. Ein Anlagenbetreiber erzeugt mit einem BHKW Strom und nutzt den Strom selbst im Gebäude und versorgt zusätzlich einzelne Mieter mit dem BHKW-Strom. Überschüssigen Strom speist er in das öffentliche Netz ein. In Zeiten ohne BHKW-Strom kann über das öffentliche Netz weiterhin Strom bezogen werden. Für den eigenverbrauchten Strom muss nun der Anlagenbetreiber 30 % der EEG-Umlage (ab 2016 35 %, ab 2017 40 %) an den Übertragungsnetzbetreiber zahlen. Auf den an die Mieter gelieferten Strom fällt eine Abgabe der EEG-Umlage in Höhe von 100 % an.

Das Beispiel verdeutlicht, dass durch die Neuregelung im EEG 2014 ein direkter finanzieller Anreiz besteht, möglichst einen hohen Anteil des Stroms direkt zu nutzen.

Für Bestandsanlagen, die vor dem 01. August 2014 in Betrieb genommen wurden findet diese Regelung des EEG 2014 jedoch keine Anwendung.

Energiepreise

Neben den gesetzlichen Rahmenbedingungen haben vor allem rein wirtschaftliche Entscheidungskriterien Einfluss auf die Entscheidung für oder gegen den Betrieb einer KWK-Anlage. Besonders die Energiepreise wirken sich elementar auf das wirtschaftliche Ergebnis aus. Dabei sind zwei Preiskomponenten getrennt zu bewerten. KWK- oder BHKW-Anlagen benötigen auf der einen Seite Brennstoffe für die Erzeugung von Strom und Wärme. Auf der Brennstoffseite ergeben sich für den Anlagenbetreiber Kosten, die abhängig von dem jeweiligen Energiepreis und des Brennstoffverbrauchs variieren. Als Brennstoff für den Einsatz in BHKW-Anlagen kommt in der Regel Erdgas oder auch Diesel zum Einsatz. In Abbildung 23 ist die mittlere Energiepreisentwicklung der letzten zwanzig Jahre für die Brennstoffe Heizöl und Erdgas dargestellt. Der Energiepreis für Erdgas hat in der Vergangenheit deutliche Steigerungen erfahren. Im Mittel ist der Preis für Erdgas um 6 Prozent pro Jahr angestiegen. Noch stärker ist der Preis für Heizöl nach Oben geklettert. Insgesamt 11 Prozent pro Jahr beträgt die durchschnittliche Energiepreissteigerung in dem Zeitraum von 1991 bis 2013.

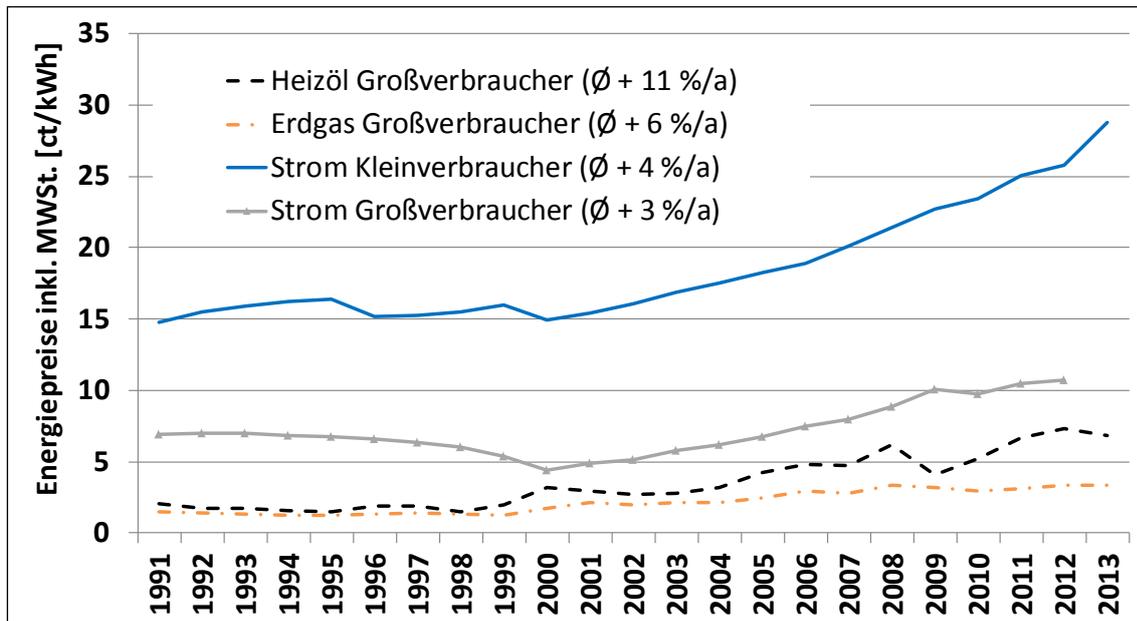


Abbildung 23: Mittlere Preisentwicklung von Energieträgern [BMWi, 2014]

Auf der anderen Seite sind neben den Brennstoffpreisen auch die erzielbaren Preise für die erzeugten Koppelprodukte Strom und Wärme relevant. Im Rahmen einer wirtschaftlichen Bewertung werden den anfallenden Kosten durch den Brennstoffeinsatz die Werte der erzeugten Energiemengen gegenübergestellt. Die Wertigkeit des Koppelprodukt Stroms richtet sich dabei nach der Art der Verwendung. Wird der erzeugte Strom in das öffentliche Netz eingespeist, so ergibt sich ein Mischwert, der sich aus gesetzlichen Vergütungssätzen und/oder aus den gehandelten Strompreisen an der Börse zusammensetzt. Im Falle einer beispielhaften BHKW-Anlage mit einer elektrischen Leistung kleiner 50 kW_{el} resultiert ein Mischwert für den eingespeisten Strom in Höhe von 11,01 ct/kWh. Dieser Wert setzt sich aus den folgenden Komponenten zusammen:

- KWK-Zuschlag: 5,41 ct/kWh
- Garantierter Abnahmepreis gemäß EEX-Strompreis: 3,10 ct/kWh
- Vermiedene Netznutzungsentgelte: 2,50 ct/kWh

Die Wertigkeit des Stroms bei reinem Eigenverbrauch lässt sich auf einem anderen Weg ermitteln. Indem mit der KWK-Anlage Strom erzeugt wird und dieser lokal im Objekt genutzt wird, muss für diesen Stromanteil kein Strom aus dem öffentlichen Netz eingekauft werden. Die Wertigkeit des KWK-Stroms orientiert sich damit an den vermiedenen Stromkosten des Verbrauchers. Aktuell beträgt der Strompreis bei industriellen Großverbrauchern zwischen 10 und 15 ct/kWh. Abbildung 23 zeigt eine signifikante jährliche Strompreissteigerung in Höhe von 3 Prozent in den letzten 20 Jahren. Der Strom für Verbraucher mit kleineren Abnahmemengen, wie zum Beispiel Haushalte, liegt im Mittel bei 29 ct/kWh.

Wird nun die Wertigkeit des KWK-Stroms bei Einspeisung und Eigenverbrauch miteinander verglichen, resultiert eine deutlich höhere Wertigkeit für eigenverbrauchten Strom. Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist daher die Nutzungsvariante Eigenverbrauch gegenüber der Einspeisung zu bevorzugen. Diese Tendenz verstärkt sich zusätzlich, wenn die Entwicklungen aus Abbildung 23 mit berücksichtigt werden. Der für die Einspeisung relevante EEX-Strompreis ist in den letzten Jahren am Sinken und gleichzeitig hat die Wertigkeit für den Eigenverbrauch durch die gestiegenen Endverbraucherpreise zugenommen.

Vollkostenberechnung nach der VDI 2067

Abbildung 24 beinhaltet alle relevanten Kosten- und Erlösbestandteile beim Betrieb einer BHKW-Anlage, die im Rahmen der Vollkostenbetrachtung nach der VDI 2067 mit berücksichtigt werden. Alle kostenrelevanten Bestandteile sind dabei rot gefärbt. Die grünen Pfeile stehen für Erlöse. Die wirtschaftliche Bilanz des Anlagenbetreibers setzt sich damit aus folgenden Komponenten zusammen:

- **Kosten:**
 - Kapitalgebundene Kosten (BHKW und Zubehör)
 - Wartung, Instandhaltung
 - *Brennstoff*
 - EEG-Umlage für eigenverbrauchten und gelieferten Strom
- **Erlöse:**
 - KWK-Zuschlag für erzeugten Strom
 - Energiesteuergutschrift für eingesetzten Brennstoff
 - *Stromverkauf (Lieferung, vermiedene Strombezugskosten)*
 - vNNE: vermiedene Netznutzungsentgelte
 - Wärmeerlöse

Ein wirtschaftlicher Betrieb der BHKW-Anlage kann dann erreicht werden, wenn die Erlöse die Kosten über den jeweiligen Betrachtungszeitraum übersteigen. Fixe Kostenbestandteile, wie die Investitionskosten als auch die gesetzlich festgelegten Abgaben und Zuschläge, können im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung relativ belastbar ermittelt werden. Unter die kapitalgebundenen Kosten fallen die Ausgaben für das BHKW-Modul, Wärmespeicher, Abgasanlagen als auch für die technische Einbindung in die bestehende Anlagentechnik. Die Kostenansätze für die Wartung und Instandhaltung werden gemäß der VDI 2067 unter Verwendung von investitionskostenbezogenen Aufwandsabschätzungen ermittelt.

Für variable Kosten bzw. Erlöse sind belastbare Prognosen in der Regel nur schwer zu treffen. Besonders im Bereich der Energieträger liegt eine Marktdynamik vor, die eine verlässliche Prognose nicht zulässt. Aus diesem Grund wird in der nachfolgenden KWK-Potenzialanalyse die grundlegende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach der VDI 2067 ohne Energiepreissteigerung berechnet.

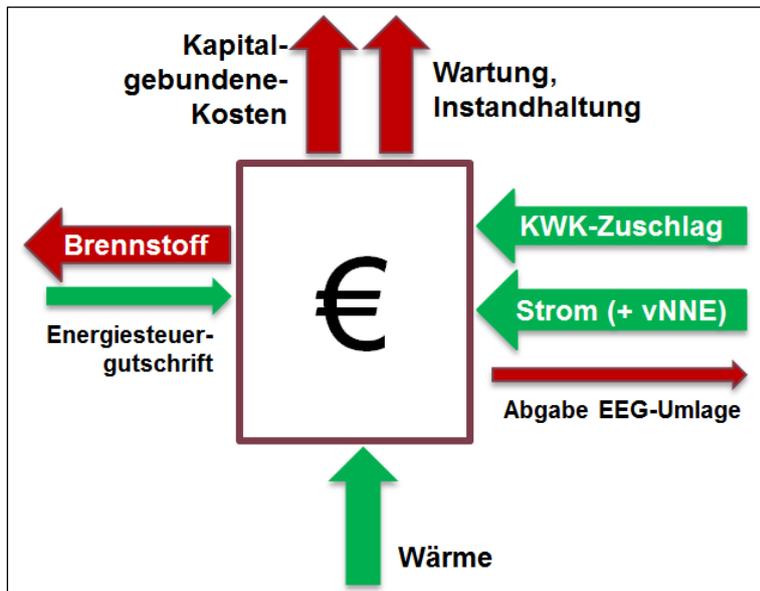


Abbildung 24: Bilanz der Geldströme beim BHKW-Betrieb



POTENZIALANALYSE

4. Potenzialanalyse

Die Potenzialanalyse teilt sich analog zur Grundlagenermittlung in zwei Teile auf. Der erste Abschnitt beleuchtet die Potenziale zentraler Wärmeversorgungen unter Berücksichtigung des Wärmebedarfs, der lokalen Energiepotenziale und möglicher Sanierungsszenarien. Im zweiten Teil der Potenzialanalyse erfolgt eine detaillierte Betrachtung der KWK-Potenziale bei den ausgewählten Verbraucherkategorien mit einem ganzjährig vorhandenen Wärmebedarf. Für beide Potenzialanalysen wird abschließend eine energetische und ökologische Bewertung der Analyseergebnisse vorgenommen.

Die Stadtwerke Baden-Baden besitzen als Energieversorger und Netzbetreiber eine breite Basis an Gas- und Stromverbrauchsdaten. Für die Projektbearbeitung liegen die gebäudescharfen Verbrauchsdaten in Form von GIS-Daten vor und können daher sowohl zur Bestimmung der absoluten Verbrauchsmengen in den Nahwärmegebieten als auch zur Ermittlung der örtlichen Verteilung der Verbrauchsstellen herangezogen werden. Speziell zur Berechnung der KWK-Potenziale bedarf es objektscharfer Informationen über die Nutzung und den Energieverbrauch, die mit Hilfe der GIS-Software zusammengeführt werden.

4.1. Zentrale Wärmeversorgungspotenziale

Bei der Ermittlung der zentralen Wärmeversorgungspotenziale wird im ersten Schritt der Energiebedarf der in Kapitel 3.2 identifizierten Gebiete berechnet und bewertet. Im Anschluss erfolgen eine Auflistung lokaler Energiepotenziale und deren Nutzungsmöglichkeiten in den relevanten Gebieten.

4.1.1 Aktueller Energiebedarf potenzieller Nahwärmegebiete

Die Analyse des Energiebedarfs in den potenziellen Nahwärmegebieten konzentriert sich auf den Wärmebereich. Der Bereich Strom kann zunächst ausgeklammert werden. Im Folgenden wird daher für die bereits definierten Gebiete der kumulierte Wärmebedarf bestimmt.

Der Wärmebedarf je Gebiet setzt sich aus den Einzelverbräuchen der Gebäude zusammen. Liegt für bestimmte Gebäude innerhalb der Potenzialgebiete keine Verbrauchsmenge für Gas- oder Fernwärme vor, so wird für dieses Objekt der Wärmebedarf berechnet. In Abhängigkeit von der Baualterklasse und der Gebäudenutzung werden den Gebäuden flächenbezogene Wärmebedarfswerte für Heizwärme und Trinkwarmwasser zugeordnet. Der absolute Wärmebedarf der Gebäude wird im Anschluss mit der Brutto-Grundfläche (BGF) multipliziert. Da diese Größe in den GIS-Daten nicht vorliegt wird ein Näherungsverfahren angewendet, mit dem über die Gebäudegrundfläche und die Geschosszahl die BGF berechnet werden kann. In Abhängigkeit der Gebietsgröße, der Anzahl der Gebäude und deren Nutzung und der realen Verbräuche kann so für die potenziellen Nahwärmegebiete die Wärmedichte bestimmt werden.

Der absolute Wärmebedarf der potenziellen Gebiete reicht von 200 MWh/a bis zu 40.000 MWh/a. Die ursprüngliche Zahl von 60 Gebieten aus der Bestandsanalyse reduziert sich auf 41 Stück, wenn eine minimale Wärmedichte von 500 MWh/(ha*a) für eine Nahwärmeeignung zugrunde gelegt wird. Der gesamte Wärmebedarf dieser Gebiete beträgt 168.000 MWh/a.

Die Gebiete unterscheiden sich stark anhand der Flächengröße und der Nutzungsstruktur und haben daher auch große Abweichungen hinsichtlich des absoluten Wärmebedarfs. Abbildung 25 zeigt auf, dass der Hauptteil der Gebiete einen Wärmebedarf kleiner 10.000 MWh/a hat. Den höchsten Bedarf weist das flächenmäßig größte Gebiet mit Gewerbenutzung im Stadtteil Oos auf.

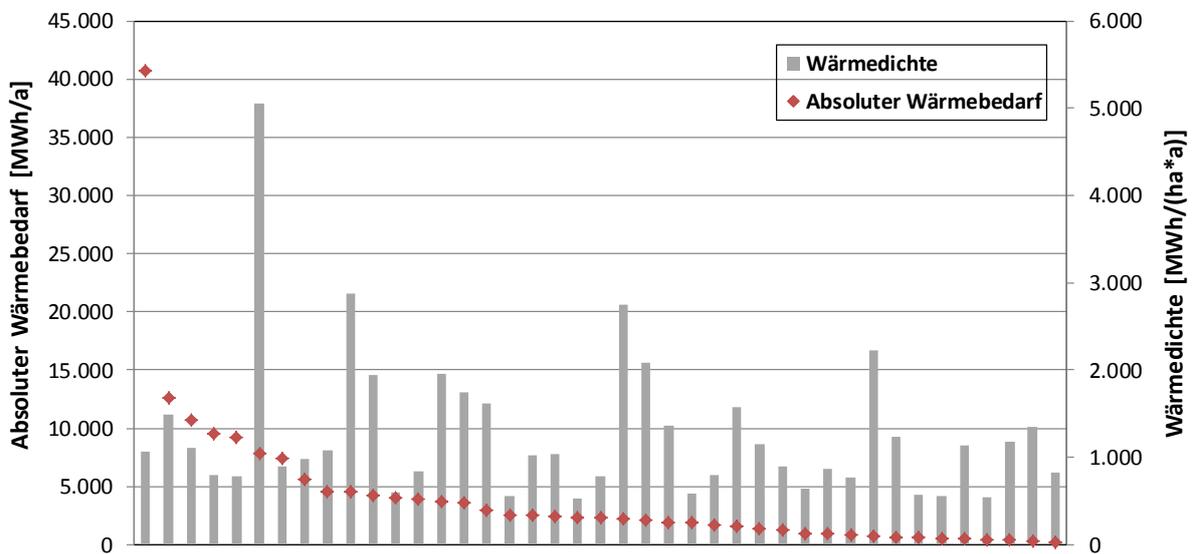


Abbildung 25: Wärmebedarf und -dichte der potenziellen Nahwärmegebiete

Die Höhe der Wärmedichte schwankt bei den Gebieten zwischen 500 und 5.000 MWh/(ha*a). Mehrheitlich besitzen die Gebiete eine Wärmedichte unter 1.500 MWh/(ha*a). Wenige Gebiete erreichen eine Wärmedichte von bis zu 3.000 MWh/(ha*a) auf. Der Höchstwert eines Gebietes liegt bei 5.000 MWh/a. Begründen lässt sich diese Schwankungsbreite aufgrund der unterschiedlichen Bebauungsdichte und der Nutzungsart.

In Abbildung 26 ist die örtliche Verteilung der potenziellen Nahwärmegebiete mit den entsprechenden Wärmedichten dargestellt. Weiterhin befinden sich die Potenzialgebiete entlang der zentralen Stadtachse von Baden-Baden entlang des Oos-Tals verteilt. Einen Schwerpunkt bei der räumlichen Verteilung ist jedoch zwischen dem Innenstadtgebiet und dem Stadtteil Oos zu erkennen.

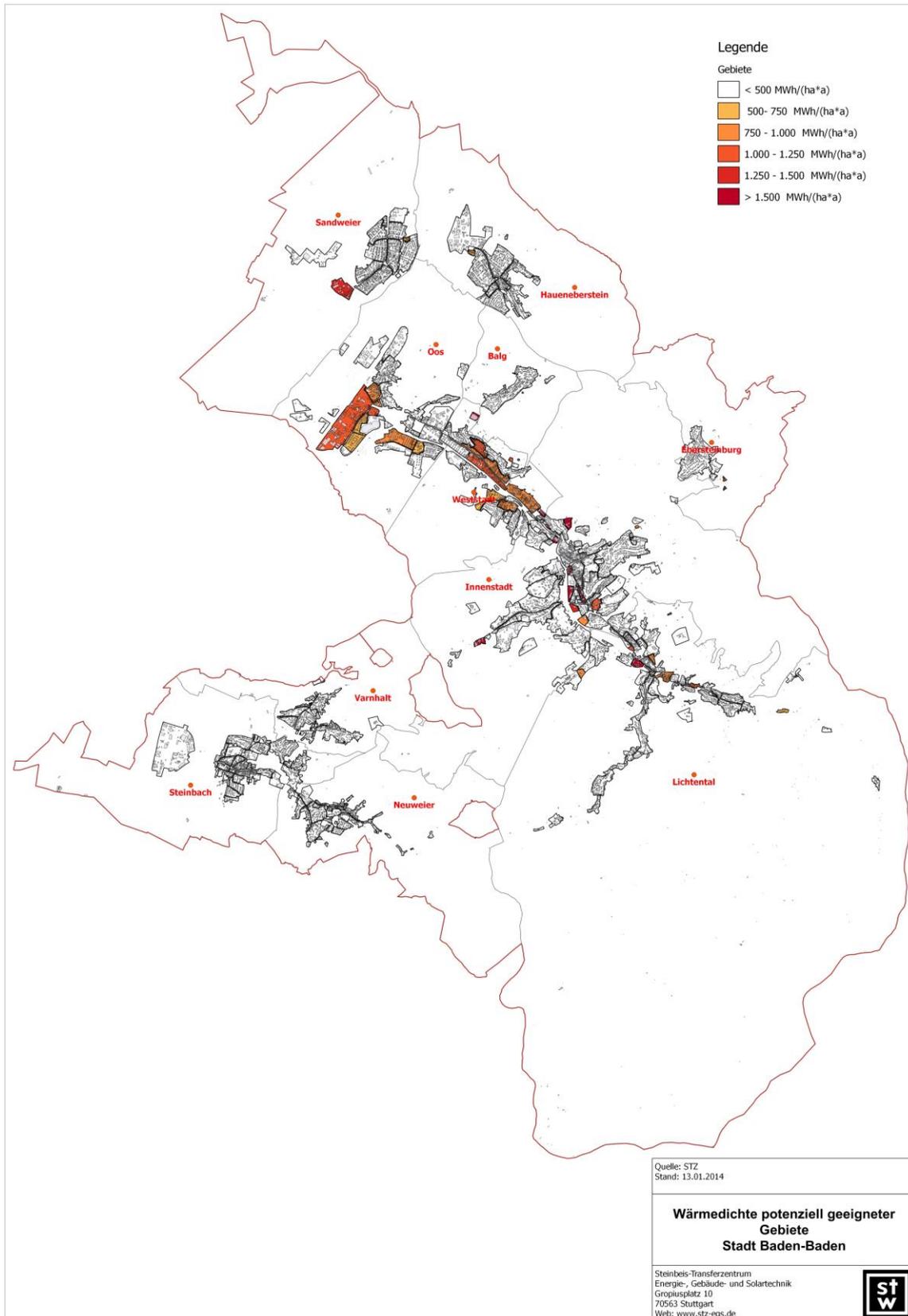


Abbildung 26: Potenzialgebiete mit einer Wärmedichte > 500 MWh/(ha*a)

4.1.2 Einfluss von Sanierungsszenarien auf die Nahwärmepotenziale

Die bisherige Betrachtung des Wärmebedarfs und der –dichte bezieht sich auf den aktuell vorliegenden Gebäudebestand und dessen Verbrauchswerte. Ausgehend von diesem Basisfall soll im folgenden Kapitel der Einfluss von Sanierungsmaßnahmen auf die Wärmedichten der Potenzialgebiete aufgezeigt werden.

Eine energetische Sanierung der Gebäudehülle führt in der Regel zu einer Reduzierung des Heizwärmebedarfs. Energetische Gebäudesanierungen haben damit direkten Einfluss auf den Wärmebedarf innerhalb eines Gebietes und indirekt auf die Wärmedichte. Sinkt die Wärmedichte aufgrund vermehrter Sanierungsmaßnahmen kann die Eignung für eine zentrale Wärmeversorgung verloren gehen. Da die Letztverbraucher nach einer Sanierung weniger Wärme aus einem Wärmenetz abnehmen steigen die konstanten Verteilverluste relativ an und verschlechtern damit den Anlagenbetrieb. Aus diesem Grund werden folgende Sanierungsszenarien entwickelt und vergleichend gegenübergestellt.

- Basisszenario gemäß Kapitel 4.1.1
- Komplettsanierung auf Wärmebedarf von $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
- Sanierung auf Klimaschutzziel – 37 %
- Teilsanierung mit einer Sanierungsrate von 2 %/a

Im Rahmen der **Komplettsanierung** wird der gesamte Gebäudebestand auf ein realistisches Zielniveau von $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ saniert. Die Komplettsanierung berücksichtigt keine zeitliche Komponente sondern setzt voraus, dass der gesamte Gebäudebestand seinen Wärmebedarf durch eine energetische Gebäudesanierung mindestens auf dieses Niveau senken kann. Für alle Sanierungsszenarien wird die Verbraucherkategorie Industrie nicht berücksichtigt, da mögliche prozessbedingte Wärmebedarfe durch reine Sanierungen nicht gesenkt werden.

Das zweite Sanierungsszenario spiegelt die **Klimaschutzziele** der Stadt Baden-Baden mit dem Ziel einer CO_2 -Reduktion von 37 % wider. Unter der vereinfachten Annahme, dass der Wärmebedarf um 37 % reduziert werden soll, wäre ein flächenbezogener Wärmebedarf von $64 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ nach einer Sanierung erforderlich. Dabei wird wiederum von einer Sanierung des gesamten Gebäudebestands ausgegangen.

Mit dem dritten Sanierungsszenario **Teilsanierung** soll der Einfluss einer jährlichen Sanierungsrate berücksichtigt werden. Im Klimaschutzkonzept der Stadt Baden-Baden wird für die Potenzialberechnung eine Sanierungsrate von 2 %/a zugrunde gelegt. Mit dieser Sanierungsgeschwindigkeit wird der Wärmebedarf des Gebäudebestands in dem Teilsanierungsszenario auf ein Zielniveau von $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ reduziert. Der Zeithorizont für die Betrachtung reicht analog zum Klimaschutzkonzept bis zum Jahr 2020.

Das Ergebnis der einzelnen Sanierungsszenarien ist in Tabelle 2 vergleichend dargestellt. Für die Auswahl der potenziell geeigneten Gebiete wird weiterhin eine minimale Wärmedichte von $500 \text{ MWh}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ vorausgesetzt.

Tabelle 2: Übersicht Sanierungsszenarien

	Basis	Komplettsanierung	Klimaschutzziel	Teilsanierung
Anzahl geeigneter Gebiete [-]	41	32	21	41
Gesamtwärmebedarf [MWh/a]	168.000	132.000	104.000	164.000
Einsparung [%]	0,0%	21,6%	37,0%	2,6%

Die Übersicht in Tabelle 2 verdeutlicht, dass unter Berücksichtigung der Sanierungsszenarien „Komplettsanierung“ und „Klimaschutzziel“ die Anzahl der potenziellen Nahwärmegebiete von ursprünglich 41 auf bis zu 21 sinkt. Der Wärmebedarf nimmt unter den Randbedingungen der „Komplettsanierung“ um rund 22 % ab.

Das Szenario „Teilsanierung“ zeigt die begrenzten Wärmebedarfseinsparpotenziale unter den genannten Randbedingungen auf. Die angenommene Sanierungsrate von 2 %/a liegt dabei deutlich über dem deutschlandweiten Durchschnitt von rund 1 %/a. Das kleine Einsparpotenzial in Höhe von 2,6 % ist hauptsächlich bedingt durch den kurzen Betrachtungszeitraum von sechs Jahren bis 2020. Die Anzahl der potenziellen Nahwärmegebiete verändert sich hierbei aufgrund des langsamen Sanierungsfortschritts nicht.

Die Analyse der Sanierungsszenarien lässt den Rückschluss zu, dass kurzfristig (bis 2020) mit keiner signifikanten negativen Auswirkung auf die Eignung der Gebiete hinsichtlich einer zentralen Wärmeversorgung zu rechnen ist. Sollen jedoch weiterreichende Sanierungsziele als in dem Szenario „Teilsanierung“ angestrebt werden, ist die Eignung aller bisherigen Gebiete nicht mehr gegeben. Die Anzahl der Potenzialgebiete reduziert sich zum Teil auf die Hälfte der ursprünglichen Höhe. Dieser Sachverhalt ist im Hinblick auf den möglichen Ausbau zentraler Wärmeversorgungen in Baden-Baden zu beachten.

Die örtliche Verteilung der verbleibenden Potenzialgebiete bei den jeweiligen Sanierungsszenarien kann detailliert im Anhang betrachtet werden.

4.1.3 Lokale Wärmepotenziale

Der in Kapitel 4.1.1 und 4.1.2 berechnete Wärmebedarf dient als Grundlage für die ganzheitliche Bewertung der einzelnen Nahwärmegebiete. Darüber hinaus erfolgt im folgenden Abschnitt die Analyse vorhandener Wärmepotenziale auf dem Gebiet der Stadt Baden-Baden. Liegen diese Wärmepotenziale in der räumlichen Nähe zu den identifizierten Gebieten mit Nahwärmeeignung können Synergiepotenziale ausgenutzt werden.

Im Rahmen der Wärmestudie konzentriert sich die Analyse von Wärmepotenzialen auf folgende Energieformen:

- Abwasserwärme
- Fernwärme
- Geothermie

Abwasserwärme

Die Nutzung von Abwasserwärme stellt ein innovatives Verfahren dar, um ungenutzte Wärmeenergie sinnvoll nutzbar zu machen. Abwasser fällt im urbanen Raum in großen Mengen an. Egal ob im Wohnungsbau, im Gesundheitswesen, im Gastronomie- und Hotelbereich oder bei industriellen Verbrauchern wird warmes Wasser benötigt, das im Anschluss an die primäre Nutzung als Abwasser in die Kanalisation geleitet wird. Damit gelangt eine große Wärmemenge in die öffentliche Kanalinfrastruktur deren Temperaturniveau in der Regel über das Jahr zwischen 10 und 20 °C schwankt [Uhrig, 2014].

Um diese Energiemenge für Wärmeanwendungen in Gebäuden nutzbar zu machen, wird dem warmen Abwasser über einen Wärmetauscher Energie entzogen. Im Anschluss wird die gewonnene Wärmeenergie über eine Wärmepumpe auf ein erforderliches Temperaturniveau für Heizwärme oder Brauchwarmwasser zu heben. In Abbildung 27 ist das Funktionsprinzip der Abwasserwärmenutzung im Kanal dargestellt. Der abgebildete Wärmetauscher wird hierbei vom Abwasser überströmt und entzieht dem Abwasser die Wärme. In der vorliegenden Studie beschränkt sich der Technologieansatz der Abwasserwärmenutzung im Kanal. Ansätze zur Nutzung von Abwasserwärme direkt im Gebäude oder in der Kläranlage werden nicht detailliert behandelt.

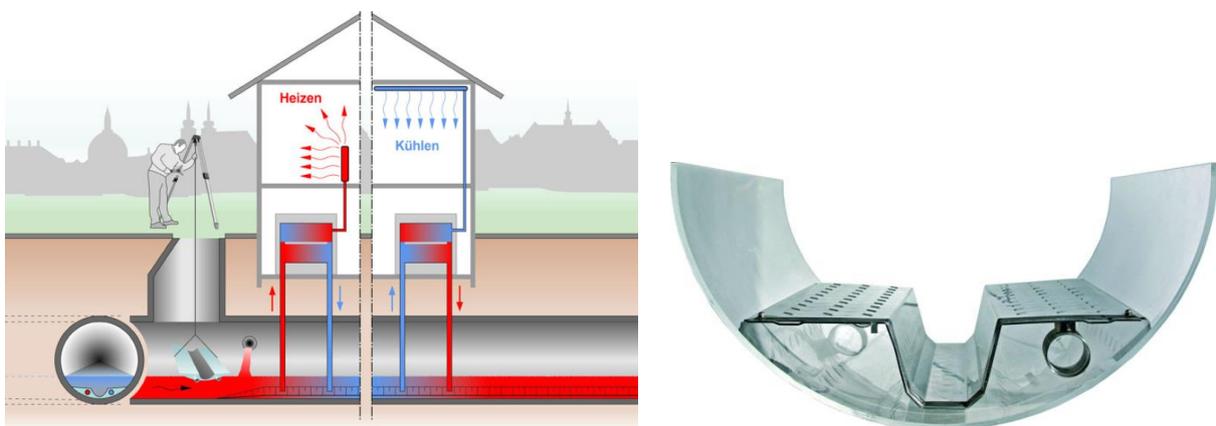


Abbildung 27: Schema und Ansicht Abwasserwärmetauscher [Uhrig, 2014]

Die Abwasserwärmenutzung im Kanal erfordert gewisse Grundvoraussetzungen für die erfolgreiche Umsetzung. Generell bestehen Anforderungen an das Abwasseraufkommen, wie eine Mindestabflussmenge und einen Minimalwert der Abwassertemperatur (ab 8 °C). Ebenso existieren Anforderungen an die Kanalinfrastruktur. Um den Abwasserwärmetauscher einbauen zu können ist eine Mindestkanalgröße von DN 400 erforderlich. In Abhängigkeit von der projektspezifischen Entzugsleistung bedarf es zudem einer bestimmten verfügbaren Kanallänge für den Einbau. Der Betreiber des Kanalnetzes wird darüber hinaus noch weitere Kriterien, wie z.B. die Abkühlung des Abwassers, von dem Anlagenbetreiber erfragen. Sind die genannten Grundvoraussetzungen gegeben, kann aus technischer Sicht eine Abwasserwärmenutzung durchgeführt werden.

In der folgenden Grafik sind die Kanalabschnitte in Baden-Baden farblich markiert, die aufgrund der Kanaldimensionierung für eine Abwasserwärmenutzung generell geeignet sind. Die geeigneten Kanalabschnitte liegen erneut mehrheitlich entlang der zentralen Stadtachse entlang des Oos-Tals. Bedingt durch die Lage der Gemeinschaftskläranlage Baden-Baden/Sinzheim müssen die eingeleiteten Abwassermengen von der Innenstadt entlang dieser Linie abfließen, an der sich auch die Großzahl der potenziellen Nahwärmegebiete befindet. Für die Gebiete in unmittelbarer räumlicher Nähe besteht somit ein technisches Potenzial zur Nutzung der Abwasserwärme.

Weitere geeignete Kanalabschnitte liegen in Haueneberstein/Sandweier und im Rebland. Das Abwasseraufkommen für diese Abschnitte ist jedoch im konkreten Fall zu überprüfen. Im Gegensatz zu dem Verlauf der Kanäle entlang des Oostals sind an die Kanalabschnitte in den einzelnen Stadtteilen weniger abwassereinleitende Verbraucher angeschlossen. Da sich an diesen Bereichen jedoch keine potenziellen Nahwärmegebiete befinden, wird der originäre Analyseschwerpunkt auch nicht beeinträchtigt.

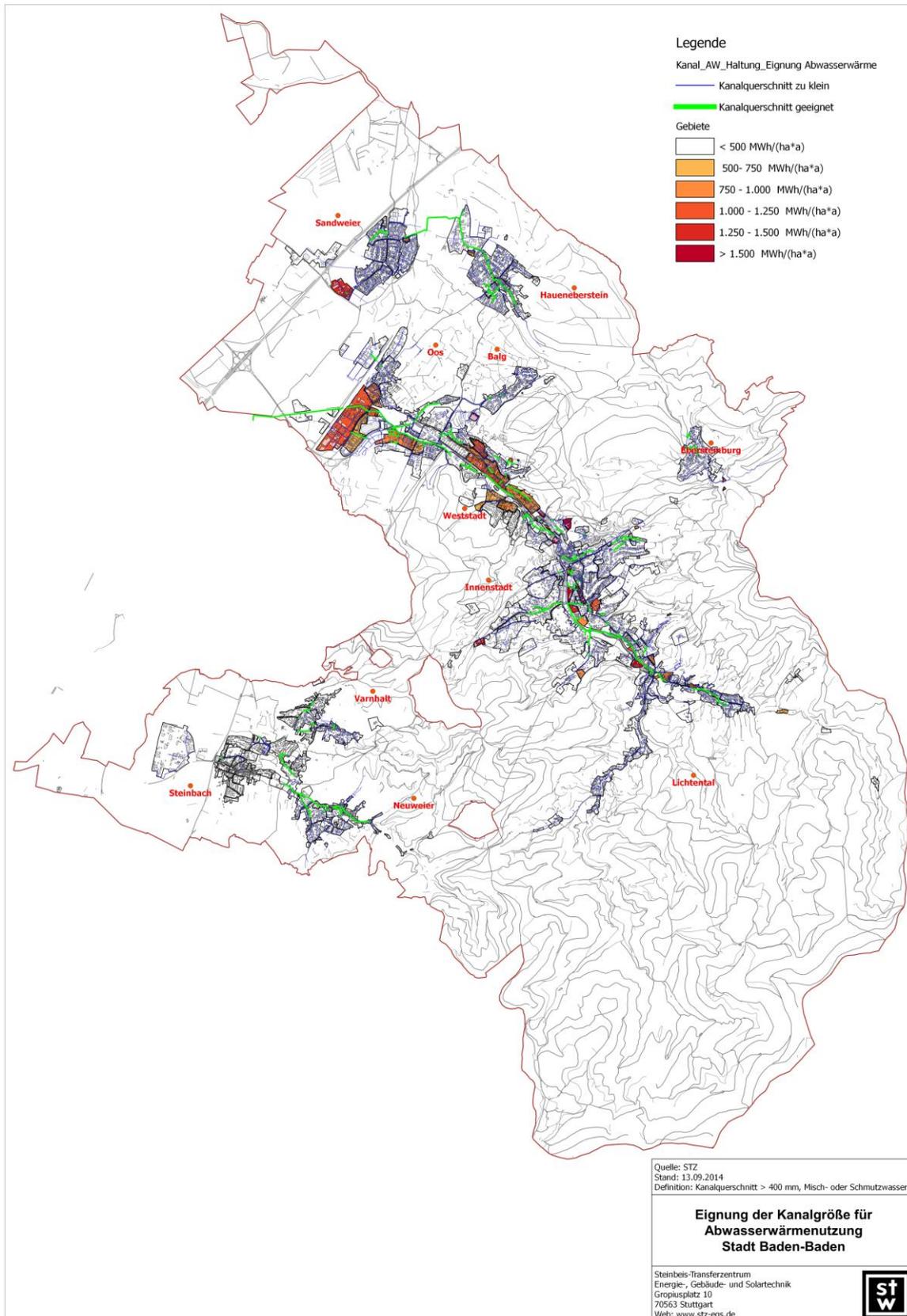


Abbildung 28: Kanaleignung für Abwasserwärmenutzung

Fernwärme

Das Fernwärmenetz in Baden-Baden versorgt über ein sechs Kilometer langes Leitungsnetz rund 60 Liegenschaften im erweiterten Innenstadtbereich. Ausgehend von der Heizzentrale im Rotenbachtal verläuft die bisherige Fernwärmeleitung Richtung Oos-Tal. Dort teilt sie sich in drei Trassen auf, die weiter in Richtung Lichtental, Fremersberg und in die Weststadt führen. An dem bestehenden Fernwärmenetz befinden sich in räumlicher Nähe mehrere Gebiete mit einer hohen Wärmedichte, die noch nicht mit Fernwärme versorgt werden. Für diese Gebiete gilt, dass aufgrund der geringen Entfernung zu der Fernwärmeleitung ein Anschluss generell möglich wäre. In Abbildung 29 zeigt ein Kartenausschnitt das Fernwärmenetz (grün) im Innenstadtbereich und die angrenzenden potenziellen Nahwärmegebiete.

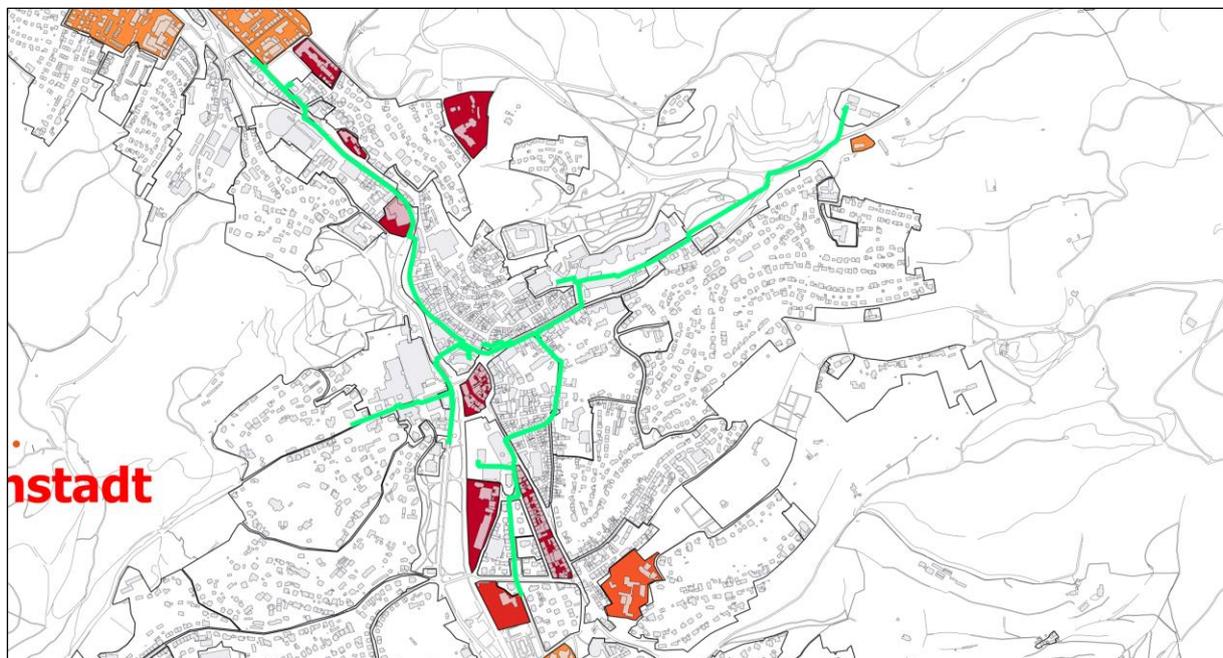


Abbildung 29: Fernwärmenetz und potenzielle Nahwärmegebiete

Geothermie

Geothermie ist die unterhalb der festen Erdoberfläche gespeicherte Energie in Form von Wärme und steht als klimafreundliche, alternative Energiequelle der Stadt Baden-Baden zur Verfügung. Verschiedene Technologien werden zum Heizen, Kühlen oder zur Stromerzeugung mittels Erdwärme eingesetzt. Oberflächennahe Wärmereservoirs dienen zum Beispiel Wärmepumpensystemen als Wärmequelle und eignen sich daher generell für die Heizwärme- und Brauchwassererwärmung in Gebäuden. Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich aus diesem Grund auf die oberflächennahe Geothermienutzung.

In Abbildung 30 sind die Wasser- und Heilquellenschutzgebiete in Baden-Baden eingetragen. Die Grafik verdeutlicht, dass speziell in den Bereichen der Innenstadt und in Richtung Lichtental, in Teilen Oos und Sandweier der Bau von Erdsonden gemäß des „Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden“ des Umweltministeriums Baden-Württemberg nicht erlaubt ist. In den restlichen Gebieten in der Weststadt bis nach Oos ist der Bau von Erdsonden generell möglich aber im Einzelfall zu prüfen.

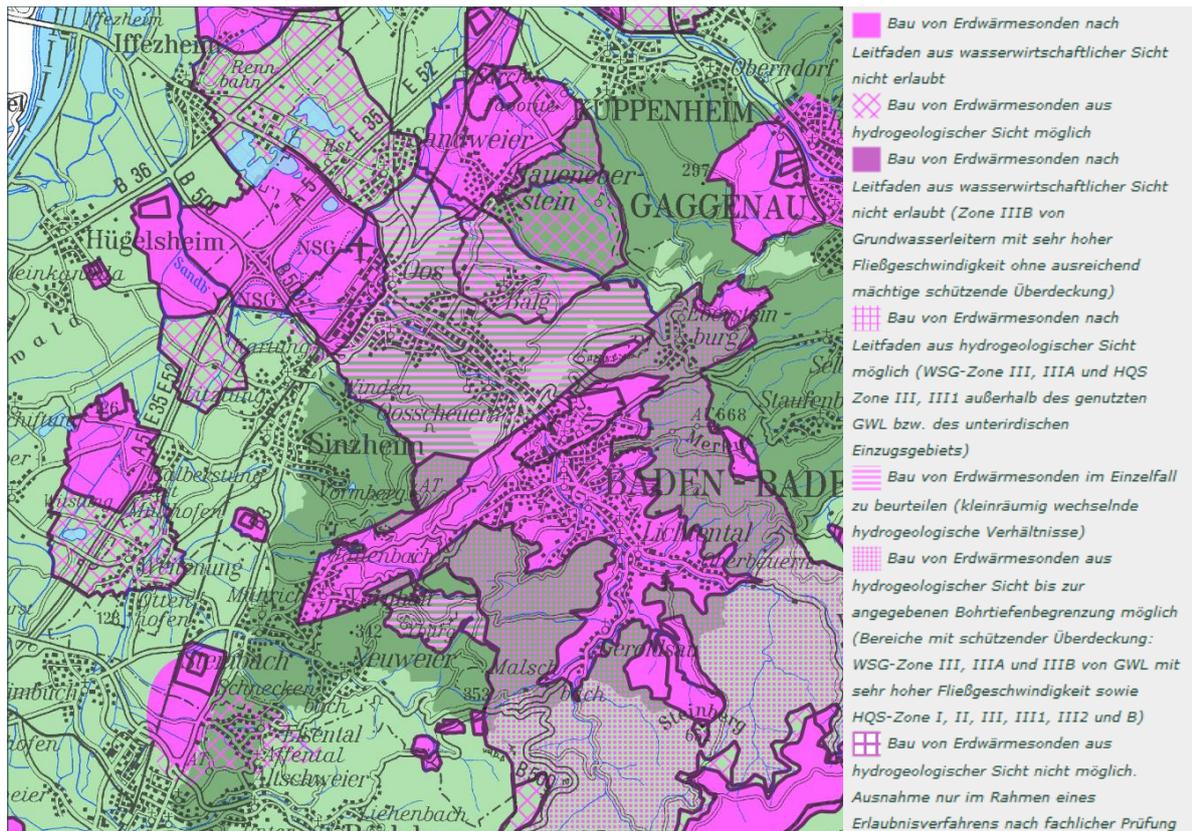


Abbildung 30: Wasser- und Heilquellenschutzgebiete in Baden-Baden [ISONG, 2014]

Die potenziell geeigneten Nahwärmegebiete, die außerhalb eines Wasser- und Heilquellenschutzgebietes liegen, sind in Abbildung 31 mit der entsprechenden Wärmedichte abgebildet. Insgesamt 21 potenzielle Einzelgebiete bleiben nach dieser Auswahl übrig. Für diese potenziell für Geothermie geeigneten Nahwärmegebiete gilt, dass aufgrund von räumlich eng wechselnden Untergrundverhältnisse keine belastbaren Aussagen zum geothermischen Potenzial der Gebietsflächen gemacht werden kann. An den konkreten Standorten ist jeweils eine Einzelfallbeurteilung notwendig.

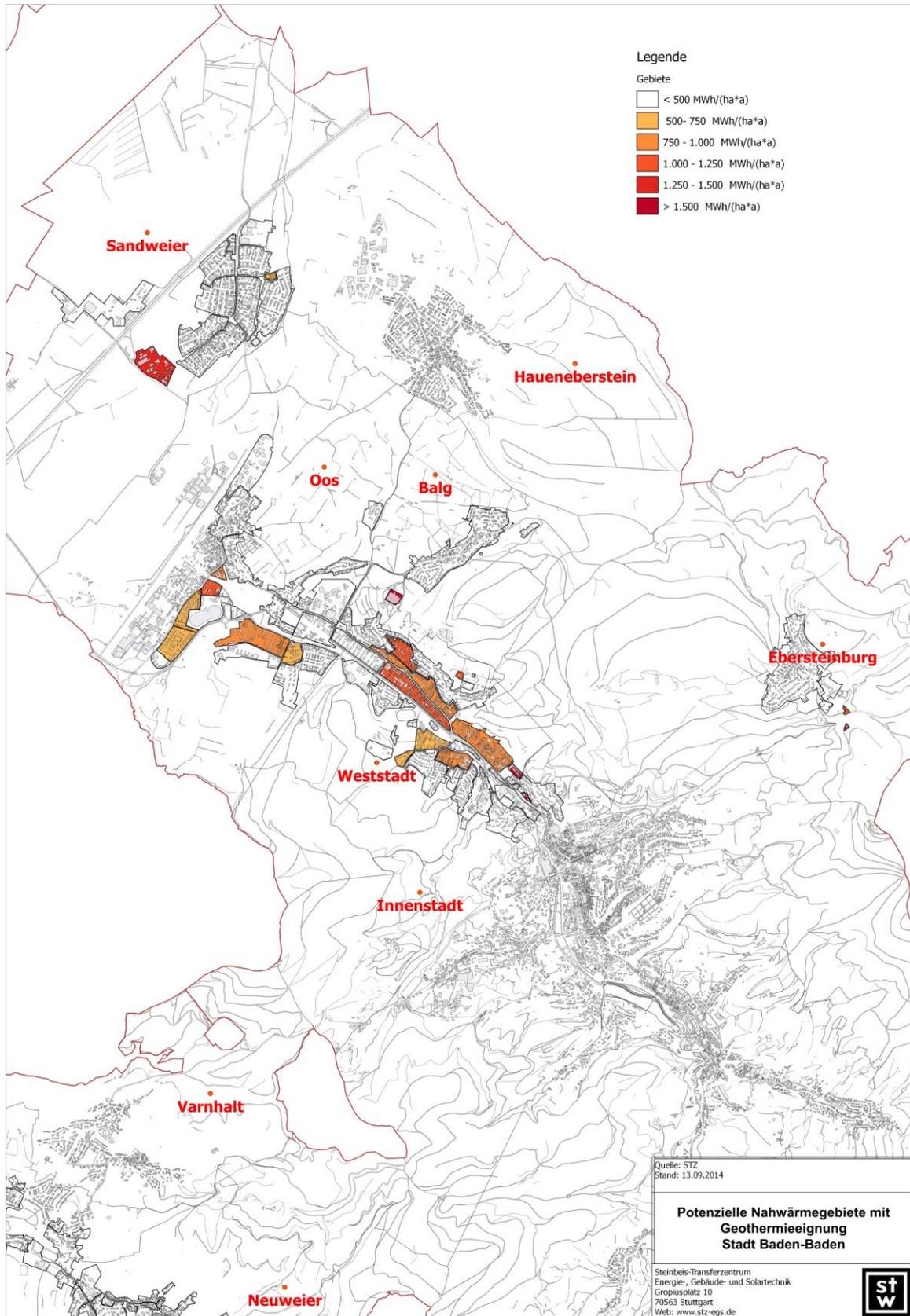


Abbildung 31: Potenzielle Nahwärmegebiete mit Geothermiepotenzial (Oberflächennah)

4.1.4 Gesamtpotenzial Nahwärme

Die Potenzialanalyse der vorhergehenden Kapitel hat gezeigt, dass für die identifizierten Nahwärmegebiete entsprechende Wärmeangebote vor Ort zur Verfügung stehen. Neben den genannten Wärmeangeboten können auch weitere Technologien eine Verbesserung der Wärmeversorgung mit sich bringen. Darunter fällt auch die KWK-Technologie, die sinnvoll in zentrale Wärmeversorgungssysteme integriert werden kann. Die Verbesserung gegenüber einer dezentralen Versorgungsstruktur auf Basis fossiler Energieträger wird in der vorliegenden Studie anhand der Kenngrößen Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen bewertet.

In allen Gebieten steht grundsätzlich mindestens eine Art der Wärmeangebote zur Nutzung bereit. Oftmals liegen aber auch mehrere Arten des Wärmeangebots in räumlicher Nähe zu den versorgenden Objekten. Dies ist vor allem im Bereich der Weststadt und in Oos der Fall. Darüber hinaus besteht bei allen potenziellen Nahwärmegebieten die Anschlussmöglichkeit an das Gasnetz der Stadtwerke Baden-Baden (Ausnahme: 2 Gebiete in Ebersteinburg). Bei einer möglichen Umsetzung einer zentralen Wärmeversorgung ist in den Gebieten der Einsatz eines erdgasbetriebenen BHKW's denkbar.

Für die Berechnung der Einsparpotenziale durch zentrale Wärmeversorgungen wurde beispielhaft der Energiebedarf für ein Quartier ermittelt. Der Energiebedarf und die CO₂-Emissionen werden dabei für eine konventionelle dezentrale Wärmeversorgung (Basis: Gas) berechnet und den Ergebnissen zentraler Versorgungsvarianten mit Wärmepumpe, Fernwärme und BHKW vergleichend gegenübergestellt. Die Berechnungsergebnisse führen bei den verschiedenen Technologievarianten zu ähnlichen Ergebnissen. So ergeben sich durch die Umstellung auf zentrale Versorgungsvarianten mit den aufgeführten Technologien Primärenergieeinsparungen in Höhe von 30 % und Treibhausgasreduktionen in der Größenordnung von 20 bis 30 %.

Bezogen auf den Energiebedarf der 41 potenziellen Nahwärmegebiete aus Kapitel 4.1.1 resultiert für den **Status Quo (Basisszenario) ein Primärenergiebedarf von 205.000 MWh/a**. Hierbei sind die Primärenergiefaktoren der EnEV der Berechnung zugrunde gelegt. Wird nun bei den Gebäuden innerhalb der Potenzialgebiete die pauschale Primärenergieeinsparung von 30 % angesetzt, resultiert ein neuer Primärenergiebedarf von **145.000 MWh/a**. Die einsparbare jährliche Primärenergiemenge beträgt in den potenziellen Nahwärmegebieten 60.000 MWh/a. Für Gebäude mit bereits bestehendem Fernwärmeanschluss fließt kein Einsparpotenzial in diese Berechnung mit ein.

Die aktuellen Treibhausgasemissionen innerhalb der Potenzialgebiete nehmen bei dem berechneten Wärmebedarf einen Wert von **45 Tsd. tCO₂** pro Jahr ein. Unter der Annahme einer zwanzigprozentigen Reduktion der jährlichen CO₂-Emissionen resultiert ein neuer CO₂-Ausstoß von **36 Tsd. tCO₂** pro Jahr. Die jährliche **CO₂-Einsparung** durch eine zentrale Wärmeversorgung auf Basis von Fernwärme, KWK oder Wärmepumpen beträgt somit rund **9 Tsd. tCO₂**. Bezogen auf die gesamten Treibhausgasemissionen der Stadt Baden-Baden in Höhe von 525 Tsd. tCO₂ pro Jahr [Baden-Baden, 2012] beträgt das Einsparpotenzial 1,7 %.

4.2. KWK-Potenziale der Referenztypen

Der zweite Teil der Analyse beleuchtet die KWK-Potenziale bei ausgewählten Verbraucherkategorien mit einem ganzjährig vorhandenen Wärmebedarf. Die qualitative Beschreibung der geeigneten Verbraucherkategorien in Kapitel 3.3.2 dient dabei als Grundlage für die konkrete Potenzialermittlung.

Auf Basis der Bestandsanalyse wurden verschiedene Referenztypen identifiziert, die jeweils für eine charakteristische Nutzungsart und Verbrauchergroße stehen. Im Rahmen der KWK-Potenzialanalyse wird für jeden Referenztyp eine beispielhafte Berechnung anhand eines realen Objekts durchgeführt, um belastbare und aussagekräftige Ergebnisse für die Wärmestudie zu erhalten. Aus diesem Grund hat die Stadt Baden-Baden einzelne Unternehmen und Betriebe angeschrieben und für eine Teilnahme an der Studie gewinnen können. Die einzelnen Unternehmen und Untersuchungsobjekte wurden dazu von Vertretern des Steinbeis-Transferzentrums EGS besucht und die Anlagentechnik und die objektspezifischen Besonderheiten vor Ort aufgenommen. Im Anschluss erfolgten die Auswertung der Eingangsdaten und die Berechnung möglicher KWK-Nutzungsvarianten. Der ganzheitliche Bewertungsansatz der KWK-Eignung orientiert sich dabei an ökonomischen und ökologischen Kriterien. Den Gebäudeeigentümern wurden die Ergebnisse für die weitere Verwendung übergeben.

Die Ergebnisse der Potenzialuntersuchungen sind in den folgenden Kapiteln detailliert beschrieben. Untenstehende Gliederung der Referenztypen aus Kapitel 3.3.2 bildet die Reihenfolge für die weitere Betrachtung ab.

- **Gesundheit und Bäderbetriebe**
 - Referenztyp 1: Große Kliniken
 - Referenztyp 2: Kleine Kliniken, Bäderbetriebe und Pflegeheime
- **Hotels**
 - Referenztyp 3: Große Hotels
 - Referenztyp 4: Kleine Hotels
- **Gewerbe**
 - Referenztyp 5: Großverbraucher
 - Referenztyp 6: Kleinverbraucher
- **Wohngebäude**
 - Referenztyp 7: Mehrfamilienhaus

4.2.1 Referenztyp 1: Große Kliniken

Aufgrund des Betrachtungsschwerpunkts in der Stadt Baden-Baden auf die Gesundheits- und Bäderbetriebe wurden innerhalb der Potenzialanalyse für den Referenztyp 1 die Detailanalysen an vier verschiedenen Objekten vorgenommen. In dem folgenden Kapitel sind die konkreten Ergebnisse von zwei Objekten (Ref 1.1 und 1.2) detailliert beschrieben.

Objekt Ref 1.1

Allgemeine Kurzbeschreibung

Der erste beispielhafte Klinikbetrieb aus dem „Referenztyp 1: Große Kliniken“ befindet sich am äußeren Stadtrand von Baden-Baden. Das als Reha-Klinik und Therapiezentrum genutzte Objekt hat eine Gesamtbettenzahl von rund 160 Stück. Die Klinik weist einen durchgehenden jährlichen Betrieb mit einer mittleren Belegung von rund 90 % auf.

Der Gebäudekomplex teilt sich in zwei verschiedene Bereiche auf. In dem älteren Gebäudeteil aus dem Jahr 1983 befindet sich die Großzahl der Betten. Der neuere Gebäudeteil beinhaltet eine Sporthalle, Schwimmbecken und eine Spa-Landschaft.

Für die Detailanalyse stehen Daten aus einer Vor-Ort-Begehung, Grundrisspläne, Energieverbrauchsdaten und Informationen des technischen Klinikpersonals zur Verfügung.



Abbildung 32: Ref 1.1 Ausschnitt Anlagentechnik

Anlagentechnik und Energieversorgung

Die Wärmeversorgung erfolgt in der Klinik für die beiden Gebäudeabschnitte über zwei getrennte Heizkreise. Die beiden Heizzentralen befinden sich im Untergeschoss der Gebäude und sind über einen Kriechgang bereits miteinander verbunden. Für die Wärmeerzeugung stehen vier Gas-Kessel mit einer gesamten installierten Leistung von 1.300 kW_{th} zur Verfügung. Über Fußbodenheizungen und Heizkörper erfolgt die Gebäudebeheizung. Warmwasser wird hauptsächlich für die Duschen im Schwimmbadbereich und in den Patientenzimmern benötigt.

Der Wärmebedarf des Objekts beträgt rund 2.300 MWh/a. Die mittlere stündliche Spitzenlast liegt bei rund 700 kWh/h und die ganzjährige Grundlast beträgt rund 80 kWh/h. Bedingt durch den erhöhten Wärmebedarf in der Heizperiode ergeben sich deutliche saisonale Schwankungen beim Wärmebedarf. Tageszeitliche Schwankungen sind an einem erhöhten Warmwasserbedarf am Vormittag erkennbar.

Der für eine KWK-Nutzung ebenfalls relevante Strombedarf beläuft sich auf eine jährliche Menge von rund 800 MWh/a bei einer mittleren Grundlast von 80 kWh/h. Das Strombedarfsprofil zeigt deutliche Verbrauchsschwerpunkte am Vormittag auf. In den Sommermonaten steigt zusätzlich der Strombedarf aufgrund des Betriebs von Klimaanlage auf ein Maximum.

KWK-Potenzialuntersuchung

Die Potenziale für den Einsatz eines BHKW's werden anhand technischer und wirtschaftlicher Kriterien bewertet. Aus technischer Sicht ist bei der Dimensionierung einer BHKW-Anlage auf eine hohe Jahreslaufzeit bei einer möglichst geringen Taktungszahl zu achten. Gleichzeitig sollte eine hohe Eigenstromnutzung des erzeugten Stroms direkt im Objekt erfolgen, um das wirtschaftliche Ergebnis zu verbessern.

Auf Basis der vorliegenden Wärme- und Stromlastprofile werden daher verschiedene BHKW-Größen miteinander verglichen. Für das Objekt wird ein BHKW mit einer thermischen Leistung von 170 kW_{th} und einer elektrischen Leistung von 110 kW_{el} empfohlen. Diese Anlagengröße erreicht eine relativ hohe Anzahl der Vollbenutzungsstunden von 7.600 h. Bei einem wärmegeführten Betrieb kann mit dieser Anlage rund 55 % der Wärme gedeckt werden (siehe Abbildung 33). Der erzeugte KWK-Strom kann zu 80 % direkt im Gebäude verbraucht werden und reicht für 80 % des Strombedarfs.

Der Primärenergiebedarf kann durch den Einsatz des BHKW's von ursprünglich 4.800 MWh/a um 20 % auf 3.800 MWh/a reduziert werden. Die CO₂-Emissionen sinken von 1.100 t/a um 25 % auf rund 800 t/a.

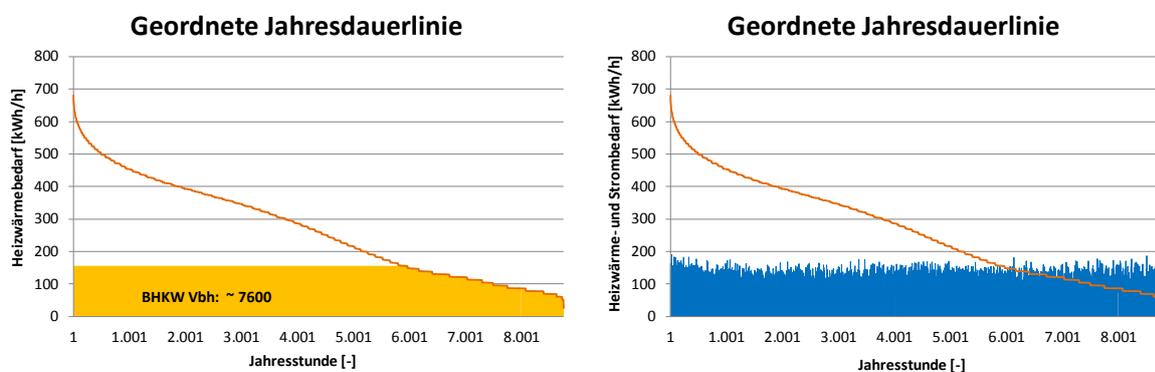


Abbildung 33: JDL Wärme für BHKW-Dimensionierung – Ref 1.1

Aus technischer Sicht könnte das BHKW in der größeren Heizzentrale im Bettenhaus neben dem Heizkessel installiert werden. Über eine neu zu legende Nahwärmeleitung wären die bisher getrennten Heizkreise mit dem BHKW zu verbinden.

Die erforderlichen Investitionen betragen rund 200 T€ (netto) für die BHKW-Anlage und 55 T€ für das zusätzliche Nahwärmenetz. Die wirtschaftliche Gesamtbetrachtung nach VDI 2067 ergibt einen jährlichen Vorteil gegenüber dem Status Quo von rund 35 T€/a. In Abbildung 34 ist ersichtlich, dass die energieverbrauchsgebundenen Kosten den Hauptteil der Jahresgesamtkosten ausmachen. Die Strom- und Gaskosten liegen für die entsprechenden Abnahmemengen dabei auf einem marktüblichen Niveau von 15 ct/kWh und 4 ct/kWh (netto). Bei der Variante mit BHKW sind die absoluten verbrauchsgebundenen Kosten geringer. Zunächst steigt zwar der Gasbedarf durch den Betrieb des BHKW's an, gleichzeitig führt der vermiedene Strombezug aber zu insgesamt geringeren Energiekosten. Zusätzlich Kostenmindernd wirken sich die Erlöse durch die KWK-Zulage, die Stromvergütung, die vermiedenen Netznutzungsentgelte und die Energiesteuerrückerstattung aus. Die Erlöse in Höhe von 31 T€/a würden sich vor allem aus der Rückerstattung der Energiesteuer (15 T€/a) und der KWK-Zulage (9 T€/a) zusammensetzen. Den größten Anteil an den reduzierten Jahresgesamtkosten machen jedoch die vermiedenen Strombezugskosten in Höhe von 100 T€/a aus.

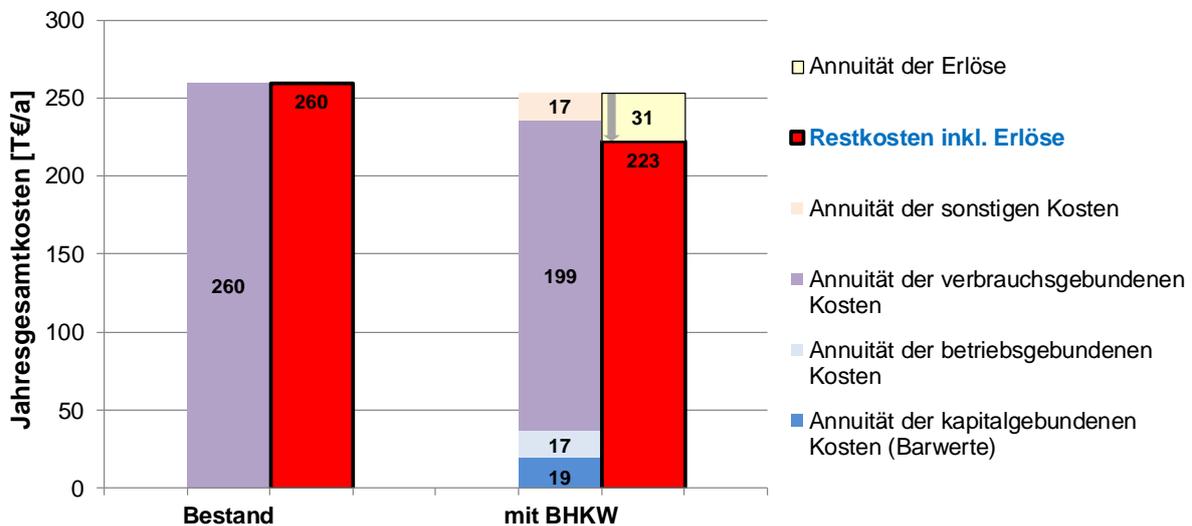


Abbildung 34: Ref 1.1 Jahresgesamtkosten nach VDI 2067

Fazit

Die Untersuchung am Beispiel der vorliegenden Klinik „Ref 1.“ hat gezeigt, dass bei den genannten Randbedingungen – Energiebedarf, Lastverlauf, Energiebezugskonditionen – der Betrieb einer KWK-Anlage zu einer energetischen, ökologischen und wirtschaftlichen

Verbesserung des Anlagenbetriebs führen kann. Besonders der hohe ganzjährige Wärmebedarf bei gleichzeitig hohem Strombedarf bildet gute Voraussetzungen für den sinnvollen Einsatz der KWK-Technologie. Bedingt durch die großen Abnahmemengen liegen die Energiebezugspreise auf einem relativ niedrigen Niveau.

Der hohe Anteil an direkt genutztem KWK-Strom verringert direkt die von einem Stromlieferanten zu beziehende Strommenge. Dieser Aspekt macht sich in einer deutlichen Reduktion der Jahresgesamtkosten gegenüber dem Status Quo sichtbar. Zusätzlich zu den eingesparten Stromkosten wirken die Erlöse kostenmindernd auf das Gesamtergebnis. Unter Berücksichtigung von tendenziell steigenden Strompreisen verstärkt sich dieses positive wirtschaftliche Ergebnis.

Objekt Ref 1.2

Allgemeine Kurzbeschreibung

Der zweite exemplarische Klinikbetrieb aus dem „Referenztyp 1“ befindet sich ebenfalls außerhalb des Kernstadtgebiets. Der Gebäudekomplex in seinem jetzigen Zustand wurde ausgehend von dem Hauptbau um 1900 in vier Bauabschnitten erbaut.



Abbildung 35: Ref 1.2 Gebäudeansichten und Heizzentrale (Bildquelle: Klinikum Mittelbaden)

Anlagentechnik und Energieversorgung

Die Wärmeversorgung in dem Krankenhaus stellt einen besonderen Fall innerhalb der vorliegenden KWK-Studie dar. Der Gebäudekomplex wird mittels Heizöl beheizt. In der Vergangenheit war Öl der Standard-Energieträger für die Gebäudebeheizung und aktuell noch verbreitet in Gebieten ohne ausreichende Anschlussmöglichkeiten an das öffentliche Gasnetz. Im Rahmen der KWK-Studie wurde daher untersucht in welcher Form ein gasbetriebenes BHKW als Ersatz für die veralteten Ölkessel aus dem Jahr 1990 dienen kann. Speziell die Anschlussmöglichkeiten an das vorhandene Gasnetz wurden näher beleuchtet.

Der Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung im Krankenhaus beträgt rund 1.200 MWh/a (~ 130.00 Liter Heizöl). Da aufgrund der lediglich jährlich stattfindenden Erfassung des Heizölverbrauchs unterjährige Verbrauchszahlen fehlen, können Aussagen über den saisonalen Verbrauch nur auf Basis von vergleichbaren Objekten getroffen werden. Der Strombedarf beträgt rund 180 MWh/a. Bei der Analyse des Stromlastprofils kann ein deutliches saisonales Profil festgehalten werden. In den Wintermonaten ist ein erhöhter Strombedarf speziell in den Mittags- und Abendstunden erkennbar. Der Strombedarf bleibt in den Sommermonaten relativ konstant und steigt lediglich am Vormittag an.

KWK-Potenzialuntersuchung

Für die Berechnung der KWK-Potenziale wurden zunächst die Anschlussmöglichkeiten an das öffentliche Gasnetz abgefragt. Nach Rücksprache mit den Stadtwerken besteht generell die Möglichkeit für das Objekt das bestehende Gasnetz zu erweitern und damit erdgasbetriebene Wärmeerzeuger in der Potenzialuntersuchung zu berücksichtigen.

Auf Basis der vorliegenden Wärme- und Stromlastprofile werden wieder mehrere BHKW-Größen miteinander verglichen und hinsichtlich technischer und wirtschaftlicher Faktoren bewertet. Für das Objekt wird ein BHKW mit einer thermischen Leistung von 68 kW_{th} und einer elektrischen Leistung von 30 kW_{el} empfohlen. Mit dieser BHKW-Größe kann eine relativ hohe Anzahl der Vollbenutzungsstunden von 6.900 h pro Jahr erreicht werden. Rund 40 % des Wärmebedarfs können durch diese KWK-Anlage gedeckt werden. Der erzeugte KWK-Strom kann zu 70 % direkt im Gebäude verbraucht werden und reicht für 80 % des Strombedarfs.

Der Primärenergiebedarf kann durch den Einsatz des BHKW's von ursprünglich 1.850 MWh/a um 15 % auf 1.550 MWh/a reduziert werden. Die CO₂-Emissionen reduzieren sich um 35 % auf rund 800 t/a. Das hohe CO₂-Einsparpotenzial resultiert aufgrund des erhöhten CO₂-Äquivalents für den bisher genutzten Brennstoff Heizöl.

Die erforderlichen Ausbaurkosten zur Erschließung mit Erdgas liegen bei dem Objekt bei rund 40 T€. Zusätzlich werden bei der Umstellung auf Erdgas die Investitionskosten für das BHKW, den Gas-Spitzenlastkessel und die Heizungseinbindung in Höhe von 140 T€ berücksichtigt. Die Gesamtkostenbetrachtung nach VDI 2067 in Abbildung 36 verdeutlicht, dass mit dem Einsatz eines BHKW's die Jahresgesamtkosten signifikant gesenkt werden können. Die Kosteneinsparung ist hauptsächlich auf die Energieträgerumstellung von Heizöl auf Erdgas zurückzuführen. Ein weiterer kostenmindernder Faktor sind die vermiedenen Strombezugskosten und die gesetzlich garantierten Erlöse durch den Einsatz eines BHKW's.

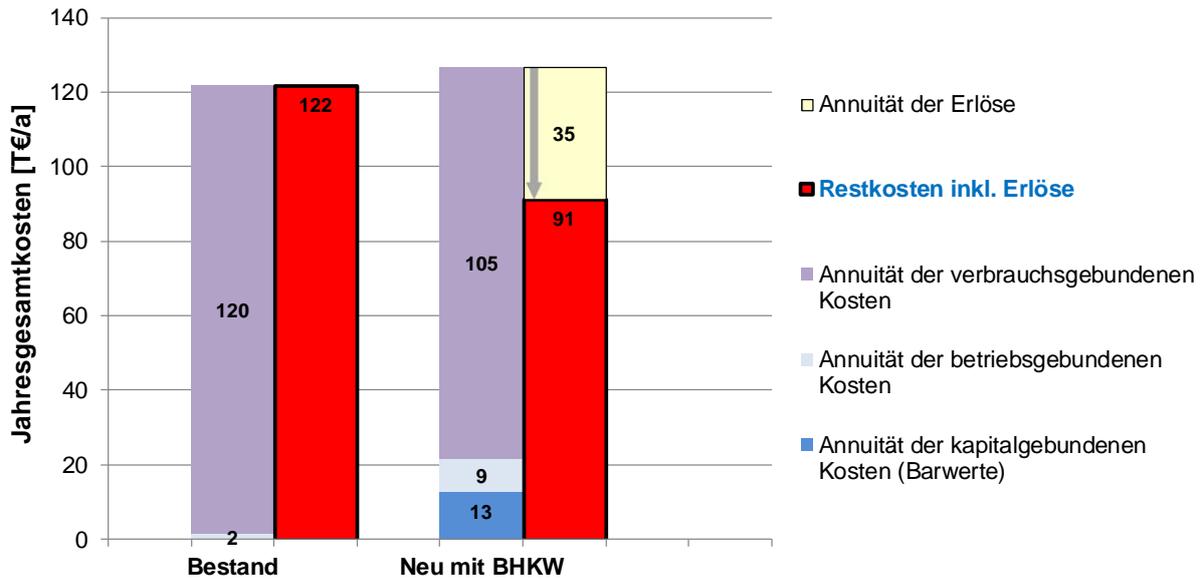


Abbildung 36: Ref 1.2 Jahresgesamtkosten nach VDI 2067

Fazit

Der Betrieb einer KWK-Anlage führt auch bei dem zweiten Klinikbetrieb zu einer signifikanten Primärenergie- und CO₂-Einsparung als auch zu einer Reduktion der Jahresgesamtkosten für den Gebäudebetreiber. Die Besonderheit bei dieser KWK-Analyse ist der Vergleich mit dem Bestandsobjekt, bei dem Heizöl zur Wärmebereitstellung eingesetzt wird. Trotz der anfänglichen Investitionen in den Ausbau des Gasnetzes und die Umstellung der gesamten Wärmeerzeuger können die Gesamtkosten durch die günstigeren Energiepreise für Erdgas und die Erlöse durch die BHKW-Stromerzeugung deutlich gesenkt werden. Der Großteil der Kosteneinsparung ist jedoch eindeutig auf den niedrigeren Preis von Erdgas (~ 4 ct/kWh) gegenüber Heizöl (~ 7 ct/kWh) zurückzuführen.

Aus diesem Grund wurde zusätzlich untersucht, ob eine alleinige Umstellung auf Erdgas mit einem Gaskessel die wirtschaftlichste Variante darstellt. Das Berechnungsergebnis zeigt, dass mit dieser Variante die Jahresgesamtkosten bereits deutlich auf etwa 100 T€/a gesenkt werden können. Durch den Einsatz des BHKW's besteht bei den gegebenen Randbedingungen weiterhin die Möglichkeit, die Jahresgesamtkosten auf rund 91 T€/a zu senken und höhere primärenergetische sowie CO₂-Einsparungen zu generieren.

4.2.2 Referenztyp 2: Kleine Kliniken, Bäderbetriebe und Pflegeheime

Allgemeine Kurzbeschreibung

Das im Detail untersuchte Objekt aus dem „Referenztyp 2“ beschreibt ein Pflegeheim im Bereich der Innenstadt. Das Altenpflegeheim und Wohnstift bietet Räumlichkeiten für bis zu 70 Personen und beschäftigt rund 40 Mitarbeiter. Das Gebäudeensemble besteht aus zwei Teilen, die im Jahr 1888 und 1976 erbaut wurden. Als energierelevante Nutzungsbesonderheit sind die hauseigene Küche und das Schwimmbad für die Bewohner zu erwähnen.



Abbildung 37: Ref 2 Luftbild und Technik des Pflegeheims
(Bildquelle Luftbild: www.pflegeheim.weisse-liste.de)

Anlagentechnik und Energieversorgung

Die Wärmeversorgung erfolgt in dem Pflegeheim über den Anschluss an das Fernwärmenetz im Innenstadtbereich. Die Fernwärmeübergabestation mit einer thermischen Leistung von $700 \text{ kW}_{\text{th}}$ wird dazu genutzt um Heizwärme und Brauchwarmwasser im Objekt bereitzustellen.

Der Wärmebedarf des Pflegeheims liegt bei rund 800 MWh/a und zeigt deutliche saisonale Schwankungen auf. In der Heizperiode steigt der Wärmebedarf an und in den Sommermonaten verbleibt lediglich eine Wärmegrundlast zur Warmwassererzeugung.

Das Pflegeheim hat einen Strombedarf in Höhe von rund 200 MWh/a bei einem stundengemittelten Spitzenlastbedarf von 50 kWh/h und einer minimalen Grundlast von 15 kWh/h . Bedingt durch die Nutzungscharakteristik des Altenpflegeheims existiert tagsüber ein durchgehender signifikanter Stromverbrauch von 6 bis 20 Uhr. Vormittags ist dieser dabei leicht erhöht.

KWK-Potenzialuntersuchung

Hinweis: Bei dem Pflegeheim liegt eine Versorgung mit Fernwärme vor. Da die Fernwärme in Baden-Baden bereits zum Teil über eine KWK-Anlage erzeugt wird, sind primärenergetischen Verbesserungen durch ein gebäudeinternes BHKW nur begrenzt möglich. Für die Potenzialbetrachtung wird daher zusätzlich eine Variante berechnet, bei der eine Objektversorgung mit einem Gaskessel vergleichend gegenübergestellt wird. Durch den erweiterten theoretischen Vergleich können die Ergebnisse für diesen repräsentativen Verbrauchertyp innerhalb der Studie verwendet werden.

Unter Berücksichtigung der genannten Randbedingungen werden nun die KWK-Potenziale in dem Objekt beleuchtet. Auf Basis der Wärme- und Stromlastprofile erfolgt die Auswahl eines BHKW-Moduls anhand technischer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte. Das empfohlene BHKW hat eine thermische Leistung von 90 kW_{th} und eine elektrische Leistung von 50 kW_{el}. Mit dem BHKW kann rund 80 % der Wärme bei einer Vollbenutzungsstundenzahl von 6.900 h/a gedeckt werden. Der Restwärmebedarf wird über die bestehende Fernwärmeübergabestation bereitgestellt. Von der erzeugten Strommenge kann rund 50 % direkt im Gebäude genutzt werden. Damit ist eine Bedarfsdeckung in Höhe von 80 % des bisherigen Strombedarfs möglich.

Der Primärenergiebedarf kann gegenüber der reinen Versorgung über einen Gaskessel um 38 % auf 930 MWh/a gesenkt werden. Die CO₂-Emissionen sinken durch den Einsatz eines BHKW's sogar um 48 % auf 180 t/a. Bei der Bestandsvariante bei der der Spitzenlastbedarf über Fernwärme abgedeckt wird, liegt das Einsparpotenzial der Primärenergie bei 15 % und der CO₂-Emissionen bei 35 %.

Die erforderlichen Investitionen betragen rund 135 T€ (netto) für die BHKW-Anlage und deren Einbindung in die bestehende Heizanlage. Es zeigt sich, dass durch die Nutzung eines BHKW's gegenüber der bestehenden Fernwärmeversorgung die Jahresgesamtkosten von 116 T€/a um 10 T€/a reduziert werden können (siehe Abbildung 38).

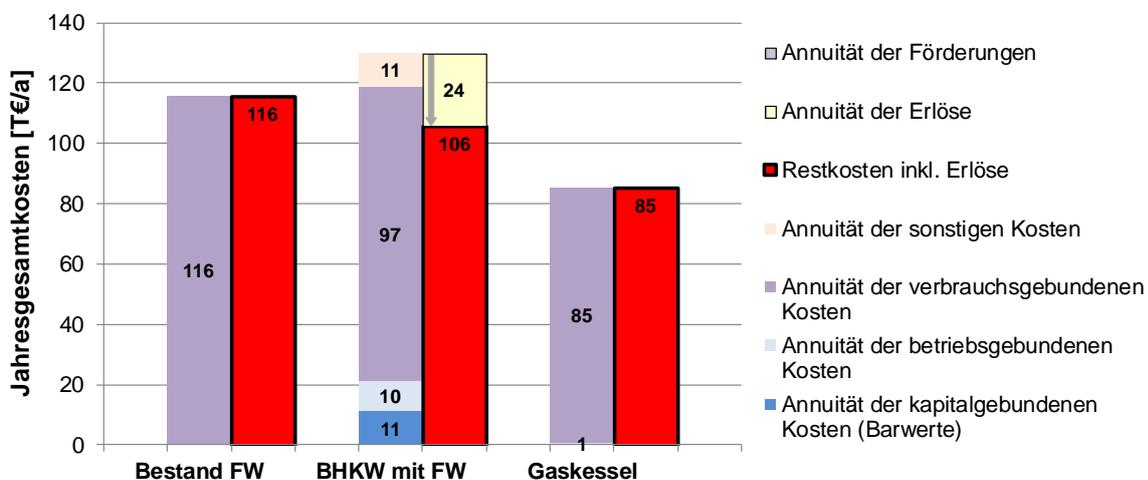


Abbildung 38: Ref 2 Jahresgesamtkosten nach VDI 2067

Die BHKW-Variante hat zum einen durch das günstigere Erdgas (~ 4ct/kWh) gegenüber der Fernwärme (~ 5,5 ct/kWh) geringere Energiekosten und zusätzlich wirken sich die Erlöse durch die BHKW-Stromerzeugung kostenmindernd aus.

Der Vergleich der Jahresgesamtkosten mit der theoretischen Zusatzvariante mit dem Gaskessel führt zu einem anderen Ergebnis. Die Gaskesselvariante ist bedingt durch die niedrigen Energiepreise für Erdgas um 20 T€/a günstiger als die BHKW-Variante.

Fazit

Für das Pflegeheim im Referenztyp 2 resultieren durch den Einsatz eines BHKW's Einsparpotenziale bei der Primärenergie und den CO₂-Emissionen. Gegenüber der reinen FW- oder Gasversorgung erreicht die BHKW-Lösung niedrigere Bedarfs- und Emissionswerte aufgrund der Gutschriften durch den erzeugten BHKW-Strom.

Die anfänglichen Investitionskosten für das BHKW müssen sich durch niedrigere laufende Kosten refinanzieren. Gegenüber der reinen Fernwärmeversorgung sinken die Jahresgesamtkosten von 116 T€/a um 10 T€/a durch niedrigere Energiekosten für den BHKW-Betrieb und die KWK-Erlöse.

Im Vergleich zu einer bestehenden Gaskesselversorgung sind die Kosten jedoch um rund 20 T€/a höher. Die Mehrkosten durch die BHKW-Investition, die BHKW-Wartungskosten und die Abgabe der EEG-Umlage können durch die BHKW-Erlöse nicht mehr refinanziert werden. Dieses Ergebnis ist hauptsächlich auf die Abgabe der EEG-Umlage auf den eigenverbrauchten Strom und die spezifisch höheren BHKW- Investitionskosten und Wartungskosten bei kleinen BHKW-Größen zurückzuführen.

4.2.3 Referenztyp 4: Kleine Hotels

Allgemeine Kurzbeschreibung

Die Detailuntersuchung des Referenztyps 4 erfolgt am Beispiel eines kleinen Hotels in zentraler Innenstadtlage von Baden-Baden. Das Hotel umfasst 31 Gästezimmer, ein Restaurant und mehrere Tagungsräume.



Abbildung 39: Beispielbilder Referenztyp 4: Kleine Hotels

Anlagentechnik und Energieversorgung

Zur Wärmeerzeugung kommt in dem Hotel ein Gaskessel mit einer thermischen Leistung von $200 \text{ kW}_{\text{th}}$ zum Einsatz. Der gesamte Wärmebedarf liegt bei dem Objekt bei rund 150 MWh/a . Die Wärme wird sowohl für die Heizwärmeversorgung als auch für die Warmwassererzeugung auf den Zimmern und im Gastronomiebereich eingesetzt. Durch diese Nutzung ergeben sich saisonale Unterschiede mit einem erhöhten Wärmebedarf innerhalb der Heizperiode. Der jährliche Strombedarf in dem Hotel nimmt einen Wert von rund 100 MWh/a ein.

KWK-Potenzialuntersuchung

Für die Berechnung der KWK-Potenziale werden zunächst der vorliegende Energieverbrauch und die Nutzung hinsichtlich der KWK-Eignung geprüft. Aufgrund der relativ kleinen Verbrauchsmengen existieren für das Objekt keine konkreten hochaufgelösten Lastprofile. Aus diesem Grund werden nutzungsspezifische Lastverläufe herangezogen, um den Jahresverbrauch in ein Lastprofil überführen zu können.

Unter Verwendung dieser Randbedingungen sind verschiedene BHKW-Größen hinsichtlich technischer und wirtschaftlicher Faktoren bewertet worden. Das für das Objekt empfohlene BHKW-Modul hat eine thermische Leistung von $15 \text{ kW}_{\text{th}}$ und eine elektrische Leistung von 6 kW_{el} . Rund 70 % des Wärmebedarfs können dabei in Kombination mit einem Pufferspeicher gedeckt werden. Das BHKW erzielt bei dieser Auslegung eine hohe

Vollbenutzungszahl von 7.500 h/a. Mit dem erzeugten Strom können rund 40 % des Strombedarfs im Hotel gedeckt werden. Die elektrische Leistung des BHKW's liegt im Bereich der Stromgrundlast des Gebäudes. Der erzeugte Strom wird daher vollständig im Gebäude verbraucht.

Gegenüber der konventionellen Wärmeerzeugung mit dem Gaskessel ermöglicht der Einsatz des BHKW-Moduls eine Primärenergieeinsparung von 440 auf 350 MWh/a (- 20 %). Die CO₂-Emissionen lassen sich ebenfalls um 20 % auf 80 t/a reduzieren.

Die Investitionskosten für das BHKW und die Einbindung in die Heizzentrale belaufen sich auf rund 70 T€. Bei der Betrachtung der Jahresgesamtkosten nach VDI 2067 zeigt sich in Abbildung 40, dass durch den BHKW-Betrieb die Gesamtkosten gegenüber dem Weiterbetrieb steigen. Zunächst sinken die verbrauchsgebundenen Energiekosten und die KWK-Erlöse mindern die Gesamtkosten. Gleichzeitig führen die zusätzlichen Investitionskosten (Siehe kapitalgebundene Kosten) und die relativ hohen spezifischen Wartungskosten bei kleinen BHKW's zu insgesamt höheren Gesamtkosten.

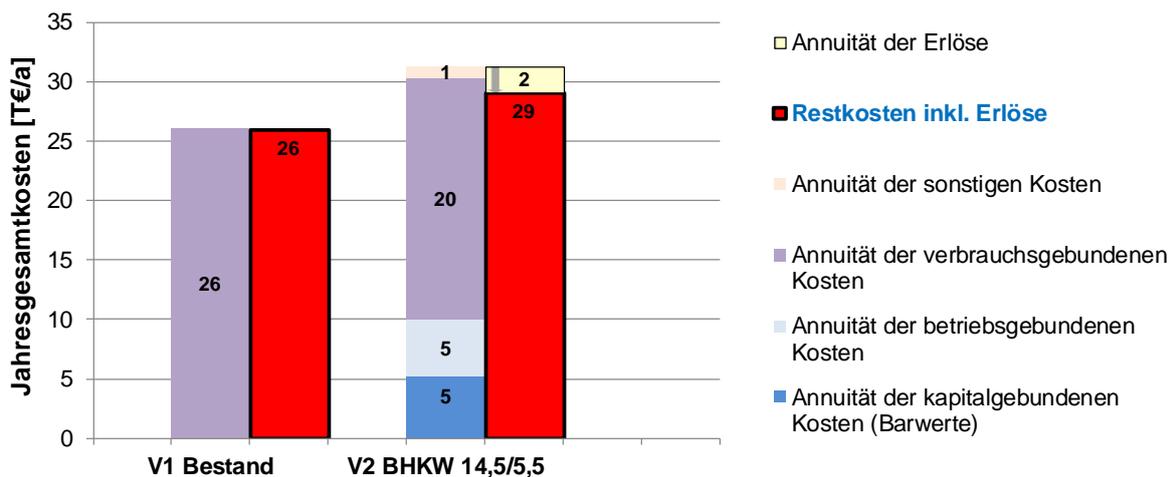


Abbildung 40: Ref 4 Jahresgesamtkosten nach VDI 2067

Fazit

Die beispielhafte Analyse im Referenztyp „Kleine Hotels“ zeigt die wirtschaftlichen Hemmnisse für den Einsatz von BHKW's bei kleinen Verbrauchern auf. Durch die BHKW-Nutzung können aus energetischer und ökologischer Sicht deutliche Verbesserungen erzielt werden. Diesem Mehrwert stehen jedoch höhere Jahresgesamtkosten entgegen. Gründe für die erschwerten wirtschaftlichen Randbedingungen liegen vor allem an den spezifisch höheren Investitions- und Wartungskosten für kleine BHKW-Anlagen.

Als Besonderheit bei diesem Referenztyp ist zusätzlich die Energieeinkaufsthematik einzustufen, da im Hotel- und Gastronomiebereich die Möglichkeit besteht, günstige

Energiebezugskonditionen über die Verbände zu bekommen. Denn sobald die Strompreise auf einem niedrigen Niveau liegen, verringern sich auch die vermeidbaren Strombezugskosten durch den BHKW-Einsatz und damit auch zum Teil die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit.

4.2.4 Referenztyp 3: Große Hotels

Allgemeine Kurzbeschreibung

Im Rahmen der KWK-Potenzialstudie konnte kein Verbraucher aus dem „Referenztyp 3: Große Hotels“ für die Teilnahme an der Detailuntersuchung gewonnen werden. Um dennoch eine Aussage bezüglich der KWK-Eignung für diesen repräsentativen Verbrauchertyp zu erhalten, wird im Folgenden eine theoretische Potenzialanalyse durchgeführt. Da die Grundlagendaten auf den Werten des Referenztyps 4 beruhen, ist hier die Reihenfolge innerhalb der Kategorie „Hotels“ geändert.

Auf Basis der Verbrauchsdaten und des Lastverlaufs aus Kapitel 4.2.3 wird der Bedarf auf ein fiktives großes Hotel hochskaliert. Das große Hotel nimmt dabei einen um den Faktor 3 höheren Wert für den Strom- und Wärmebedarf als bei Referenztyp 4 ein. Der Wärmebedarf liegt folglich bei 460 MWh/a und der Strombedarf bei 310 MWh/a. In der Potenzialermittlung wird für das bestehende Hotel eine Wärmeversorgung über einen Gas-Brennwertkessel angenommen.

KWK-Potenzialuntersuchung

Im ersten Schritt der KWK-Potenzialuntersuchung werden wieder verschiedene BHKW-Größen für das Objekt vergleichend gegenübergestellt. Aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht ist bei diesen Randbedingungen ein BHKW mit einer thermischen Leistung von 92 kW_{th} und einer elektrischen Leistung von 50 kW_{el} zu empfehlen. Mit dieser Anlagenkonstellation kann in Kombination mit einem Pufferspeicher rund 90 % des Wärmebedarfs erzeugt werden. Der Strombedarf wird dabei zu 55 % durch den lokal erzeugten BHKW-Strom gedeckt.

Gegenüber der Bestandsvariante mit reiner Gasversorgung ermöglicht die BHKW-Nutzung eine Primärenergieeinsparung um 23 % auf 1.000 MWh/a. Die CO₂-Emissionen reduzieren sich dabei theoretisch um 28 % auf 210 t/a.

Hierfür sind Investitionen in die BHKW-Technologie und deren Einbindung in das Heizsystem in Höhe von 150 T€ zu tätigen. Die Betrachtung der Jahresgesamtkosten in Abbildung 41 verdeutlicht, dass durch den BHKW-Einsatz die Gesamtkosten um 10 % auf 70 T€ pro Jahr sinken. Kostenmindernd wirken sich hierbei neben dem vermiedenen Netzstrombezug vor allem die gesetzlich zugesicherten KWK-Erlöse aus.

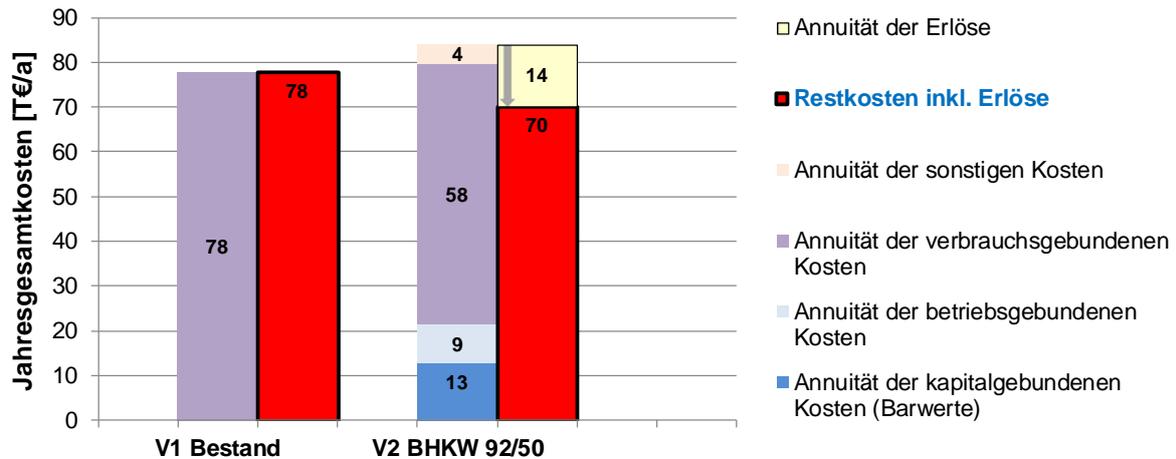


Abbildung 41: Ref 3 Jahresgesamtkosten nach VDI 2067

Fazit

Die KWK-Analyse an dem fiktiven Beispielobjekt führt zu dem Ergebnis, dass energetische und ökologische Optimierungspotenziale durch den BHKW-Einsatz erschlossen werden können. Gleichzeitig verringern sich die Jahresgesamtkosten für den Anlagenbetreiber. Trotz der anfänglich erforderlichen Investitionen resultiert eine Kosteneinsparung aufgrund der vermiedenen Strombezugskosten und den KWK-Erlösen.

Gegenüber dem Referenztyp 3 mit einem kleinen Hotel kehrt sich nun die eigentliche Aussage um. Die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der BHKW-Nutzung lässt sich nun erklären, dass bei größeren Verbrauchern und damit größeren BHKW-Modulen auch die spezifischen Investitions- und Wartungskosten sinken. Der BHKW-Betrieb birgt damit sowohl aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht einen Mehrwert für den Betreiber.

4.2.5 Referenztyp 5: Großverbraucher

Allgemeine Kurzbeschreibung

Der „Referenztyp 5: Großverbraucher“ beinhaltet Gewerbebetriebe aus unterschiedlichen Branchen. Die verschiedenen Nutzungsarten erlauben daher keine pauschale Aussage bezüglich der KWK-Eignung einzelner Betriebe innerhalb dieses Referenztyps. Mit der vorliegenden beispielhaften Untersuchung eines großen Einkaufszentrums sollen dennoch die KWK-Potenziale bewertet werden.

In dem zu untersuchenden Einkaufszentrum befinden sich auf einer Grundfläche von 35.000 m² vierzig verschiedene Geschäfte. Die Branchen der einzelnen Unternehmen innerhalb des Einkaufszentrums sind vielfältig. Verkaufsschwerpunkte liegen dabei in den Bereichen Lebensmittel, Mode, Technik und Gastronomie.



Abbildung 42: Fotos Ref 5 Einkaufszentrum und Heizzentrale

Anlagentechnik und Energieversorgung

Das Einkaufszentrum verfügt über eine moderne Anlagentechnik. Die Heizwärmbereitstellung erfolgt über mehrere Gaskessel in der Heizzentrale. Über ein internes Wärmenetz werden die einzelnen Mieteinheiten mit Wärme versorgt. Das Warmwasser wird dezentral über elektrische Warmwasserbereite erhitzt. Die Lüftung des gesamten Objekts geschieht über zwölf Lüftungszentralen. Zur Kühlung in den Sommermonaten sind insgesamt drei Kälteanlagen in Betrieb, die für angenehme Temperaturen im Innern bei hohen Außentemperaturen sorgen.

Der Heizwärmebedarf des Einkaufszentrums beläuft sich auf 2.400 MWh/a, bei einem mittleren Spitzenlastbedarf von rund 1.500 kWh/h. Da in diesem Fall nur der Heizwärmebedarf zentral gedeckt wird, liegen deutliche saisonale Schwankungen vor. In den Wintermonaten ist der Bedarf am höchsten und in den Sommermonaten sinkt der Heizwärmebedarf auf null.

Auf gleichem Niveau befindet sich der Strombedarf. Dieser beträgt rund 2.500 MWh/a. Der Spitzenlastbedarf liegt bei rund 1.000 kWh/h und die ganzjährige Grundlast bei 60 kWh/h.

Analog zu den Öffnungszeiten ist tagsüber ein durchgehend erhöhter Strombedarf von 8 bis 21 Uhr vorhanden. In den Wintermonaten steigt der Strombedarf in den Abendstunden durch die zusätzliche Beleuchtung an. Saisonale Unterschiede beim Strombedarf treten vor allem durch den Betrieb der Klimaanlage in den Sommermonaten auf. In diesen Monaten verzeichnet das Einkaufszentrum den höchsten Strombedarf.

KWK-Potenzialuntersuchung

Bei dem Variantenvergleich verschiedener BHKW-Größen sieht die Empfehlung ein BHKW mit einer thermischen Leistung von 365 kW_{th} und elektrischen Leistung von 240 kW_{el} vor. Mit dem BHKW können rund 75 % des Wärmebedarfs gedeckt werden. Die Zahl der Vollbenutzungsstunden ist dabei relativ niedrig und beträgt 4.000 h/a. Das stromerzeugende BHKW liefert dabei rund 960 MWh/a. Davon werden mehr als 80 % des BHKW-Stroms direkt im Objekt genutzt.

Der Primärenergiebedarf kann gegenüber der reinen Versorgung über einen Gaskessel um 15 % auf 7.100 MWh/a gesenkt werden. Die CO₂-Emissionen sinken durch den Einsatz des BHKW's um 17 % auf 1600 t/a.

Für die Beschaffung und Integration des großen BHKW-Moduls werden Kosten in Höhe von 370 T€ abgeschätzt. Die hohe Anfangsinvestition refinanziert sich jedoch durch die Einsparung bei den Strombezugskosten und die KWK-Erlöse. In der Abbildung 43 sind die Jahresgesamtkosten gemäß der VDI 2067 dargestellt. Die Grafik verdeutlicht, dass sich die hohen verbrauchsgebundenen Energiekosten um 10 % bzw. 60 T€/a reduzieren lassen. Zusätzlich verringern sich die Kosten durch die KWK-Erlöse um rund 40 T€/a. Insgesamt führt der Einsatz des BHKW's zu jährlichen Kosteneinsparungen in Höhe von 35 T€/a.

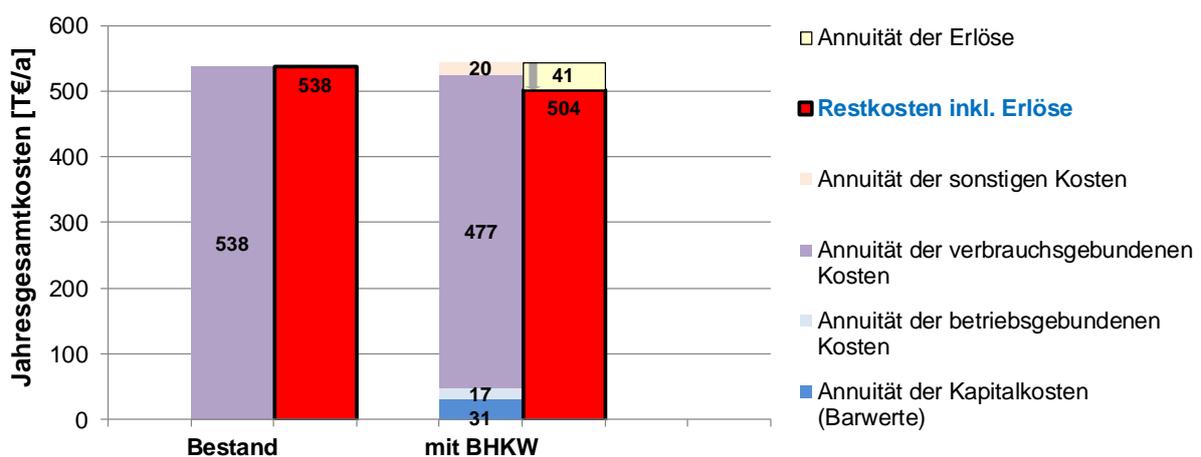


Abbildung 43: Ref 5 Jahresgesamtkosten nach VDI 2067

Fazit

Die Bewertung der KWK-Potenziale des großen Einkaufszentrums hat gezeigt, dass aus energetischer, ökologischer und wirtschaftlicher Sicht die BHKW-Nutzung einen Mehrwert bringt. Das bewertete BHKW-Modul weist im Vergleich zu den vorangegangenen Referenztypen eine relativ niedrige Zahl an Vollbenutzungsstunden auf. Dennoch kann durch den hohen Anteil an selbstgenutztem KWK-Strom ein wirtschaftlicher Vorteil für den Anlagenbetreiber entstehen. Die reduzierten Strombezugskosten wirken sich mit 60 T€/a am stärksten kostenmindernd aus. An zweiter Stelle folgen die KWK-Zulage und die Energiesteuerrückerstattung mit einem Anteil von jeweils rund 16 T€/a.

Bei dem vorliegenden Objekt verbleibt weiterhin ein hoher Strombedarf in den Sommermonaten durch die Klimaanlage. In dieser Zeit besteht kein Wärmebedarf und daher erzeugt das BHKW keinen Strom. Dieser Fall zeigt das hohe Synergiepotenzial eines BHKW's mit einer Photovoltaikanlage. In dem vorliegenden Fall würde eine PV-Anlage viel Strom in den Sommermonaten liefern und in den Wintermonaten, wenn das BHKW Strom liefert, per se weniger. Die Primärenergie- und CO₂-Einsparungen könnten bei dem beispielhaften Objekt dadurch nochmals signifikant erhöht werden.

4.2.6 Referenztyp 6: Kleinverbraucher

Für den Referenztyp 6 konnte im Rahmen der KWK-Potenzialanalyse kein freiwilliger Betrieb gefunden werden, der an der Studie teilnimmt. Aufgrund der heterogenen Nutzungsstruktur innerhalb der Verbrauchergruppe ist auch keine pauschale Aussage für alle Unternehmen möglich.

Generell kann für diesen Referenztyp festgehalten werden, dass auch hier der Einsatz eines BHKW's zu einer primärenergetischen Einsparung und zu niedrigeren CO₂-Emissionen führen würde. Die wirtschaftlichen Randbedingungen für kleine Verbraucher sind dabei erneut als schwieriger zu werten. Dies ist bedingt durch die spezifisch höheren Investitions- und Wartungskosten für kleine BHKW-Anlagen. Kann jedoch bei Kleinverbrauchern eine hohe Zahl an Vollbenutzungsstunden und ein überdurchschnittlich hoher Anteil des KWK-Stroms direkt im Objekt genutzt werden, besteht dennoch die Möglichkeit finanzielle Vorteile durch die BHKW-Nutzung zu erwirtschaften.

4.2.7 Referenztyp 7: Mehrfamilienhaus

Allgemeine Kurzbeschreibung

Der „Referenztyp 7: Mehrfamilienhaus“ stellt die größte Anzahl an Einzelverbrauchern innerhalb der Verbraucherkategorien. Aus den insgesamt 50 Objekten wurde im Rahmen der Detailanalyse ein konkretes Mehrfamilienhaus betrachtet.

Das kleine Mehrfamilienhaus im Innenstadtbereich hat vier Geschosse und ist mit nachbarschaftlichen Gebäuden verbunden. Insgesamt 20 Mietwohnungen befinden sich in dem Objekt. Die Wohnfläche beträgt rund 1.250 m².



Abbildung 44: Fotos Ref 7 Einkaufszentrum und Heizzentrale

Anlagentechnik und Energieversorgung

In dem kleinen Mehrfamilienhaus befindet sich im Erdgeschoss eine Heizzentrale mit einem Gaskessel und Warmwasserspeicher. Die installierte thermische Leistung des Gaskessels beträgt rund 100 kW_{th}. Mit dem beschriebenen Wärmeerzeuger wird sowohl Heizwärme als auch Warmwasser erzeugt.

Der Wärmebedarf in Höhe von 150 MWh/a weist deutlich saisonale Schwankungen auf. In den Sommermonaten besteht lediglich Warmwasserbedarf und in der Heizperiode steigt der Bedarf in den kalten Wintermonaten auf sein Maximum. Der gesamte Strombedarf in dem MFH beträgt 45 MWh/a. Nur ein kleiner Teil fällt hier für den Allgemiestrom an. Der Strombedarf in den einzelnen Wohnungen ist hierbei dominierend (~ 40 MWh/a). Aufgrund des niedrigen Wärme- und Strombedarfs liegen keine konkreten Lastprofile für dieses Objekt vor. Für die Potenzialanalyse im folgenden Abschnitt wird der Verbrauch des Objekts mit Hilfe von nutzungstypischen Lastgängen in Bedarfsprofile umgewandelt.

KWK-Potenzialuntersuchung

Im ersten Schritt der KWK-Potenzialuntersuchung werden wieder verschiedene BHKW-Varianten unter energetischen und wirtschaftlichen Aspekten bewertet. Auf Basis dieser

Vorauswahl und den gegebenen Randbedingungen wird ein kleines BHKW mit einer thermischen Leistung von 15 kW_{th} und einer elektrischen Leistung von 6 kW_{el} für die weitere Berechnung verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass der Betreiber des BHKW auch den Strom im Gebäude vermarktet und damit zum Energieversorger für die einzelnen Mieter wird (siehe Nutzungsmodell Direktlieferung in Kapitel 5.4.2).

Das BHKW trägt rund 60 % zur Deckung des Wärmebedarfs bei. Der erzeugte KWK-Strom in Höhe von 35 MWh/a kann dabei zu 80 % direkt im Gebäude genutzt werden. Etwa zwei Drittel des Strombedarfs lassen sich damit lokal durch das BHKW bereitstellen.

Durch den Einsatz des BHKW's reduziert sich der Primärenergiebedarf um 20 % auf 235 MWh/a. Gleichzeitig können mit Hilfe der theoretischen Gutschrift für den erzeugten KWK-Strom die CO₂-Emissionen um 23 % gesenkt werden.

Bei dem kleinen Mehrfamilienhaus summieren sich die anfänglichen Investitionen für die BHKW-Beschaffung und die Einbindung in die Energiezentrale auf 60 T€. Die Betrachtung der Jahresgesamtkosten in Abbildung 45 verdeutlicht, dass bei dem kleinen MFH keine Optimierung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten im Vergleich zur Bestandsvariante resultiert. Die Erlöse gemäß KWKG und die des Stromverkaufs an die Mieter reichen bei diesem Objekt für die Refinanzierung der erhöhten Kosten nicht aus.

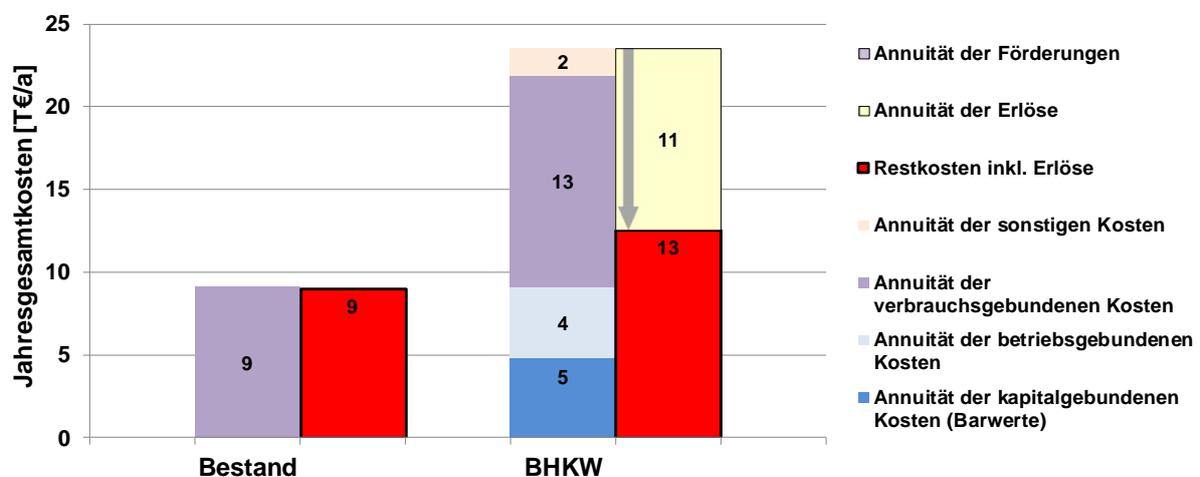


Abbildung 45: Ref 7 Jahresgesamtkosten nach VDI 2067

Fazit

Die KWK-Analyse am Beispiel des kleinen Mehrfamilienhauses zeigt erneut auf, dass bei kleinen Verbrauchern ein wirtschaftlicher KWK-Betrieb nur schwer zu realisieren ist. In dem beispielhaften Objekt tragen hauptsächlich die hohen spezifischen Investitions- und Wartungskosten für das kleine BHKW dazu bei, dass die Jahresgesamtkosten gegenüber dem Bestand steigen.

Zusätzlich muss bei diesem Nutzungsmodell berücksichtigt werden, dass der Anlagenbetreiber hier zum Energieversorger für die einzelnen Mieter wird. Für den Betreiber sind daher noch weitere organisatorische und rechtliche Besonderheiten zu beachten, die detailliert in Kapitel 5.4.2 behandelt werden.

Zusatzbetrachtung: Großes Mehrfamilienhaus

Für die KWK-Analyse konnte kein konkretes Mehrfamilienhausprojekt gefunden werden. Aus diesem Grund wurden für diesen Referenztyp die KWK-Potenziale an einem theoretischen Beispiel zusätzlich untersucht. Wie es sich bereits in den vorhergehenden Analysen gezeigt hat, steigen die Chancen auf einen wirtschaftlichen KWK-Betrieb tendenziell bei größeren Verbrauchern. Der Grund liegt hierbei wieder in den sinkenden spezifischen Investitions- und Wartungskosten bei größeren BHKW-Anlagen.

Die KWK-Analyse an dem fiktiven Beispiel eines großen MFH mit 100 Wohneinheiten und einem Wärmebedarf von 765 MWh/a bestätigt diese Tendenz. Der KWK-Vergleich bei diesem Verbrauchsobjekt zeigt neben den energetischen und ökologischen Verbesserungen auch einen wirtschaftlichen Vorteil durch den Einsatz eines BHKW's. Die geschätzten Investitionskosten in Höhe von 110 T€ können durch die Einsparungen im Betrieb wieder refinanziert werden. Die Jahresgesamtkosten lassen sich dabei durch das BHKW um 25 % auf 35 T€ verringern.

4.2.8 Zusammenfassung der KWK-Potenzialanalyse

Die Untersuchungen zur KWK-Nutzung bei den verschiedenen Referenztypen haben zum Teil zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt. Im folgenden Abschnitt werden daher nochmals die Randbedingungen der einzelnen Verbraucherkategorien zusammengefasst und erläutert. Im Anschluss sind die Einsparpotenziale hinsichtlich Jahresgesamtkosten, Primärenergie und CO₂-Emissionen der Referenztypen dargestellt.

Die vier Verbraucherkategorien auf denen der Fokus der Untersuchung liegt sind

- Gesundheit und Bäderbetriebe
- Hotels
- Gewerbe und
- Wohngebäude.

Die „**Gesundheit und Bäderbetriebe**“ weisen generell eine besondere KWK-Eignung auf. Der absolute Wärme- und Strombedarf ist in dieser Kategorie per se relativ hoch. Darüber hinaus wird in den Objekten die Energie ganzjährig benötigt. In den Sommermonaten liegt zum Teil ein erhöhter Strombedarf durch die Klimatisierung der Räumlichkeiten vor. Aufgrund der großen Energiebezugsmengen können die Betriebe relativ gute Energiebezugskonditionen mit den Vorlieferanten aushandeln. Die niedrigen Strompreise wirken sich dämpfend auf die KWK-Einsparpotenziale, da damit auch die vermeidbaren Strombezugskosten sinken. Dennoch kann aufgrund der potenziell hohen Laufzeiten ein wirtschaftlicher KWK-Betrieb gewährleistet werden. Förderlich für die Wirtschaftlichkeit ist dabei der hohe Anteil des im Objekt direkt nutzbaren KWK-Stroms.

Die KWK-Eignung der Verbraucherkategorie „**Hotels**“ hängt stark von der Größe des Objekts ab. Allgemein hat der Referenztyp Hotel einen Wärmebedarf der im Winter aufgrund der Heizwärmebereitstellung zu einem deutlichen Maximum führt. Außerhalb der Heizperiode liegt jedoch weiterhin eine relativ hohe Grundlast durch die Warmwassererzeugung speziell für die Gastronomie und die Spa-Bereiche vor. Der Strombedarf ist ganzjährig vorhanden. Spitzen sind vor allem tagsüber und in den Abendstunden zu erwarten. Aufgrund der Klimatisierung im Sommer und der Lebensmittelkühlung besteht ein erhöhter Strombedarf durch diese Kälteanwendungen. Die Hotel- und Gastronomieverbände ermöglichen ihren Mitgliedern in der Regel sehr günstige Energiebezugskonditionen. Für Hotels mit kleinem Energieverbrauch ist ein wirtschaftlicher KWK-Betrieb gegenüber einer konventionellen Versorgung mit einem Gaskessel in der Regel nicht möglich. Bei größeren Verbrauchern kehrt sich dieses Ergebnis um. KWK-Anlagen erreichen dann auch hier eine wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit, weil mit zunehmenden Anlagengrößen die spezifischen KWK-Investitions- und Wartungskosten wieder sinken.

Der Referenztyp „**Gewerbe**“ zeichnet sich durch eine äußerst heterogene Nutzerstruktur aus. Sowohl der absolute Energiebedarf als auch der jahreszeitliche Verlauf der Energienutzung variieren sehr stark in Abhängigkeit der Gewerbebetriebe. Ebenso breit gestreut ist die Bandbreite der Energiepreise. Aus diesem Grund lassen sich keine pauschalen Aussagen hinsichtlich der KWK-Eignung für alle Unternehmen treffen. Die Untersuchung an dem beispielhaften Einkaufszentrum zeigt jedoch, dass auch bei Betrieben mit lediglich

Heizwärmebedarf und damit relativ kurzen BHKW-Laufzeiten ein wirtschaftlicher KWK-Betrieb möglich ist. Auch hier gilt die Grundaussage, dass ein möglichst hoher Anteil des KWK-Stroms direkt im Objekt verbraucht werden muss, um die Jahresgesamtkosten durch den KWK-Einsatz verringern zu können.

In dem Referenztyp „**Wohngebäude**“ hängt die KWK-Eignung wieder sehr stark von der absoluten Energieverbrauchsmenge ab. Nutzungsbedingt sind in den Wohngebäuden durch die erhöhte Heizwärmebereitstellung in den Wintermonaten deutliche saisonale Schwankungen des Wärmebedarfs erkennbar. Außerhalb der Heizperiode besteht lediglich ein Bedarf für die Warmwasserbereitung. Der Strombedarf in Mehrfamilienhäusern ist organisatorisch in Allgemeinstrom und Nutzerstrom in den Haushalten zu trennen. Der Allgemeinstrom ist dabei niedrig im Vergleich zum Haushaltsstrom. Die Strompreise der einzelnen Haushaltskunden befinden sich in der Regel aufgrund der geringen Abnahme auf einem hohen Niveau. Die Analyse verdeutlicht, dass bei größeren MFH's der Einsatz eines BHKW's wirtschaftliche Vorteile gegenüber einer konventionellen fossilen Versorgung mit sich bringt. Bei kleinen MFH's führen die höheren spezifischen Investitions- und Wartungskosten für die BHKW's jedoch in der Regel zunächst zu erhöhten Gesamtkosten. Als Besonderheit bei diesem Referenztyp ist die Rolle des Anlagenbetreibers zu nennen, der zum Stromversorger für die einzelnen Haushalte wird. Den damit verbundenen organisatorischen und rechtlichen Mehraufwand muss der Anlagenbetreiber zusätzlich in seiner Vollkostenbetrachtung berücksichtigen.

In Tabelle 3 sind die Randbedingungen der einzelnen Verbraucherkategorien abgebildet.

Tabelle 3: KWK-Randbedingungen der einzelnen Verbraucherkategorien

	Gesundheit und Bäderbetriebe	Hotels	Gewerbe	Wohngebäude
Wärmebedarf	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Bedarf • Ganzjährig 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Wärmebedarf im Winter • Wärmegrundlast im Sommer durch TWW 	<ul style="list-style-type: none"> • Individuelle Lastprofile 	<ul style="list-style-type: none"> • Deutliche saisonale Unterschiede • TWW-Bedarf im Sommer
Strombedarf	<ul style="list-style-type: none"> • Ganzjährig • Tagsüber erhöht 	<ul style="list-style-type: none"> • Ganzjährig • Tagsüber und abends erhöht 	<ul style="list-style-type: none"> • Individuelle Lastprofile 	<ul style="list-style-type: none"> • Allgemeinstrom (niedrig) • Nutzerstrom (hoch)
Kühlbedarf	<ul style="list-style-type: none"> • Z.T. Raumkälte im Sommer • Folge: Erhöhter Strombedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Raumkälte im Sommer • Lebensmittelkühlung • Folge: Erhöhter Strombedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Individuelle Lastprofile 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Kühlung
Energiepreise	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Konditionen bedingt durch große Mengen oder Einkauf über „Verband“ 		<ul style="list-style-type: none"> • Abhängig von Nutzung und Bezugsmenge 	<ul style="list-style-type: none"> • meist relativ hoch

Für alle Verbraucherkategorien resultieren durch die Nutzung der BHKW's Einsparpotenziale im Bereich der Primärenergie und der Treibhausgasemissionen. Begründet sind diese Einsparpotenziale durch das Gutschriftenverfahren bei dem der in KWK-Anlagen erzeugte Strom als Gutschrift in die Energie- und CO₂-Bilanzen mit eingerechnet wird. In Abhängigkeit

von der Verbraucherkategorie reichen die Primärenergieeinsparpotenziale bis zu 25 % gegenüber einer konventionellen Wärmeversorgung mit fossilen Brennstoffen. Die CO₂-Emissionen können durch den Einsatz der BHKW's um bis zu 30 % gesenkt werden. Dabei spielt die Art des Vergleichssystems eine wichtige Rolle. Der Vergleich mit Heizöl führt aufgrund des schlechteren CO₂-Äquivalents (Heizöl: 310 g/kWh, Erdgas 240 g/kWh) stets zu höheren Einsparungen.

Die Minderungspotenziale bei den Jahresgesamtkosten hängen zum einen von den technischen als auch von den energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab. Die Anlagengröße hat dabei direkten Einfluss auf die gesetzlich zugesicherten KWK-Erlöse und die Verbrauchsmengen beeinflussen zum Teil stark die Energiebezugsbedingungen der einzelnen Betriebe. Bei kleinen Verbrauchern hatte die Potenzialberechnung eine Erhöhung der Jahresgesamtkosten zur Folge. Der Betrieb einer KWK-Anlage stellt sich aus rein wirtschaftlicher Sicht für diese Verbraucher als nicht sinnvoll dar. Für die in der Regel größeren Verbraucher konnte jedoch auch durch die BHKW-Nutzung eine wirtschaftliche Optimierung erreicht werden. Die Jahresgesamtkosten konnten bei den beispielhaften untersuchten Objekten um bis zu 25 % gegenüber einer konventionellen Versorgung gesenkt werden.

In Tabelle 4 sind abschließend die relativen Einsparpotenziale durch die KWK-Nutzung der einzelnen Verbraucherkategorien dargestellt.

Tabelle 4: Einsparpotenziale der Verbraucherkategorien durch KWK-Nutzung

Einsparpotenzial	Gesundheit und Bäderbetriebe	Hotels	Gewerbe	Wohngebäude
Primärenergie	10 – 20 %	15 – 25 %	bis 15 %	bis 20 %
CO ₂ -Emissionen	5 – 35 %	15 – 30 %	bis 15 %	bis 25 %
Jahresgesamtkosten	bis 25 %	bis 13 %	bis 10 %	bis 25 %

4.2.9 Berechnung der KWK-Potenziale

Die in den vorangegangenen Kapiteln bestimmten relativen Einsparpotenziale werden in dem folgenden Abschnitt auf das Gemarkungsgebiet der Stadt Baden-Baden hochgerechnet. Die Gesamtpotenziale werden hinsichtlich der Primärenergieeinsparung und CO₂-Reduktionspotenziale bewertet. Als Referenz für den Vergleich dienen die Zahlen aus dem Klimaschutzkonzept der Stadt Baden-Baden aus dem Jahr 2012.

Für die Hochrechnung wird zunächst der Primärenergiebedarf der in den Referenztypen enthaltenen Betriebe und Einrichtungen ermittelt. Der Primärenergiebedarf beträgt dabei rund 190 GWh/a. Die Verteilung des Primärenergiebedarfs auf die einzelnen Verbraucherkategorien ist in Abbildung 46 dargestellt. Es wird ersichtlich, dass die

Referenztypen „Gewerbe“ und „Gesundheit und Bäderbetriebe“ die größten Anteile am gesamten Primärenergiebedarf einnehmen. Bezogen auf den gesamten Bedarf aus dem Klimaschutzkonzept in Höhe von 2.130 GWh/a entspricht der Anteil der Referenztypen 8,9 %. Unter Berücksichtigung einer Primärenergieeinsparung durch den Einsatz von KWK resultiert ein Einsparpotenzial in Höhe von 30 GWh/a. Dies entspricht einer Einsparung des Gesamtprimärenergiebedarfs der Stadt Baden-Baden um 1,4 %. Hierbei sind folgende pauschale Einsparpotenziale für die Verbraucherkategorien berücksichtigt:

- | | | |
|--------------------------------|---------|----------------------|
| • Gesundheit und Bäderbetriebe | PE 15 % | CO ₂ 25 % |
| • Hotels | PE 20 % | CO ₂ 25 % |
| • Gewerbe | PE 15 % | CO ₂ 15 % |
| • Wohngebäude | PE 15 % | CO ₂ 20 % |

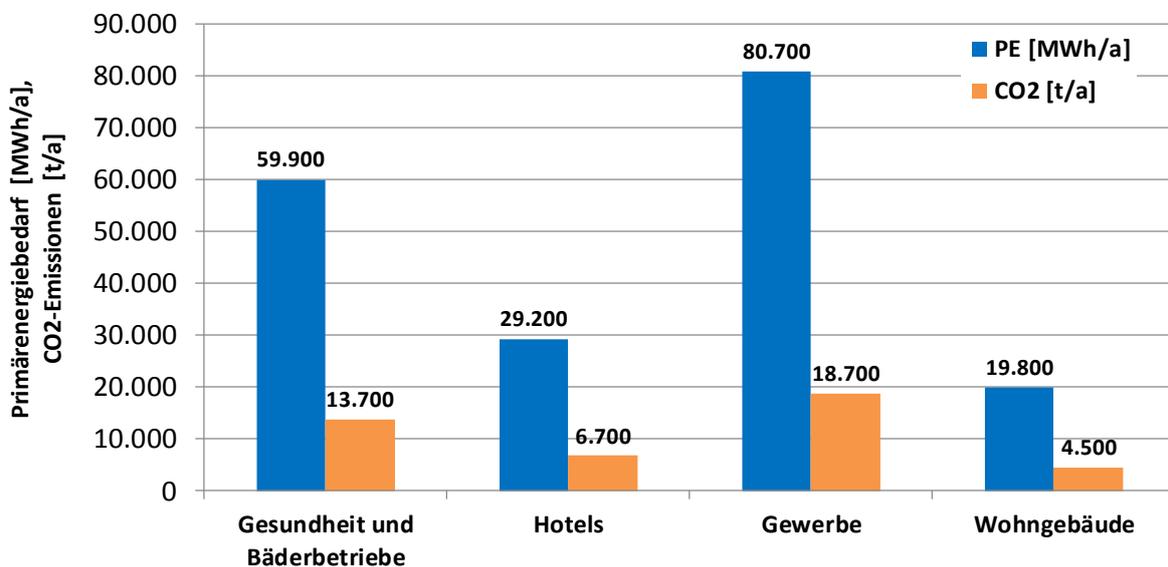


Abbildung 46: Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen der Verbrauchertypen

Die bisherigen CO₂-Emissionen der Referenztypen belaufen sich auf insgesamt 44.000 t/a. Im Vergleich zu den gesamten Treibhausgasemissionen der Stadt Baden-Baden in Höhe von 525.000 t/a entspricht der Ausstoß der Referenztypen einem Anteil von 8,3 %. Unter der Annahme der obigen prozentualen CO₂-Einsparpotenziale je Referenztyp ergibt sich ein neuer CO₂-Ausstoß von 35.000 t/a. Die Emissionen lassen sich damit theoretisch um 9.000 t/a durch den KWK-Einsatz reduzieren. Bezogen auf die Gesamtemissionen der Stadt Baden-Baden entspricht diese Einsparmenge einem Anteil von 1,7 %.





MAßNAHMENÜBERSICHT UND UMSETZUNGSEMPFEHLUNGEN

5. Maßnahmenübersicht und Umsetzungsempfehlungen

In dem vorliegenden Kapitel sind mögliche Maßnahmen vorgestellt, die dazu dienen können, die Potenziale im Bereich der Nahwärmeversorgung und der KWK-Nutzung in Baden-Baden zu heben. Die Übersicht und die Umsetzungsempfehlungen differenzieren dabei zwischen organisatorischen und technischen Maßnahmen. Ebenso sind zwischen direkten und indirekten Maßnahmen zu unterscheiden. Direkte Maßnahmen hätten konkrete Handlungen für die Stadt, die Stadtwerke oder deren Eigenbetriebe zur Folge. Indirekte Maßnahmen sollen die Rahmenbedingungen verbessern und weitere Akteure zum Handeln aktivieren. Der erste Abschnitt bezieht sich auf die Nahwärme und der zweite Abschnitt auf den Bereich der KWK.

Als Abschluss des Kapitels sind verschiedene KWK-Nutzungsmodelle beschrieben, die einen Einblick in die verschiedenen Betreibermodelle geben sollen.

M.I. Verankerung des Themas Nahwärme und KWK bei der Stadtverwaltung – „Energiemanager“

Die übergeordnete Maßnahme M.I gilt als Grundlage für die Aktivierung der ermittelten Potenziale im Bereich Nahwärme und KWK. In der vorliegenden Studie sind die Potenziale und Technikansätze ausführlich beschrieben. Die große Bandbreite der Themenfelder erfordert die Notwendigkeit einer lenkenden und organisierten Stelle, um die vorgeschlagenen Maßnahmen und Empfehlungen in Zukunft aktiv in die Umsetzung bringen zu können. Mit der Bereitstellung von entsprechenden Personalkapazitäten bei der Stadtverwaltung oder den kommunalen Eigenbetrieben kann die Grundvoraussetzung hierfür geschaffen werden. Alternativ kann dies auch mit der Beauftragung externer Experten erreicht werden.

Die verantwortliche Person – der „Energiemanager“ – fungiert in diesem Fall primär als Netzwerker und Koordinator, der die einzelnen Akteure der kommunalen Verwaltung und der Privatwirtschaft zusammenbringt. Die Wärmestudie dient dabei als originärer Leitfaden für die zukünftige Überführung der theoretischen Maßnahmenempfehlungen und Strategien in konkrete Umsetzungsprojekte.

Die Aufgaben eines „Energiemanagers“ beinhalten unter anderem:

- Koordination des gesamten Umsetzungsprozesses sowie Dokumentation, Auswertung und Erfolgskontrolle der Sanierungsmaßnahmen.
- Unterstützung bei der Vorbereitung, Planung und Umsetzung von konkreten Maßnahmen aus der vorliegenden Wärmestudie.
- Organisation von Informations- und Beratungsveranstaltungen (für Gebäudeeigentümer und -nutzer). Koordination der Öffentlichkeitsarbeit.
- Koordination und Zusammenbringen der zentralen lokalen Akteure, wie z.B. Stadtverwaltung, Stadtwerke, Großverbraucher ...
- Aufbau von Netzwerken (Fachverbände, Innungen, Gebäudeeigentümer ...)

Die Bereitstellung dieser Personalstelle wird als oberste Priorität eingestuft, um die angestrebten kommunalen Klimaschutzziele im Bereich Nahwärme und KWK zu erreichen und die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Umsetzung zu bringen.

- *Erforderliche Aktivitäten:*
 - Bereitstellung von Haushaltsmitteln
 - **Beauftragung/Berufung eines Energiemanagers**
 - Unterstützung des Energiemanagers durch die relevanten Abteilungen
- *Zielgruppe:* Stadtverwaltung Baden-Baden
- *Zuständige:* Stadtverwaltung Baden-Baden

5.1. Nutzung der Nahwärmepotenziale

In Kapitel 4.1 sind die Potenziale der Nahwärmegebiete erläutert. Bei der Identifikation geeigneter Siedlungsgebiete wurden neben der Bebauungsstruktur auch die Einflüsse der Energieverbräuche anhand von Wärmedichtekarten berücksichtigt. Die Betrachtung der lokalen Wärmepotenziale hilft dabei, potenziell ressourcenschonende und auf erneuerbaren Energien basierende Wärmeversorgungsansätze örtlich zuzuordnen.

Für die zentrale Wärmeversorgung in den Nahwärmegebieten können verschiedene Technologien zum Einsatz kommen. Das primäre Ziel der Primärenergieeinsparung und die Reduktion von Treibhausgasemissionen lassen sich unter anderem durch folgende Technologien erreichen:

- Anschluss an bestehende Fernwärmenetze (Rotenbachtal, Briegelackerstraße)
- Nahwärmeversorgung mit Wärmepumpen (Abwasserwärme, Erdwärme, Außenluft)
- Einsatz von KWK-Anlagen zur zentralen Wärmebereitstellung (Anschluss an das Gasnetz)
- Verwendung von Biomasse als Brennstoff in den Heizzentralen von Nahwärmeversorgungen

Aus der aufgeführten Technologieübersicht lassen sich daher folgende Maßnahmen bezüglich der Nahwärmepotenziale ableiten:

M.II. Überprüfung der kommunalen Gebäude hinsichtlich der Anschlussmöglichkeiten an eine zentrale Wärmeversorgung

Die Stadt Baden-Baden besitzt die Möglichkeit direkte Maßnahmen in den eigenen kommunalen Gebäuden anzustoßen. Mit dem Anschluss eigener Liegenschaften an zentrale Wärmeversorgungen trägt die Stadt in der Regel direkt zur Primärenergie- und CO₂-Einsparung bei. Die damit verbundene Vorbildrolle und die Ambitionen im Bereich Klimaschutz können gezielt in die Öffentlichkeit kommuniziert werden.

Im Vorfeld sollte eine ganzheitliche Überprüfung der kommunalen Liegenschaften hinsichtlich der Anschlussmöglichkeiten an eine bestehende zentrale Wärmeversorgung (z.B. Fernwärmenetz) durchgeführt werden. Dies kann im Rahmen des bestehenden kommunalen Energiemanagements erfolgen. Die Bewertung der vorhandenen

Anlagentechnik (Alter, Zustand, ...) und örtliche Nähe zu vorhandenen Wärmenetzen sind dabei relevante Bewertungskriterien.

- *Erforderliche Aktivitäten:*
 - Überprüfung aller kommunaler Liegenschaften hinsichtlich der Anschlussmöglichkeiten an zentrale Wärmeversorgungen aus technischer Sicht
 - Wirtschaftliche Bewertung potenziell geeigneter kommunaler Gebäude
 - Identifikation der geeigneten Liegenschaften
- *Zielgruppe:* Stadtverwaltung Baden-Baden
- *Zuständige:* Stadtverwaltung Baden-Baden, Energiemanagement (evtl. Stadtwerke Baden-Baden)

M.III. **Ausbau bestehender zentraler Wärmenetze**

Ein großes Potenzial zur Primärenergieeinsparung liegt im Ausbau der bestehenden Wärmenetze „Rotenbachtal“ und „Briegelackerstraße“. Für die Evaluierung dieser Ausbaupotenziale sind die Einflussmöglichkeiten der Betreiber und Verbraucher in die Betrachtung mit einzubeziehen.

Die Betreiber der bestehenden Wärmenetze sollten daher kontaktiert und die Erweiterungsmöglichkeiten abgefragt werden. Relevante Fragestellungen sind dabei die noch frei verfügbaren Heizleistungen in den Heizzentralen und die Möglichkeit zusätzliche Erzeuger in die bestehenden Netze mit zu integrieren. Ebenso sind mögliche Pläne zur Erweiterung der Wärmenetze frühzeitig mit den verantwortlichen Abteilungen der Stadtverwaltung abzustimmen. Ziel der Abstimmungstreffen ist es zum Beispiel, die Betreiber über anstehende Tiefbaumaßnahmen im öffentlichen Bereich zu informieren. Auf Basis dieser Informationen können die Betreiber Synergieeffekte nutzen, indem sie ihre Ausbaupläne anpassen und frühzeitig potenzielle Kunden kontaktieren. Damit dieser Abstimmungsprozess auch zukünftig funktioniert, sollten die verantwortlichen Mitarbeiter bezüglich der klimaschutztechnischen Wirkungen des Fernwärmeausbaus sensibilisiert und die technischen und organisatorischen Zusammenhänge aufgezeigt werden. Alle an dem Ausbauprozess beteiligten Abteilungen sollten in diesen Prozess involviert werden.

Der Ausbau der bestehenden Wärmenetze bedingt die Akquise weiterer Wärmekunden. Auf Basis der Bestandsanalyse können die größeren Verbraucher in örtlicher Nähe zu den bestehenden Netzen identifiziert und kontaktiert werden. Weitere potenzielle Wärmekunden sollten von den Betreibern beworben werden. Die Durchführung von Bürgerveranstaltungen und die Veröffentlichung von Fernwärmeausbauoptionen auf der Homepage der Stadt und der Stadtwerke helfen dabei, der interessierten Bevölkerung erforderliche Informationen aktiv näher zu bringen.

- *Erforderliche Aktivitäten:*
 - Abfrage der Ausbaumöglichkeiten bei den Wärmenetzbetreibern; Information über die kommunalen Klimaschutzziele und mögliche Unterstützungsaktivitäten.
 - Weiterführung der bereits stattfindenden Abstimmungsgespräche zwischen Stadtverwaltung und Stadtwerke.
 - Bewerbung von Neukunden entlang der geplanten Fernwärmetrassen und konkrete Ansprache potenzieller Ankerkunden.

- Durchführung von Bürgerveranstaltungen.
- Veröffentlichung des aktuellen und geplanten Fernwärmeausbaus auf der Homepage der Stadt und der Stadtwerke Baden-Baden.
- *Zielgruppe:* Gebäudeeigentümer entlang der geplanten Trassen, Mitarbeiter der Stadtverwaltung
- *Zuständige:* Stadtverwaltung Baden-Baden, Stadtwerke Baden-Baden

M.IV. **Identifikation größerer Gebäudebetreiber in den Potenzialgebieten für die direkte Ansprache durch die Stadtwerke Baden-Baden**

Eine Grundvoraussetzung für den Ausbau zentraler Wärmeversorgungsanlagen in den Potenzialgebieten aus Kapitel 4.1 besteht in der frühzeitigen Information der Anwohner und vor allem der Zusage größerer Ankerkunden. Gelingt die Vernetzung dieser dezentral versorgten Großverbraucher sind die ersten Hürden beim Ausbau der zentralen Versorgungen gemeistert. Die Stadtverwaltung kann dabei eine wichtige Rolle bei der Ansprache von größeren Gebäudebetreibern als „Türöffner“ spielen.

In den identifizierten Potenzialgebieten sollten daher die großen Wärmeverbraucher konkret auf die Möglichkeiten zur Anbindung an eine zentrale Wärmeversorgung hin befragt werden. Die anlagentechnische Ausstattung als auch die Informationen bezüglich anstehender Gebäudesanierungen sollten dabei in die Entscheidungsfindung mit einfließen. Mit dieser Maßnahme kann im Anschluss eine erste Tendenz für oder gegen eine zentrale Wärmeversorgung in den Potenzialgebieten abgeleitet werden. Der Zeitaufwand bleibt dabei überschaubar durch die zahlenmäßige Beschränkung auf die elementar wichtigen Großverbraucher.

- *Erforderliche Aktivitäten:*
 - Identifikation der Großverbraucher in den Nahwärme-Potenzialgebieten
 - Kontaktaufnahme und Information der Großverbrauchern
 - Vernetzung potenziell interessierter Gebäudeeigentümer und Wärmenetzbetreiber
- *Zielgruppe:* Gebäudebetreiber mit hohem Wärmebedarf
- *Zuständige:* Stadtverwaltung Baden-Baden, Stadtwerke Baden-Baden

M.V. **Vernetzung einzelner kleiner Gebäudeinhaber**

Neben der Ansprache einzelner Großverbraucher kann eine zentrale Wärmeversorgung auch durch die Initiative von vielen kleineren Wärmeverbrauchern angestoßen werden. Denn entscheidend für den Betreiber eines Wärmenetzes ist die abgenommene Wärmemenge je Trassenmeter, egal ob durch wenige Großverbraucher, viele kleinere Verbraucher auf kleiner Fläche oder in der Kombination von beiden.

Die Aktivierung von einzelnen kleineren Verbrauchern erfordert zunächst die Information möglicher Wärmekunden innerhalb eines Potenzialgebiets über die positiven Grundvoraussetzungen (Wärmedichte). Der Informationsaustausch untereinander hilft zu ermitteln, ob ein generelles Interesse am Anschluss an einen Wärmeverbund besteht. Ist

dieses Vorhanden, bedarf es eines Koordinators, der die Interessen bündelt und die weiteren Schritte plant.

Eine geeignete Kommunikationsplattform für die Verbraucher innerhalb eines Potenzialgebiets kann dabei eine moderierte Bürgerveranstaltung sein oder auch eine Webseite mit den entsprechenden Informationen und Diskussionsmöglichkeiten.

Das übergeordnete Ziel dieser Maßnahme besteht damit im Zusammenbringen der vielen relevanten Einzelakteure. Ein neutraler Koordinator muss daher in der Lage diesen Prozess zu moderieren und zu führen.

- *Erforderliche Aktivitäten:*
 - Ansprache und Information der kleinen Wärmeverbraucher in den Potenzialgebieten
 - Durchführung von Informations- und Diskussionsveranstaltungen
 - Aufbau einer Internetplattform für die Wärmeverbraucher in den jeweiligen Potenzialgebieten
 - Vernetzung potenziell interessierter Gebäudeeigentümer
 - Koordination des Umsetzungsprozesses bei Interesse der Einzelverbraucher
- *Zielgruppe:* Gebäudebetreiber und Wärmekunden in den Potenzialgebieten
- *Zuständige:* Stadtverwaltung Baden-Baden, Stadtwerke Baden-Baden

M.VI. **Ausbau neuer Nahwärmenetze durch Betreiber**

Der Ausbau neuer Nahwärmenetze kann durch die Initiative einzelner Verbraucher erfolgen oder durch potenzielle Betreiber vorangetrieben werden. Die Maßnahme M.VI richtet sich speziell an Betreiber von Wärmenetzen und setzt voraus, dass diese ein verstärktes Interesse zur Kundenwerbung in den geeigneten Nahwärmegebieten haben. Mit den Informationen der vorliegenden Wärmestudie können potenzielle Betreiber, wie die Stadtwerke Baden-Baden, mit Informationen versorgt werden, die als Grundlage für weitere Detailanalysen und Nahwärme-Ausbauprognosen geeignet sind. Von Seiten der Stadtverwaltung Baden-Baden sollten Betreiber, die am Ausbau zentraler Wärmeversorgungen interessiert sind, gezielte organisatorische Unterstützung erhalten.

- *Erforderliche Aktivitäten:*
 - Verbreitung der vorliegenden Wärmestudie
 - Gezielte Ansprache von Wärmenetzbetreibern und Diskussion der Potenzialabschätzungen hinsichtlich der Umsetzungsmöglichkeiten
 - Begleitung und Unterstützung interessierter Betreiber
- *Zielgruppe:* Betreiber von Nah- und Fernwärmenetzen
- *Zuständige:* Stadtverwaltung Baden-Baden

M.VII. **Bereitstellung von Fördermitteln für zentrale Wärmeversorgungen**

Auf Bundes- und Landesebene existieren zahlreiche Programme die den Ausbau ressourceneffizienter zentraler Wärmeversorgungen fördern sollen. Die Stadt Baden-Baden kann für interessierte Verbraucher und Anlagenbetreiber eine entsprechende Beratungsstelle

etablieren, die über bestehende Fördermittel für zentrale Wärmeversorgungssysteme informiert.

Darüber hinaus können durch die Bereitstellung kommunaler Fördermittel direkte finanzielle Anreize zum Ausbau zentraler Versorgungssysteme gesetzt werden. Eine allgemeine Überschneidung zu Förderprogrammen auf Bundes- und Landesebene sollte dabei vermieden werden. Dies kann zum Beispiel durch eine zielgerichtete Förderung für die Nutzung von lokalen erneuerbaren Energiequellen erreicht werden. Eine direkte lenkende Wirkung eigener Fördermittel ist speziell in den Bereichen Abwasserwärmenutzung oder der Biomassenutzung aus Eigenbetrieb Umwelttechnik gekoppelt an zentrale Wärmeversorgungssysteme denkbar.

- *Erforderliche Aktivitäten:*
 - Verbreitung der vorliegenden Wärmestudie
 - Gezielte Ansprache von Wärmenetzbetreibern und Diskussion der Potenzialabschätzungen hinsichtlich der Umsetzungsmöglichkeiten
 - Begleitung und Unterstützung interessierter Betreiber
- *Zielgruppe:* Stadtverwaltung Baden-Baden, Stadtwerke Baden-Baden, Eigenbetrieb Umwelttechnik, Energieagentur Mittelbaden
- *Zuständige:* Stadtverwaltung Baden-Baden

5.2. Nutzung der KWK-Potenziale

Die Analyse der KWK-Potenziale in Kapitel 4.2 zeigt beispielhaft die Chancen und Hemmnisse der BHKW-Technologie bei den einzelnen Verbraucherkategorien auf. Zur Hebung dieser KWK-Potenziale kann die Stadtverwaltung Baden-Baden in ihren eigenen Liegenschaften direkt aktiv werden und Maßnahmen anstoßen. Befinden sich die KWK-Nutzungspotenziale bei privaten oder gewerblichen Verbrauchern, so kann die Stadtverwaltung hierbei indirekt die Umsetzung von Maßnahmen unterstützen und fördern. Die folgenden Maßnahmen spiegeln die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Bestands- und Potenzialanalysen wider und dienen als Handlungsempfehlungen für die Stadtverwaltung Baden-Baden.

M.VIII. Überprüfung der kommunalen Gebäude hinsichtlich der KWK-Eignung

Die kommunalen Liegenschaften befinden sich im direkten Einflussbereich der Stadtverwaltung Baden-Baden. Analog zur Maßnahme M.II besteht hierbei die Möglichkeit, konkrete Umsetzungsbeispiele im Bereich der KWK-Nutzung zu realisieren.

Für die kommunalen Gebäude sollten im Rahmen des Energiemanagements die technischen Voraussetzungen für den Einsatz eines BHKW's erfasst und evaluiert werden. Dazu sind Daten zum Zustand der Gebäudehülle, der Anlagentechnik (Alter, Zustand, ...) und des aktuellen Energieverbrauchs zu analysieren. Sind aus technischer Sicht die Voraussetzungen gegeben, ist im konkreten Fall die Wirtschaftlichkeit einer Investition zu prüfen. Mit Blick auf die bestehenden zentralen Wärmeversorgungen konzentriert sich diese

Maßnahme auf Liegenschaften, die sich nicht in unmittelbarer Nähe zu diesen Wärmenetzen befinden.

- *Erforderliche Aktivitäten:*
 - Überprüfung aller kommunaler Liegenschaften hinsichtlich der BHKW-Nutzungsmöglichkeiten im Objekt (Anlagentechnik, Objektzustand, Alter, ...)
 - Wirtschaftliche Bewertung potenziell geeigneter kommunaler Gebäude
 - Dokumentation der geeigneten Liegenschaften mit Umsetzungsempfehlung
- *Zielgruppe:* Stadtverwaltung Baden-Baden
- *Zuständige:* Stadtverwaltung Baden-Baden, Energiemanagement (evtl. Stadtwerke Baden-Baden)

M.IX. **Kontaktaufnahme zu den identifizierten Großverbrauchern der Referenztypen**

Die KWK-Potenzialanalyse in Kapitel 4.2 erfolgt auf Basis einer Kategorisierung einzelner Wärmeverbraucher in Referenztypen. Die Verbraucher je Referenztyp weisen dabei eine ähnliche Nutzungsart oder Verbrauchsmenge auf. Für die verschiedenen Referenztypen ist die KWK-Eignung analysiert worden. Das Ergebnis zeigt generell auf, dass BHKW's bei den größeren untersuchten Verbrauchern zu einer energetischen und wirtschaftlichen Verbesserung führen können.

Der Stadtverwaltung liegt damit eine konkrete Liste mit Verbrauchern vor, denen aufgrund der Potenzialanalyse und der Referenztypen-Kategorisierung eine KWK-Eignung zugeschrieben werden kann. Die gewonnenen Informationen können genutzt werden, um diese Verbraucher konkret anzusprechen. Ziel der Kontaktaufnahme ist neben der Information auch die Motivation zur ernsthaften Überprüfung der KWK-Einsatzmöglichkeiten im eigenen Objekt. Interessierte Verbraucher sollten im weiteren Umsetzungsprozess fachliche und organisatorische Unterstützung erhalten. Besonders mit Blick auf die Verbraucher am Gasnetz ohne bisherigen Gasbezug ergeben sich hierbei vielversprechende Einsparpotenziale.

- *Erforderliche Aktivitäten:*
 - Auswertung der Referenztypenliste zur Kontaktierung der Verbraucher
 - Aufbereitung der energiewirtschaftlichen Randbedingungen und des Informationsmaterials über die KWK-Technologie und
 - Kontaktaufnahme und Information der Verbraucher in den geeigneten Referenztypen
 - Begleitung und Unterstützung interessierter Verbraucher bei der Umstellung auf KWK-Nutzung
- *Zielgruppe:* Gebäudebetreiber aus der Referenztypenliste
- *Zuständige:* Stadtverwaltung Baden-Baden, Stadtwerke Baden-Baden

M.X. **Beratungsangebot für Handwerker und Fachplaner**

Den ausführenden und planenden Firmen kommt bei der Verbreitung der KWK-Technologie eine besondere Rolle zu. Bei einer Erneuerung oder Neuinstallation der Gebäudetechnik werden in der Regel die Anfragen direkt an diese Berufsgruppen gerichtet. Sie bilden damit die Schnittstelle zwischen dem interessierten Kunden und dem Hersteller von BHKW-Anlagen. Darüber hinaus werden diese Berufsgruppen speziell in der Betriebsphase die Ansprechpartner der Objekt- und Anlagenbetreiber sein.

Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die ausführenden Firmen und Fachplaner in Baden-Baden über ein ausreichendes Wissen im Bereich der KWK-Technologie besitzen, um fundiert Auskünfte an die Endkunden weitergeben zu können. Ziel ist es, den gewerkeübergreifenden Zusammenhang (Wärme und Strom) den Unternehmen näher zu bringen und Betreibermodelle verständlich zu machen. Hierzu kann die Stadtverwaltung als Koordinator verschiedene Informations- und Weiterbildungsangebote anstoßen, unterstützen und auch fördern. In Zusammenarbeit mit externen Fachleuten könnte die Stadt Baden-Baden, als neutraler Moderator und Multiplikator, eine Vielzahl der lokalen Akteure zu einer Teilnahme motivieren.

- *Erforderliche Aktivitäten:*
 - Verbreitung der vorliegenden Wärmestudie unter den lokalen Handwerkern und Planungsunternehmen
 - Organisation und Bewerbung von Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen mit dem Fokus KWK
- *Zielgruppe:* Stadtverwaltung Baden-Baden, Stadtwerke Baden-Baden, Energieagentur Mittelbaden
- *Zuständige:* Stadtverwaltung Baden-Baden

M.XI. **Informationsveranstaltung zum Thema KWK-Contracting für Verbraucher**

Die Nutzung der „Kraft-Wärme-Kopplung“ hat in Deutschland in den letzten Jahren stetig zugenommen. Bei den Technikverantwortlichen in den Unternehmen und Institutionen ist daher auch ein Basiswissen über diese Technologie vorhanden. Um dieses Wissen auf der Verbraucherseite zu vertiefen und weiter zu verbreiten, können gezielte Informationsveranstaltungen für die Öffentlichkeit angeboten werden.

Neben den energiewirtschaftlichen und technischen Grundlagen sollte bei diesen Veranstaltungen ein besonderes Augenmerk auf die verschiedenen Betreibermodelle gelegt werden. Die anfänglich höhere Investition in ein BHKW, die technische Betriebsführung oder die steuerrechtliche Handhabung der Erlöse sind Teilbereiche der KWK die oftmals als Hemmnis von interessierten Verbrauchern angesehen werden. Die betriebswirtschaftlichen Details der verschiedenen Betreibermodelle sollten dabei transparent dargestellt werden, um die vorhandene Hemmschwelle zu senken.

Speziell das Thema KWK-Contracting für Verbraucher, die Investitionen scheuen oder die technische Betriebsführung nicht selber leisten können, stellt dabei eine sinnvolle Lösung

dar. Beim KWK-Contracting finanziert und betreibt ein Contractor die KWK-Anlage und beliefert den Auftraggeber mit Wärme und ggf. Strom. Das wirtschaftliche Risiko wird mit dieser Variante, bei weiterhin gesicherter Versorgung, ausgelagert. Zahlreiche Praxisbeispiele zeigen, dass Contracting viele Chancen bieten kann.

Die Stadtverwaltung Baden-Baden kann zur Unterstützung des Wissenstransfers zum Thema KWK-Contracting Informationsveranstaltungen organisieren und fördern. Als neutrale und präzise Instanz in Baden-Baden besitzt Sie das Potenzial über verschiedene Medien und Kommunikationswege die breite Bevölkerung anzusprechen.

- *Erforderliche Aktivitäten:*
 - Verbreitung der Wärmestudie über lokale Medien
 - Organisation und Bewerbung von Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen mit dem Fokus KWK-Betreibermodelle und KWK-Contracting
 - Hilfestellung von Verbrauchern bei der Suche nach einem Contractor
- *Zielgruppe:* Stadtverwaltung Baden-Baden, Energieagentur Mittelbaden
- *Zuständige:* Stadtverwaltung Baden-Baden

5.3. Umsetzungs- und Controllingkonzept

Für die Erfolgskontrolle und Überprüfung der erreichten Nahwärme- und KWK-Ausbauziele sind entsprechende Kontrollmechanismen zu etablieren.

Als Kontrollgröße für die Nahwärmegebiete kann die Anzahl der angeschlossenen Verbraucher dienen. Auf Basis der Potenzialkarte für die Nahwärmegebiete liegt hierzu ein konkretes Kartenmaterial vor, um den Ausbaugrad in den Gebieten weiterzuverfolgen. Die Anzahl der bisher identifizierten Gebiete erlaubt eine Quantifizierung der Erfolgskontrolle.

Für die Überprüfung der Ausbauerfolge im Bereich der KWK kann ebenfalls auf eine belastbare Datengrundlage zurückgegriffen werden. Die Stadtwerke Baden-Baden besitzen als Netzbetreiber die relevanten Informationen über die Lage, die Größe und Art einer KWK-Anlage. In die bisher vorhandene Bestandsanalyse in Kapitel 3.1.2 können die zukünftig installierten KWK-Anlagen mit aufgenommen und archiviert werden. Die in den Referenztypen als geeignet identifizierten Betriebe können als Zielmarke verwendet werden.

Im Rahmen der Umsetzungskontrolle empfiehlt es sich im Jahresrhythmus die registrierten Maßnahmen zu dokumentieren und fortzuschreiben. Besonders im Hinblick auf die kommunalen Klimaschutzziele können die beiden Kenngrößen Nahwärmeausbau und KWK-Nutzung hilfreiche Informationen über das Erreichen der gesetzten Klimaschutzziele liefern.

5.4. Modelle zur KWK-Nutzung

Im Rahmen der KWK-Potenzialanalyse wurden die Nutzungspotenziale bei verschiedenen Verbraucherkategorien bestimmt. Für einen wirtschaftlichen Betrieb sind neben der technischen Umsetzung auch die rechtlichen und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen von besonderer Bedeutung. Eine Auswahl möglicher KWK-Nutzungsmodelle wird in dem vorliegenden Kapitel beschrieben und die rechtlichen Auswirkungen auf diese Modelle beleuchtet.

Das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) regelt seit 2000 die Rahmenbedingungen für den Ausbau der KWK-Technologie in Deutschland. Für den Betrieb der KWK-Anlagen haben sich in den letzten Jahren mit dem verstärkten Ausbau von fluktuierenden erneuerbaren Energien die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen stark verändert. So hat deren Ausbau zu allgemein niedrigeren Preisen an der Strombörse EEX in Leipzig geführt. Für KWK-Anlagen hat dies direkte Konsequenzen, da für den eingespeisten Strom gemäß KWKG eine Vergütung in Höhe des üblichen Preises an der Strombörse gezahlt wird. Mit den sinkenden Strompreisen steigt damit der Anreiz, den erzeugten KWK-Strom direkt zu verbrauchen und teureren Netzstrombezug zu vermeiden.

In der Vergangenheit konnten mit KWK-Anlagen hohe Erlöse durch die Stromeinspeisung in das öffentliche Netz generiert werden. Mit den sich geänderten energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen steigt aktuell und zukünftig die Wirtschaftlichkeit einer Anlage, je mehr Strom direkt vor Ort selbst verbraucht wird. Um den Anteil des lokal verbrauchten Stroms zu steigern und damit die finanziellen Vorteile zu erhöhen, bedarf es neuer Vermarktungsmodelle, deren Grundprinzipien im Folgenden vorgestellt werden. Speziell die Modelle, die lokal im Stadtgebiet umsetzbar sind, stehen dabei im Fokus.

Für eine klare Begriffsabgrenzung werden für die KWK-Anlagen einführend die beiden Stromvermarktungsoptionen *Direktlieferung* und *Eigenverbrauch* erläutert.

Eigenverbrauch

Verbrauch des eigen erzeugten Stroms durch dieselbe juristische Person, die auch die Anlage betreibt.

Beispiel:

Der Eigentümer eines EFH betreibt im Keller eine BHKW-Anlage. Den erzeugten Strom verwendet er in seinem Haus selbst und speist den überschüssigen Strom in das öffentliche Netz ein.

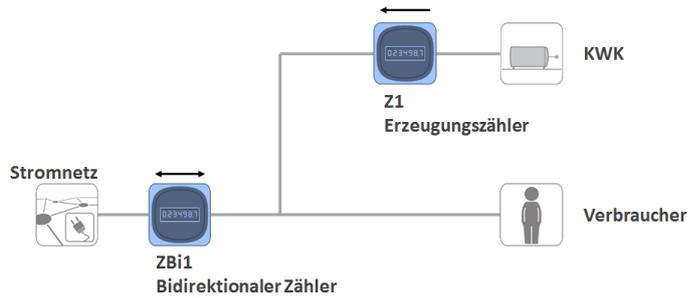


Abbildung 47: Beispiel BHKW-Strom Eigenverbrauch

Direktlieferung

Belieferung eines Abnehmers mit Strom, der nicht mit dem Anlagenbetreiber identisch ist, über eine direkte Leitung, ohne das öffentliche Stromnetz zu benutzen.

Beispiel:

Der Eigentümer eines MFH betreibt im Keller ein BHKW. Den erzeugten Strom verwendet der Anlagenbetreiber nicht selbst, sondern beliefert die Bewohner mit KWK-Strom. Dazu muss er das öffentliche Netz nicht benutzen. Stromüberschüsse speist er weiterhin in das öffentliche Stromnetz ein.

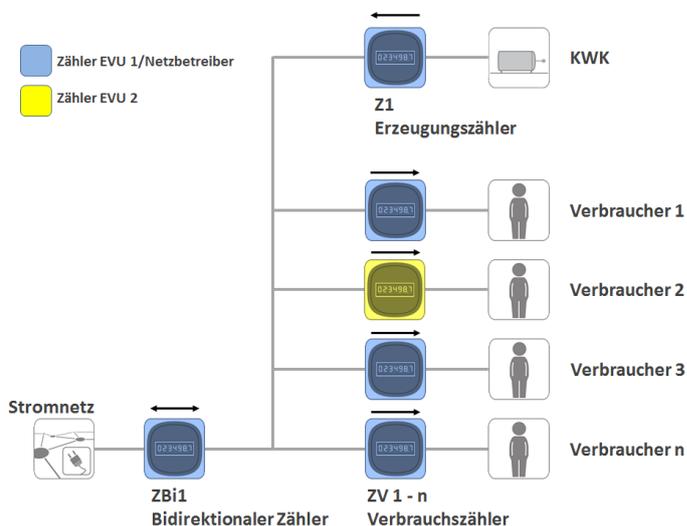


Abbildung 48: Beispiel BHKW-Strom Direktlieferung

5.4.1 Status Quo bzw. KWK-Vermarktungsmodell: Eigenverbrauch

Ein gängiges Nutzungsmodell von KWK-Anlagen besteht darin, die KWK-Anlage wärmegeführt zu fahren. Dies bedeutet, dass bei Bedarf mit der Anlage Wärme erzeugt wird. Der dabei erzeugte Strom wird entweder direkt genutzt oder bei Überschuss in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Für die Deckung des restlichen Strombedarfs wird Strom über das öffentliche Netz bezogen. Das Nutzungskonzept eignet sich speziell für Verbraucher mit einem konstant hohen Wärmebedarf und einem gleichfalls hohen Strombedarf, um den eigen erzeugten Strom möglichst selbst zu verbrauchen. Die Wirtschaftlichkeit dieses Nutzungsmodells hängt im Betrieb von den garantierten Erlösen gemäß KWKG, den vermeidbaren Strombezugskosten, den Brennstoffkosten und der Abgabe der EEG-Umlage ab.

Von Seiten des KWKG werden folgende Vergütungsmechanismen garantiert:

- KWK-Zuschlag für den gesamten erzeugten KWK-Strom
- Vergütung des üblichen Preises an der EEX für den eingespeisten Strom (alternativ: Preisabsprache mit einem direkt verhandelten Abnehmer)
- Vermiedene Netznutzungsentgelte durch die Einspeisung von KWK-Strom

Zusätzlich sichert das Energiesteuergesetz (EnergieStG) die Entlastung bei der Energiesteuer für gasförmige Brennstoffe, wenn diese in KWK-Anlagen genutzt werden. Die Energiesteuer wird dem Betreiber rückerstattet.

Für dieses Vermarktungsmodell steigt die Wirtschaftlichkeit mit dem Anteil selbst verbrauchten Stroms. Aufgrund der in der Regel höheren Strombezugskosten gegenüber den aggregierten Vergütungsbestandteilen führt der Eigenverbrauch zu finanziellen Vorteilen gegenüber der Einspeisung. Für den eigen verbrauchten KWK-Strom ist lediglich eine reduzierte EEG-Umlage in Höhe von 40 % der Gesamtumlage fällig.

Abbildung 47 zeigt die exemplarische Anordnung der erforderlichen Messstellen und Anlagenkomponenten für dieses Nutzungsmodell auf.

5.4.2 KWK-Vermarktungsmodell: Direktlieferung an Mieter

Als Beispiel wird die Belieferung eines großen MFH's mit KWK-Strom erläutert. In der Praxis stellt dieses Modell eine sinnvolle Nutzungsvariante dar, da in der Regel die erzeugte Strommenge vom Anlagenbetreiber nur in geringen Mengen selbst verbraucht werden kann. In dem vorliegenden Fall wird daher nun der KWK-Strom an Dritte - die einzelnen Mieter im MFH - über eine direkte Leitung geliefert. Der Anlagenbetreiber ist Stromversorger der Mieter und versorgt diese mit KWK-Strom und bezieht den restlichen Strom für die Bedarfsdeckung aus dem öffentlichen Netz. Überschüssiger Strom wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Bei der Vermarktung des KWK-Stroms gelten für den eingespeisten Strom weiterhin die Regelungen gemäß KWKG.

Als Stromversorger hat der Anlagenbetreiber dafür zu sorgen, dass die Nutzer im Gebäude unterbrechungsfrei mit Strom versorgt werden. Die Versorgung basiert dabei zum einen auf dem eigen erzeugten KWK-Strom und dem Bezug von Netzstrom für die Zeiten, in denen die eigene Erzeugung zur Bedarfsdeckung nicht ausreicht. Neben der Versorgungssicherheit hat der Anlagenbetreiber zu gewährleisten, dass die verbrauchten Strommengen den einzelnen Nutzern exakt zugewiesen werden können. Aus technischer Sicht kann die in Abbildung 48 dargestellte schematische Zählerstellenstruktur realisiert werden, so dass alle abrechnungsrelevanten Strommengen im Gebäude korrekt erfasst werden.

Das in Abbildung 48 dargestellte Stromabrechnungsmodell existiert bereits unter der Bezeichnung „Summenzählermodell“. Danach liegt die unternehmerische Gesamtverantwortung beim Anlagenbetreiber. Zudem muss der Anlagenbetreiber beachten, dass den Mietern, nach § 20 Abs. 1 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), das Recht auf die freie Wahl des Energieversorgers weiterhin gewährt wird. Aus technischer Sicht ist dies mit der Realisierung des Summenzählermodells machbar. Ist die Bindung an die Stromabnahme nicht ausdrücklich im Mietvertrag verankert, muss diese Randbedingung im Versorgungskonzept berücksichtigt werden. Eine hohe Beteiligungsrate der Mieter erhöht die Wirtschaftlichkeit und den KWK-Eigennutzungsgrad des Stromnutzungskonzepts. Die Abrechnung des Stroms mit den Mietern erfolgt hierbei über den Anlagenbetreiber oder einen dritten Energieversorger. Die Abrechnung der Einspeisevergütung des KWK-Stroms erfolgt über die kaufmännisch-bilanzielle-Weitergabe über virtuelle Zählpunkte (§ 4 Abs. 3b Satz 2 KWKG).

Abbildung 48 zeigt beispielhaft eine solche Konstellation auf. Zentrale Verbraucher und Nutzer 1, 2 und n werden durch den Anlagenbetreiber versorgt. Nutzer 3 bezieht seinen Strom von einem dritten Energieversorger und rechnet direkt mit ihm ab. Die physikalischen Stromflüsse sind mit diesem Konzept korrekt erfassbar.

Für den Anlagenbetreiber ergeben sich zusätzliche rechtliche Rahmenbedingungen für die Umsetzung des vorgeschlagenen Stromvermarktungsmodells. Als Versorger muss er zunächst eine Erlaubnis nach § 4 Stromsteuergesetz (StromStG) beantragen. Diese wird vom Hauptzollamt unter Voraussetzung der in § 4 Abs. 2 StromStG aufgelisteten Kriterien erteilt. Eine Anzeige der Energiebelieferung nach § 5 EnWG muss bei der Regulierungsbehörde nicht angezeigt werden. Laut § 5 EnWG ist „die Belieferung von Haushaltskunden ausschließlich innerhalb einer Kundenanlage“ von dieser Pflicht befreit.

Aus technischer und rechtlicher Sicht werden mit dem Summenzählermodell alle erforderlichen Randbedingungen erfüllt. Für die Abrechnung des Energiebedarfs mit den Mietern kann der Anlagenbetreiber z.B. ein an die Warmmiete angelehntes Modell umsetzen. Der Strombedarf wird dabei anhand einer zuvor definierten Strompauschale abgerechnet.

Alle für den Betreiber anfallenden Kosten müssen dabei durch die Strompauschale abgedeckt werden. Zu berücksichtigende Kosten und Erlöse für den Anlagenbetreiber sind:

- Fixe Kostenbestandteile für Messung, Abrechnung und Vertrieb
- Stromgestehungskosten der KWK-Anlage
- Kosten für externen Strombezug
- Steuern und Abgaben
- Erlöse gemäß KWKG und EnergieStG

Der Nettostrompreis, der den Nutzern in Rechnung gestellt wird, setzt sich in dem vorliegenden Fall aus gewichteten Anteilen der Stromgestehungskosten des KWK-Systems, der dafür anfallenden EEG-Umlage und der Kosten des zusätzlichen Netzstrombedarfs zusammen. Die staatlichen Abgaben und Steuern fallen für den lokal erzeugten und direkt genutzten Strom wie folgt an:

- **Stromsteuer:** Nach § 9 StromStG muss für Strom aus einer rein erneuerbaren Quelle oder zur Belieferung von Letztverbrauchern in räumlichem Zusammenhang keine Stromsteuer gezahlt werden⁴.
- **Nettonetzentgelte:** Der eigen erzeugte Strom wird bei der angestrebten Nutzung lediglich durch das eigene Stromnetz an Dritte weiterverkauft. Die Netznutzungsentgelte entfallen, da für den Verkauf des eigen erzeugten Stroms kein Zugang zu den Übertragungs- und Verteilnetzen erforderlich ist (StromNEV § 1).
- **KWK-Umlage:** Die KWK-Umlage wird als Aufschlag auf die Netznutzungsentgelte angerechnet und entfällt, da keine Netzentgelte gezahlt werden müssen.
- **Offshore Haftungsumlage:** § 17 EnWG gebunden an Netznutzung. Fällt daher nicht an.
- **Umlage nach § 19 StromNEV:** Gebunden an Netznutzung. Entfällt bei der Nutzung einer eigenen Direktleitung.
- **Konzessionsabgabe:** Entfällt, da der Anlagenbetreiber keine Wege und Räume der öffentlichen Hand oder Dritten nutzt.
- **EEG-Umlage:** Für den eigen erzeugten und vom Anlagenbetreiber selbst verbrauchten Strom fällt nach dem § 58 EEG 40 % der EEG-Umlage an.

5.4.3 KWK-Vermarktungsmodell: Direktlieferung an Dritte (allgemein)

Beliefert ein KWK-Anlagenbetreiber Letztverbraucher, die in keinem Mietverhältnis zu dem Anlagenbetreiber stehen, dann resultieren die gleichen Randbedingungen wie im vorherigen Anwendungsfall. Als Beispiel können wieder Eigentumswohnungen in Mehrfamilienhäusern genannt werden. Das „Summenzählermodell“ ist für diese Eigentums- und Nutzungskonstellation anwendbar. Die Unterschiede bei der EEG-Umlage bei dem KWK-Vermarktungsmodell „Direktlieferung an Dritte“ gelten auch hier. Entscheidend ist die Frage, ob die belieferten Letztverbraucher auch durch Miet- oder Kaufverträge für den Betrieb der

⁴ StromSTG § 9 Abs. 1, Steuerbefreiung, Steuerermäßigungen

KWK-Anlage verantwortlich sind. Tragen die Letztverbraucher kein wirtschaftliches oder betriebliches Risiko ist auf jeden Fall die EEG-Umlage in vollem Umfang zu bezahlen. Sind die Letztverbraucher jedoch „Teilbetreiber“ so kann gegebenenfalls lediglich die Abgabe der reduzierten EEG-Umlage anfallen. Die weiteren Steuern und staatlichen Abgaben sind entsprechend dem Nutzungsmodell „Direktlieferung an Dritte“ zu entrichten.

5.4.4 KWK-Contracting für Gebäudebetreiber

Die vorangegangenen Vermarktungsmodelle beleuchten die energiewirtschaftlichen und organisatorischen Randbedingungen aus Sicht eines Gebäudebetreibers der die KWK-Anlage auch selbst betreibt. Besteht jedoch der Wunsch, dass der Gebäudebetreiber für den KWK-Anlagenbetrieb nicht selber verantwortlich ist, kann das KWK-Contracting eine sinnvolle Möglichkeit darstellen.

Das KWK-Contracting ist ein bewährtes Instrument für Gebäudebetreiber, die Investitionen scheuen, das unternehmerische Betriebsrisiko nicht tragen wollen oder die technische Betriebsführung nicht selber leisten können. Beim KWK-Contracting übernimmt ein externer „Contractor“ die Planung, die Montage, die Finanzierung und den Betrieb einer KWK-Anlage und damit das wirtschaftliche Risiko über die Nutzungsdauer der Anlage. Das Ziel besteht darin, dem Kunden über einen definierten Zeitraum Nutzenergie (Wärme und/oder Strom) gegen ein vereinbartes Entgelt zu liefern. Während der vereinbarten Vertragslaufdauer übernimmt der Contractor die „... Betriebsführung der Anlagen sowie die kontinuierlichen Wartung und Instandhaltung. Da er unmittelbare wirtschaftliche Vorteile aus hocheffizient arbeitender und wartungsarmer Anlagentechnik zieht, wird der Contractor qualitativ hochwertige Technik einsetzen und stets optimal betreiben“ [dena, 2010]. Der Contractor finanziert dabei seine Leistungen und Aufwendungen über die festgelegten Energiepreise für Wärme und Strom. Der Kunde kann bei dieser Vertragskonstellation in der Regel langfristig mit geringeren Energiekosten rechnen und einen Beitrag zur ressourceneffizienten Energiebereitstellung leisten.

Aus Kundensicht ergeben sich bei diesem Nutzungsmodell unter anderem folgende weitere Vor- und Nachteile [dena, 2010]:

Vorteile:

- Finanzierung der Anlagentechnik über den Contractor und damit keine Bindung von Investitionsmitteln
- Garantierte und damit planbare Betriebskosten
- Kein wirtschaftliches Risiko beim KWK-Anlagenbetrieb
- Organisatorische Entlastung durch Konzentration auf das Kerngeschäft
- Hohe Energieeffizienz der Anlagentechnik (→ unmittelbares Interesse des Contractors)

Nachteile:

- Langfristige Bindung an einen Lieferanten
- Eingeschränkte Flexibilität beim Anlagenbetrieb

Zahlreiche Praxisbeispiele bezeugen die wirtschaftliche und technische Sinnhaftigkeit des KWK-Contractings und die Win-Win-Situation für den Contractor und Contractornehmer. Die Unterschiedlichen Anwendungsbereiche reichen dabei von der Modernisierung bestehender Heizanlagen bis zur Betriebsführung neu installierter Anlagen. Für interessierte Gebäudebetreiber empfiehlt sich vor der Entscheidung pro oder contra KWK-Contracting zunächst eine neutrale Bewertung der Anlagentechnik und der KWK-Vermarktungsmodelle. Liegt ein positives Ergebnis hinsichtlich des KWK-Contractings vor, so beginnt im Anschluss die Suche nach einem geeigneten Contractor. Nach [KaRH, 2013] sind wichtige Entscheidungskriterien eine regionale Anbindung und der Innovationsgrad der angestrebten Energiekonzepte. Angeboten wird Contracting von BHKW Herstellern, Energieversorgern, Handwerksbetrieben oder spezialisierten Contracting-Fachbetrieben.





AKTEURSBETEILIGUNG

6. Akteursbeteiligung

Im Rahmen der einjährigen Projektbearbeitung fanden regelmäßige Treffen mit Vertretern der Stadtverwaltung und den Stadtwerken Baden-Baden statt. Von Seiten der Stadt begleitete die Abteilung Wirtschaftsförderung und Klimaschutz das Projekt. In den Treffen wurde regelmäßig über den aktuellen Stand der Bearbeitung informiert und iterativ das weitere inhaltliche und organisatorische Vorgehen untereinander abgestimmt.

Auf Basis der Bestandsanalyse konnten die Betriebe identifiziert werden, die den jeweiligen Zielgruppen der KWK-Analyse zuzuordnen waren. Die für eine generelle KWK-Nutzung als geeignet eingestuften Betriebe wurden dabei in Referenztypen eingeordnet. Durch die Stadtverwaltung wurden diese Betriebe zur Teilnahme an der Wärmestudie und an einem Workshop aufgefordert. Bei der gezielten Ansprache der geeigneten lokalen Akteure wurde informiert, dass bei einer Teilnahme eine kostenlose KWK-Potenzialanalyse durch das Steinbeis-Transferzentrum EGS durchgeführt wird. Ziel der direkten Ansprache war es, für jeden Referenztyp ein Betrieb zur Teilnahme zu gewinnen. Bis auf den „Referenztyp 6: Kleines Gewerbe“ konnte je Referenztyp mindestens ein Betrieb gewonnen werden.

Für insgesamt zehn Betriebe wurde im Rahmen der Wärmestudie eine konkrete Potenzialanalyse durchgeführt. Zwischen Mai und Juni wurden hierzu die einzelnen Objekte vor Ort besichtigt und die lokalen Akteure über die Zielsetzungen der Analyse informiert. Im Anschluss an die Potenzialberechnungen erfolgte am 12. August 2014 die Vorstellung der Untersuchungsergebnisse im Rahmen eines Workshops. An dem Termin nahmen Vertreter der analysierten Unternehmen teil. Inhalt des Workshops waren zunächst eine Einführung in die Thematik der KWK und eine Präsentation der gesetzlichen und energiewirtschaftlichen Randbedingungen für den Betrieb von KWK-Anlagen. Im Anschluss wurden die unterschiedlichen Energieverbrauchseigenschaften und die Nutzungsprofile der einzelnen Verbraucherkategorien beleuchtet. Abschließend konnten die Teilnehmer die objektspezifischen KWK-Potenziale mit den Experten der Steinbeis-Transferzentrums diskutieren. Die Ergebnisse aus den beispielhaften Untersuchungen sind für die weitere Bearbeitung der Wärmestudie verwendet worden.

Parallel zur originären Bearbeitung der Wärmestudie konnte in enger Zusammenarbeit mit den Stadtwerken Baden-Baden die Zusatzuntersuchung der KWK-Potenziale aus Sicht der Stadtwerke durchgeführt werden. Die Stadtwerke agierten hierbei als Untersuchungsobjekt und stellten bereitwillig das Fachwissen und Datenmaterial zur Verfügung. Im Rahmen einer Masterarbeit⁵ beim Steinbeis-Transferzentrum EGS wurden die Daten detailliert analysiert und in einem Bericht aufbereitet.

Über das Internetportal der Stadt Baden-Baden und die Homepage der Klimaschutzinitiative „Baden-Baden setzt auf 37“ wurde die Bevölkerung über den Inhalt und die Zielsetzung der Wärmestudie informiert.

⁵ Zöhrens, N.: Potenziale vernetzter Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zur Optimierung des Stromeinkaufs kommunaler Energieversorger. Masterthesis. Stuttgart. 2014.





Anhang

Abkürzungsverzeichnis

BGF	Brutto-Grundfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
DH	Doppelhaus
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EEX	European Energy Exchange
EFH	Einfamilienhaus
GIS	Geo-Informationssystem
JDL	Jahresdauerlinie
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplung-Gesetz
MFH	Mehrfamilienhaus
PE	Primärenergie
PV	Photovoltaik
RH	Reihenhaus
SWR	Südwestdeutscher Rundfunk
VBh	Vollbenutzungsstunden
vNNE	vermiedene Netznutzungsentgelte
WEG	Wohnungseigentümergeinschaft

Literaturverzeichnis

- [BMWi, 2014] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Energiedaten*. Im Internet unter: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/energiedaten.html>. September 2014.
- [dena, 2010] Deutsche Energieagentur: *Leitfaden Energieliefer-Contracting*. Im Internet unter: <http://www.dena.de/publikationen/gebäude/leitfaden-energieliefer-contracting-mit-cd-rom.html>. Berlin. 2010.
- [Erhorn-Kluttig, 2011] Erhorn-Kluttig, H.; Jank, R.; et al.: *Energetische Quartiersplanung: Methoden - Technologien – Praxisbeispiele*. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart. 2011.
- [Fernwärme, 2014] Stadtwerke Baden-Baden: *Wärme*. Baden-Baden. Im Internet unter: <http://www.stadtwerke-baden-baden.de/netz-service/waerme.php>. September 2014.
- [Gas, 2014] Stadtwerke Baden-Baden: *Gas*. Baden-Baden. Im Internet unter: <https://www.stadtwerke-baden-baden.de/netz-service/gas.php>. September 2014.
- [ISONG, 2014] Informationssystem Oberflächennahe Geothermie für Baden-Württemberg (ISONG). Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau. Im Internet unter: <http://isong.lgrb-bw.de/>. September 2014.
- [KaRH, 2013] Klimaschutzagentur Region Hannover: *Contracting mit Kraft-Wärme-Kopplung*. Im Internet unter: www.wirtschaftsfoerderung-hannover.de/content/.../3/.../Contracting.pdf. Hannover. 2013.
- [Strom, 2014] Stadtwerke Baden-Baden: *Strom*. Baden-Baden. Im Internet unter: <https://www.stadtwerke-baden-baden.de/netz-service/strom.php>. September 2014.
- [Uhrig, 2014] Uhrig Kanaltechnik GmbH. Geisingen. Im Internet unter: <http://www.energie-aus-abwasser.de/de/energie-aus-abwasser.html>. September 2014.



Kartenmaterial